

Ciudad Obregón, Sonora, a 28 de Mayo de 2014.

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

El que suscribe **SARA IRASEMA OCHOA CAUTICIO**, 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: **“EFECTO CON DIFERENTES DOSIS DE POLÍMERO (ACRILATO DE POTASIO) EN TRIGO PARA RETENCIÓN DE AGUA EN SUELOS ARCILLOSOS EN EL VALLE DEL YAQUI”**. 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.


SARA IRASEMA OCHOA CAUTICIO
(Nombre y firma del autor)



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA
Educar para Trascender

“Efecto con diferentes dosis de polímero (acrilato de potasio) en trigo para retención de agua en suelos arcillosos en el Valle del Yaqui.”

Tesis

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

Presenta:

Sara Irasema Ochoa Cauticio.

Cd. Obregón, Sonora; Mayo de 2014

DEDICATORIAS

Le dedico este trabajo a mi familia que me acompaña en ésta etapa de mi vida que estoy finalizando. Agradezco la confianza que han depositado en mí, el apoyo en cumplir conmigo logros y tropiezos sin pedir nada a cambio, y el esfuerzo que han realizado durante toda mi vida para que por fin llegara este momento, siendo para mí la mejor de las herencias.

Mi triunfo y cariño para ustedes. Dios los bendiga hoy y siempre.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por la familia que me ha dado y la vida que tengo.

A mis padres por el esfuerzo que han realizado para sacarme adelante, por su motivación y sus importantes consejos y por ese impulso que me han brindado, gracias a ustedes he llegado a ser lo que soy ahora y lograr esta meta.

A mi hermana por su apoyo, su interés y sus ánimos hacia mí.

A mi asesor el Dr. Luis Carlos Valdez por la oportunidad, el apoyo y la experiencia que jamás imagine tener para llevar a cabo este trabajo.

A la Maestra Gloria Isabel Bojórquez por su ayuda, dedicación, consejos y sobre todo su paciencia para poder realizar y terminar este trabajo.

A la Maestra Guadalupe Ayón Murrieta, por su interés y atención hacia sus alumnos.

A mis maestros de licenciatura por brindarme sus conocimientos para poder echar a mano de ellos en un futuro.

A mis compañeros de tesis Ing. Elisa A. Bórquez, Ing. Granillo Karen, Ing. Ibarra Arlett, Ricardo Fuentes y Víctor L. Soto, por permitirme trabajar y convivir con ellos; regalándome hermosos recuerdos de esta experiencia.

A mis compañero de carrera especialmente a Jesús A. Angulo, Mario A. Corral, Jesús A. Lopez y Francisco Villa, por su ayuda y los buenos momentos que me dieron.

Que Dios los bendiga hoy y siempre.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAS	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vi
RESUMEN	vii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
1.4. Justificación	5
1.5. Limitaciones	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Disponibilidad de agua.....	7
2.2. Demanda de agua	9
2.3. Aprovechamiento del agua	10
2.4. Alternativas para optimizar el agua.....	11
2.4.1. Sistema de riego.....	13
2.4.2. Programación de riego.	16
2.4.3. Polímeros para la retención de agua.....	19
2.5. ¿Qué es un polímero?	20
2.5.1. ¿Cómo funcionan los polímeros absorbentes?	21
2.5.2. Tipos de polímeros	22
2.6. Propiedades de los polímeros.....	22
2.7. Ventajas y desventajas	24
2.8. Recomendación en su uso en la agricultura.	25
CAPÍTULO III. MÉTODO	27

3.1. Tipo de investigación	27
3.2. Ubicación del objeto.....	27
3.3. Materiales y equipos	28
3.4. Procedimiento	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	33
4.1. Retención de agua en el suelo (watermark).....	33
4.2. Humedad en el suelo al final del ciclo del cultivo	35
4.3. Disponibilidad de agua en la planta (potencial hídrico)	36
4.4. Lamina de riego aplicada al cultivo	37
4.5. Rendimiento en ton/ha por dosis de polímero.....	37
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
Referencias.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Colocación de watermark.....	30
Figura 2: Colocación de muestra para aplicarle presión	30
Figura 3: Diseño experimental	31
Figura 4: Tres riegos de auxilio	34
Figura 5: Dos riegos de auxilio con siete días de retraso.....	34
Figura 6: Dos riegos de auxilio con 15 días de retraso	35
Figura 7: Humedad promedio del suelo al final del ciclo	36
Figura 8: Cantidad de agua presente en la planta (potencial hídrico)	36
Figura 9: Lámina de riego total aplicada en el cultivo	37
Figura 10: Rendimiento de cirno en ton/ha con programa de tres riegos de auxilio	38
Figura 11: Rendimiento de cirno ton/ha con programa de dos riegos de auxilio y siete días de retraso.....	38
Figura 12: <i>Rendimiento de cirno en ton/ha con programa de dos riegos de auxilio y 15 días de retraso</i>	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Programación de riego</i>	29
--	----

RESUMEN

En México, la producción de cultivos básicos depende de la aplicación del riego por gravedad sin embargo, la eficiencia en el uso del agua es baja ya que se pierde aproximadamente el 50% de ella. Entre las regiones agrícolas principales que usan este método de riego se encuentra el Valle del Yaqui donde es implementado para la siembra de trigo al que se autoriza la mayor dotación de agua anualmente. Considerando que cerca de 128 millones de hectáreas en el país están siendo afectadas por sequías, siendo la región noroeste una de ellas se hace necesaria la búsqueda de técnicas que permitan la optimización de agua. Una opción es implementar el uso de polímeros aplicados al suelo como es el acrilato de potasio el cual, tiene la capacidad de absorber agua haciéndola disponible para las plantas y reduciendo la necesidad de riego. El objetivo del estudio fue determinar la dosificación óptima de acrilato de potasio al suelo para uso agrícola en cultivo de trigo bajo un programa de cuatro riegos de auxilio con un retraso de aproximadamente 7 y 15 días en el Valle del Yaqui, Sonora. El trabajo experimental se realizó a campo abierto en las instalaciones del Centro Experimental y Transferencia de Tecnología (CETT 910) del Instituto Tecnológico de Sonora, situado en el block 910 del Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora, durante el ciclo productivo primavera-verano 2014. El campo cuenta con un suelo arcilloso compactado. El cultivo utilizado fue trigo en las variedades cirno y movas, en bloques a los cuales se aplicaron cinco dosis de polímero de acrilato de potasio al azar de 100, 80, 60, 40, 20 kg/ha además, de un tratamiento sin polímero como testigo. Los factores con los que contó el experimento fueron: los tres programas del riego, las dos variedades de semilla, las seis dosis de polímero en el suelo incluido el testigo, dando un total 36 tratamientos a los cuales se midieron la retención de agua en el suelo, potencial hídrico en la planta y rendimiento ton/ha del cultivo. Con esta información se determinó que el polímero a pesar de retener humedad, su aplicación no influyó en el rendimiento y por tanto se recomienda realizar el mismo estudio en otro tipo de suelo o en sustratos.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El agua es y sigue siendo uno de los recursos más indispensables en el planeta, siendo literalmente la fuente de vida para plantas animales y para el mismo ser humano.

El hombre busca asentarse generalmente, a orillas de los ríos o costas del mar para así tener acceso al agua, que proporciona alimento, saciar su sed facilita las comunicaciones, facilita los cultivos y presta energía a sus industrias. No obstante su disposición no es del todo uniforme para la gente.

Provocado principalmente por el desarrollo socio-económico así como por los cambios climáticos, aumento en las poblaciones y la contaminación han implicado

que en algunos sitios el acceso a este recurso se vea muy limitado, afectando la producción de alimentos, ocasionando hambrunas, además de problemas ambientales.

Por ello se han invertido recursos en investigaciones para fabricar dispositivos hídricos ahorradores, convirtiendo el manejo adecuado de este recurso en una tarea de vital importancia en nuestra época.

Pese a los esfuerzos de las campañas gubernamentales a favor del uso responsable del agua estas no han sido suficientes, así mismo México ocupa el quinto lugar a nivel mundial en malgasto del líquido (Miyamoto, 2012) y en 2009, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) informó que en México 145 millones hectáreas se dedican a la actividad agropecuaria.

Según Cisneros (2003), al ser éstas la base de la alimentación y de sobrevivencia para el hombre, cada una de sus áreas o disciplinas de estudio e investigación, deben fortalecerse para producir más con menos recursos y a un menor costo. El riego agrícola, por su estrecha relación con el uso, el manejo y la conservación del agua, es una de estas áreas dentro de la agricultura que requiere de mayores estudios, avances tecnológicos y de la aplicación de los mismos sin deteriorar el medio ambiente.

En México, la producción de cultivos básicos depende de la aplicación del riego por gravedad; sin embargo, la eficiencia en el uso del agua es baja ya que se pierde aproximadamente el 50% de ella (CONAGUA, 2011a). Bajo este contexto, se hace necesaria la búsqueda de técnicas que permitan la optimización de agua.

En el estudio realizado por Cisneros en 2003, describe que entre los sistemas de riegos más utilizados en México se encuentra el presurizado, donde el riego parcelario ocupa el 10% de la superficie; mientras que el 90% restante se riega

por gravedad. Asimismo, Bórquez y Valdez (2013) menciona que a fin de asegurar que el agua utilizada sea debidamente aprovechada, en algunos lugares se ha optado por el uso de polímeros aplicados al suelo como es el acrilato de potasio el cual tiene la capacidad de absorber agua haciéndola disponible para las plantas, y reduciendo la necesidad de riego.

Estos polímeros permiten el incremento de la estabilidad del suelo, disminuye la evaporación y no es tóxica, ya que se degrada con la luz solar. Actualmente, las investigaciones que han hecho uso de polímeros son de Nissen y García (1995) en trigo, Gutiérrez, Sánchez, Cueto, Trucio, Trejo y Flores, (2008) en cultivos de acelga, así como Chávez, Fuentes, y Ramos, (2010) en cultivo de avena y recientemente en sorgo por Bórquez et al., (2013).

Es importante señalar que tanto los experimentos de Nissen et al. (1995), Gutiérrez et al., (2008) y Chávez et al., (2010), se realizaron en sustratos y sólo Bórquez et al. (2013) lo probó en campo no obstante, aún se desconoce la cantidad de polímero necesario para obtener un buen rendimiento y que el ahorro del agua sea significativo.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad el uso de algunos sistemas de riego ya no es suficiente dado a que no pueden ser aplicables para toda región, siendo una de las principalmente causas los elevados costos de instalación. Anudado a esto, en cada región o área de cultivo llega a variar la disponibilidad de agua causando que no todos los sistemas sean de gran utilidad en estas zonas.

Como se mencionó previamente, en México el riego por gravedad es el más utilizado para cultivos básicos (CONAGUA, 2011a) y entre las regiones agrícolas que usan este método de riego se encuentra el Valle del Yaqui, una de las principales zonas agrícolas del país, donde es implementado para la siembra de

trigo al que se autoriza la mayor dotación de agua anualmente (Monteverde, 2014).

En 2013, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) informó que se consideraba que cerca de 128 millones de hectáreas en el país están siendo afectadas por sequías, donde la región noroeste es la más afectada. Además, el cambio climático ha afectado duramente al norte de México y se espera que las próximas décadas se volverá más caluroso (Rangel, 2014).

Recordando la sequía enfrentada en el Valle del Yaqui, que duró tres ciclos continuos desde el 2002-2003, 2003-2004 y 2004-2005 sin agua (Chávez, 2012). Los productores del Valle del Yaqui deben buscar alternativas para evitar pérdidas del vital líquido; en ese sentido, el director general del Distrito de Riego del Río Yaqui, José Ramón Romero Arreola indicó que constantemente emprenden campañas para concientizar a los productores sobre el uso adecuado del agua, con el propósito de evitar que esta se desperdicie (Monteverde, 2014).

Sin embargo, aún falta mucho por lograr concientizar no sólo a los agricultores sino también a los regadores, quienes tienen la responsabilidad de distribuir el agua en los cultivos. Si bien, el regador debe cumplir con su trabajo muchas veces no lo realiza como es debido ocasionando que el agua aplicada en los cultivos sea excesiva o en el peor de los casos casi nula.

Si se considera la mala distribución del agua por parte de los regadores así como la escasez de esta; se deben empezar a considerar medidas que eficiente su uso. Entre una de las alternativas, ya planteadas previamente, se encuentra el implementar el uso de polímeros en el suelo capaces de almacenar 500 veces su peso en agua.

Pese a esto, el polímero en cuestión sólo da una escueta información en cuanto a la dosis a utilizar para un buen rendimiento y que el ahorro del agua sea

significativo. Por consiguiente surge la interrogante ¿Cuál es la cantidad adecuada de polímero que eficiente el uso del agua aplicada en el riego y que además mantenga de rendimiento significativamente?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar la cantidad de polímero que debe aplicarse en el suelo para aumentar el rendimiento del trigo con tres programas de riego en el Valle del Yaqui, Sonora.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la respuesta del trigo a cinco dosis de acrilato de potasio (20, 40, 60, 80 y 100 kg/ha) distribuidas los tratamiento al azar.
- Evaluar la lámina de riego y eficiencia del agua.

1.4. Justificación

Dado a que el Valle del Yaqui es uno de los mayores productores de insumos agrícolas en el estado de Sonora (Caje.me, s.f.), donde la mayor parte del agua se utilizada en los cultivos y por consiguiente la importancia de darle un manejo óptimo podría ayudar a la seguridad económica del estado.

Es en este punto que los sistemas innovadores para resolver los problemas que el agua conlleva pueden ser utilizados, en el caso del presente trabajo haciendo uso de polímeros los cuales están específicamente diseñados no sólo para mejorar la eficiencia de la tierra e incrementar la producción de los cultivos, sino que también para optimizar el uso del agua, fertilizantes y demás productos agregados. Volviéndose una alternativa para mejorar la eficiencia agrícola mediante sistemas de irrigación.

El polímero en cuestión, poliacrilato de potasio - que es un polvo blanco tipo azúcar al que el investigador denominó Silos de Agua - se adhiere a las moléculas de agua causando que el líquido se gelatinice consiguiendo que la raíz se mantenga húmeda por varios meses, y se rehidrate en repetidas ocasiones con las precipitaciones (Instituto Politécnico Nacional, 2012).

Algunos de los beneficios que Velasco (2006) menciona de este polímero son:

- Posibilidad de iniciar la siembra sin esperar la temporada de lluvias.
- Las plantas no sufren estrés hídrico por falta de lluvia durante su crecimiento.
- Las cosechas no se perderán si las lluvias se han terminado.
- Se incrementa la productividad de las aéreas de cultivo.
- Se reducen los costos en los sistemas de riego.
- Se reduce el uso de fertilizantes.
- Puede ser usada para combatir incendios de pastizales y arbustos.

Asimismo el polímero podrá beneficiar a los locales como son agricultores e investigadores futuros.

1.5. Limitaciones

- La limitante para realización de esta investigación disponibilidad de polímero la cual se dispuso en enero.
- Al realizar la siembra tardía, no hubo las suficientes horas de frío para mejorar el desarrollo del cultivo en sus primeras etapas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Disponibilidad de agua.

CONAGUA (2011b) publicó la disponibilidad del recurso hídrico en México y como su ubicación geográfica y relieve incide directamente sobre éste. Dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras que el sureste es húmedo con precipitaciones promedio que superan los 2,000 mm por año. En la mayor parte del territorio la lluvia es más intensa en verano, principalmente la de tipo torrencial.

Asimismo, dio a conocer que el principal uso del agua en México es el agrícola, el cual en términos de uso de aguas nacionales se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos. Con base en el VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal realizado en 2007, la superficie en unidades agrícolas de producción fue

de 30.22 millones de hectáreas, de las cuales el 18% era de riego y el resto tenía régimen de temporal.

Por consiguiente, no es de extrañar que México ocupe el sexto lugar mundial en términos de superficie con infraestructura de riego con 6.46 millones de hectáreas, de las cuales el 54% corresponde a 85 distritos de riego, y el restante a más de 39 mil unidades de riego.

Sólo por mencionar en el periodo del 2001 al 2009, el 33.8% del agua concesionada para el uso agrícola, acuacultura, pecuario, múltiple y otros, fue de origen subterráneo, lo que representó un incremento del 23.2% en el volumen concesionado. Es decir, que de cada 100 litros de agua concesionada o asignada para usos consuntivos al 2009, 77 litros correspondían al uso agrícola.

En 2005 la Comisión Estatal del Agua (CEA), dio a conocer que como la disponibilidad de agua en Sonora se ha visto afectada en forma decreciente además, de impactar directamente el abastecimiento para consumo humano y a las actividades productivas que se desarrollan, siendo algunas de éstas la ganadera, la agrícola y la generación de energía eléctrica.

Dado a la importancia del sector agrícola, los efectos de la disminución en las precipitaciones, que se ha hecho mención en párrafos anteriores, se han visto reflejados en la sobreexplotación de los Distritos de riego por bombeo y en el caso de los Distritos de Riego que usan agua de gravedad, en la disminución de la superficie sembrada.

Es de relevancia destacar que los productores agrícolas, a fin de cubrir en lo posible la totalidad de la superficie bajo riego con los volúmenes de agua disponibles en las presas, tiendan a cambiar los patrones de cultivo tradicionales, por cultivos de menor demanda de agua, con el fin de aprovechar el recurso hídrico.

2.2. Demanda de agua

El contexto global señala que los conflictos socio-ambientales están escalando, en particular, los relacionados por la disputa por el agua; éstos se derivan, en parte, del crecimiento demográfico, pero sobre todo, por el avance de los usos industriales, tanto de la agricultura tecnificada y de la minería intensiva, así como por el aumento exponencial del consumo per cápita urbano. Además, de un factor crítico de reciente aparición: el cambio climático o calentamiento global (Luque, 2013).

CONAGUA (2011a), dio a conocer, que en México existe una creciente preocupación por el agua. Inquietan desde los problemas para lograr un abastecimiento y distribución regular y con la calidad necesaria, que se presentan en numerosas ciudades, pueblos y zonas rurales, hasta cuestiones de mayor complejidad como la pobreza y la migración que muchas veces ocurren de manera asociada a la carencia de servicios básicos y a las sequías. A su vez, la panorámica preocupa un posible crecimiento de la conflictividad social por efecto de la decreciente disponibilidad de agua.

De esta forma, informó que la demanda de agua a nivel nacional es del orden de 78.4 miles de millones de metros cúbicos. De los cuales el 85.33% son extraídos de fuentes sustentables mientras el resto obtenidos de fuentes no sustentables y sobreexplotados; provocando un desequilibrio entre disponibilidad hídrica y demanda, con un 77% de la población nacional concentrada en regiones donde solo se cuenta con el 31% de la disponibilidad natural media.

Anteriormente se señaló que el mayor porcentaje de la demanda se concentra en el sector agrícola. En el caso de Sonora al ser una zona desértica donde el agua de lluvia es la mitad del promedio nacional con un alto valor por evaporación; la problemática por la falta de agua es clara. Asimismo, los altos índices de

ineficiencia han agravando los problemas sociales, económicos y políticos entre los usuarios. Siendo su detonante principal su explotación intensiva por el sector agrícola, dado a que esta brinda alimentos a la población nacional y cosechas para el mercado internacional (Restrepo, 2013).

Con el fin de hacer frente a la disminución de la disponibilidad del agua en los próximos años, será necesario realizar acciones para reducir su demanda, a través del incremento en la eficiencia del uso del agua para el riego de cultivos (CEA, 2005).

2.3. Aprovechamiento del agua

La FAO en 2006, informó que la utilización de los recursos de agua dulce deja mucho que desear, especialmente en la agricultura. En algunos casos, estos recursos son sobreexplotados si el consumo supera al suministro de recursos renovables, originándose así una situación insostenible. Generalmente, el despilfarro en una zona priva a otras áreas del agua que necesitan, disminuyendo allí la producción agrícola y el empleo.

Otros casos de mala gestión del agua se deben a la extracción de agua de buena calidad y al retorno al sistema hidrográfico de aguas de calidad inaceptable. Ya sea por los retornos de riego que a menudo están contaminados por sales, pesticidas y herbicidas, así como por la industria y los centros urbanos que llegan a retornar el agua contaminada; tanto superficial como a la subterránea.

Además, el despilfarro de los recursos hídricos ocurre con frecuencia en cada interferencia humana en el ciclo hidrológico natural. El riego es evidentemente poco eficiente: el agua se desperdicia en cada fase, desde las filtraciones de los canales de riego, hasta en la aplicación en tierras cultivadas,

Se considera la agricultura, como el mayor consumidor de agua, con un 70% de las extracciones llegando incluso al 90% en algunas regiones (UNESCO, 2010), como es el caso de México donde el uso de líquido en la agricultura es la de mayor demanda (CONAGUA, 2011b).

Anteriormente se hizo mención del uso del agua en Sonora para los cultivos, donde el 97% de toda el agua se destina al sector agrícola. Apenas 2% es para usos urbanos y el resto para la ganadería y la industria. Pero en la agricultura se pierde 40% en conducción. Mientras, la demanda de líquido crece en las ciudades, todas deficitarias y que tampoco lo utilizan racionalmente. Estos factores han generado uno de los conflictos más importantes de la historia contemporánea de esa entidad (Restrepo, 2013).

2.4. Alternativas para optimizar el agua.

En 2010, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) dio a conocer en su tercer Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, así como algunos de los programas y actividades para tratar directamente la evaluación, asignación o conservación de los recursos hídricos.

En dicho informe se menciona que la gobernabilidad del agua se puede mejorar con una gestión más efectiva del agua y de los usos actuales y futuros, además de una mayor información a los consumidores, a las partes interesadas y a los responsables de la toma de decisiones sobre las consecuencias de las acciones que se acaten (o no) para tratar estos problemas.

Así mismo, UNESCO (2010) agrega que la implementación de una gestión integrada del recurso está siendo más difícil de lo que se esperaba. Entre algunos de los ejemplos prácticos de soluciones prometedoras dentro del sector hídrico incluyen:

- El desarrollo de habilidades institucionales y humanas para que los organismos estén preparadas para afrontar los desafíos actuales y futuros del agua.
- Una ley del agua, tanto formal como tradicional, que incluya regulaciones en otros sectores que influyen en la gestión de los recursos hídricos.
- Consultas con las partes interesadas y responsabilidad en los procesos de planificación, implementación y gestión para construir una relación de confianza, ya que una gestión efectiva implica una gobernabilidad pluralista, transparencia e interacciones entre partes con diferentes intereses.
- Uso de las opciones de financiación y los instrumentos económicos para apoyar la fiabilidad y calidad de los servicios proporcionados.
- El pago de servicios medioambientales como incentivo para mejorar los esfuerzos en la gestión de los recursos hídricos y apoyar ecosistemas sostenibles y la seguridad del agua.
- Innovación e investigación para desarrollar soluciones apropiadas realistas y sostenibles.

En 2011 CONAGUA formuló Agenda del Agua 2030, la cual permite consolidar una política de sustentabilidad hídrica permitiendo con ello, entregar a la siguiente generación un país con ríos limpios, cuencas y acuíferos en equilibrio, con una cobertura universal de agua potable y alcantarillado y asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas.

Anudado a esto, se han desarrollado rigurosos estudios técnico-prospectivos, así como reuniones a lo largo y ancho del país y recogido y procesado un gran número de iniciativas procedentes de todos los sectores de la sociedad. Demostrando que el agua está en la conciencia y en las preocupaciones de todos los mexicanos.

Anteriormente se señaló, que las actividades agropecuarias son la base de la alimentación y de sobrevivencia para el hombre, por ello cada una de sus áreas o disciplinas de estudio e investigación, deben fortalecerse para producir más con menos recursos y a un menor costo. Dado a la estrecha relación en uso, administración y preservación del recurso hídrico en los riegos es necesario realizar más estudios además implementar los avances tecnológicos (Cisneros, 2003).

A continuación se analizarán algunas de las alternativas que pueden realizarse para mejorar el uso del agua en los cultivos.

2.4.1. Sistema de riego.

Retomando a Cisneros (2003), en términos generales el riego consiste en la aplicación artificial del agua al terreno para que las plantas (cultivos) puedan satisfacer la demanda de humedad necesaria para su desarrollo. Los objetivos del riego son:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos se desarrollen.
- Proporcionar nutrientes en disolución.
- Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
- Refrigerar el suelo y la atmósfera para mejorar el medio ambiente de la planta.
- Disolver las sales contenidas en el suelo.
- Reducir el contenido de sales de un suelo existiendo un adecuado drenaje.

Al hablarse del riego en general, se dice que el problema principal por plantearse es el cuánto, cuándo y cómo regar.

- El cuánto plantea el problema de la cantidad de agua que hay que aplicar a un suelo en el que se va establecer o se tiene establecido algún cultivo.

- El cuándo plantea el problema de la oportunidad con que se debe aplicar esa cantidad de agua.
- El cómo plantea el problema de la forma en que esa cantidad de agua deba aplicarse al suelo en la oportunidad que definió el cuándo.

Todo esto con el fin de hacer un aprovechamiento integral del agua para que sea aplicada en oportunidad y con la mayor eficiencia posible, obteniendo el máximo de los rendimientos en la producción.

Una definición muy acertada de los sistemas de riego es la que dan los rusos Aidarov, Golovanov y Mamaév (1985, cit. en Cisneros, 2003): el sistema de riego, es el conjunto de instalaciones técnicas que garantizan la organización y realización del mejoramiento de tierras mediante el riego.

Volviendo con Cisneros (2003), las partes que integran los sistemas:

- Fuente de regadío (río, presa, pozos...).
- Toma de agua de cabecera.
- El canal principal o tubería.
- Los canales distribuidores o tuberías (primario, secundario, terciario...).
- Red de drenaje destinada a evacuar excedentes de agua y de sales, así como de niveles freáticos excedentes.
- Las obras hidrotécnicas del sistema de riego (compuertas, válvulas, medidores, aliviadores...).
- Las instalaciones adecuadas para garantizar el riego durante todo el ciclo.

Así mismo el autor señala que los métodos de riego pueden ser considerados como la forma en que el riego es aplicado al suelo para el desarrollo de los cultivos y éstos pueden ser:

- Riego superficial: El agua se distribuye por la superficie del campo por gravedad, esto es, a través de surcos, melgas, cuadros, terrazas, etc.
- Riego por aspersión: El agua se distribuye en forma de lluvia artificial a través de equipo especial de rociado.
- Riego por goteo: El agua se suministra en forma de gotas directamente a la zona radicular de cada planta.
- Riego subterráneo: El humedecimiento del suelo se realiza por medio de humidificadores colocados debajo de la planta, aproximadamente a 40 - 45 cm. También puede regarse en forma subterránea, a través del control de niveles freáticos, donde se mantiene la humedad del terreno en niveles deseados.

Hill (1998), señala que un buen sistema de riego debe cumplir con lo siguiente: proporcionar agua de acuerdo a las necesidades de los cultivos, tener una buena uniformidad en el campo, permitir un buen almacenamiento de agua en la zona de las raíces, minimizar las pérdidas de agua debido a la evaporación, escurrimiento y percolación profunda.

De esta forma Cisneros (2003), hace énfasis en que al seleccionar el uso de uno u otro método de riego, los factores de elección pueden ser diversos y algunas veces complejos, no por el aspecto técnico, sino más bien como resultado de la mezcla del aspecto social y económico. En síntesis, algunos factores que intervienen en la selección del método de riego son:

- Sociales (el agricultor puede desconocer las ventajas de ellos o se aferra a uno sólo por tradición).
- Económicos (algunas veces en función de créditos y/o de la relación beneficio - costo).
- Topográficos (en el caso de uso de riego presurizado generalmente no hay limitación por pendiente).
- Agrológicos (características generales del suelo).

- Agronómicos (tipo de cultivo, redituabilidad).

En términos generales el principal factor para seleccionar un sistema de riego se efectúa sobre la base del análisis de las condiciones naturales y económicas.

2.4.2. Programación de riego.

Glez (2013), define a la programación del riego es una metodología que permite determinar el nivel óptimo de riego a aplicar a los cultivos. Esta consiste en establecer la frecuencia (¿cuándo regar?) y tiempo de riego (¿cuánto regar?) de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas (pertenece o relativo al suelo y al clima) del predio. Una apropiada programación del riego permite optimizar el uso del agua y maximizar la producción y calidad de los productos agrícolas.

Así mismo, señala que para programar el riego es esencial estimar tanto el agua que consumen los cultivos o su evapotranspiración y la cantidad de agua que puede almacenar el suelo explorado por las raíces del cultivo. Volviendo a la programación en un procedimiento que permite establecer el momento oportuno del riego y cuánta agua aplicar a los cultivos.

Cisneros (2003), menciona que el calendario o programación de riego, será útil para informar cuando menos los siguientes puntos más importantes:

- N° de riegos por aplicar al cultivo
- Intervalos entre riegos
- Láminas de requerimiento de riego
- Láminas netas de riego

Para ello el autor hace mención de dos métodos para determinar el cuándo regar mediante un calendario de riego, éstos son: método gráfico y método analítico.

El primer método en general, es muy aproximado para determinar las fechas de riego y el número de riegos, además de resulta útil cuando no se dispone de herramientas de cálculo.

El procedimiento consiste en obtener la curva de requerimiento de riego acumulado (R_r), seguido de la lámina de almacenamiento (L_a); posteriormente se saca la lamina de riego subsecuente ($R_r - L_a$). Una vez determinado lo anterior, cada riego se aplicada cuando se llegue al punto crítico (entre 30 - 60% de la lámina de almacenamiento).

Para estimar el número de riegos subsecuente al primer riego se dividirá lámina de riego subsecuente entre la humedad disponible obtenida del punto crítico, por último se obtiene la lámina ajustada al número de riegos real, es decir se lámina de riegos subsecuente dividido entre número de riegos real (ajustado a enteros).

En tanto, el segundo es el de un “balance hídrico”, en el cual se analizan las entradas y salidas de agua en el suelo, éstas estarán representadas por los riegos y los requerimientos de riego de los cultivos respectivamente, a la profundidad radicular del cultivo.

El procedimiento de cálculo consiste en restar el requerimiento diario de riego del cultivo a la lámina de agua que se debe agotar en un determinado intervalo de tiempo; esto es, el número de días necesarios para agotar la lámina de riego definida. El proceso termina cuando el volumen total suministrado al suelo es aproximadamente igual al requerimiento de riego total del cultivo, y se completa el ciclo vegetativo del mismo.

Abanto (2010) propone, para poder determinar el momento justo a regar, emplearse diversos métodos, que requieren la medición de distintos datos climatológicos: Penman, Blaney-Criddle, medición de la radiación solar, medición de la evaporación de un tanque evaporimétrico, etc. Entre éstos, el más sencillo y

de uso más extendido es el basado en la medición de la evaporación en tanque evaporimétrico y, concretamente, de "Clase A".

De esta forma también menciona que la programación de los riegos puede llevarse a cabo aplicando procedimientos basados en la medición del volumen de agua en el suelo mediante sondas de neutrones, técnicas de reflectometría (TDR o Time Domain Reflectometry) o por el método gravimétrico, pero estos métodos presentan el inconveniente de que son caros o de difícil aplicación.

No obstante, en 2012 Fundación Produce Sinaloa, informó que se debe tener en cuenta que los recientes cambios climáticos han afectado los ciclos de los cultivos y el manejo de los factores de producción como el riego.

Ante esto, se han desarrollado programas computacionales con modelos integrales que permiten una calendarización y pronósticos precisos del riego, para diferentes fechas de siembra y tipos de suelo mejorando la programación en los riegos.

Asimismo, se han implementado programas de riego tecnificado por gravedad con el fin de concientizar a los productores sobre el uso adecuado del agua y evitar que se desperdicie el recurso (Monteverde, 2014).

De esta forma se puede concluir, que una correcta elaboración de programación o calendarización de riego, se requerida contar con:

1. Disponibilidad de volumen de agua para el ciclo.
2. Selección y formación del patrón de cultivo por realizar.
3. Época de siembra – cosecha y riegos.
4. Superficie tanto parcial como total de los cultivos.
5. Intervalos de riegos de cada cultivo que se establezca, así como su número de riegos.

6. Porcientos de superficies que se regara mensualmente de cada cultivo durante el periodo que cubre el ciclo agrícola.
7. Determinación por medio de ecuaciones los coeficientes hectáreas – riego para cada cultivo.
8. Láminas de riego neta-brutas parciales y mensuales
9. Eficiencia en conducción de la red de canales en los diferentes niveles del distrito con el fin de programar las extracciones parciales y totales mensuales.
10. Cálculo de los volúmenes mensuales requeridos netos y brutos.
11. Análisis de funcionamiento en vaso.

2.4.3. Polímeros para la retención de agua en el suelo.

Actualmente se desperdician grandes cantidades de agua por infiltración, la cual se puede disminuir con el uso de polímeros en el suelo.

En 2010, Cabildo, Claramunt, Cornago, Escolástico, Esteban, Farrán, García, López, Pérez, J. Pérez, M. Gutiérrez y Sanz hace mención sobre la importancia de los polímeros súper absorbentes, como componente de muchos productos siendo su principal aplicación en pañales desechables. No obstante, desde hace unos 20 años se han realizando ensayos que demuestran que su uso extensivo mejora la capacidad de retención de agua del suelo, favoreciendo por tanto el desarrollo de las plantas. De esta forma al mezclarse el polímero con el suelo se consigue, por un lado, aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por filtración, y por otro lado, también se consigue disminuir la evaporación de la misma. Consiguiendo mejorar la actividad biológica y aumentar la producción del suelo. Además, la utilización de polímeros también produce una mejora de la estructura del suelo y de la aireación del mismo.

2.5. ¿Qué es un polímero?

Los polímeros son macromoléculas cuyo elevado tamaño se ha conseguido por la unión de moléculas más pequeñas, llamadas monómeros. El polímero se consigue uniendo estas pequeñas moléculas una a continuación de otra, a modo de eslabones de una cadena. El número de eslabones o unidades de monómero se denomina grado de polimerización y proceso por el que se realiza esta unión, polimerización, esto según Díaz, Espí, Fontecha, Jiménez, López y Salmerón. (2001).

Anudado a esto, aclaran que si el polímero está formado por una única especie o monómero se denomina fotopolímero, mientras que si en el polímero se unen más de un tipo de monómero se llama copolímero. Casi toda la totalidad de los monómeros que se utilizan industrialmente se obtienen del petróleo.

Por otro lado, Besednjak (2009), explica que etimológicamente la palabra polímero proviene del griego y significa “muchos miembros o partes”. Por lo que, al definirlo químicamente se expone como un material construido por grandes moléculas, las cuales se forman por la secuencia repetitiva de otras más pequeñas o agrupaciones de partículas de átomos simples. Aquellas que dan origen a los polímeros reciben el nombre de monómeros, los cuales se encuentran en el carbono siendo rentable su extracción desde el petróleo, carbón y gas natural.

También menciona que el término polímero debe considerarse como un concepto amplio, en el que caben un buen número de materiales. Dentro de este numeroso grupo se pueden hacer diferentes clasificaciones atendiendo diferentes criterios; como son su origen y comportamiento térmico.

Por tanto, un polímero es un compuesto de varias moléculas que individualmente son llamadas monómeros que puede abarcar desde estructuras orgánicas como las proteínas, algodón, caucho natural, etc., e inorgánicas como los plásticos.

2.5.1. ¿Cómo funcionan los polímeros absorbentes?

El mecanismo por el que alguno los polímeros son capaces de absorber tanto volumen de soluciones acuosas no es solamente físico, sino que depende de su naturaleza química.

Entre las fuerzas que contribuyen a su hinchamiento son la energía libre de mezcla y la respuesta elástica del entrecruzamiento, aunque también existen polímeros que presentan en su estructura unidades ionizables, es decir que presentan forma de iones. Así, cuando un polímero de estas características se introduce en un medio acuoso, las unidades iónicas se disocian y crean una densidad de carga a lo largo de las cadenas y una elevada densidad de iones en el gel. Este carácter iónico produce unas nuevas fuerzas que condicionan el hinchamiento. Por un lado, la diferencia entre la concentración de iones entre el gel hinchado y la solución externa produce una presión osmótica, es decir la fuerza que debe aplicarse sobre una solución cuando se necesita frenar el flujo por medio de una membrana de características semipermeables, que sólo puede reducirse a través de la dilución de carga, es decir, por el hinchamiento del gel, y por otro, la densidad de carga neta entre las cadenas genera repulsiones electrostáticas que tienden a expandir el gel, lo que contribuye al hinchamiento. (Cabildo et al., 2010)

En síntesis, el funcionamiento de estos polímeros comienza en su estado seco donde su estructura molecular es similar a un ovillo rizado, que al entrar en contacto con el agua causa que esta se despliegue y endurezca; aumentando así la viscosidad del líquido circulante.

2.5.2. Tipos de polímeros

No existe una clasificación única para los polímeros, esto se debe a las distintas propiedades que poseen.

Una de las tipificaciones más sencillas para lograr distinguirlos se encuentra en su origen, la cual Ríos (2010), explica a continuación.

- **Naturales:** Son aquellos procedentes directamente del reino vegetal o animal, así como la seda, lona, algodón, celulosa, almidón, proteínas, caucho natural (látex o hule), ácidos nucleídos, como el ADN, entre otros.
- **Sintético:** Son los transformados o “creados” por el hombre. Están aquí todos los plásticos, los más conocidos en la vida cotidiana son los nylon, el polietileno, el poli cloruró de vinilo (PUC), etc.
- **Semi-sintéticos:** son aquellos que se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo, la nitrocelulosa, caucho, llantas de automóviles o el caucho vulcanizado.

De esta forma, la variedad de propiedades físicas y químicas de estos compuestos permiten aplicarlos en construcción, embalaje, industria automotriz, aeronáutica, electrónica, agricultura y medicina.

2.6. Propiedades de los polímeros

Beltrán y Marcilla (2012) mencionan que a pesar de las grandes diferencias de su composición y estructura, hay una serie de propiedades comunes a todos ellos que los distinguen de otros materiales.

Comenzando con la densidad, la cual es relativamente baja y se extiende desde 0.9 hasta 2.3 g/cm³. Esto se debe fundamentalmente a que los átomos que los componen son ligeros y con una separación relativamente grande. Permitiendo un

fácil manejo y otorgándoles una ventaja al realizar diseños, en donde el peso sea una limitante.

Por otro lado, la conductividad térmica es otra de las características que los autores consideran; ocasionada por la ausencia de electrones libres que tiende a ser sumamente pequeña. Generando un inconveniente durante su transformación, provocada por su lenta absorción de calor así como en su eliminación que muchas veces resulta costosa. No obstante, su aplicación térmica es una cualidad que permite ser utilizados como aislantes térmicos.

En cuanto a su conductividad eléctrica presentan una alta resistencia a ella por lo que son utilizados como aislantes en aparatos y conducciones que funcionen con corriente o la transportan.

Así mismo, las propiedades ópticas son otro de los parámetros que los autores toman en cuenta, dado a que en los polímeros sin aditivos por lo general son bastante traslucidos, aunque esta propiedad se encuentra fuertemente influida por la cristalinidad del material. Los polímeros amorfos resultan transparentes mientras que los translúcidos son opacos. Esto ocasionado por las zonas cristalinas dispersoras de luz, evitando su libre transmisión, dando lugar a traslucidez u opacidad exceptuándose cuando se orienta a secciones muy finas.

Por el contrario los polímeros amorfos el acomodo al azar de sus moléculas no causa difracción de la luz importante, permitiendo una transparencia muy buena y transmitancia de luz superior al 90%.

La resistencia química que presenta esta fuertemente influenciada por el grado de cristalinidad. En los polímeros cristalinos los disolventes pueden atacar ligeramente la superficie del polímero, que tiene una menor cristalinidad. Cuando se aplica un esfuerzo las grietas producidas no se propagan una vez que llegan a las zonas cristalinas.

Los polímeros amorfos presentan una mayor solubilidad que los cristalinos. Los disolventes atacan al polímero formando pequeñas grietas que se extienden por todo el polímero cuando se aplica un esfuerzo por pequeño que sea.

2.7. Ventajas y desventajas

Entre algunas de las ventajas que presentan los polímeros, Cabildo et al., (2010), Beltrán et al. (2012) mencionan los siguientes:

- Tienen una gran inercia química y, en consecuencia, no son atacados ni por los ácidos ni por las bases ni por los agentes atmosféricos.
- Son muy resistentes a la rotura y al desgaste.
- Tienen una gran elasticidad.
- Se tiñen fácilmente en todos los colores.
- Son poco densos.
- Se obtienen fácilmente y son relativamente baratos.
- Pueden fundirse y usarse para fabricar otros productos.

Así mismo, Pérez, Peñata, Parejo, y Osorio (2013) señala algunas de sus desventajas como son:

- Si bien es una ventaja es que puedan fundirse. También el plástico ardiendo puede liberar gases tóxicos.
- El reciclado es una ventaja pero hacerlo es muy caro.
- Algunos polímeros pueden tardar 100 años en degradarse.

Este último punto es discutible. Si bien la alta durabilidad de los polímeros puede ser provechosa en algunos casos sólo terminan contaminando. Un claro ejemplo es una bolsa de plástico.

2.8. Recomendación en su uso en la agricultura.

En los últimos años, debido sobre todo a las posibilidades comerciales que presentan estos compuestos, se ha desarrollado un importante trabajo de investigación sobre estos materiales, lo que ha derivado en la obtención de polímeros súper absorbentes usados en nuevas y muy diversas aplicaciones. Así, se están fabricando productos con estos polímeros que ya forman parte de la vida cotidiana, y que van desde pañales hasta productos para agricultura, la industria alimentaria o las telecomunicaciones entre otros.

Pese a que su uso está enfocado principalmente en los plásticos para los invernaderos, su aplicación con los polímeros súper absorbentes tiene poco tiempo de implementación.

Desde hace unos 20 años se están realizando ensayos que demuestran que el uso extensivo de polímeros súper absorbentes mejora la capacidad de retención de agua del suelo, favoreciendo por tanto el desarrollo de las plantas (Van Cotthem et al., 1991). Al mezclarse el polímero con el suelo se consigue, por un lado, aprovechar mejor el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por filtración, y por otro lado, también se consigue disminuir la evaporación de la misma. Estos dos factores son suficientes para mejorar la actividad biológica y aumentar la producción del suelo (Azzam, 1983). Además, la utilización de polímeros también produce una mejora de la estructura del suelo y de la aireación del mismo. Así, el uso de este tipo de polímeros permitiría, por ejemplo, la recuperación de zonas semiáridas o terrenos de cultivos abandonados y poco fértiles cuando se emplea de forma extensiva. También se han utilizado, mezclándolo con abonos, en campañas de reforestación, donde proporcionan a los plantones una reserva de agua para las primeras fases (las más críticas) de su adaptación al terreno permitiendo una disminución en la cantidad de agua

empleada en el riego o bien, un mayor espaciado de los mismos, con el consiguiente ahorro de agua y dinero que ello supone (Estrada, 2006).

Aun así, los elevados costos de esta tecnología deben de analizarse de manera cuidadosa, especialmente en zonas donde la disponibilidad de agua es nula.

Como se mencionó en el capítulo anterior son pocas investigaciones de estos hidrogeles además, la mayoría se han realizado en sustratos siendo sólo la investigación de Bórquez et al. (2013) la único probado en campo; dejando desconocida la cantidad adecuada a emplear para justificar la inversión.

CAPÍTULO III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La presente tesis fue realizaba bajo un enfoque cuantitativo en el cual se analizó el efecto del polímero en dos enfoques. El primero consistió en la aplicación de agua en el cultivo, por medio del número de riegos, es decir el volumen o lámina por riego aplicada al cultivo con ayuda de un calendario para la aplicación de éstos. El segundo enfoque fue la respuesta de la planta; obteniéndose por medio de su altura, número y granos por espiga siendo éstos datos por hectárea.

3.2. Ubicación del objeto

El estudio se realizó en el Centro Experimental y de Transferencia de Tecnología (CETT-910) del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), ubicado en el block 910

del Valle del Yaqui; por la calle 10, entre 900 y 800 en las coordenadas 27°21'45'' de latitud norte y entre 109°55'83'' de latitud este (Miranda y Valdez, 2011).

3.3. Materiales y equipos

- Polímero acrilato de potasio: materia plástica en forma de cristales, de color natural (blanco), gelifica con el agua. Densidad = 0.7-0.85 g/cc.
- Semillas de trigo.
 - Movas: variedad de hábito de crecimiento primaveral y resistente a roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) con rendimiento de grano promedio de 6.35, 5.9 y 7.6 t ha⁻¹ con dos, tres y cuatro riegos de auxilio, respectivamente, en cuatro fechas de siembra.
 - Cirno: variedad es de hábito de crecimiento primaveral y resistente a la roya de la hoja (*Puccinia triticina*), con rendimiento promedio de 5.6 y 6.3 t ha⁻¹ con dos y tres riegos de auxilio.
- Sensor de matriz granular: conocido en el mercado como watermark. Mide la humedad retenida en el suelo. Se utilizaron uno por tratamiento.
- Tensiómetros: instrumento que indica la retención de agua del suelo.
- Bomba de presión o Scholander: permite medir el potencial hídrico de la planta.
- Programa de tres riegos de auxilio (ver Tabla 1).

Tabla 1. Programación de riego

Programa de riego			
Fecha de riego	R1	R2	R3
09 de enero	X	X	X
26 de febrero	X		
05 de marzo		X	
12 de marzo			X
21 de marzo	X		
05 de abril		X	
11 de abril	X		X
R1 = Tratamientos con tres riegos de auxilio			
R2 = Tratamientos con dos riegos de auxilio y siete días de retraso			
R3 = Tratamientos con dos riegos de auxilio y 15 días de retraso			
X = Fecha en que se aplicó el riego			

3.4. Procedimiento

- **Diseño experimental**

El estudio consistió en la evaluación de cinco dosis de acrilato de potasio aplicado en el suelo para el cultivo de trigo bajo tres programas de riegos de auxilio: El recomendado, el de una semana de retraso y el de dos semanas de retraso en el Valle del Yaqui, Sonora.

El campo cuenta con un suelo arcilloso compactado, el cual se preparó con un subsuelo profundo con el fin de descompactar y airear el terreno, seguido de dos rastreos cruzados para eliminar terrones grandes y maleza. Cada bloque fue dividido en 8 surcos de 8 m de largo, con una densidad de siembra de 150 kg/ha de dos variedades de trigo (cirno y movas).

La aplicación del polímero fue manual a una profundidad de 15 cm del surco mientras que la semilla se sembró a 5 cm en dos hileras. Posteriormente, se aplicó un riego pesado el 9 de enero (ver Tabla 1) para ayudar a la germinación de la semilla; así como marcador para aplicar riegos de auxilio.

Instalación de watermark

Se colocó el sensor dentro un tubo de PVC $\frac{1}{2}$ " , para un mejor manejo de éste y se dejaron saturar con agua por 24 horas.

Una vez pasadas las 24 horas se hizo un orificio en surco a una profundidad de 15 cm de profundidad, se insertó el sensor en el orificio y finalmente se aplicó una mezcla con suelo saturado (ver Figura 1). Las mediciones se realizaron una vez por día.



Figura 1: Colocación de watermark

- **Bomba Scholander**

Se cortó la hoja bandera del trigo y se colocó dentro de la cámara para aplicar presión con aire comprimido (ver Figura 2). Estas mediciones se realizaron antes y después de cada riego de auxilio.



Figura 2: Colocación de muestra para aplicarle presión

- **Descripción de los tratamientos.**

Los niveles de dosis de polímero utilizado fueron de 100, 80, 60, 40, 20 kg/ha además de un tratamiento sin polímero, al cual se le considero como testigo (ver Figura 3).

Los factores (Variables independientes) con los que contó el experimento fueron: los tres programas del riego, las dos variedades de semilla, las seis dosis de polímero en el suelo (se incluye el testigo) dando un total 36 tratamientos.

Los niveles de riegos manejados fueron:

- Tres riegos.
- Dos riegos y siete días de retraso.
- Dos riegos y 15 días de retraso.

Diseño experimental

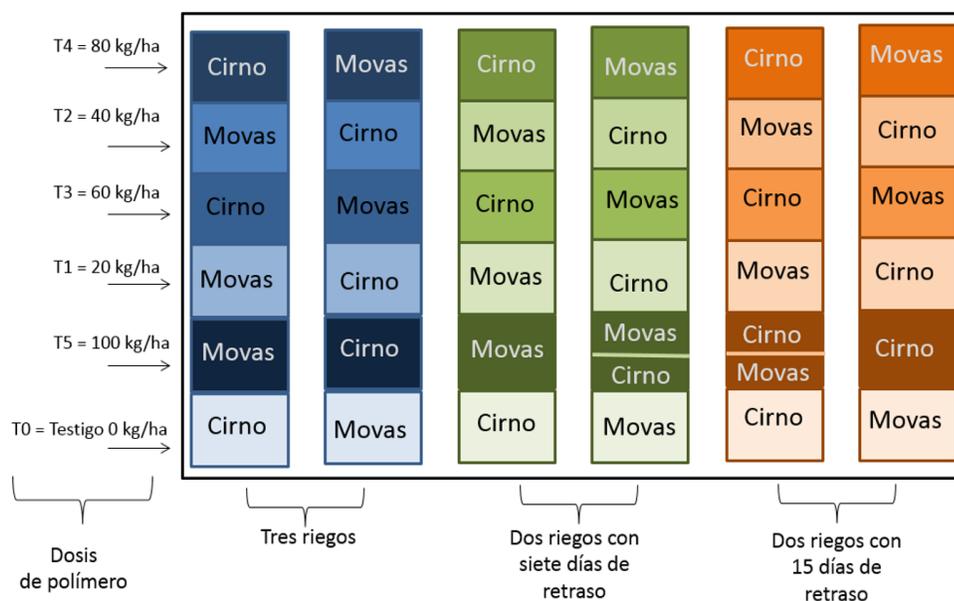


Figura 3: *Diseño experimental*

- **Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó utilizando el programa computacional STATGRAPHICS Plus 5.1., por medio de un análisis de Varianza ANOVA simple y múltiple.

- **Variables analizadas**

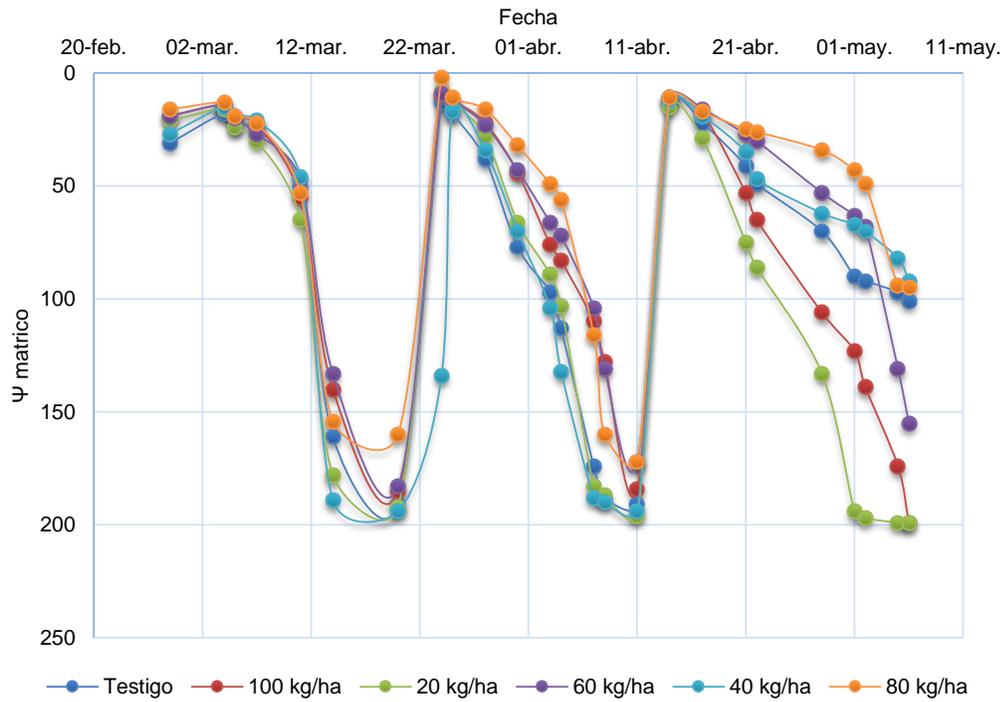
- Respuesta del suelo al riego aplicado: Retención de agua en el suelo con sensor watermark así como, el efecto de la disponibilidad de agua en la planta por medio de potencial hídrico, lámina de agua aplicada.
- Respuesta de la planta: rendimiento ton/ha del cultivo.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

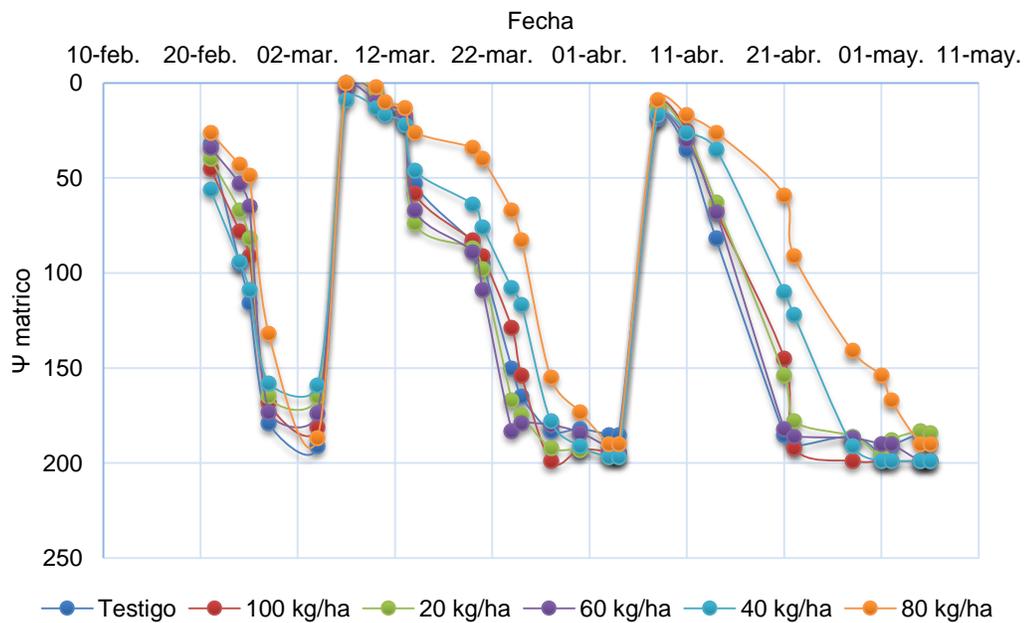
4.1. Retención de agua en el suelo (watermark)

En base a los resultados obtenidos con sensor watermark, para cada uno de los programas de riego con sus respectivos tratamientos, se pudo observar que las dosis de polímero de 80 y 100 kg/ha presentaron mayor retención de agua al aplicar el riego debido, a que éstos presentaron una mejor retención de humedad en el suelo a lo largo del experimento (ver Figura 4, 5 y 6). Asimismo la variabilidad presentada en la Figura 6, se debió a la presencia de lluvias en esas fechas.

Retención de agua en tratamientos con tres riegos de auxilio

**Figura 4:** Tres riegos de auxilio

Dos riegos de auxilio con siete días de retraso

**Figura 5:** Dos riegos de auxilio con siete días de retraso

Dos riegos de auxilio con 15 días de retraso

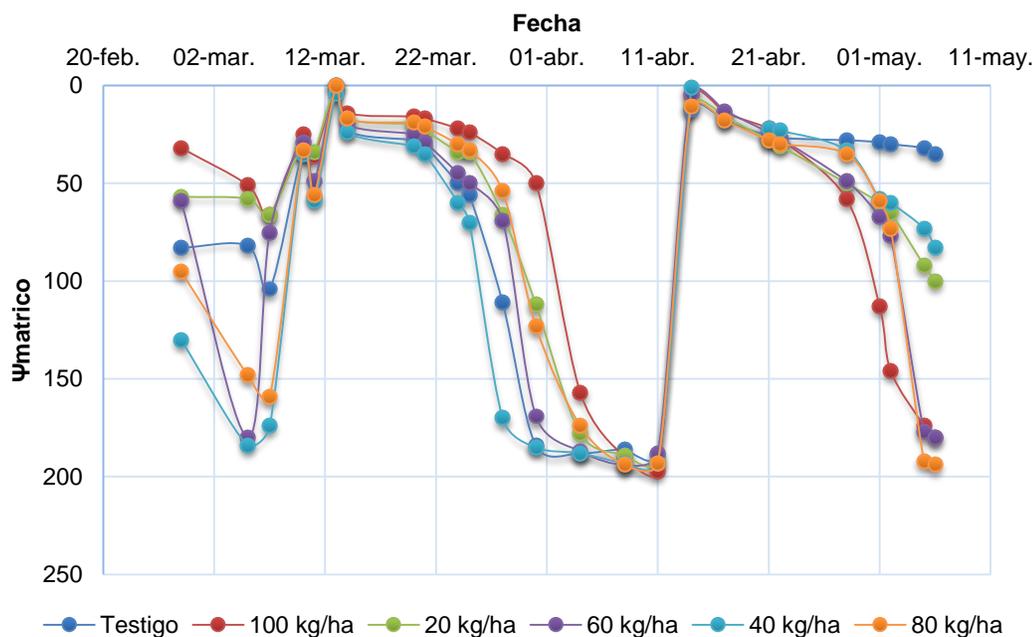


Figura 6: Dos riegos de auxilio con 15 días de retraso

4.2. Humedad en el suelo al final del ciclo del cultivo

Tres días antes del término del experimento se tomaron muestras de suelo a fin de corroborar los resultados con sensor watermark. Con dos muestras por tratamiento se determinó la humedad promedio presente en el suelo. Con los resultados obtenidos (ver Figura 7) se observa una humedad promedio para todos los tratamientos fue alrededor de 12%, lo que indica que no hubo diferencia entre ellos.

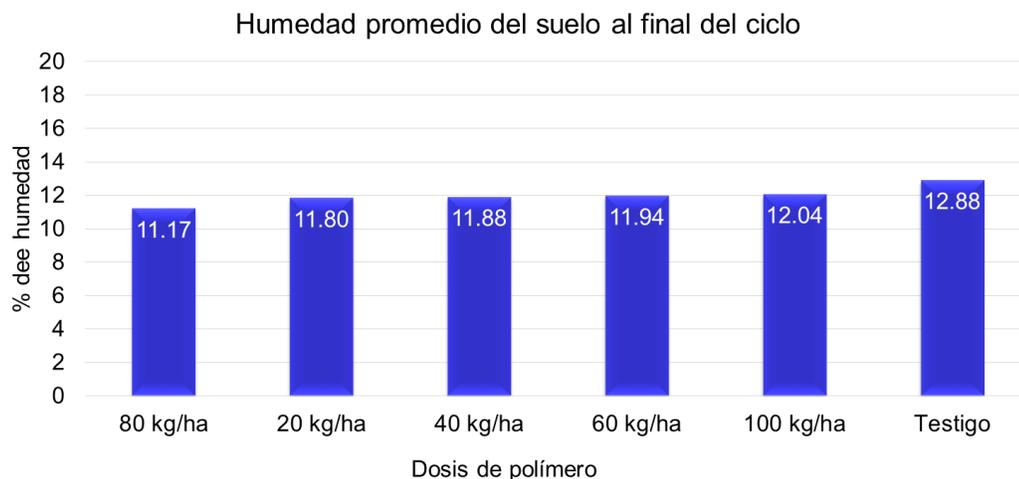


Figura 7: Humedad promedio del suelo al final del ciclo

4.3. Disponibilidad de agua en la planta (potencial hídrico)

Con los datos adquiridos con la bomba de presión se determinó cantidad de agua presente la planta de los diferentes tratamientos, con ellos se visualizó que el tratamiento con 100 kg/ha de polímero mantuvo una mayor cantidad de agua, no obstante el comportamiento esperado se vio afectado por el tercer tratamiento con 60 kg/ha el cual presentó menor cantidad agua (ver Figura 8). En cuanto al análisis de varianza factorial con en STATGRAPHICS Plus 5.1., indican que los resultados presentan diferencia significativa.

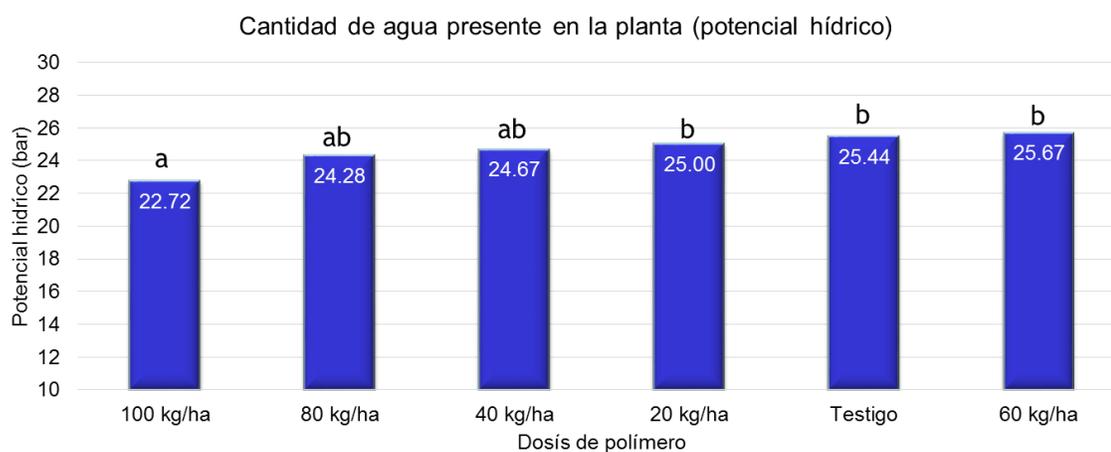


Figura 8: Cantidad de agua presente en la planta (potencial hídrico)

4.4. Lámina de riego aplicada al cultivo

Las láminas totales aplicadas a cada uno de los tratamientos se presentan en la Figura 9, donde se observa que en los tratamientos R3 se incrementó alrededor de 18 cm lo que equivale a un riego más de auxilio.

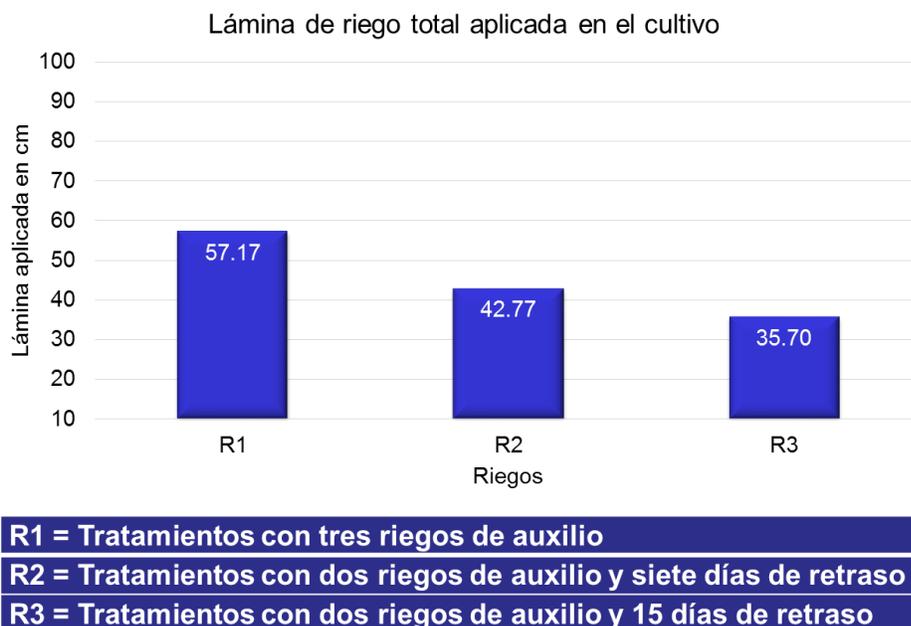


Figura 9: Lámina de riego total aplicada en el cultivo

4.5. Rendimiento en ton/ha por dosis de polímero

Conforme a los resultados obtenidos en STATGRAPHICS Plus 5.1., se observó que no hubo respuesta significativa por programa de riego en la producción de trigo con sus respectivas dosis (ver Figura 10, 11 y 12).

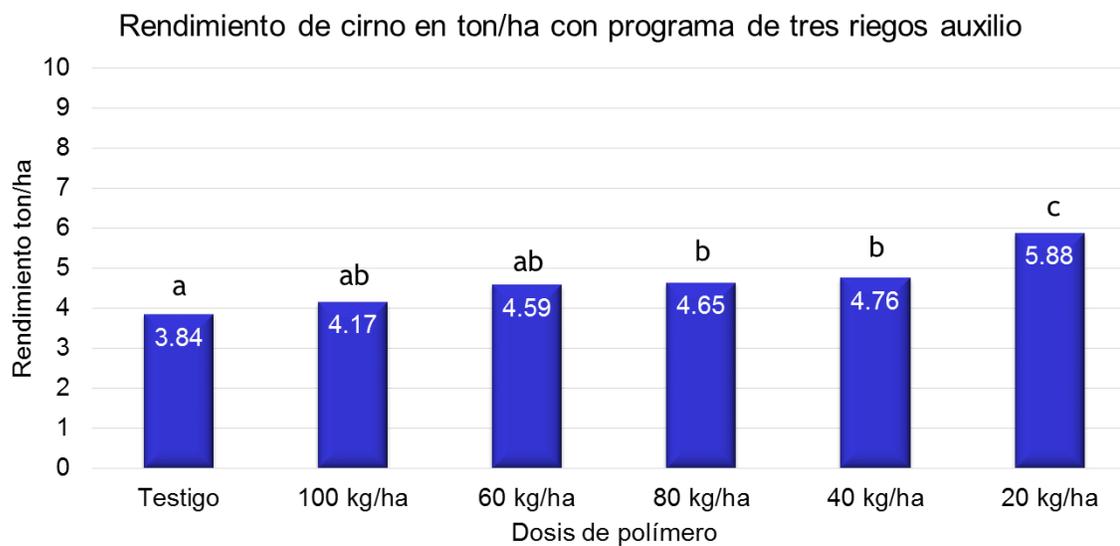


Figura 10: Rendimiento de cirno en ton/ha con programa de tres riegos de auxilio



Figura 11: Rendimiento de cirno ton/ha con programa de dos riegos de auxilio y siete días de retraso

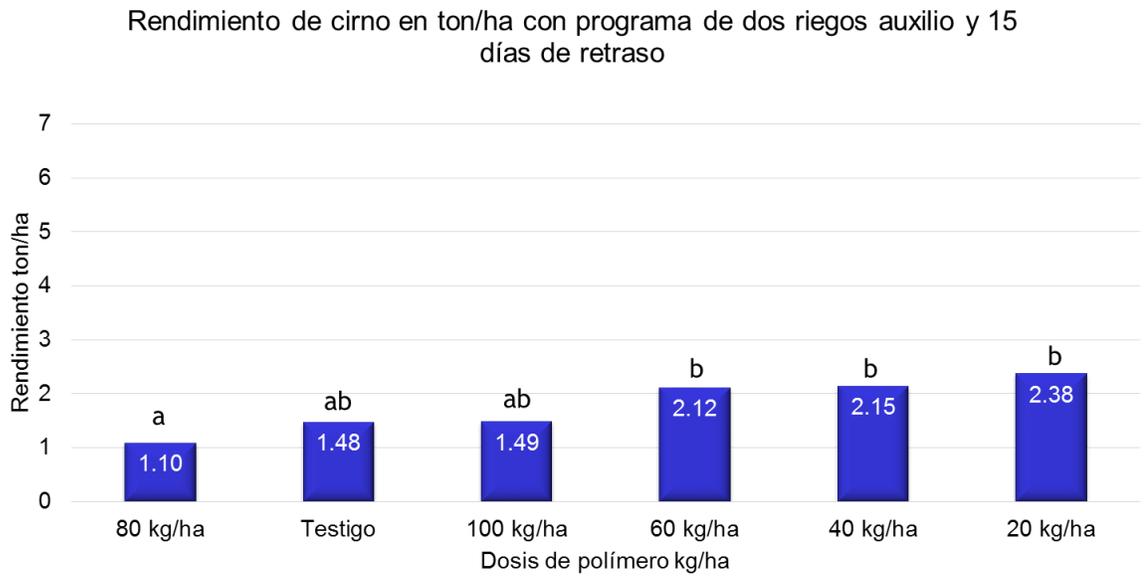


Figura 12: Rendimiento de cirno en ton/ha con programa de dos riegos de auxilio y 15 días de retraso

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los diferentes datos analizados se puede concluir que el polímero a pesar de retener agua en el suelo y que la planta lo manifiesta, éste no influyo en el rendimiento de trigo, debido a que el suelo arcilloso posee una capacidad de retención alta.

Una recomendación es realizar el mismo estudio en otro tipo de suelo o en sustratos.

Referencias

- Abanto, C. (2010) Efecto del fertirriego sobre la productividad del camu (*Myrciaria dubia* H.B.K Mc Vaugh) en la Region de Ucayali. Tesis de Licenciatura no publicada. Universidad Nacional Agraria La Molina Facultad de Ciencias Forestales, Lima, Perú.
- Azzam, A. (1983). *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 23, 243.
- Beltrán, M. y Marcilla, A. (2012). *Tecnología de Polímeros Procesado y Propiedades*. Publicaciones de la Universidad de Alicante Campus de San Vicente.
- Besednjak, A. (2009). *Materiales Compuestos*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Bórquez, E. y Valdez, L. (2013, octubre). *Respuesta de sorgo a la retención de agua por acrilato de potasio con 2 y 4 riegos de auxilio en suelo arcilloso del Valle del Yaqui*. Ponencia presentada en Producción y protección de cultivos: Bajo un escenario de cambio climático, Mexicali, Baja California.
- Cabildo, M., Claramunt, R., Cornago, M., Escolástico, C., Esteban, S., Farrán, M., García, M., López, C., Pérez, J. Pérez, M., Gutiérrez, M. y Sanz, D. (2010) *Reciclado y Tratamiento de Residuos*. Madrid: UNED.
- Caje.me. (s.f.). Recuperado el 31 de enero de 2013, de <http://caje.me/historia/65-valle-del-yaqui>
- CEA. (2005). *Análisis sobre el uso y manejo de los recursos hidráulicos en el estado fronterizo de Sonora*. México, Sonora. Comisión Estatal del Agua

- Cisneros, R. (2003). Sistemas de Riego y Drenaje, en *Riego y Drenaje*. Recuperado el 26 de marzo de 2014 de <http://ingenieria.uaslp.mx/web2010/Estudiantes/apuntes/Apuntes%20de%20Riego%20y%20Drenaje%20v.2.pdf>
- Chávez, C., Fuentes, C., y Ramos, E. (2010). Uso eficiente del agua de riego por gravedad utilizando yeso y poliacrilamida. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 231-238.
- Chávez F. (16 de noviembre de 2012). No debe trasvasarse agua del Río Yaqui a Hermosillo. *Tribuna*. Recuperado el 31 de enero de 2014, de http://www.tribuna.info/index.php?option=com_content&view=article&id=246755:n2p6&catid=12:campo&Itemid=120
- CONAFOR, (2013). *Afecta sequía 128 millones de has*. D.F. Comisión Nacional Forestal.
- CONAGUA. (2011a). *Agenda del agua 2030*. Coyoacán, México, D.F. Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA, (2011b). *Estadísticas del agua en México*. D.F. Comisión Nacional del Agua.
- Díaz, T., Espí, E., Fontecha, A., Jiménez, J., López, J. y Salmerón, A (2001). *Los Filmes Plásticos en la Producción Agricultura*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Estrada, A., (2006, Mayo). *Los Polímeros*. Ponencia presentada en el II Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia. León, Guanajuato.
- Fundación Produce Sinaloa, A.C. (2012). *El programa Irrimodel puede ayudar a mejorar la administración de los riegos*. Sinaloa. Recuperado el 26 de marzo

de 2014 de:
http://www.fps.org.mx/divulgacion/index.php?option=com_content&view=article&id=964:el-programa-irrimodel-puede-ayudar-a-mejorar-la-administracion-de-los-riegos&catid=37:sinaloa-produce&Itemid=373

Glez, A. (04 de Abril de 2013). *Sistemas de Riego*. Tesis de licenciatura no publicada. Instituto de Estudios Superiores de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez Chiapas.

Gutiérrez, I., Sánchez, I., Cueto J., Trucio, R., Trejo, R. y Flores A. (2008). Efecto del polímero Aquiastock en la capacidad de retención de humedad del suelo y su efecto en el rendimiento de la acelga (*Beta vulgaris var cycla*). *Revista Chapingo Seria Zonas Áridas*, 7, 65-72.

Hill, B. (1998). *Irrigation Water Management*. Ponencia presentada en Proceedings of the Fourth Annual Four Corners Irrigations Workshops. US Department of the Interior, Bureau of Reclamation Upper Colorado Region. Shiprock, New Mexico.

Instituto Politécnico Nacional. (2012). *Egresado Del IPN Desarrolla Proyecto De Lluvia Sólida Para Combatir Sequías* Recuperado el 21 de enero de 2014, de <http://www.ccs.ipn.mx/COM-004-2012.pdf>

Luque D. (2013, 03 de septiembre). Los conflictos por el agua en Sonora. Una visión socio-ambiental. *El Universal*. Recuperado el 24 de febrero de 2014, de http://blogs.eluniversal.com.mx/weblogs_detalle19018.html.

Miranda M. y L. Valdez. (2011). Respuesta de hortalizas orientales en dos sistemas de producción bajo condiciones climatológicas del Valle del Yaqui. *Revista la sociedad Académica*, 38, 30-39. ITSON. Sonora, México.

Miyamoto, O. (2012). Ahorro Líquido. *Muy Interesante*, (3), 22.

Monteverde A. (2014, 08 de enero). Domina trigo el uso de agua. *Tribuna*. Recuperado el 10 de febrero de 2014, de http://www.tribuna.info/index.php?option=com_content&view=article&id=571738:n1p1e&catid=12:campo&Itemid=120

Nissen J. y García R. (1995, Diciembre). Efecto del uso de una poliacrilamida en la lixiviación de nitrógeno y de potasio sobre trigo (*Triticum sp.*), En Un Suelo Volcánico. *Agro sur*. Recuperado el 08 de febrero de 2014, de http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0304-88021997000200007&script=sci_arttext

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2006). *Agua y Cultivos*. Recuperado el 24 de febrero de 2014, de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/y3918S/Y3918S00.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2009). *LA FAO EN MÉXICO Más de 60 años de cooperación*. Recuperado el 31 de enero de 2014, de http://www.fao.org.mx/documentos/Libro_FAO.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2006)

Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2010). *3er Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: El agua en un mundo en constante cambio*.

- Pérez, D., Peñata, A., Parejo, R., y Osorio Y. (2013) *Los polímeros, clasificación y propiedades*. Tesis de licenciatura no publicada. Universidad de Córdoba, facultad de ingenierías, en Córdoba, España.
- Rangel, S. (2014). Más dos grados. *Muy Interesante*, (2), 38-39.
- Restrepo, I. (2013, 08 de julio) Los problemas del agua en Sonora. *La Jornada*. Recuperado el 08 de marzo de 2014, de <http://www.jornada.unam.mx/2013/07/08/opinion/020a2pol>
- Ríos, C. (2010, Marzo). Polímeros Naturales y Sintéticos. *Ciencia y Desarrollo*. Recuperado el 26 de febrero de 2014, de <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/241/Articulos/polimeros-naturales-y-sinteticos.html>
- Van Cotthem, W., Beel, C., Danneels, P., De Keyzer, J., y Vyvey, Q. (1991). Restoring the natural vegetation on strong eroded volcanic soils of Cape Verde (West-Africa). *Soil Technology*, 4, 183–189.
- Velasco, S. (2006, marzo). *Lluvia Sólida*. Ponencia presentada en IV Foro Mundial del Agua, Cd. De México.