

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

El que suscribe **César Antonio Pérez Vega**, por medio del presente manifiesto bajo protesta de decir verdad, que soy autor y titular de los derechos de propiedad intelectual tanto morales como patrimoniales, sobre la obra titulada: "**Evaluación del riesgo por gravedad usando Rigrav**", 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.

C. Antonio Pérez V.

César Antonio Pérez Vega

(Nombre y firma del autor)



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA

**“EVALUACIÓN DEL RIEGO POR GRAVEDAD
USANDO RIGRAV”**

**TITULACIÓN POR TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

César Antonio Pérez vega

CD. OBREGÓN, SONORA

DICIEMBRE 2013

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a toda mi familia la cual siempre ha estado conmigo apoyándome a lo largo de mi vida, brindándome cariño y confianza.

A mis padres los cuales siempre han tenido una gran confianza, me dieron amor y me han brindado todo su apoyo en todo momento en esta etapa de mi vida.

A mi abuela Belem la cual siempre ha sido uno de los pilares más importante para mí, dándome su apoyo y amor incondicional en cualquier situación en que me encuentre.

A todos ellos dedico mi trabajo ya que son los que me han convertido en la persona que soy, me enseñaron las bases más importantes, me brindaron su amor, apoyo y confianza en todo momento, y porque son lo más importante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque siempre me ha cuidado, me ha dado la vida, salud para vivir, y darme a toda la gente maravillosa que tengo a mi lado.

A mis compañeros de la carrera que me ayudaron en todas las materias y siempre me apoyaron.

Al Dr. José Luis Minjares Lugo por haber confiado en mí y por apoyarme a terminar este trabajo.

También quiero agradecer a mis amigos por haber estado siempre conmigo dándome ánimos para que lograr esta meta.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABLAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Delimitaciones	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Elaboración del proyecto de riego	6
2.1.1 Levantamiento topográfico	6
2.1.2 Levantamiento del plano de texturas	7
2.1.3 Datos complementarios para diseño	9
2.2 Pruebas de riego.....	15
2.2.1 Determinación de la velocidad de infiltración.....	15
2.2.2 Determinación de la curva de avance.....	17
2.2.3 Determinación de la curva de almacenamiento	17
2.2.4 Determinación de la curva de consumo.....	18
2.2.5 Determinación de la curva de recesión.....	19
2.2.6 Determinación de riego óptimo.....	19
CAPÍTULO III. MÉTODO.....	21
3.1 Tipo de investigación.....	21

3.2 Participantes	21
3.3 Ubicación zona de estudio	22
3.4 Instrumentos	22
3.5 Procedimiento	23
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1 Resultados	25
4.2 Discusión.....	34
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
5.1 Conclusión	35
5.2 Recomendaciones.....	36
BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad de agua en México: 2025.....	2
Figura 2. Perdidas de agua en parcela.....	3
Figura 3. Diámetro de las partículas del suelo según la clasificación de la USDA.....	7
Figura 4. Triangulo de texturas según clasificación de la USDA.....	8
Figura 5. Medidores de gasto según principio de funcionamiento.....	15
Figura 6. Representación esquemática de la fase de avance.....	17
Figura 7. Representación esquemática de la fase de almacenamiento.....	18
Figura 8. Representación esquemática de la fase de consumo.....	18
Figura 9. Representación esquemática de la fase de recesión.....	19
Figura 10. Ubicación de la zona de estudio.....	22
Figura 11. Procedimiento para el muestreo de suelos y ejemplo de un plano de texturas.....	23
Figura 12. Croquis parcela.....	26
Figura 13. Resultados de propiedades físicas del suelo por su clase textural.....	28
Figura 14. Parámetros para el diseño de riego por gravedad.....	30
Figura 15. Datos y resultados para la prueba 0.7 l.p.s./m.....	31
Figura 16. Fase avance.....	31
Figura 17. Fase almacenamiento.....	32
Figura 18. Fase consumo.....	32
Figura 19. Fase recesión.....	33

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la magnitud de la infiltración.....	16
Tabla 2. Eficiencia o cantidad de agua útil para las plantas que queda en el suelo según el método de riego.....	20
Tabla 3. Análisis de texturas, de Hornos.....	26
Tabla 4. Humedad suelo.....	27
Tabla 5. Parámetros medios de la ecuación de infiltración de Green y Ampt (1911) utilizados, para hacer el diseño de riego por gravedad, en función de la textura del suelo.....	28
Tabla 6. Parámetros de lamina aplicada, eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad y tiempo de aplicación del riego utilizando gastos unitarios.....	30

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el municipio de Cajeme ubicado al sur del estado de Sonora, exactamente en una parcela del ejido de hornos que se encuentra al norte del municipio entre la presa Álvaro Obregón y la colonia Esperanza. En esta investigación se realizó una evaluación del riego por gravedad en la mencionada parcela, es decir la selección del gasto unitario de riego, utilizando un programa de computadora llamado RIGRAV.

Para ello se consideraron varias propiedades físicas del suelo como contenido de humedad inicial, contenido de humedad a saturación, conductividad hidráulica a saturación y parámetro H_f de la función de infiltración.

Así como también datos generales de la parcela como lo son longitud de la parcela, pendiente natural en el sentido del riego, lámina de riego neto y coeficiente de rugosidad.

Con el apoyo de los departamentos de laboratorios tanto del Distrito de Riego N. 041 y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), por la realización de las pruebas de texturas y humedad respectivamente, en sus instalaciones.

El principal hallazgo es que se pudo incrementar un 20% de eficiencia para el riego por gravedad con la utilización de este programa de computadora y con ello un gran ahorro de agua en cada riego.

Por lo tanto, con un gasto de 0.7 l.p.s/m se tiene una eficiencia de riego de 90%, aplicando una lámina de riego de 15 cm, con un coeficiente de uniformidad de 99.4% y un tiempo de riego de 769 minutos.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Valle del Yaqui es una de las principales regiones agrícolas de México, se encuentra en el sur del Estado de Sonora, México, entre la Sierra Madre Occidental y el Mar de Cortés, al norte se encuentra Ciudad Obregón, y al sur limita con el Valle del río Mayo. El principal río del Estado, el río Yaqui, cruza por la zona oeste del valle.

La extensión del Valle del Yaqui es aproximadamente de 233 700 hectáreas. Gran parte del Valle se utiliza para la siembra de trigo, que es el principal cultivo de la región; pero también importantes cantidades de diversas oleaginosas, algodón y hortalizas se producen actualmente. Es reconocido como uno de los mayores productores de productos agrícolas en todo el estado de Sonora.

Este valle tan grande se abastece de agua gracias a que alrededor de 40 km aproximadamente se encuentra la presa Álvaro Obregón la cual forma parte del sistema de presas de la cuenca del río Yaqui, que tiene una capacidad de embalse de 2,989 millones de metros cúbicos, abarcando un área de embalse de 20,500 ha.

En la actualidad hay un gran problema de abastecimiento de agua en todo el país por lo cual es muy importante el cuidado del vital líquido, según estudio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) la disponibilidad de agua para el estado de Sonora en el 2025 será baja alrededor de 2 000- 5 000 m³/hab/año (Figura 1).

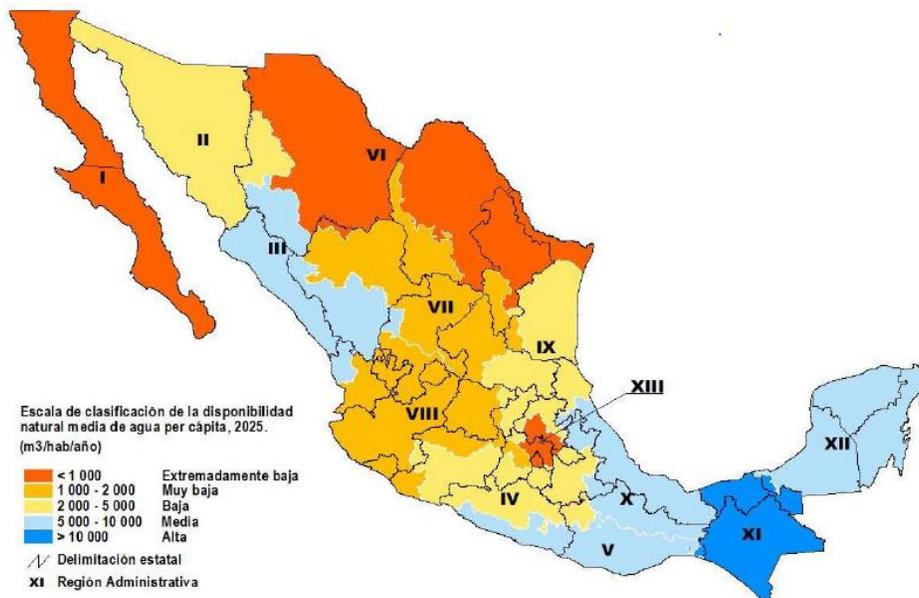


Figura 1. Disponibilidad de agua en México: 2025

Fuente: Fragoza (2010).

El Valle del Yaqui es reconocido por su gran modernidad en materia de agricultura; sin embargo, se presentan grandes desperdicios de agua en la parcela, lo cual afecta el desarrollo del cultivo, lo anterior exige buscar alternativas para eficiencia de riego y con ello suplir la falta de agua.

A causa de esto se han realizado estudios alrededor del mundo desde hace varios años como, por ejemplo, Valenzuela (1997) para la Universidad de Concepción

Chile, realizó una investigación que dio como resultado que en California la eficiencia del riego promedio es 71.0% y en el Valle Central de Chile es de 36.7%, estos resultados pueden ser tan distintos debido a la falta de tecnología y conciencia de un país a otro.

Según Minjares (comunicación personal 5 de Septiembre de 2013) en el caso del Distrito 041 del Valle del Yaqui se tiene una eficiencia global de alrededor del 48% y parcelaria de 75.4 %, por lo cual es de vital importancia el incrementar la eficiencia para cuidar este valioso recurso natural.

1.2 Planteamiento del problema

Desde hace muchos años en el Valle del Yaqui se tienen problemas de desperdicio de agua a nivel parcelario, esto es debido a la falta de conciencia de los agricultores de cuidar el agua, ante esto es de gran importancia proporcionar asistencia técnica adecuada a los agricultores. A pesar de toda la capacitación realizada y al desarrollo de la agricultura de riego en esta región, todavía hay grandes desperdicios de agua en este nivel de operación como se puede observar en la Figura 2.



Figura 2. Pérdidas de agua en parcela

Otro aspecto que avanza con mucha lentitud es la nivelación de las parcelas agrícolas, con esto se elevaría rápidamente la eficiencia de riego en parcela, por la buena distribución del líquido en toda el área parcelaria.

Por último, según Ramírez (2011) se desperdicia 947 millones de metros cúbicos en promedio anual debido a las deficiencias en la red de distribución.

Tratando de mejorar estos aspectos se podrá tener un alto aprovechamiento del vital líquido, con lo cual se incrementaría la eficiencia de riego del Valle del Yaqui.

Por lo tanto, ¿De qué manera se puede elevar la eficiencia de riego a nivel parcelario?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de riego en una parcela del Valle del Yaqui, utilizando el programa de computadora RIGRAV (riego por gravedad), considerando las características físicas del suelo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir el gasto adecuado por surco para incrementar la eficiencia.
- Identificar la longitud de surco más adecuada.

1.4 Justificación

Debido a que en los últimos años no se han presentado precipitaciones suficientes en la cuenca del Rio Yaqui, para abastecer el sistema de presas y con ello asegurar la disponibilidad de agua para el riego de los cultivos, es importante utilizar adecuadamente el agua disponible para su máximo aprovechamiento.

Incrementando la eficiencia de riego en la parcela se obtendrá un mayor aprovechamiento del agua con lo cual se podrá asegurar la siembra de cultivos y disminuir su desperdicio.

Beneficiando así a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) con la realización de estudios posteriores y pruebas de campo. E indirectamente a los agricultores del Valle del Yaqui con el ahorro de agua y mayor producción en sus cosechas.

1.5 Delimitaciones

La investigación se realizó en 8 hectáreas dentro del Ejido Los Hornos, el cual está dentro del Municipio de Cajeme.

El muestreo del estudio se llevó a cabo en los meses de agosto y septiembre de 2013, ya que el primero se obtuvo las muestras de texturas y en el segundo los datos de humedad.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Elaboración del proyecto de riego

2.1.1 Levantamiento topográfico

Los levantamientos topográficos son aquellos que por abarcar superficies reducidas pueden hacerse despreciando la curvatura de la tierra, sin error apreciable. (Montes de Oca, 2005)

Estos levantamientos tienen por objetivo marcar o localizar linderos o límites de propiedades, medir y dividir superficies, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones. Las principales operaciones son (Navarro, 2008):

- Definición de itinerario y medición de poligonales por los linderos existentes para hallar su longitud y orientación o dirección.
- División de fincas en parcelas de forma y características determinadas, operación que se conoce con el nombre de particiones.
- Cálculos de áreas, distancias y direcciones, que es en esencia los resultados de los trabajos de agrimensura.
- Representación gráfica del levantamiento mediante la confección o dibujo de planos.

2.1.2 Levantamiento del plano de texturas

Se puede definir como textura a la proporción (en porcentaje de peso) de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los suelos. (Gisbert, Ibáñez, Moreno, s.f.).

Las partículas minerales del suelo pueden clasificarse de acuerdo a su tamaño según la Figura 3.

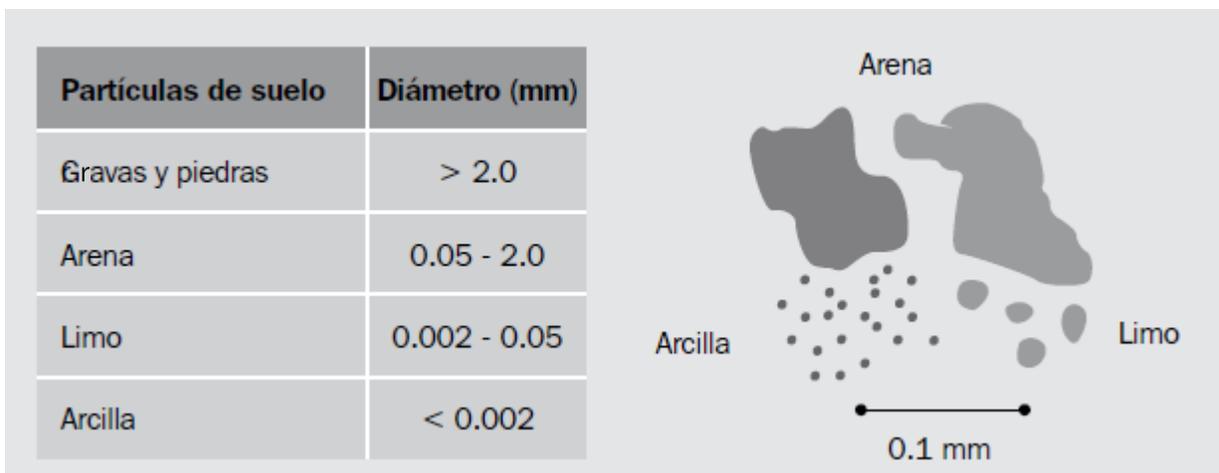


Figura 3. Diámetro de las partículas del suelo según la clasificación USDA.

Fuente: Hillel (1980), citado por Carrazón et al (2007).

La proporción de partículas de arena, limo y arcilla en el suelo definen la textura del mismo, la cual se clasifican según el triángulo textural (Figura 4). Las partículas mayores de 2 mm no son tomadas en cuenta para la determinación de la textura.

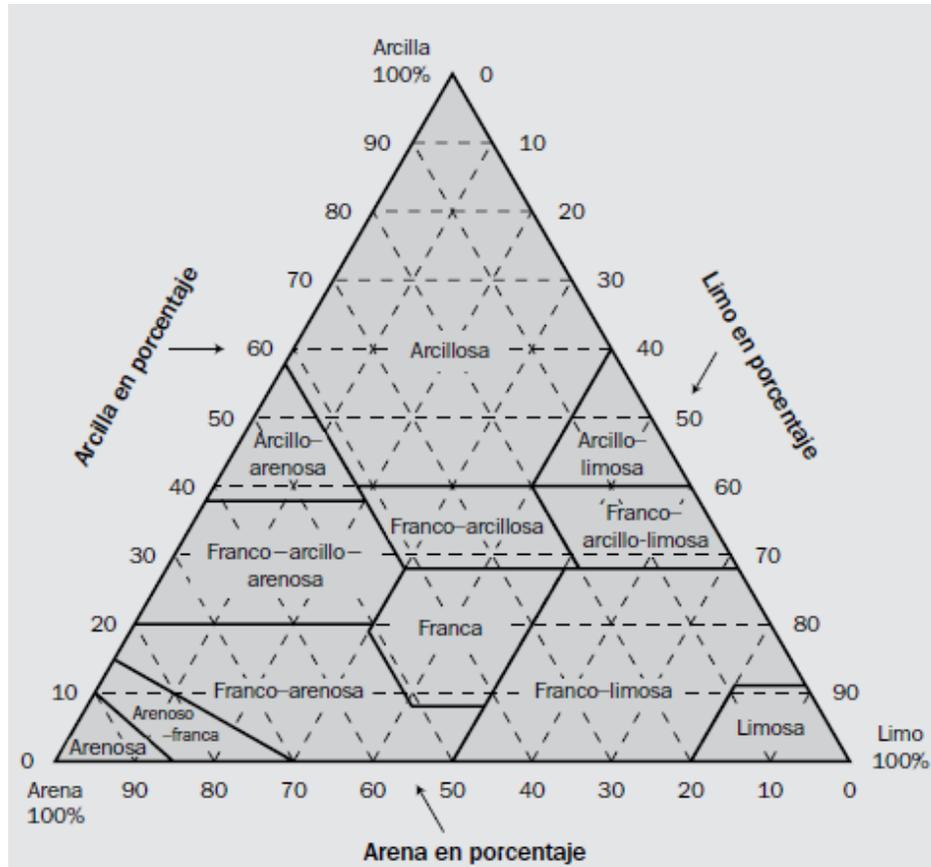


Figura 4. Triángulo de texturas según la clasificación USDA.

Fuente: Hillel (1980), citado por Carrazón et al (2007).

En función de su textura, los suelos se dividen en los siguientes tipos básicos (Carrazón, 2007):

- Los suelos arenosos (también llamados ligeros o de textura gruesa) carecen de propiedades coloidales y de reservas de nutrientes, presentan mala estructura, buena aireación, muy alta permeabilidad y nula retención de agua.
- Los suelos arcillosos (también llamados pesados o de textura fina) son muy activos desde el punto de vista químico, adsorben iones y moléculas, ricos en nutrientes, retienen mucha agua, bien estructurados, pero son impermeables.

- Los suelos limosos no tienen estructura, sin propiedades coloidales, son impermeables y con mala aireación.
- Los suelos francos (suelos medios) contienen una mezcla de arena, limo y arcilla en tales proporciones que exhiben las propiedades de las tres fracciones de modo equilibrado (son las propiedades las que están equilibradas, no las proporciones, ya que de hecho los suelos francos suelen tener en torno a un 20% de arcilla, un 40% de arena, y un 40% de limo).

La determinación de la textura de un suelo se realiza mediante un análisis de granulometría en laboratorio, por el procedimiento de Bouyoucos y realiza a través del método AS-09, según Norma Oficial Mexicana, NOM-023-RECNAT-2001. No obstante, puede obtenerse una aproximación satisfactoria. En general debe considerarse como una estimación y el procedimiento consiste en tomar entre los dedos una pequeña fracción de suelo, humedecerlo y frotarlo o moldearlo. De acuerdo a la sensación o forma, se establece la clase textural, (Carrazón, 2007).

2.1.3 Datos complementarios para diseño

Cultivo que se va a implementar:

El maíz es un cultivo muy remoto de unos 7000 años de antigüedad, nativo de las zonas de México y América central. Hoy en día su cultivo está muy diseminado por todo el resto de países y en especial en toda Europa y Estados Unidos donde ocupa una posición muy elevada por su alta concentración en el cultivo de maíz. Su origen no está muy claro pero se considera que pertenece a un cultivo de la zona de México, pues sus hallazgos más antiguos se encontraron allí (infoagro.com).

Las características del maíz, cultivo en el que se llevará a cabo este proyecto, son los siguientes (infoagro.com):

Hojas

Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes.

Raíces

Las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias.

Desarrollo vegetativo del maíz

Desde que se siembran las semillas hasta la aparición de los primeros brotes, transcurre un tiempo de 8 a 10 días, donde se ve muy reflejado el continuo y rápido crecimiento de la plántula.

Exigencia de clima

El maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C. Requiere bastante incidencia de luz solar y en aquellos climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación de la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C. El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C y a partir de los 30°C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes minerales y agua. Para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32°C.

Exigencias en suelo

El maíz se adapta muy bien a todos tipos de suelo pero suelos con pH entre 6 a 7 son a los que mejor se adaptan. También requieren suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular.

Necesidades de agua del maíz

Evapotranspiración

Se entiende por evapotranspiración la cantidad de agua que se pierde por evaporación de la superficie del suelo y por la transpiración de la planta en un determinado cultivo o cubierta vegetal. La evapotranspiración de un cultivo depende de factores intrínsecos de la planta como la especie, variedad, etapa de la planta, también depende de factores externos como algunas prácticas agrícolas. A medida que avanza el desarrollo del cultivo la cubierta vegetal se va haciendo más espesa por lo que cambia la tasa de transpiración y también la cantidad de agua que se evapora del suelo, ya que este queda menos expuesto a la evaporación del suelo. La medida de la evapotranspiración de los cultivos sirve para evaluar sus necesidades hídricas (Curt, citado por Ortiz 2009). El maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm al día. Los riegos pueden realizarse por aspersión y por gravedad.

Método de riego

Riego por gravedad

El agua se aplica directamente a la superficie del suelo, ya sea por inundación total controlada por bordos o a través de surcos donde la inundación es parcial.

El riego por surcos con pendiente son canales que tienen una pendiente continua casi uniforme en la dirección del riego. Se establecen entre cada dos líneas de plantas salvo el caso de siembras hechas en camellones, en el que se encuentran a los lados de cada par de dos líneas de siembra.

El agua que escurre por los surcos tiene que cubrir dos propósitos, penetrar en el suelo y difundirse lateralmente para regar las áreas comprendidas entre ellos. La separación de los surcos generalmente varía de 0.60 a 1.80 m y su profundidad de

0.15 a 0.40 m; su longitud varia de los 50 hasta 400m dependiendo de la textura del suelo, (De la Peña y Llerena, 2001).

Pruebas de riego

Para el caso de los métodos por gravedad, su diseño requiere que después de haber elaborado el proyecto de riego se disponga de una cierta información básica complementaria, la cual se obtiene a través de pruebas de riego que se realizan en campo. Estas pruebas son trabajos de tipo experimental que se desarrollan en áreas representativas de cada tipo de suelo de una región, en donde se efectúan determinaciones para la obtención de los parámetros requeridos y necesarios a calcular para el diseño del riego, (De la Peña y Llerena, 2001).

Estos parámetros son los siguientes:

- El tiempo que debe permanecer el agua de riego sobre el terreno para reponer la humedad en un determinado espesor.
- La longitud más adecuada de los surcos, melgas o bolsas de agua.
- El caudal o gasto de agua que deberá aplicarse por surco, por melga o bolsa de agua.
- Una evaluación de la penetración del agua en el espesor de suelo que se humedece.

Ancho de los implementos agrícolas

Las anchura de los surcos se dimensionan de tal manera que los implementos agrícolas no pisen y destruyan los cultivos o surcos y también para que el corte de las cuchillas abarquen franjas de cultivos completas, (De la Peña y Llerena, 2001).

Para el caso del maíz la distancia entre surco es de 80 cm, esto es debido a que con esa distancia de separación se puede a trabajar de una manera segura sin afectar o aplastar la planta.

Calendario de riego

El calendario de riego, será útil para indicar los siguientes puntos más importantes:

- 1.- Número de riegos por aplicar al cultivo.
- 2.- Intervalos entre riegos.
- 3.- Láminas de requerimiento de riego.
- 4.- Láminas netas de riego.

Métodos para determinar el calendario de riego.

Básicamente existen dos métodos para determinar cuándo regar mediante un calendario de riego, estos son:

- Método gráfico.

Para determinar las fechas de riego y el número de riegos, este método resulta útil cuando no se dispone de herramientas de cálculo. En general, es un método muy aproximado.

- Método analítico.

La base fundamental de este método 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.

Los datos mínimos requeridos para determinar las fechas de un calendario de riego por éste método son: del cultivo; la evapotranspiración mensual y el ciclo vegetativo, y del suelo; la capacidad de campo (C.C.), punto de marchitamiento permanente (P.M.P.), densidad aparente (D_a) y profundidad radicular (Pr), (Cisneros, 2003).

Estructura medidora

Con la finalidad de llevar a cabo un control o medición más preciso de los volúmenes de agua que se entregan a nivel parcela, así como aplicar de manera eficiente las láminas programadas en cada riego, es necesario contar con una estructura aforadora acorde a las condiciones hidráulicas y topografías del canal de entrada, (De la Peña y Llerena, 2001).

Para determinar el gasto, Q , del agua en un sistema hidráulico, se puede medir directamente el volumen, en un recipiente y el tiempo, con un cronómetro, o bien indirectamente a través de la velocidad del agua o mediante la presión, (Ochoa, s.f.).

Existe una gran variedad de medidores de gasto. Una posibilidad es agruparlos por el tipo de funcionamiento, como se muestra en la Figura 5.

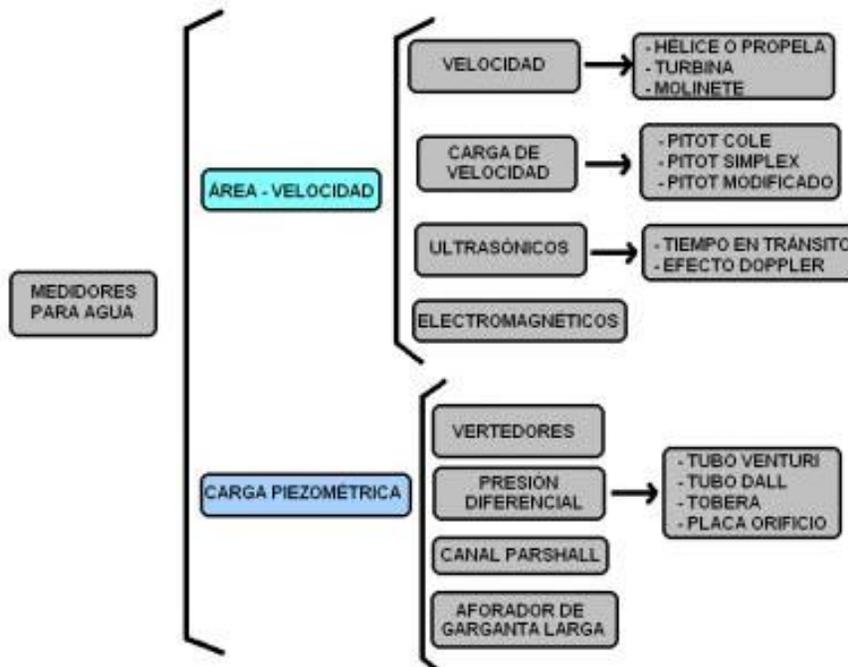


Figura 5. Medidores de gasto según principio de funcionamiento.

Fuente: Ochoa (s.f.).

2.2 Pruebas de riego

2.2.1 Determinación de la velocidad de infiltración

La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo del agua de riego en los suelos. Se refiere a la velocidad de entrada del agua en el suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm/hr o cm/min.

La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo y disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él, (Cisneros, 2003).

Ortiz y Ortiz, (citado por Cisneros, 2003), mencionan que los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración son:

1. Textura. Los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. En un suelo arenoso se favorece la infiltración.
2. Estructura. Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltraciones más altas.
3. Cantidad de materia orgánica. Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
4. Profundidad del suelo a una capa endurecida “hardpan”, lecho rocoso u otras capas impermeables influyen en la infiltración. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
5. Cantidad de agua en el suelo. En general un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.
6. Temperatura del suelo. Los suelos calientes permiten mayor infiltración del agua que los suelos fríos.
7. Cantidad de organismos vivos. A mayor actividad microbológica en los suelos habrá una mayor infiltración. Un caso típico es la elaboración de pequeños túneles por las lombrices, los cuales favorecen la infiltración y la penetración de las raíces así como la aireación.

Dependiendo de las características de la parcela se obtendrá el tipo de infiltración que presenta como se muestra en la Tabla1.

Tabla 1. Clasificación de la magnitud de la infiltración.

CLASIFICACIÓN	MAGNITUD (cm/hr)	CARACTERÍSTICAS
MUY LENTA	< 0.25	Suelos con un alto contenido de arcilla.
LENTA	0.25 - 1.75	Suelos con alto contenido de arcilla, bajo en materia orgánica o suelos delgados.
MEDIA	1.75 - 2.50	Suelos migajones arenosos o migajones limosos.
RAPIDA	> 2.50	Suelos arenosos o migajones limosos profundos y de buena agregación.

Fuente: Cisneros (2003).

La determinación de la infiltración puede efectuarse en el campo, o siguiendo algunos de los métodos de laboratorio sobre muestras alteradas y/o inalteradas.

Dentro de los métodos de campo existentes, uno de los más comunes por su facilidad es el método del infiltrómetro de doble cilindro. Otro método es el método de entradas y salidas (en surcos), (Cisneros, 2003).

2.2.2 Determinación de la curva de avance

Fase de avance inicia cuando se introduce el agua para riego en la cabecera superior del surco o melga y termina cuando el frente de avance alcanza el extremo inferior del mismo (Figura 6).

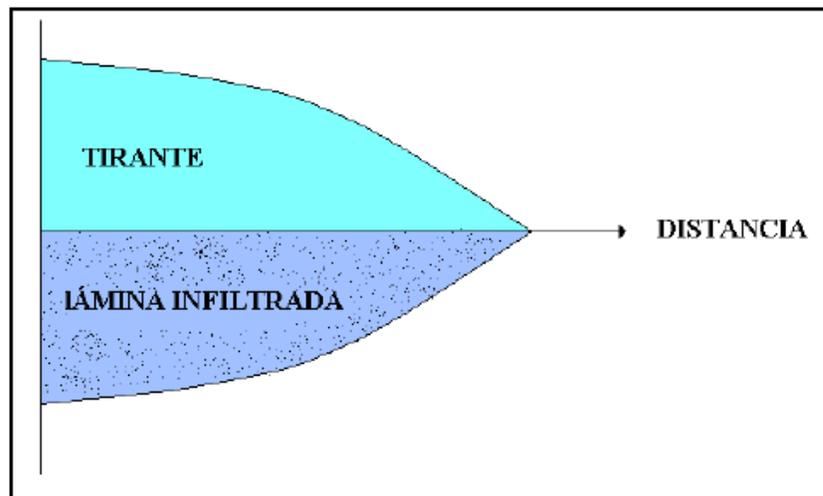


Figura 6. Representación esquemática de la fase de avance.

Fuente: Ángeles y Arista (s.f.)

2.2.3 Determinación de la curva de almacenamiento

Fase de almacenamiento inicia cuando el agua llega al final del surco o melga y concluye cuando en la cabecera superior se corta el suministro de agua (Figura 7).

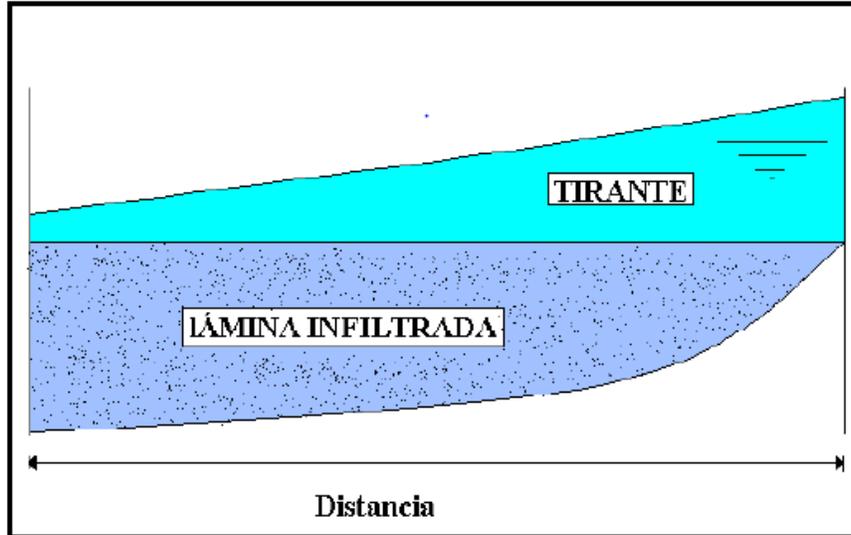


Figura 7. Representación esquemática de la fase de almacenamiento.

Fuente: Ángeles y Arista (s.f.)

2.2.4 Determinación de la curva de consumo

Fase de consumo es el tiempo que transcurre entre el corte de la aplicación del riego y la desaparición del tirante de agua en el inicio del surco o de la melga (Figura 8).

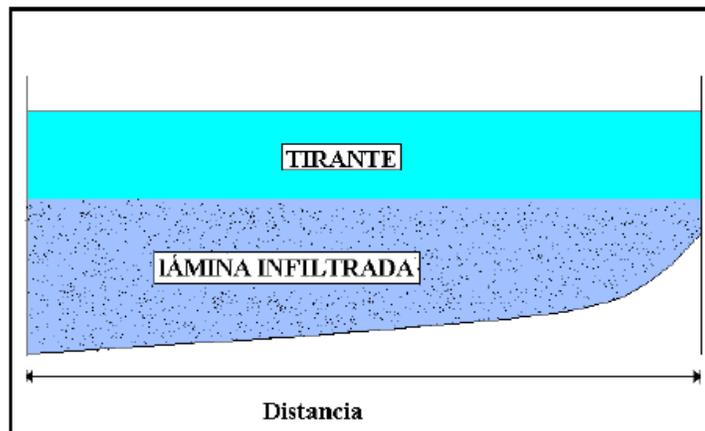


Figura 8. Representación esquemática de la fase de consumo.

Fuente: Ángeles y Arista (s.f.)

2.2.5 Determinación de la curva de recesión

Fase de recesión inicia a partir de que el tirante de agua desaparece en el inicio del surco o melga y termina cuando el tirante de agua desaparece de la superficie del surco o melga (Figura 9).

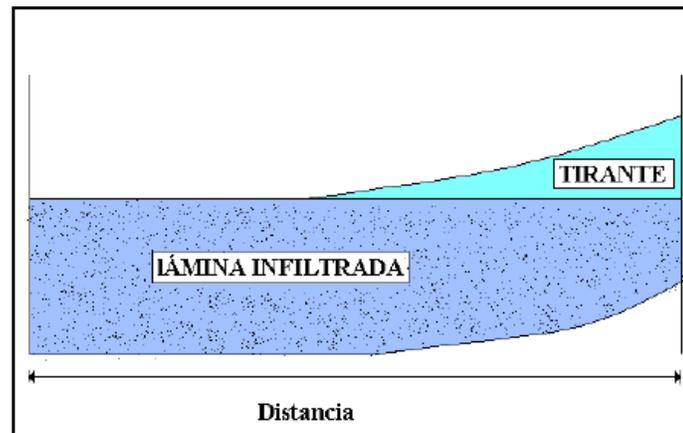


Figura 9. Representación esquemática de la fase de recesión.

Fuente: Ángeles y Arista (s.f.)

2.2.6 Determinación de riego óptimo

Según Varas y Sandoval (1991) la eficiencia de riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. Generalmente se mide en porcentaje o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados. La eficiencia la determina en gran medida el método de riego utilizado cuyos valores se presentan en el Tabla 2.

Tabla 2. Eficiencia o cantidad de agua útil para las plantas que queda en el suelo según el método de riego

Método de riego	Agua útil para el cultivo Litros por cada 100 litros aplicados
Riego tendido	20 a 30
Riego por surco	40 a 70
Riego por platabandas	50 a 60
Riego por aspersión	65 a 80
Riego por goteo	90 a 95

Fuente: Varas y Sandoval (1991)

Las cantidades que se señalan sirven como información general, ya que se puede usar un riego tecnificado como riego por surcos, pero emplear mucho tiempo de riego con lo que se producirá una excesiva percolación profunda o escurrimiento superficial, bajando la eficiencia.

Mejorar la eficiencia de riego es regar mejor y significa:

- Mantener la zona de raíces de los cultivos sin excesos ni falta de agua.
- Evitar inundaciones en los sectores más bajos del potrero, con lo que se evitan las enfermedades del cuello de las plantas.
- Disminuir los problemas de drenaje.
- Aumentar los rendimientos de los cultivos.
- Regar más superficie con la misma agua que llega al predio.

CAPÍTULO III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo cuantitativa ya que en ella se obtendrá un porcentaje de eficiencia de lo teórico a lo real, será del tipo no experimental, transversal ya que se tomara un tiempo de análisis de septiembre a diciembre de 2013, (Hernández et al, 2006).

3.2 Participantes

En este proyecto de investigación participaron:

- Departamento de laboratorios de suelos del Distrito de Riego N. 041, por la facilitación para la realización de las pruebas de texturas en sus instalaciones.

- Departamento de laboratorios de suelos de CONAGUA, por la facilitación de material y equipo para la realización de las pruebas de humedad de suelo en sus instalaciones.

3.3 Ubicación zona de estudio

En la figura 10 se muestra la ubicación de la zona de estudio con algunas referencias.

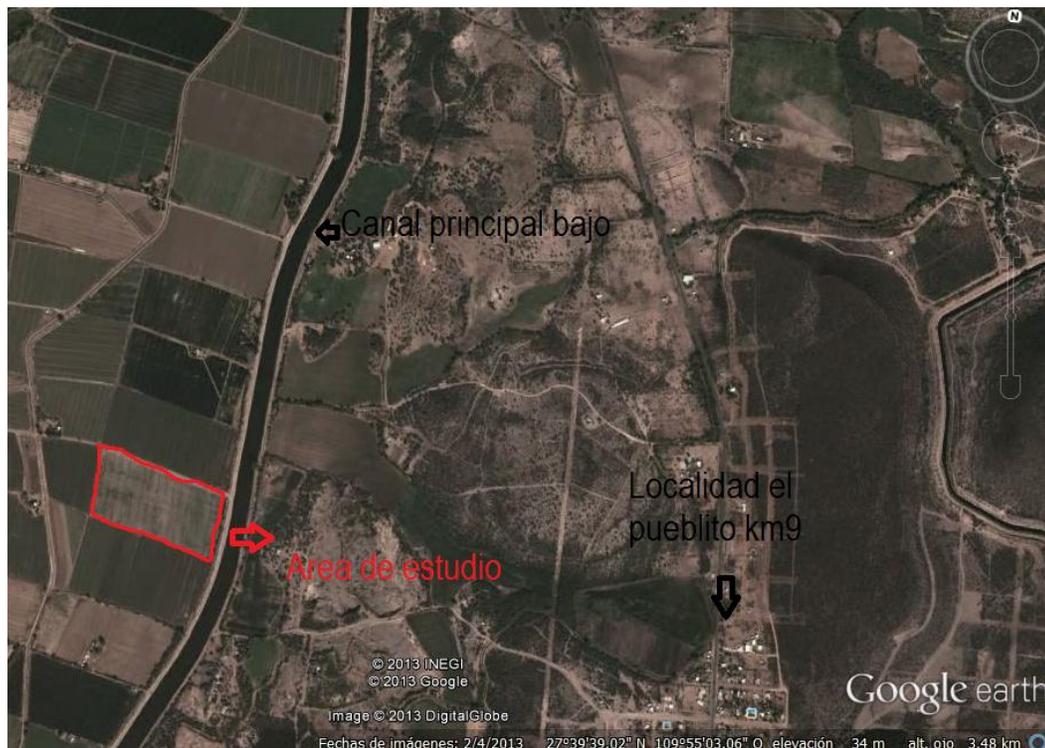


Figura 10. Ubicación zona de estudio

3.4 Instrumentos

Para esta investigación se utilizaron varios instrumentos y a continuación se describe los usados para cada actividad.

Muestreo de suelos:

- Pala de hierro.
- 4 bolsas de plástico.

Muestreo de humedad:

- Barrena para muestreo de humedad.
- 6 frascos de vidrio con tapa.
- Cinta métrica.

Determinación del gasto óptimo:

- RiGrav (programa de computadora).

3.5 Procedimiento

La investigación se inició con la toma de muestras para la determinación del tipo de suelo presente en el campo de estudio, para ella se recolectaron 4 muestras de tierra, a profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm aproximadamente de 1 kg cada una de dos lugares en las 8 hectáreas analizadas, tomando las muestra caminando en zing-zag como muestra la Figura 11 (caso 2), para su análisis posterior se procede a llevar a un laboratorio se suelos del Distrito de Riego de Rio Yaqui. La textura del suelo fue determinada por el método del hidrómetro de Bouyoucos (Anexo 1).

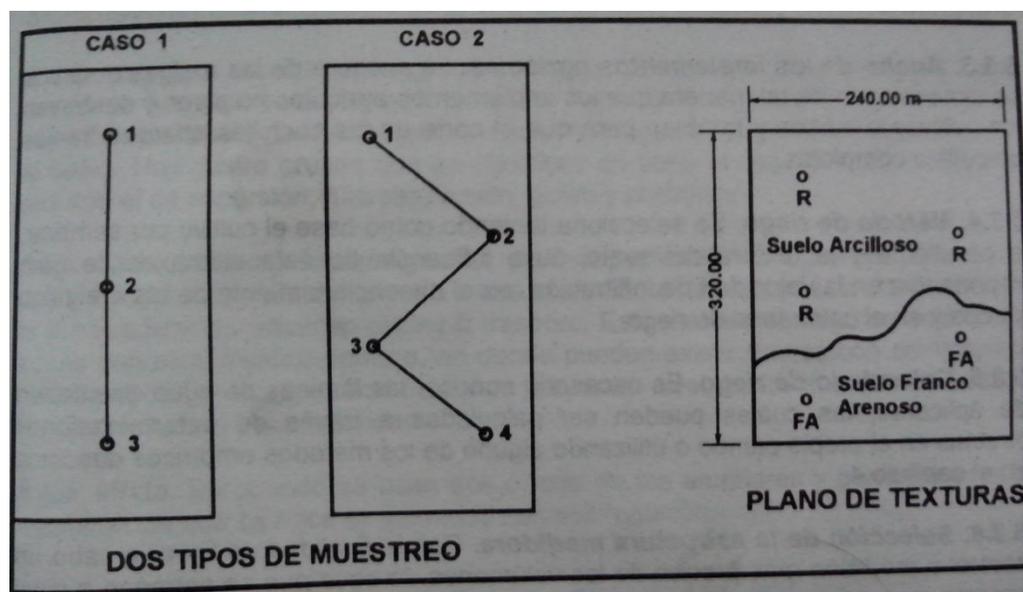


Figura 11. Procedimientos para el muestreo de suelos y ejemplo de un plano de texturas.

Fuente: De la Peña y Llerena (2001)

La determinación de humedad del suelo se obtuvo por el método directo o gravimétrico, el cual consiste sacando una muestra de suelo inalterada con la barrena de la cual se toman aproximadamente unos 200 gr de suelos y se guardan en los frascos de vidrio para su transporte al laboratorio para el secado del mismo durante 24 horas en un horno a 110 °C pesando al muestra antes y después del secado. Obteniendo el contenido de humedad con la siguiente fórmula:

$$PS = \frac{PSH - PSS}{PSS} * 100$$

Dónde:

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.

Una vez recolectados todos los datos necesarios, se procede a introducirlos al programa de computadora RIGRAV para realizar los cálculos de las fases de riego.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Características de la parcela

La parcela en la cual se trabajó está ubicada en el Ejido Los Hornos, Municipio de Cajeme Son. Las dimensiones son 400m por 200m con un área de 8 hectáreas, se dividió en 15 melgas de 25 metros de ancho, las cuales se trazaron surcos a cada 80 cm. El sentido del riego es a los 200 m con una pendiente de 0.1 %. En la Figura 12 se detalla la ubicación así como las colindancias, accesos, canales, etc.

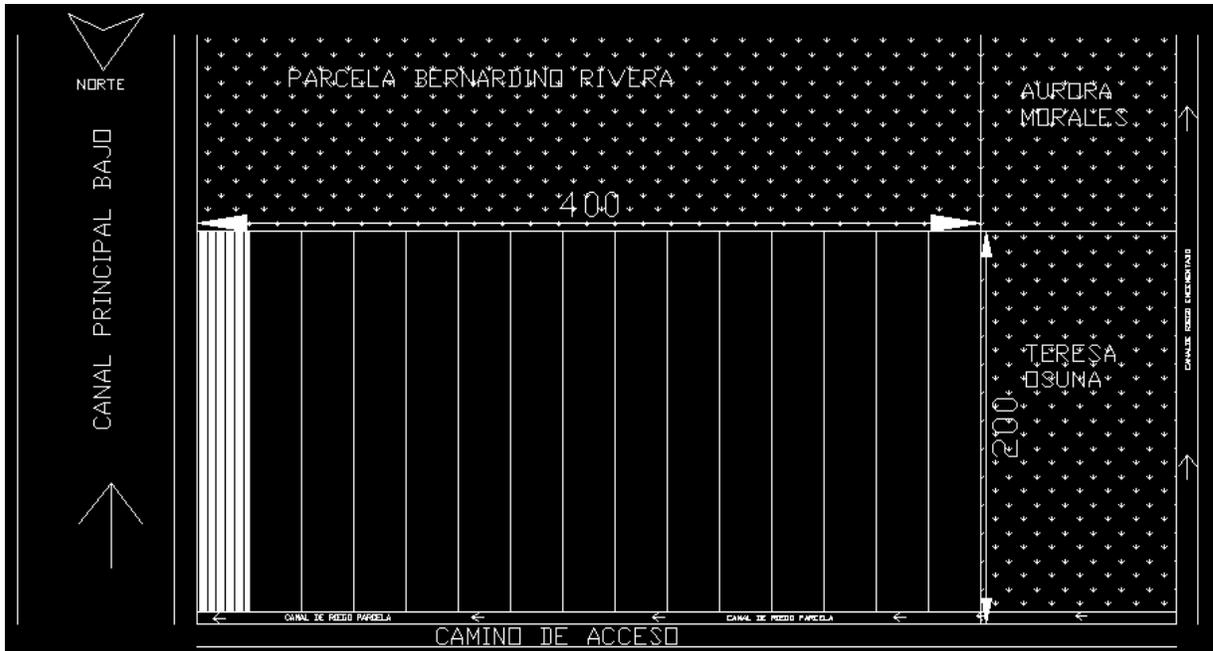


Figura 12. Croquis parcela

Texturas

Se tomaron cuatro muestras de tierra para determinar la textura del sitio las cuales fueron llevadas al laboratorio de suelos del Distrito de Riego del Río Yaqui. Dichas muestras dieron como resultado un suelo Franco Limoso Arcilloso que es típico de la zona de estudio. En la Tabla 3 se muestra los resultados de las pruebas.

Tabla 3. Análisis de texturas de suelos, de Hornos

No. muestra	Prof.	Porcentajes			Clase textural
		Arena	Acilla	Limo	
M1	0-30 CM	3.52	35.40	61.08	Franco limoso arcilloso
M2	30-60 CM	6.16	39.40	54.44	Franco limoso arcilloso
M3	0-30 CM	19.88	31.76	48.36	Franco limoso arcilloso
M4	30-60 CM	21.52	30.76	47.72	Franco Arcilloso

Prueba de humedad en parcela

Con las cuatro muestras extraídas en campo se tomó el porcentaje de humedad inicial el cual fue de 11%, el cual se utilizó como dato de entrada para correr el programa RiGrav. En la Tabla 4 se muestran los resultados de la prueba realizada a dicho suelo.

Tabla 4. Humedad suelo

Número de muestra	Peso del recipiente	Peso del suelo húmedo más recipiente	Peso del suelo húmedo más recipiente	Porcentaje de Humedad
	(gr)	(gr)	(gr)	(%)
1	99.3	236.9	214.2	10.59
2	107.9	244.5	220.2	11.03
3	100.1	244.4	220.8	10.68
4	98.7	245.4	218.6	12.25
			Promedio	11.14

Prueba RIGRAV

Para correr el modelo RiGrav, primeramente se calcular los valores de contenido de humedad a saturación, conductividad hidráulica a saturación y parámetro h_f de la función de infiltración de Green y Ampt. Para ello, con los resultados de texturas, se procedió a obtener estos parámetros introduciendo los valores obtenidos en la prueba de texturas en el triángulo de texturas que se encuentra en la página de internet *pedosphere.com* como se muestra en la Figura 13.

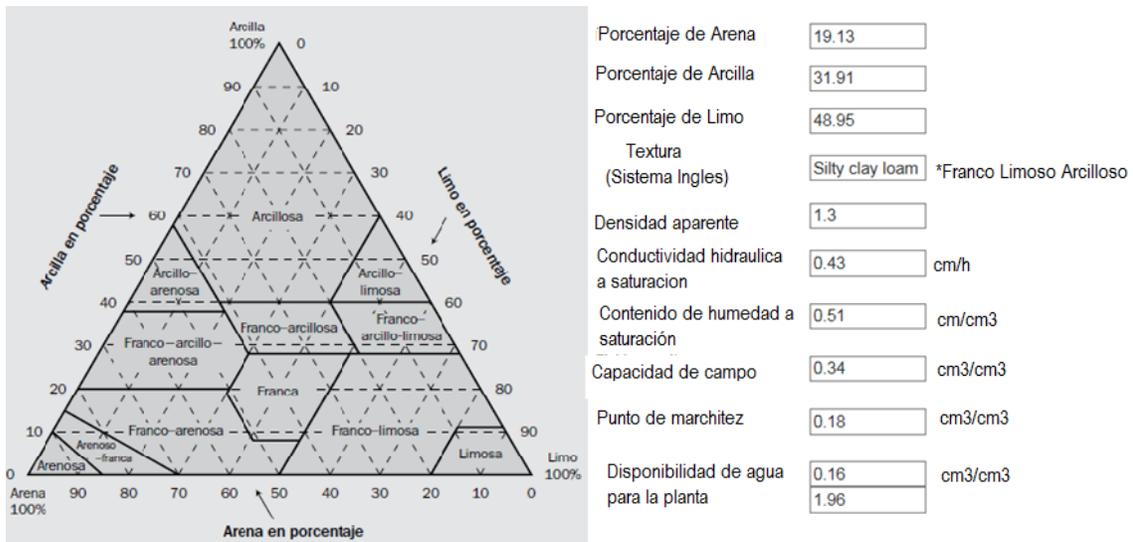


Figura 13. Resultados de propiedades físicas del suelo por su clase textural.

Fuente: pedosphere.com

En Figura 13, se presentan valores para el contenido de humedad a saturación y conductividad hidráulica a saturación, los cuales son $0.51 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 0.43 cm/h respectivamente.

El parámetro h_f de la función de infiltración, se obtuvo por medio de la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros medios de la ecuación de infiltración de Green y Ampt (1911) utilizados para hacer el diseño del riego por gravedad, en función de la textura del suelo.

Textura del suelo	Parámetros			
	θ_0 (cm ³ /cm ³)	θ_s (cm ³ /cm ³)	h_f (cm)	K_s (cm/h)
Arcilla	0.36	0.49	140.26	0.05
Arcilla limosa	0.32	0.48	100.16	0.05
Franco arcillo limoso	0.26	0.49	60.12	0.15
Franco arcilloso	0.25	0.48	36.00	0.4
Arcilla arenosa	0.25	0.42	25.72	0.5
Limo	0.14	0.50	30.52	0.8
Franco	0.20	0.46	20.04	1.5
Franco limoso	0.17	0.55	30.07	1.0
Franco arcillo arenoso	0.18	0.42	35.61	2.0
Franco arenoso	0.16	0.46	10.00	2.9

Con los datos obtenidos de campo y laboratorio, se seleccionó el gasto unitario de riego, utilizando el RIGRAV.

A continuación se describen los datos con los cuales se trabajó:

- Propiedades físicas del suelo:

Contenido de humedad inicial: 0.11 cm³/cm³

Contenido de humedad a saturación: 0.51 cm³/cm³

Conductividad hidráulica a saturación: 0.43 cm/h

Parámetro h_f de la función de infiltración: 35.61 cm

- Datos generales:

Longitud de la parcela: 194 m

Pendiente en el sentido del riego: 0.1 %

Lámina de riego neta: 15 cm

Coefficiente de rugosidad: 0.0375 s/m^{1/3}

En la Figura 14 se muestra la manera en la cual se introdujeron los datos al programa para posteriormente trabajar con ellos.

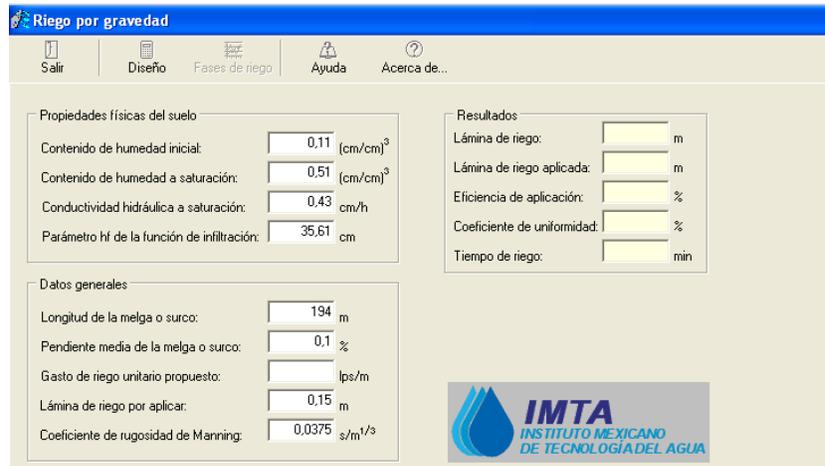


Figura 14. Parámetros para el diseño de riego por gravedad

Con los datos anteriores, se corrió el modelo RiGrav, variando el gasto unitario aplicado y comparando los parámetros de evaluación obtenidos. La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos después de hacer varias corridas con los datos anteriores y con diferentes gastos unitarios de riego.

Tabla 6. Parámetros de lámina aplicada, eficiencia de aplicación, coeficiente de uniformidad y tiempo de aplicación del riego utilizando diferentes gastos unitarios.

Gasto unitario	Lamina de riego	Lamina de riego aplicada	Eficiencia de aplicación	Coeficiente de uniformidad	Tiempo de riego
(lps/m)	(m)	(m)	(%)	(%)	(min)
0.7	0.15	0.1671	90.0	99.4	769.8
0.8	0.15	0.1763	90.0	91.0	673.6
1	0.15	0.1829	87.0	85.6	538.9
1.2	0.15	0.1849	84.8	82.9	449.1
1.4	0.15	0.1855	83.7	80.9	384.9
1.6	0.15	0.1868	82.6	79.9	336.8
1.8	0.15	0.1872	81.8	78.8	299.4
2	0.15	0.186	81.8	78.1	269.4
2.2	0.15	0.185	81.6	76.9	244.9
2.4	0.15	0.1866	81.0	76.8	224.5
2.5	0.15	0.1862	80.9	76.4	215.6

De acuerdo con la tabla anterior, con el gasto unitario de 0.7 l.p.s/m se obtuvo una eficiencia del 90 % así como un coeficiente de uniformidad del 99.4 % casi perfecta, esto quiere decir que nuestro cultivo se regaría de una manera muy uniforme. Con un gasto unitario de 0.8 l.p.s/m, se obtuvo también una eficiencia del 90%, sin embargo el coeficiente de uniformidad bajó a 91%, el cual se considera todavía muy bueno.

De la figura 15 a la 19, se muestran los datos obtenidos de las fases de riego para el caso del gasto unitario de 0.7 l.p.s/m.

The screenshot shows the 'Riego por gravedad' software interface. It features a navigation menu at the top with options: Salir, Diseño, Fases de riego, Ayuda, and Acerca de... The main area is divided into three sections: 'Propiedades físicas del suelo', 'Datos generales', and 'Resultados'. Each section contains input fields with numerical values and units.

Section	Parameter	Value	Unit
Propiedades físicas del suelo	Contenido de humedad inicial:	0.11	(cm/cm) ³
	Contenido de humedad a saturación:	0.51	(cm/cm) ³
	Conductividad hidráulica a saturación:	0.43	cm/h
	Parámetro hf de la función de infiltración:	35.61	cm
Datos generales	Longitud de la melga o surco:	194	m
	Pendiente media de la melga o surco:	0.1	%
	Gasto de riego unitario propuesto:	0.7	lps/m
	Lámina de riego por aplicar:	0.15	m
	Coefficiente de rugosidad de Manning:	0.0375	s/m ^{1/3}
Resultados	Lámina de riego:	0.15	m
	Lámina de riego aplicada:	0.1671	m
	Eficiencia de aplicación:	90	%
	Coefficiente de uniformidad:	99.4	%
Tiempo de riego:		769.8	min

The IMTA logo (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) is visible in the bottom right corner of the software interface.

Figura 15. Datos y resultados para la prueba de 07 l.p.s./m

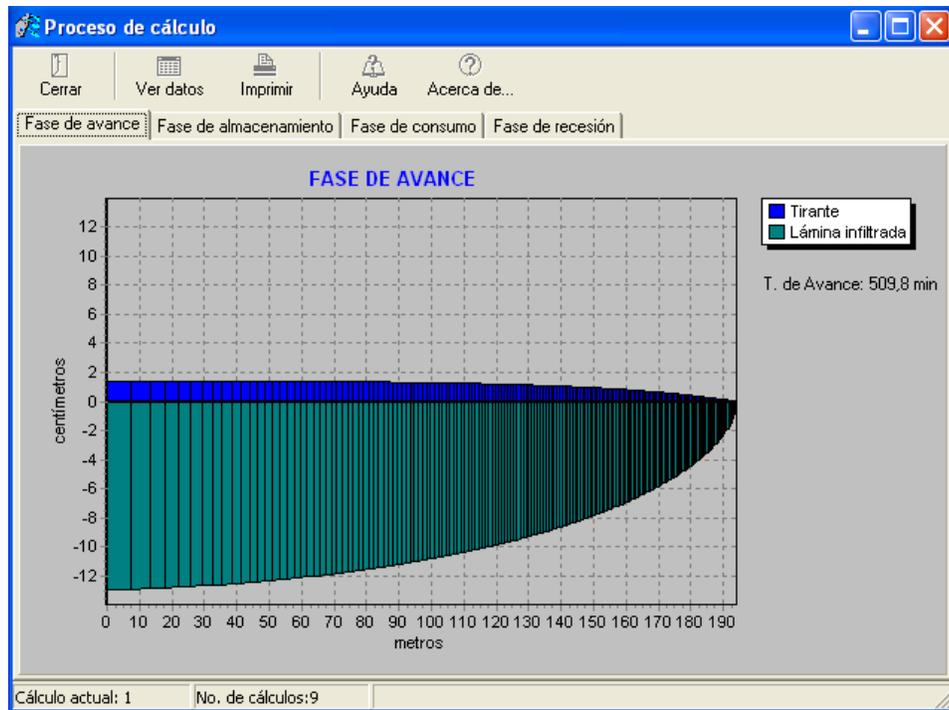


Figura 16. Fase de avance

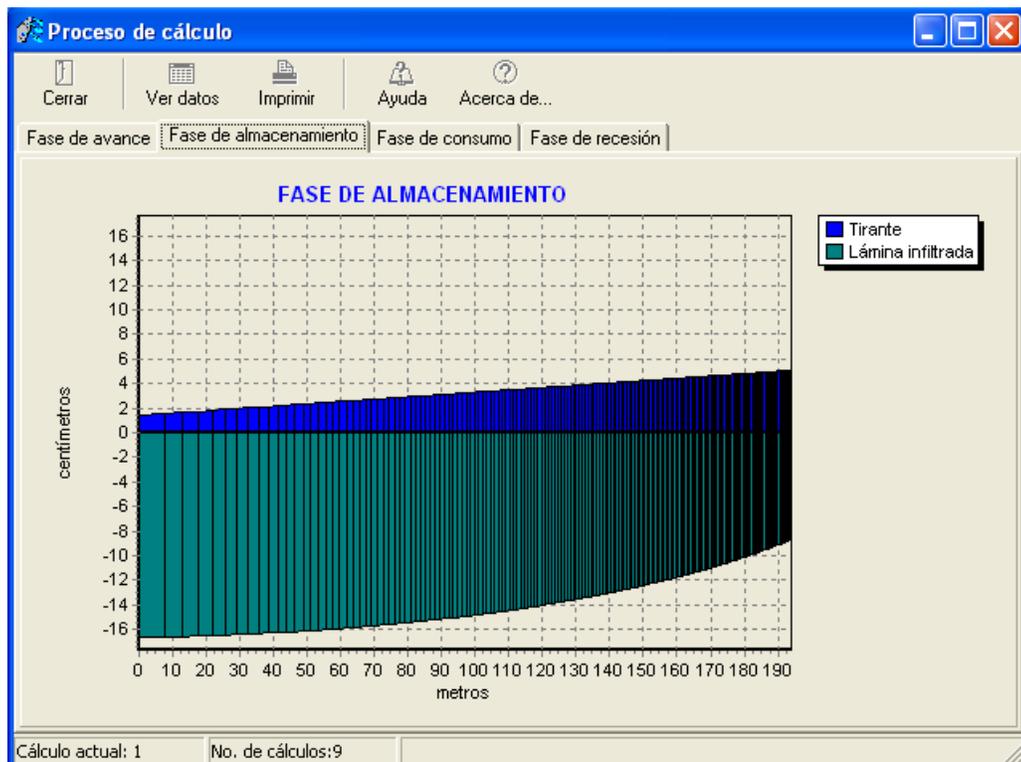


Figura 17. Fase de almacenamiento

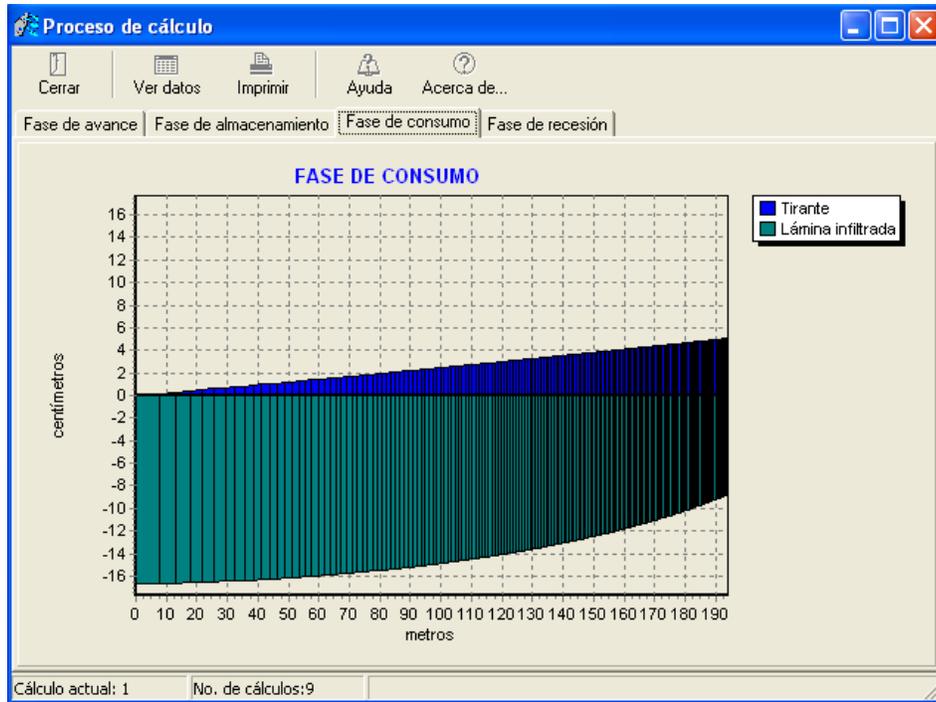


Figura 18. Fase de consumo

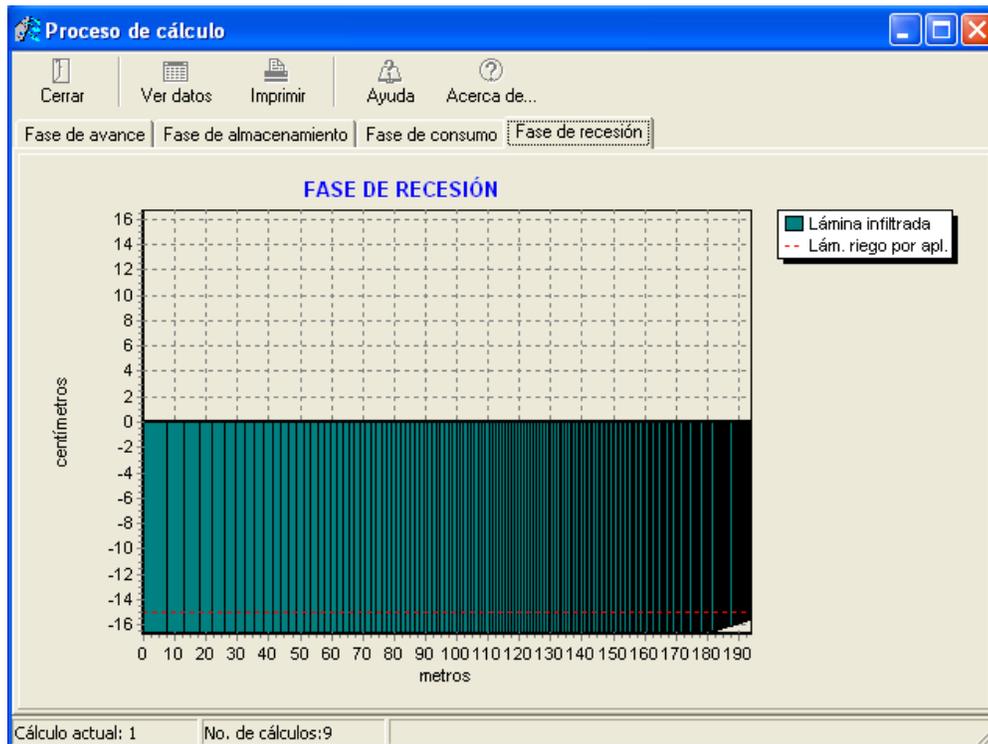


Figura 19. Fase de recesión

4.2 Discusión

Cisneros (2003), menciona que para una pendiente que va desde 0.0 a 0.5 % la eficiencia de riego en surcos es de 70%, mientras que en esta investigación realizada en una parcela con una superficie de 8 hectáreas y una pendiente de 0.1 % se obtuvo una eficiencia de 90 % con el gasto unitario de 0.7 l.p.s/m, lo cual supera en un 20% más la eficiencia antes mencionada.

En la Tabla 6 se puede apreciar que la mayor eficiencia es del 90% con un gasto de 0.7 lps/m y para el caso de un gasto de 1.4 l.p.s./m se obtuvo una eficiencia del 83.7 %, pero la diferencia de tiempo de riego entre estos dos es considerable, ya que para el primero se obtuvo un tiempo de riego de 769.8 min y para el segundo un tiempo de riego de 384.9 min.

Por lo tanto, con una eficiencia del 70%, se ocuparía un volumen de agua de 17,142.85 m³ para el riego de la parcela con superficie de 8 hectáreas, por otra parte con 90% de eficiencia se requeriría de 13,333.33 m³ una cantidad mucho menor, por lo que al incrementar la eficiencia de riego en la parcela de un 70% a un 90% se ahorrara un volumen de 3,809.51 m³ del vital líquido.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusión

En esta investigación se evaluó la eficiencia del riego por gravedad usando el software RiGrav, en una parcela perteneciente al Valle del Yaqui, Ejido de Hornos, Cajeme, Sonora de una manera satisfactoria obteniendo un resultado máximo de 90% de eficiencia de riego por gravedad, con un gasto unitario de 0.7 l.p.s./m. Así mismo, se obtuvieron los parámetros de lámina aplicada, coeficiente de uniformidad y tiempo de riego. Y la lámina de riego aplicada para obtener dicha eficiencia fue de 15 cm.

Para el caso del coeficiente de uniformidad se obtuvo un valor de 99.4 % el cual es casi perfecto, garantizando que las plantas se regaran de manera uniforme a lo largo

del surco o melga, e igualmente ayuda mejorar el buen desarrollo de la planta a lo largo de sus etapas.

Por último, el tiempo de riego es de 769.8 minutos, esto indica el tiempo estimado en el que se debe aplicar el gasto, el tiempo que se necesita para que la lámina neta se infiltre, más el tiempo necesario para que el gasto de riego alcance el extremo final del surco que se está regando.

Aumentando de un 70% que es la eficiencia promedio de riego por surcos a un 90%.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda llevar a cabo muestreos de suelos en el Valle del Yaqui para las zonas con menor eficiencia de riego a nivel parcelario, para determinar su textura, así como contenido de humedad, con estos dos pruebas de laboratorio se puede determinar los parámetros necesarios para la realización de pruebas con RiGrav y poder determinar cuál sería el gasto óptimo, con el cual se podría elevar la eficiencia de riego por gravedad.

También debe tomarse en cuenta la nivelación de las tierras, este aspecto influye de manera directa en el desperdicio de agua al momento de la ejecución del riego, con esta acción se garantizaría la elevación de la eficiencia de manera directa cualquiera que sea el método de riego a nivel parcelario y a su vez un aumento en la producción agrícola de dicha parcela.

Por lo anterior, se considera que se podría incrementar la eficiencia del Distrito de Riego 041, Río Yaqui y a su vez un ahorro de agua, con lo cual se beneficiara directamente a todos los agricultores e indirectamente a todos los habitantes pertenecientes al Municipio de Cajeme.

BIBLIOGRAFÍA

Angeles J. y Arista J., (s. f.). RiGrav. [Programa de computadora]. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Honduras: FAO.

Cisneros, R. (2003). *Apuntes de la materia de riego y drenaje*. San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

De la Peña, I. y Llerena, F. (2001). *Manual del uso y manejo del agua de riego (3ra ed.)*. Texcoco, México: Futura S. A.

El cultivo del maíz. (s.f). recuperado el 25 de septiembre del 2013, de <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>.

Fragosa Días, F. (2010). *Programa de Investigación y Desarrollo en Riego y Drenaje en México* [Diapositiva]. Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Fuentes, C. y Rendón, L. (2012). *Riego por gravedad*. México: Universidad Autónoma de México.

Gisbert, J. M., Ibáñez, S., Moreno, H. (s. f.). La textura de un suelo. *Universidad Politécnica de Valencia*, 3, 1-8.

Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2006). *Metología de la Investigación*, (5ta ed.). México: Mc. Graw Hil.

Montes de Oca, M. (2005). *Topografía*. México: Alfa omega grupo editor.

Navarro, S. (2008). *Manual de Topografía- Planimetría*. Recuperado el 21 de octubre, de <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/apuntes-topografía-i.pdf>.

Ochoa, L. *Métodos y sistemas de medición de gasto*. México: Comisión Nacional del Agua (CNA) e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Ramírez, É. (2011, Julio). Obregón y Hermosillo, la disputa del agua.

Contra línea. Recuperado el 5 de septiembre, 2013 de <http://contralinea.info/archivo-revista/index.php/2011/07/06/obregon-y-hermosillo-la-disputa-por-el-agua/>.

Valenzuela A., Alejandro (1997). Estudio comparativo de eficiencia de riego en California (usa) y Valle central de Chile. *Agro sur*, diciembre, 25(2), 203-212.

Varas, E y Sandoval, J. (1991) *Manual de riego*. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Anexos

**Método de determinación de texturas por
Bouyoucos**

Anexo1. Método de determinación de texturas por Bouyoucos.

OBJETIVO GENERAL.

Determinar la cantidad de arcilla, limo y arena presente en una muestra de suelo y su clasificación textural.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Analizar el porcentaje de limo, arcilla y arena.
- Determinar la textura del suelo y a que clase textural perteneció la muestra de suelo.

MATERIALES Y EQUIPOS.

- Hidrómetro Bouyoucos calibrado desde 0-60grs/litro; sirve para medir la densidad de la muestra.
- El cilindro graduado de 1000cc; usado para medir el agua y aplicar la muestra.
- Batidora; para homogeneizar la muestra.
- Embolo de agitación; Para mantener la muestra en suspensión constante mediante la agitación.
- Termómetro; nos sirvió para medir la temperatura de la muestra.
- Agente dispersante (hexametáfosfato de sodio 1N); Su función es de separar las partículas de limo y arcilla.
- Alcohol amílico, para quitar la espuma que pueda impedir la lectura del hidrómetro.

REACTIVOS

- Agente dispersante (hexametáfosfato de sodio 1N); Su función es de separar las partículas de limo y arcilla.
- Alcohol amílico, para quitar la espuma que pueda impedir la lectura del hidrómetro.

PROCEDIMIENTO

- 1.- Pesar y transferir al baso de la licuadora, 40 gramos de suelo seco, y tamizado con 2.00ml.
- 2.- Agregar 100ml de agua destilada y 10ml al agente dispersante.
- 3.- Dejar reposar durante 5 minutos y luego agitar durante 5 minutos en la licuadora.
- 4.- Después de agitar, se vierte todo el contenido en un cilindro de 1000cc, cuidando de no perder material de suelo, luego completar a volumen con el hidrómetro dentro.
- 5.- Una vez enraizado, se agita la suspensión con el embolo, unas 10 veces para lograr homogeneidad en la suspensión. Si se produce espuma, que impida leer en el hidrómetro, se agrega 5 gotas de alcohol amílico. A cada lectura, efectuada se debe tomar, la temperatura de la suspensión, con el fin de obtener, el factor de corrección.
- 6.- Para el método normal, las lecturas deben efectuarse a los 40 segundos, la primera y a las 2 horas la segunda lectura.

TABLA PARA CORRECCIÓN DE TEMPERATURAS

Temperatura °C	Factor de conversión
14	-1,46
16	-0,98
18	-0,44
19.44	0
20	0,18
22	0,89
24	1,61
26	2,41
28	4,2

Anexos

Fotografías

ANEXO 2. FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1. Parcela.



Fotografía 2. Extracción de muestras ara textura.



Fotografía 3. Material usado el laboratorio para determinación de textura.



Fotografía 4. Muestras para determinación de textura.



Fotografía 5. Parcela ya sembrada.



Fotografía 6. Extracción de espécimen para porcentaje de humedad.



Fotografía 7. Extracción de material a analizar.



Fotografía 8. Riego de parcela