

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**USO Y MANEJO DEL AGUA PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE  
DE MAÍZ FORRAJERO EN LA COMARCA LAGUNERA**

**POR  
MARIO ROMERO MELENDEZ**

**TESIS  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**TORREÓN, COAHUILA**

**DICIEMBRE DE 2017**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Uso y manejo del agua para la producción sustentable de maíz  
forrajero en la Comarca Lagunera

POR  
MARIO ROMERO MELENDEZ

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR

PRESIDENTE:

  
MC. Gerardo Zapata Sifuentes

VOCAL:

  
DR. Miguel Ángel Urbina Martínez

VOCAL:

  
MC. Ricardo Covarrubias Castro

VOCAL SUPLENTE:

  
DR. Luis Javier Herмосillo Salazar

  
ME. Víctor Martínez Cueto  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERA AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Uso y manejo del agua para la producción sustentable de maíz  
forrajero en la Comarca Lagunera

POR  
MARIO ROMERO MELENDEZ

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR

ASESOR PRINCIPAL:

  
MC. Gerardo Zapata Sifuentes

ASESOR:

  
DR. Miguel Ángel Urbina Martínez

ASESOR:

  
MC. Ricardo Covarrubias Castro

ASESOR:

  
DR. Luis Javier Hermosillo Salazar

  
ME. Víctor Martínez Cueto  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

Ala Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abirme las puertas y abrigarme en sus aulas y otorgarme la oportunidad de concretar mis estudios.

A todos mis profesores que han aportado un granito de arena para formarme como una persona de bien y por todos sus conocimientos que me concedieron a lo largo de la carrera.

Muy agradecido con el M.C. Gerardo zapara Sifuentes quien me dio la oportunidad de realizar mi trabajo de investigación para poderme titular de la carrera de ingeniero agrónomo.

Al departamento de Fito mejoramiento quien siempre me apoyo durante me instancian en la universidad.

## DEDICATORIAS

En primer lugar le dedico este trabajo a mi señor Jesús, quien me ha permitido ser un hombre de bien y me ha guiado por el camino del bien y nunca ha soltado mi mano.

Muy en especial a mis padres Isidro y Rosa y mi gran reconocimiento por su gran esfuerzo y empeño de darme una educación de calidad, que son sus consejos me han inculcado buenos hábitos y una constante superación. Gracias por todo el apoyo económico y moral que hasta el momento me han brindado y espero lograr que se sientan orgullosos de mí.

Una en particular a mi prometida Marisol quien siempre ha estado conmigo en las buenas y en las malas. Por darme los mejores años de tu vida y por ser ese apoyo moral y creer en mí.

Igualmente a todos mis hermanos sin excepción de nadie por darme consejos y ayudarme en todo lo necesario durante mi carrera.

A esas luces que se han apagado y han formado parte de la eternidad, algún día nos volveremos a ver.

## RESUMEN

La Comarca Lagunera se ha caracterizado por su importancia lechera y por lo tanto su producción de forrajes para alimento del ganado, la gran limitante por la que pasa la cuenca lechera es el recurso hídrico, cada vez es más difícil de extraer el vital líquido. La poca disponibilidad de agua con que se cuenta en la Comarca Lagunera o bien la baja calidad que este recurso posee en la mayoría de los casos, es un factor limitante para el desarrollo de la agricultura en la región. Poco se había preocupado por las generaciones futuras hasta que se intenta llevar a la práctica la conceptualización de sustentabilidad, mismo que ha representado un reto para investigadores de diferentes disciplinas científicas. El proyecto obedece a la necesidad de optimizar el recurso hídrico para la producción agrícola en la región de la Comarca Lagunera, evaluando las condiciones del predio, la aplicación del agua de acuerdo a la etapa fenológica y el establecimiento de un programa integral para promover el uso sustentable del agua

Se evaluó un predio en el rancho lechero LOS TRES ROMERO, para eficientar el uso del agua y aumentar su rentabilidad y aprovechamiento, se calendarizo los riegos aplicados para su óptima aplicación.

***Palabras clave:*** sustentabilidad, riegos, suelo.

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	i
<b>DEDICATORIAS</b> .....	ii
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Objetivos</b> .....	3
<b>1.2. Hipótesis</b> .....	3
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b> .....	4
<b>2.1 El cultivo del maíz</b> .....	4
<b>2.1. 1 Descripción botánica</b> .....	4
<b>2.2. Importancia económica mundial</b> .....	5
<b>2.3. Producción mundial</b> .....	6
<b>2.4. Importancia económica en México</b> .....	6
<b>2.5. Importancia en la Comarca Lagunera</b> .....	7
<b>2.6 La agricultura sustentable</b> .....	8
<b>2.6.1 Concepto</b> .....	8
<b>2.7 Estrategias para una agricultura sustentable</b> .....	8
<b>2.8 Bases teóricas de la agricultura sustentable</b> .....	9
<b>2.9 Indicadores de la agricultura sustentable</b> .....	9
<b>2.9.1 ¿Qué es un indicador?</b> .....	9
<b>2.10 El agua y la agricultura</b> .....	10
<b>2.11 Distribución del agua</b> .....	10

<b>2.12 Retos para el uso eficiente del agua en la agricultura.....</b>	<b>10</b>
2.12.1 Identificación.....	11
2.12.2 Mediciones y registro de uso de agua y requerimientos del cultivo .....	11
2.12.3 Estado actual.....	12
2.12.4 Plan de gestión de agua.....	12
<b>2.13 Evapotranspiración .....</b>	<b>12</b>
2.13.1 Factores que afectan la evapotranspiración.....	13
<b>2.14 Calendarización del riego.....</b>	<b>13</b>
<b>2.15 Tecnificación de los sistemas de riego.....</b>	<b>13</b>
<b>2.16 Sirmod II.....</b>	<b>14</b>
<b>2.17 Diseño y trazo de melgas en el riego.....</b>	<b>15</b>
<b>2.18 Parámetros para la sustentabilidad del agua de riego .....</b>	<b>15</b>
<b>2.19 Calidad del agua .....</b>	<b>16</b>
2.19.1 la calidad física de agua .....	16
2.19.2 la calidad química .....	16
2.19.3 concentración total de sales.....	17
2.19.4 concentración relativa de sodio (R.AS.).....	18
2.19.5 concentraciones de elementos tóxicos como sodio, boro y cloro .....	19
<b>2.20 Topografía.....</b>	<b>19</b>
<b>2.21 Láminas de riego .....</b>	<b>20</b>



2.21.1 cálculos de láminas de riego .....	20
2.22 Tipo de suelo.....	21
2.22.1 composiciones del suelo.....	21
2.22.2 propiedades físicas del suelo .....	21
2.22.3 propiedades químicas.....	23
2.23 antecedentes de investigación .....	24
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
3.1. Caracterización de la infraestructura de riego.....	26
3.2. Análisis del cultivo .....	27
3.3. Variables de Caracterización del predio.....	28
3.4. Propiedades físicas y químicas del suelo .....	28
3.5 Análisis De La Calidad De Agua De Riego. ....	29
3.5. Aforo de la fuente de abastecimiento de agua.....	31
3.7. Prueba de avance y recesión del agua .....	31
3.8. Uso del SIRMOD II.....	31
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>42</b>
4.1 Infraestructura de riego .....	42
4.2 Caracterización del predio.....	42
4.3 Propiedades físico-químico del suelo.....	44
4.4 Calidad del agua .....	45

<b>4.5 Prueba de avance y recesión del riego.....</b>	<b>46</b>
<b>4.6 Uso del sirmo II.....</b>	<b>47</b>
<b>V CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>VI Bibliografía.....</b>	<b>50</b>

## **INDICE DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1. CONSUMO MUNDIAL DE MAÍZ POR USO, 2005/06-2015/16</b>	
<b>(MILLONES DE TONELADAS).....</b>	<b>5</b>
<b>FIGURA 2. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MAÍZ, 2005/06-2015/06</b>	
<b>(MILLONES DE TONELADA.....</b>	<b>6</b>
<b>FIGURA 3. ENTRADA DE DATOS DE CAMPO .....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 4. FUNCIONES DE INFILTRACIÓN.....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA 5.VENTA PARA INGRESO DE DATOS DE.....</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 6. VENTANA PARA EL INGRESO DE DATOS DE OPERACIÓN DE RIEGOS .....</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 7. VENTANA DE SIMULACIÓN DEL SIRMOD II .....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA 8. RESULTADOS DE SIMULACIÓN.....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 9. TIPOGRAFÍA DE MELGA 1.....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 10.TIPOGRAFÍA DE MELGA 2.....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 11. TOPOGRAFÍA DE MELGA 3.....</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA 12. NORMA PARA CLASIFICAR LAS AGUA DE RIEGO SEGÚN U.S. SALINITY</b>	
<b>LABORATORY STAFF (1954).....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 13.RESULTADOS DE LA PRUEBA DE AVANCE Y RECESIÓN DEL RIEGO.....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 14. SIMULACIÓN DE LOS RESULTADOS PROMEDIO DEL RIEGO.....</b>	<b>48</b>

## **INDICE DE CUADROS**

<b>CUADRO 1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DEL SUELO .....</b>	<b>45</b>
<b>CUADRO 2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DEL AGUA.....</b>	<b>45</b>

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es una planta originaria de México, la cual ha sido utilizada como forraje para la alimentación de ganado en diferentes formas, tales como rastrojo, grano y ensilaje. En 2013, la superficie de maíz forrajero de riego en México se incrementó de 118 mil a 142 mil hectáreas en comparación al 2008 (SIACON, 2013).

En la Comarca Lagunera de los estados de Coahuila y Durango durante el ciclo agrícola 2009/2010 se establecieron 196,839 hectáreas incluyendo los cultivos perennes, tales como; alfalfa (*Medicago sativa* L.), maíz (*Zea mays*) y sorgo (*Sorghum vulgare*) la superficie fue 96,385 ha (SAGARPA, 2011). En estas superficies de riego un problema principal es la disponibilidad del agua, agudizado por el constante y progresivo abatimiento de los niveles freáticos de los acuíferos. De acuerdo con CONAGUA (2010) de los 653 acuíferos, 101 están sobreexplotados y en el acuífero principal de la Comarca Lagunera hay una recarga natural de 800 millones m<sup>3</sup> (Mm<sup>3</sup>) y su extracción aproximada es 1252 Mm<sup>3</sup> con un abatimiento promedio de 1.3 m por año (CONAGUA, 2004).

A nivel mundial la agricultura es el mayor consumidor de agua y se estima que se utiliza cerca del 70% del agua disponible y se consume más del 90% para la agricultura en los riegos para los cultivos (CISNEROS *et al.*)

La Comarca Lagunera se ha caracterizado por su importancia lechera y por lo tanto su producción de forrajes para alimento del ganado, la gran limitante por la que pasa la cuenca lechera es el recurso hídrico, cada vez es más difícil de extraer el vital líquido.

En la zona semiárida de la Comarca Lagunera el agua es un factor importante en la producción de forrajes, La poca disponibilidad de agua con que se cuenta en la Comarca Lagunera o bien la baja calidad que este recurso posee en la mayoría de los casos, es un factor limitante para el desarrollo de la agricultura en la región. Poco se había preocupado por las generaciones futuras hasta que se intenta llevar a la práctica la conceptualización de sustentabilidad, mismo que ha representado un reto para investigadores de diferentes disciplinas científicas.

El proyecto obedece a la necesidad de optimizar el recurso hídrico para la producción agrícola en la región de la Comarca Lagunera, evaluando las condiciones del predio, la aplicación del agua de acuerdo a la etapa fenológica y el establecimiento de un programa integral para promover el uso sustentable del agua.

## **1.1. Objetivos**

Los objetivos principales del proyecto son el diagnóstico del sistema de riego para conocer la disponibilidad y la calidad del agua, el diseño de las melgas de acuerdo a las condiciones físicas del suelo permitiendo la correcta aplicación del agua de riego para la producción de forrajes.

## **1.2. Hipótesis**

La correcta nivelación de la tierra puede mejorar el riego y el aprovechamiento del agua en la producción de forrajes en el establo lechero Los Tres Romero.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 El cultivo del maíz

El cultivo del maíz tiene una importancia especial ya que constituye la base de la alimentación tanto humana como animal, ocupa el tercer lugar en la producción mundial después del trigo y el arroz. Es un cereal que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y edáficas, por eso se cultiva en casi todo el mundo. (Bonilla, 2006)

#### 2.1.1 Descripción botánica

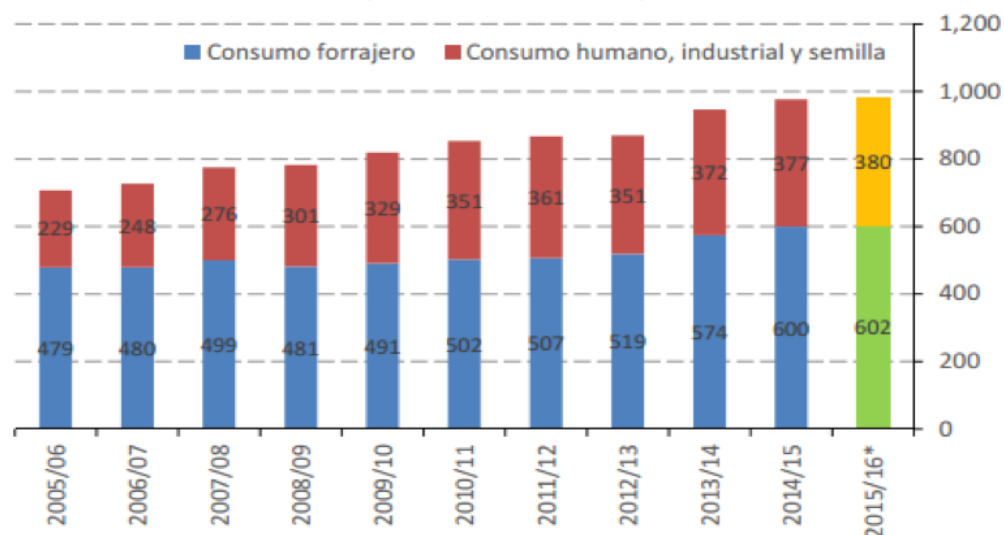
Según el INTA, (2010) el maíz es una gramínea anual, robusta, de crecimiento determinado, de 1 a 5 m de altura, un solo tallo dominante, puede producir hijos fértiles, sus hojas alternas son pubescentes en la parte superior y glabra (sin pelos o bellos, hojas lisas) en la parte inferior, es una planta monoica (produce flores masculinas y femeninas en distintos órganos de la planta), con flores femeninas en mazorcas laterales, flores masculinas que surgen de uno a dos días antes de la floración femenina. De polinización libre y cruzada, con gran producción de polen (25 a 30 mil granos por óvulos); granos en hileras incrustados en la tusa; mazorcas cubiertas por hojas; granos de tipo cariopsis (no tiene membrana); metabolismo fotosintético.



## 2.2. Importancia económica mundial

De acuerdo con FIRA (2015), el maíz es el cultivo agrícola que más se produce en el mundo. Debido a sus cualidades alimenticias para la producción de proteína animal, el consumo humano y el uso industrial, se ha convertido en uno de los productos más influyentes en los mercados internacionales. Su importancia económica y social es relevante pues su producción se realiza en un número de países superior al de cualquier otro cultivo, además de ser fuente de empleo y alimento para un número importante de personas en el mundo, las expectativas de consumo mundial se estiman a la alza, para totalizar 976.7 millones de toneladas en 2014/15, de las cuales 61.4 por ciento corresponde a consumo forrajero y el restante 38.6 por ciento a consumo humano, industrial y semilla. Figura 1

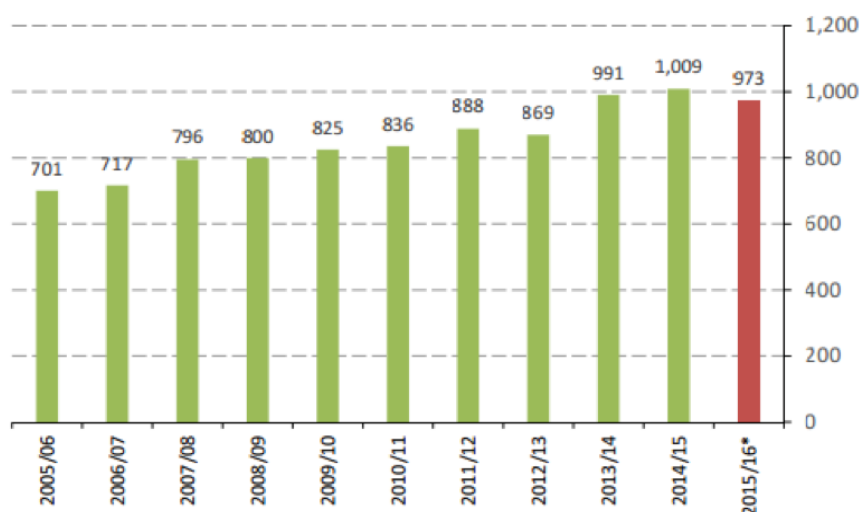
Figura 1. Consumo mundial de maíz por uso, 2005/06-2015/16 (millones de toneladas)



### 2.3. Producción mundial

Entre los ciclos comerciales 2004/05 y 2014/15, la producción de maíz en el mundo presenta un crecimiento promedio anual de 3.5 por ciento, para ubicarse en este último en 1,008.7 millones de toneladas, lo que representa el nivel de producción más alto de la historia. Las expectativas para el 2015/16 ubican la producción mundial de maíz con una reducción de 3.6 por ciento en relación a 2014/15, lo que se traduce en 972.6 millones de toneladas. (FIRA, 2015) figura 2

Figura 2. Producción mundial de maíz, 2005/06-2015/06  
(millones de tonelada)



### 2.4. Importancia económica en México

El maíz es el cultivo más importante de México, forma parte importante en la dieta de los mexicanos; está presente en la elaboración de más de 4 mil productos

(almidón, fructuosa, aceites, cartón, chocolates, biocombustible, alimento animal); ocupa poco más de la mitad de la superficie sembrada del país; representa casi una tercera parte del valor de la producción agrícola; existen poco más de 3 millones de productores de este grano, y es el cuarto productor mundial después de Estados Unidos, China y Brasil. (CEFP, 2007)

## **2.5. Importancia en la Comarca Lagunera**

En la Comarca Lagunera el cultivo de maíz para producir forrajes es de gran importancia por su calidad y sus explotaciones ganaderas, el ensilaje de maíz es un componente básico en la ración para ganado bovino lechero, principalmente por su contenido energético y menor costo que otros cultivos forrajeros. Por lo tanto es uno de los cultivos preferido por los estableros lecheros y además de generar fuentes de empleo y grandes divisas para los que venden su forraje. (Borroel, 2014)

## **2.6 La agricultura sustentable**

### **2.6.1 Concepto**

La agricultura sustentable significa cultivar de forma en que se preserve la salud de la gente y de la tierra a largo plazo, conservando los recursos naturales para las generaciones futuras. (Conant y Fadem, 2011)

## **2.7 Estrategias para una agricultura sustentable**

Altieri A. Miguel, (2001) menciona que existen varias características para desarrollar una agricultura sustentable, entre las cuales podemos mencionar:

**a.** Mantener la cubierta vegetativa como una medida efectiva de conservar al agua y el suelo, a través del uso de prácticas como labranza cero y el uso de cultivos de cobertura y otros métodos apropiados.

**b.** Proveer un suministro regular de materia orgánica a través de la adición de materia orgánica (estiércol, “compost” y promoción de la actividad y biología del suelo).

**c.** Aumentar los mecanismos de reciclaje de nutrientes a través del uso de sistemas de rotaciones basados en leguminosas, integración de ganado, etc.

**d.** Promover la regulación de las plagas a través de un aumento de la actividad biológica de los agentes de control logrado por la introducción y/o la conservación de los enemigos naturales y antagonistas.

## **2.8 Bases teóricas de la agricultura sustentable**

La agricultura sustentable emerge como una disciplina que provee los principios ecológicos básicos sobre como estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que son productivos y a su vez conservadores de los recursos naturales y que además, son culturalmente sensibles y socialmente y económicamente viables. (Altieri, 2001)

## **2.9 Indicadores de la agricultura sustentable**

### **2.9.1 ¿Qué es un indicador?**

Son una variable seleccionada y cuantificada que nos permite ver una tendencia que de otra forma no es fácilmente detectable. (Sarandon, 2002).

Sarandon, (2002), menciona que los indicadores deberían comprender los puntos críticos de la sustentabilidad de un agroecosistema, estos a su vez permitirán, percibir tendencias, que no podríamos ver y tomar decisiones concretas. Algunos indicadores de sustentabilidad en el área agrícola son: A) decidir la conveniencia o no de la adopción de los paquetes tecnológicos, B) evaluar la introducción de un nuevo cultivo o el desplazamiento de un cultivo de una zona a otra, C) comparar diferentes sistemas de producción. (Orgánico vs inorgánico o convencional, al aire libre o bajo cubierta), D) evaluar el riego de un determinado sistema de producción en el tiempo.

## **2.10 El agua y la agricultura**

De acuerdo con la ODEPA (2016), el agua es un elemento esencial como insumo de la producción agrícola y su calidad es sumamente importante, para la salud del cultivo y de quien lo consume. El deterioro de la calidad del agua se produce por contaminación, es decir partículas ajenas que llegan al agua y afectan sus características químicas, físicas y biológicas.

## **2.11 Distribución del agua**

El riego consume 63,350 millones de m<sup>3</sup>/año (77 por ciento del total extraído), el uso público urbano 14 por ciento y las industrias autoabastecidas y termoeléctricas 9 por ciento. La generación hidroeléctrica utiliza poco más del doble del volumen extraído para el conjunto de usos consuntivos. (PROGRAMA NACIONAL HIDRICO, 2014-2018). El uso intensivo del agua en las diversas actividades socioeconómicas ha dado lugar a la sobreexplotación de las aguas superficiales y subterráneas, al deterioro de los ecosistemas en algunas regiones debido a la disminución del escurrimiento. También esa situación dio lugar a un sobreconcesionamiento de los volúmenes de agua disponibles en cuencas y acuíferos. (PROGRAMA NACIONAL HIDRICO, 2014-2018)

## **2.12 Retos para el uso eficiente del agua en la agricultura**

Según la ODEPA, 2016. Para una optimización del recurso hídrico, se debe de realizar un diagnóstico, ya que es necesario conocer la demanda del cultivo y oferta del agua disponible.

La ODEPA, 2016 identifica tres pasos para realizar un diagnóstico en términos de agua:

### **2.12.1 Identificación**

Se basa en identificar las fuentes de agua de donde se obtiene el recurso, ya sea: pozo, canales, lagos, ríos, estanques, presas, entre otros.

### **2.12.2 Mediciones y registro de uso de agua y requerimientos del cultivo**

Es importante medir y registrar cuánta agua necesita el cultivo y cuanto se está utilizando efectivamente, esto es para saber si se le está dando la cantidad adecuada de agua al cultivo.

Para medición de los requerimientos del cultivo se pueden utilizar métodos indirectos o directos. Uno de los ejemplos de métodos indirectos más fáciles de utilizar, consiste en calcular la evapotranspiración utilizando una bandeja evaporimétrica.

Dentro de los métodos directos para evaluar la humedad del suelo, se encuentran los sensores de humedad, como por ejemplo tensiómetros.

Para medir o estimar la cantidad de agua que se está aplicando se pueden utilizar medidores de flujo instalados en el sistema de riego cuando se cuente con riego tecnificado, mientras que en riego por inundación se puede aforar o hacer estimaciones volumétricas por ejemplo.

### **2.12.3 Estado actual**

Una vez que se cuente con la información de agua disponible, requerimientos y uso efectivo es importante tener claridad de qué tan eficiente está siendo el uso de agua en el campo, para posteriormente tomar medidas concretas en base a esto.

### **2.12.4 Plan de gestión de agua**

Después de realizado el diagnóstico y tener conciencia de que tan eficiente estamos utilizando el agua, se debe de diseñar y tener por escrito un Plan de Gestión de Agua, el cual debe servir como guía para actuar en el corto, mediano y largo plazo.

Se espera que este contenga:

- Resultados provenientes del diagnóstico.
- Compromiso del/la agricultor/a por mejorar la gestión de agua.
- Metas y estrategias para mejorar la eficiencia en el uso de agua, incluyendo plazos en los que se espera cumplirlas.
- Identificación de medidas básicas, intermedias y avanzadas a implementar en la búsqueda de alcanzar las metas previamente propuestas. El PNH 2014-2018 (plan nacional hídrico)

## **2.13 Evapotranspiración**

De acuerdo con Allen, 2006, La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada, en diferencia con



La transpiración que consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos dos conceptos forman la evapotranspiración.

### **2.13.1 Factores que afectan la evapotranspiración**

Los factores que más afectan la evapotranspiración son: el clima (la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad atmosférica, y la velocidad del viento). Características del cultivo (tipo de cultivo, la variedad, la etapa de desarrollo). El suelo (salinidad, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, ausencia de control de enfermedades y de parásitos y el mal manejo del suelo pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración. (Allen, 2016)

### **2.14 Calendarización del riego**

La programación del riego es un proceso de decisión orientado a determinar las cantidades de agua por aplicar y las fechas de aplicación de cada riego para minimizar deficiencias o excesos de humedad en el suelo que pudieran causar efectos adversos sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos, cumpliendo objetivos como: ahorrar agua, disminuir costos por ahorro de energía y mano de obra, minimizar el estrés hídrico en los cultivos y maximizar el rendimiento, así como aumentar la rentabilidad o ingreso. (Servín, 20015)

### **2.15 Tecnificación de los sistemas de riego**

Unos de los principales problemas con que cuentan los productores agrícolas en el área de riego por gravedad, es la baja eficiencia y la deficiente uniformidad

con que se aplica el agua, esto principalmente repercute en la sustentabilidad del recurso hídrico e impacta en forma negativa en el desarrollo de los cultivos y principalmente en los ingresos del productor. (IMTA, 2010)

Es por eso que la tecnificación del campo en los sistemas de riego es un logro importante para la agricultura y conservación del agua, en primera estancia tenemos como una modernización que los agricultores están optando en el entubamiento de la conducción a comparación a los canales con revestimiento de concreto, ya que los primeros traen beneficios múltiples como: el agua no se desperdicia, no se contamina, no se obtienen pérdidas por evaporación e infiltración además se elimina el costo por mantenimiento de canales; mientras que el segundo, requiere de mantenimiento por fragmentación de la losa que le sirve de recubrimiento y se tiene pérdidas por evaporación e infiltración. (Arroyo, 2008)

## **2.16 Sirmod II**

Es un software comprensivo para simulación de sistemas hidráulicos de riego superficial a nivel parcelario, seleccionando una combinación de parámetros operacionales y de tamaño que maximice la eficiencia de aplicación de agua de riego y una solución de la eficiencia durante el riego, el cálculo de parámetros de infiltración desde los datos de avance de entrada. Fue desarrollado por Utah State University y ha sido utilizado particularmente por investigadores y ha demostrado ser una herramienta útil para mostrar el incremento potencial de las eficiencias del uso del agua en riego superficial. (Walker, 2003).

Estudios recientes de Varela *et al.*,(2009) han demostrado que el uso del el uso del modelo de simulación hidráulico SIRMOD II, es una herramienta que permite

conocer en forma rápida, exacta y económica, el desempeño de los sistemas de riego superficial parcelario, y a partir de aquí es posible generar alternativas de mejora del regadío al tener la posibilidad de simular repetidamente, y de generar diversos escenarios, hasta encontrar las combinaciones que nos permitan lograr una alta eficiencia y uniformidad

## **2.17 Diseño y trazo de melgas en el riego**

### **2.17.1 prueba de riego**

Las pruebas de riego en campo son importantes tanto para el diseño como para ajustar el diseño a las condiciones reales del terreno. Las variables experimentales son el gasto de riego unitario, la longitud de la melga o del surco y el tipo de suelo. (IMTA, 2010)

## **2.18 Parámetros para la sustentabilidad del agua de riego**

Entre los principales factores que influyen para lograr un uso eficiente del agua se tienen: a) La velocidad de infiltración del agua en el suelo, si la velocidad de infiltración es mayor que 10 cm/h, no se recomienda los métodos de riego por gravedad; b) el gasto de riego, que debe ser menor o cuando más igual a la velocidad media de infiltración; y c) la topografía y pendiente del terreno, en el trazo de riego se busca la pendiente menor (lo más cercana a cero), si la velocidad de infiltración es baja y una mayor pendiente, si la velocidad de infiltración es alta, siempre y cuando no sea erosiva.(IMTA,2010)

## **2.19 Calidad del agua**

La preocupación sobre la calidad del agua y la influencia que tiene en las propiedades del suelo eran de poco interés en el pasado, debido a que se contaba con abundantes fuentes hídricas y de buena calidad, sin embargo, la escasez y la creciente demanda han provocado la sobreexplotación de las fuentes de abastecimiento, lo que impide la recuperación y por consecuencia el agotamiento de los recursos hídricos, aunado a este problema; la agricultura ha empleado agua de riego de baja calidad (Ruiz, 2008).

### **2.19.1 la calidad física de agua**

Está relacionada con la cantidad de sólidos en suspensión o sedimentos presentes, bajo condiciones de riego superficial, los sedimentos del agua se acumulan en los surcos de riego a tal punto que provocan serios problemas de infiltración del agua en el suelo (Glover, 1996).

### **2.19.2 la calidad química**

El daño depende de la calidad misma (cantidad de sales y composición) y otros factores como: tipo de cultivo, características del suelo, manejo del riego, etc.

El agua de riego de deficiente calidad química puede ocasionar uno o varios de los siguientes trastornos: (Miranda 2006)

- Problemas de acumulación de sales en el suelo que afecta la disponibilidad de agua para el cultivo.
- Problemas de permeabilidad, afectando la infiltración del agua en el suelo.

- Toxicidad por iones específicos, los cuales son absorbidos y acumulados a niveles tóxicos dentro de la planta.

### **2.19.3 concentración total de sales**

Se le conoce también como salinidad del agua, es una medida de gran valor para un primer diagnóstico de la calidad del agua, El agua con abundancia de sales disueltas conduce con mayor facilidad la corriente eléctrica, es decir, a mayor salinidad mayor conductividad. La conductividad eléctrica (C.E.) se expresa en milimhos por centímetro (mmhos/cm). Los principales solutos son los cationes sodio ( $\text{Na}^+$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ), y los aniones cloro ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{=}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{=}$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3$ ). Sin embargo también pueden encontrarse otros componentes (Tanji, 1990). (Tanji, 1990).

Para medir la salinidad existen diferentes parámetros, para el caso del agua frecuentemente se expresa como conductividad eléctrica (CE) en decisiemens por metro ( $\text{dSm}^{-1}$ ) o milimhos por centímetro ( $\text{mmhoscm}^{-1}$ ). Otra forma de expresar la concentración de salinidad es mediante el índice de sales solubles totales, expresado en porcentaje (%) o en partes por millón (ppm). Para el caso de estudios fisiológicos, la concentración molar de la solución (mM o  $\text{meL}^{-1}$ ) se usa con mayor frecuencia (Burt, 1995; Ruiz, 2008). En cuanto al suelo, es considerado salino si la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEE) excede de  $4 \text{ dSm}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  (Ruiz, 2008).

#### 2.19.4 concentración relativa de sodio (R.AS.)

Para Fipps (1996), la sodicidad es la presencia relativa de iones de sodio en el agua que en altos contenidos tiende a producir suelos con niveles considerables de sodio intercambiable e influye en la estabilidad de la estructura del suelo.

El R.A.S. de un agua de riego es un índice para medir el peligro potencial de sodio por efecto del riego, es decir, la concentración que puede alcanzar un suelo a través del tiempo. Esta peligrosidad de sodio no está solo en relación a la concentración de este elemento sino a la proporción en que éste se encuentra frente al calcio y magnesio. La RAS es mayormente usada para caracterizar el nivel de sodio en el agua de riego, la fórmula que permite calcular este parámetro es (Burt, 1995):

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Na = lones de sodio en miliequivalentes por litro (meL-1).

Ca = lones de calcio en miliequivalentes por litro (meL-1).

Mg = lones de magnesio en miliequivalentes por litro (meL-1).

A partir de la RAS se puede calcular el porcentaje de sodio intercambiable (PSI):

$$PSI = \frac{100(-0.0123 + 0.01475RAS)}{1 + (-0.0126 + 0.01475RAS)}$$

### **2.19.5 concentraciones de elementos tóxicos como sodio, boro y cloro**

Estos elementos cuando están presentes en el agua afectan en diversos grados de acuerdo a la sensibilidad de los cultivos. Un problema de toxicidad ocurre cuando alguno de estos constituyentes son absorbidos y acumulados en los tejidos de las plantas afectando el metabolismo y produciendo, una baja en la producción y calidad de las cosechas (Glover, 1996).

### **2.20 Topografía**

La topografía es una ciencia geométrica aplicada a la descripción de una porción relativamente pequeña de la tierra, si estamos hablando del campo o naturaleza entonces tenemos una representación de la superficie terrestre, si estamos hablando del ámbito urbano, tenemos que la representación está compuesta de muros, edificios, calles, carreteras entre otras. El trabajo topográfico consta de dos actividades, puede ser la medición de puntos de un terreno y mediante trabajo de gabinete llevar los datos a un plano o por el camino inverso, desde un proyecto ubicar los puntos sobre el terreno.

La topografía aplicada a la agricultura es de gran importancia porque ayuda a trazar los sistemas de riego de una manera eficiente y precisa, ayuda a conocer el comportamiento de las parcelas sobre sus pendientes, curvas de nivel y así eficientar el uso del agua (Bautista et al., 2004).

## 2.21 Láminas de riego

Una lámina de riego se puede definir como el espesor de la capa de agua con que una superficie de tierra, supuestamente a nivel, quedaría cubierta por un volumen de agua (Bautista et al., 2004).

### 2.21.1 cálculos de láminas de riego

IMTA (2013) menciona que al calcular una lámina de riego es necesario tomar en consideración la profundidad del suelo que se quiere humedecer, generalmente la profundidad de las raíces ( $P_r$ ), el contenido volumétrico inicial de agua ( $\theta_0$ ) y el contenido volumétrico a que se quiere llevar el suelo después del riego que casi siempre es la capacidad de campo ( $\theta_{cc}$ ). La lámina de riego ( $L_r$ ) se estima con la fórmula siguiente:

$$L_r = P_r (\theta_{cc} - \theta_0)$$

### 2.21.2 riego por gravedad

En de acuerdo con al IMTA (2010) el riego por gravedad consiste en la aplicación de agua a los cultivos aprovechando los desniveles topográficos de las parcelas.



El uso eficiente del agua, en riego por gravedad, implica que la lámina de riego aplicada sea la requerida por las plantas y la distribución de la humedad en todo el espesor de la zona de raíces sea uniforme. Evitando la infiltración en exceso a capas profundas, escurrimientos fuera del terreno de riego, y la erosión del suelo. (IMTA, 2010)

## **2.22 Tipo de suelo**

El suelo es un recurso natural no renovable, es la capa superior de la tierra en donde se desarrollan las raíces de las plantas, esta capa es un gran depósito de agua y alimentos de que las plantas toman las cantidades necesarias para crecer y producir cosechas. El suelo se considera un ser vivo. (FAO, 2013). El suelo es importante para el hombre porque en él se desarrollan las plantas, de las cuales obtienen los alimentos y materiales para su abrigo y comodidad.

### **2.22.1 composiciones del suelo**

La FAO (2013).menciona que los suelos están compuestos por sustancias sólidas, agua y aire. Las sustancias sólidas son los residuos de plantas, animales vivos o muertos y los minerales que proceden de la desintegración y descomposición de las rocas. En el agua se disuelven los minerales del suelo para que las raíces puedan tomarlos. El aire en el suelo es muy importante ya que sin él, las plantas se marchitan y las raíces mueren, al igual que los microorganismos del suelo.

### **2.22.2 propiedades físicas del suelo**

Determinan la facilidad de preparación del terreno, la velocidad de infiltración del agua y la circulación del aire, influye directamente en el desarrollo de las plantas.

La FAO (2013) recalca que las propiedades físicas pueden observarse a simple vista, olerse o reconocerse al tacto. Las más importantes son:

- A. **La estructura:** es un indicador primario de la “salud del suelo”. La estructura del suelo es la arquitectura del suelo, es decir, es la forma en que las partículas sólidas y los espacios están ordenados. Los buenos suelos tienen una mezcla de microporos y macroporos: los macroporos para la entrada de agua y el drenaje, los microporos para el almacenaje de agua.
- B. **La textura:** la textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena (mayor tamaño), el limo y la arcilla (menor tamaño), en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.
- C. **La porosidad:** está compuesta por los poros o pequeños espacios que quedan al agruparse las partículas que forman el suelo, por estos espacios penetran el aire y el agua.
- D. **El color:** los suelos en general tienen color oscuro. El color se aclara a medida que se profundiza. Los suelos de color oscuro generalmente son más ricos en materia orgánica. Los color pardos, rojizos y amarillentos, indican que los suelos son bien aireados y no encharcan. Los colores grises y manchados de verde azulosos, indican que los suelos permanecen mucho tiempo encharcados.
- E. **La permeabilidad:** es la facilidad con que el agua y el aire se mueven dentro del suelo. Los suelos que se encharcan tienen una permeabilidad lenta.

- F. **La profundidad efectiva:** es la profundidad hasta donde llegan las raíces de las plantas en busca de agua y nutrientes.
- G. **Drenaje:** es la rapidez con que los suelos se secan después de una lluvia, hay dos tipos de drenaje el externo y el interno.
- H. **Drenaje Externo:** es la rapidez con que el agua se escurre sobre la superficie.
- I. **Drenaje Interno:** es la rapidez con que el agua se mueve dentro del suelo.

### 2.22.3 propiedades químicas

No pueden observarse a simple vista y es necesario un análisis para determinarlas:

- A. **La Acidez o el pH:** influye directamente en la disponibilidad de los nutrientes y de la actividad microbiana de los suelos.

En suelos ácidos, muy pocos nutrientes están disponibles para ser tomados por las raíces y esto afecta la producción dando cosecha muy bajas.

- B. **La Fertilidad:** es el contenido de nutrientes existentes en el suelo para ser aprovechado por las plantas.

Un suelo fértil es el que tiene buena cantidad de nutrientes para las plantas, existen dos tipos de nutrientes los Macronutrientes o Mayores y los Micronutrientes o Menores

La IMTA (2010) menciona que el conocer un suelo, tanto sus propiedades físicas como químicas, nos permite hacer una deducción de las propiedades

generales del suelo y así ajustar las prácticas de manejo, labranza, riego, y fertilización, cálculo de láminas de riego y obtener una mayor eficiencia en la producción agrícola.

### **2.23 antecedentes de investigación**

Pedrosa *et al*, (2013) en un estudio realizado en la comarca laguna sobre la eficiencia del agua de riego en la producción de maíz forrajero y alfalfa ; afirman que para el maíz forrajero se utiliza una lámina de riego promedio anual de 70 cm en la región, ya que este cultivo al ser ensilado lo hace unos de los cereales de mayor importancia, por su alta producción de materia seca por unidad de superficie y por su gran valor energético, así como por su facilidad de cosecha, conservación y utilización como alimento forrajero. En una comparación de producción de biomasa, indican que es más productivo el maíz ante la alfalfa, pues se necesitaron 0.175 m<sup>3</sup> de agua para producir 1 kg de maíz forrajero, mientras que el cultivo de alfalfa demandó 0.215 m<sup>3</sup> de agua, lo cual implicó utilizar 18.7% menos agua.

Zamora-Salgado *et al.*, (2011) mencionan que para una buena planeación agrícola es necesario conocer las necesidades hídricas de los cultivos para enfrentar el problemas de la disponibilidad de agua en la producción agrícola. Determinan que el uso eficiente incluye cualquier medida que reduzca la cantidad de agua que se utiliza por unidad de cualquier actividad, y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad de agua.

Valdés y colaboradores (2013) demostraron que mediante un uso eficiente del agua se puede obtener una alta producción de forraje de maíz, ya que el agua

es el factor más importante en la producción agrícola, lo que el aumento en la eficiencia del agua permite un manejo sostenible del recurso.

Godoy Ávila *et al*, (2003) explicaron que el uso del agua en riego por goteo subsuperficial conserva el recurso hídrico e incrementa significativamente la producción y calidad de los cultivos a comparación con el riego por inundación, ya que este último utiliza mucho más agua y satura el suelo aumentando la evapotranspiración.

Montemayor, Lara y Woo (2012) consiguieron evaluar tres sistemas de riego: goteo sub superficial, pivote central y como referencia el sistema por gravedad, y su efecto en la producción de maíz forrajero, concluyendo que para la producción de forraje y por lo tanto de materia seca fue más alta en riego por goteo sub superficial, seguida de pivote central y riego por gravedad, ya que en el primero la utilización de agua fue menor en comparación a las anteriores, haciendo uso del recurso hídrico de una manera más eficiente y sustentable.

Reta y colaboradores (2010) en su estudio “sistemas de producción de forraje para incrementar la productividad del agua”, explican que la incorporación de especies alternativas en los sistemas de producción forrajeros puede mejorar la productividad del agua, ya que existen forrajeras que requieren menos agua y son un elección ante el desabasto del agua en la región y una manera más sustentable de aprovechar el recurso hídrico, disminuyendo el impacto ambiental y social.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

El proyecto se implementó en el rancho lechero Los Tres Romero SPR de RL, ubicado en el ejido El Pilar perteneciente al municipio de Matamoros, Coahuila; en donde se diagnosticó la condición actual del sistema de riego, aplicación de láminas de riego basadas en las necesidades reales de cultivo, diseño de melgas y validación de la correcta aplicación del agua para lograr el manejo sustentable del recurso en cultivos forrajeros.

El Rancho Lechero Los Tres Romero SPR de RL se ubica en el Ejido El Pilar del municipio de Matamoros, Coahuila; en la coordenadas geográficas 25.721646 grados de latitud norte y -103.337448 grados de longitud oeste.

La evaluación del riego superficial parcelario incluyen cálculos hechos en campo y en gabinete, en este caso el objetivo de la recolección de datos será satisfacer las variables de entrada que solicita el SIRMOD III, se realizaran las siguientes actividades en las melgas individuales seleccionadas para evaluación (Loredo-Varela, R.C, et al. 2009)

#### **3.1. Caracterización de la infraestructura de riego**

Consistió en determinar qué tipo de infraestructura se tiene para distribuir el agua a la parcela, las fuentes de abastecimiento y el gasto disponible por el productor.

### 3.2. Análisis del cultivo

El maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas. Se trata pues de un cereal. La escala más utilizada para describir el desarrollo del cultivo de maíz es la de Ritchie y Hanway (1982), que utiliza caracteres morfológicos externos (macroscópicos).

En ellas se pueden distinguir dos grandes períodos: el vegetativo y el reproductivo. El período vegetativo se subdivide en estadios identificados con la letra V y un subíndice (por ejemplo V1), que señala el número de orden de la última hoja completamente expandida (lígula visible), al momento de la observación. El número total de estas subdivisiones varía con el genotipo y el ambiente considerado por modificar ambos el número final de hojas.

Una vez producida la aparición de todas las hojas, el estado es definido por la aparición de la panoja (VT). El período reproductivo, subdividido en estadios identificados con la letra R y un subíndice, comienza con la emergencia de los estigmas (R1) y finaliza con la madurez fisiológica (R6).

Para los requerimientos de agua se necesita un riego de aniego de 20 centímetros de lámina más 4 riegos de auxilio con lámina de 15 centímetros cada uno en las etapas de desarrollo, encañe, prefloración y formación de grano (INIFAP 2015).

El sistema radical está compuesto por una raíz primaria, que tiene origen en la radícula y muy corta duración luego de la germinación. Para posteriormente configurar un sistema de raíces adventicias que brota a nivel de la corona del tallo

y que entrelazan fuertemente por debajo de la superficie terrestre. El desarrollo del sistema radical va a depender de 2 factores como son; la humedad y las condiciones de preparación del suelo que se le presentaron a la tierra en suelo bien preparado, poroso y con una buena humedad desde los inicios de germinación, la raíz puede alcanzar hasta 1,80 metros de profundidad.

Las fuertes necesidades de agua del maíz condicionan también el área del cultivo. Las mayores necesidades corresponden a la época de la floración, comenzando 15 o 20 días antes de ésta.

### **3.3. Variables de Caracterización del predio**

Determinación de las dimensiones del predio, incluyen largo y ancho de la melga y levantamiento topográfico, pendiente longitudinal ( $S_o$ ) y pendiente transversal ( $S_t$ ).

Para esto se utilizó instrumentos topográficos como: un nivel, marca sokkia, estadal con nivel, odómetro de precisión. Su determinación consistió en trazar las estaciones o puntos cada 20 m hasta terminar la melga hacia las orillas y al centro de la misma, para así obtener el valor promedio de la pendiente por predio

### **3.4. Propiedades físicas y químicas del suelo**

Esta es una de las partes fundamentales de la evaluación del riego, pues determina la capacidad de retención del suelo, y las características del flujo del agua a través del suelo. Estos valores se obtuvieron a partir de muestreos de suelos en el predio antes del riego, para su posterior análisis en laboratorio. Se tomaron dos



muestras de suelo en forma aleatoria para generar una muestra compuesta a profundidades de 0-30 y 30-60 cm.

- a) Determinación de textura del suelo
- b) Ph
- c) Determinación de Materia Orgánica
- d) Determinación de conductividad eléctrica del suelo
- e) Determinación de Contenido de Volumétrico de humedad Inicial
- f) Determinación de propiedades de retención de humedad.-

Para la determinación del pH se realizó mediante el extracto de saturación con un potenciómetro y la conductividad eléctrica mediante un conductímetro, y para establecer la clase textural se empleó el Método de Bouyoucos.

Para la determinación de materia orgánica se utilizó el método de *Walkley y Black*, para determinar la densidad aparente del suelo se utilizó el procedimiento en el cual se requieren de terrones y se recubren de parafina.

### **3.5 Análisis De La Calidad De Agua De Riego.**

Para el análisis de la calidad de agua de riego se tomó una muestra de un litro de agua de la noria principal que es la que abastece tanto a las parcelas como para el consumo de las vacas. Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Los análisis que se pidieron para obtener la calidad del agua fueron los siguientes:

- a) PH

- b) CE (conductividad eléctrica)
- c) Calcio + magnesio
- d) Cloro
- e) Bicarbonatos
- f) Solios totales
- g) Sodio
- h) RAS
- i) CIC

Para el análisis de PH se utilizó un potenciómetro, para conductividad eléctrica se utilizó el conductímetro.

Para el análisis de calcio y magnesio se utilizó la titulación con EDTA 0.02N, para los bicarbonatos se utilizó la titulación con ácido sulfúrico 0.01N, para el análisis del cloro se utilizó la titulación con nitrato de plata 0.01N, para la determinación de sólidos totales se utilizó el método de volumetría, para la determinación de sodio se utilizó la siguiente fórmula:

$$Na = 10CE - Ca + Mg$$

Para determinar el RAS, la fórmula que permite calcular este parámetro es (Burt, 1995):

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

### **3.5. Aforo de la fuente de abastecimiento de agua.**

En este caso, los sitios a evaluar presentan distintas fuentes de abastecimiento como: multicompuertas, válvula alfalfa y compuertas de tierra.

### **3.7. Prueba de avance y recesión del agua**

Una de las mediciones que deben ser hechas más cuidadosamente y que se requiere hacer, es el avance y recesión del agua en el predio, medido como el tiempo necesario para que el flujo de entrada avance hasta un punto del campo, para el caso del avance, o el tiempo que pasa hasta que el agua ha drenado desde que se ha cortado el flujo de entrada al campo, para el caso de la recesión (Walker, 2003).

Las pruebas de avance se realizaron de la siguiente manera;

Con las medidas tomadas del ancho y largo de las melgas, por cada 20 metros se colocó una estaca en donde al abrir la compuerta por donde sale el agua se fue tomando el tiempo en minutos y se fue contabilizando para posteriormente hacer los cálculos en Excel.

### **3.8. Uso del SIRMOD II**

Una vez que se han determinado las diversas variables que inciden el riego y que son necesarios para operar el SIRMOD II, a continuación se mencionan los pasos a seguir para ingresar los datos recabados y utilizar el SIRMOD II (Walker, 2003).

El ingreso de los datos al programa SIRMOD II involucra dos actividades: 1) Definir las características del sistema de riego superficial bajo estudio, y 2) Definir los parámetros de control operacional del modelo.

- Características de la parcela: Cuando es apretado el botón “datos de parcela”, se abre una pantalla para la entrada de los datos con tres opciones que pueden ser seleccionados por el usuario.
  - Geometría y topografía del terreno.- Es descrita por los siguientes parámetros: Coeficiente de rugosidad de Manning ( $n$ ) para el primer riego y los subsecuentes riegos, longitud del terreno, ancho del terreno, para el caso de riego entre surco distancia entre ellos, pendiente transversal del terreno, y pendiente longitudinales del terreno. Hay otro dato de entrada que está en la parte inferior derecho, y se tiene que seleccionar la condición límite de aguas abajo, si existe bordo de contención (cerrado) o si no existe, permitiendo la escorrentía (abierto). Un ejemplo es dado a continuación en la Figura 3.

Figura 3. Entrada de datos de campo

	Flujo continuo Primer riego	Flujo continuo Riego subsec	Por pulso Fase seca	Por pulso Fase húmeda	
<b>a</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Qinfiltr (lps) 0.000
<b>k</b>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	Infiltr_n 0.000
<b>fo</b>	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
<b>C</b>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	Calibrar: 2 puntos
	Tablas	Tablas	Tablas	Tablas	Tiempo a L (min) 0.000
					Tiempo a L/2 (min) 0.000
					L/2 (m) 0.000

Lámina Requerida (m)

Tiempo de infiltración (min)

Salir

-Datos de Infiltración: Este es el componente más crítico del software SIRMOD II. Se requieren cuatro funciones de infiltración individuales: 1) Una función para las primeras condiciones bajo flujo continuo, 2) Una función para los riegos subsiguientes bajo flujo continuo; 3) Una función para los riegos iniciales bajo el flujo por pulsos; y 4) Una función para los riegos subsiguientes bajo flujo por pulsos. Cada función de infiltración requiere cuatro parámetros,  $k$ ,  $a$ ,  $fo$  y  $C$ . Ver Figura 4

Debajo de las funciones, están cuatro cajas de edición para la profundidad de infiltración requerida que son lámina de riego requerida ( $Z_{req}$ ) y el tiempo de oportunidad ( $t_{req}$ ) para la toma de agua del asociado.

A la derecha de las cuatro funciones de infiltración están dos parámetros rotulados  $Q_{infiltr}$  e  $Infiltr_n$ . El parámetro  $Q_{infiltr}$  es el flujo para el cual están referenciados los diferentes parámetros de Infiltración. Si el usuario no conoce este valor, el caudal de descarga utilizado en la simulación deber ser ingresado en esta caja de edición (Walker, 2003).

Finalmente, en la parte inferior resaltada con color rojo, hay cuatro cajas para marcar con el símbolo de revisado con un rotulo lateral "Simular". El usuario selecciona cuál condición de infiltración será usada en una simulación ejecutada por el programa. Una función de Infiltración para flujo continuo y uno para pulsos puede ser seleccionada.

Figura 4. Funciones de infiltración

Datos de Parcela

Rugosidad y Topografía **Función de Infiltración** Geometría de la Sección

	Flujo continuo Primer riego	Flujo continuo Riego subsec	Por pulso Fase seca	Por pulso Fase húmeda	Qinfiltr (lps)
<b>a</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
<b>k</b>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	Infiltr_n
<b>fo</b>	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000
<b>C</b>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
	Tablas	Tablas	Tablas	Tablas	Calibrar: 2 puntos
					Tiempo a L (min)
					0.000
					Tiempo a L/2 (min)
					0.000
					L/2 (m)
					0.000

Lámina Requerida (m)

Tiempo de infiltración (min)

Salir

-Datos del tamaño de la sección por la que cruza el flujo de agua: La Figura 5 muestra el formato de entrada para ingresar los datos de la sección transversal. Como una regla, la sección transversal del flujo es definida y calculada con cuatro parámetros que son el ancho superior, el ancho en la parte media, la base y la profundidad máxima.

Figura 5.venta para ingreso de datos de

**Datos de Parcela**

Rugosidad y Topografía | Función de Infiltración | **Geometría de la Sección**

Ancho superior (m): 0.000

Ancho intermedio (m): 0.000

Ancho inferior (m): 0.000

Profundidad máxima (m): 0.000

Rho1: 0.0000

Signa1: 0.0000

Gamma1: 0.0000

Cmh: 0.0000

Rho2: 0.0000

Sigma2: 0.0000

Gamma2: 0.0000

Cch: 0.0000

Surcos

Melgas y pozas

Los ocho parámetros abajo se calculan automáticamente al especificar los valores de ancho y profundidad máxima de la sección. Si desea cambiar cualquier de los siguientes ocho parámetros, hágalo después de proporcionar los cuatro valores de arriba.

Salir

-Parámetros de operación del riego (Gasto y tiempo de riego) La ventana para ingresar los datos de operación del riego, se tiene cuando se presiona “parámetros numéricos, una vista general de esta ventana es dada por la Figura 6.



Figura 6. Ventana para el ingreso de datos de operación de riegos

The screenshot shows a window titled "Parámetros Numéricos" with the following content:

- Selección del tipo de modelo:**
  - Onda cinemática
  - Cero inercia
  - Hidrodinámico
- Criterio para el tiempo de corte:**
  - Tiempo o número de pulsos
  - Lámina requerida, Zreq
- Régimen de caudal entrando:**
  - Flujo continuo
  - Flujo continuo con reducción de caudal
  - Riego por pulsos
  - Por pulsos con reducción de caudal
  - Por pulsos con ciclos variables
  - Surge Flow w/ Variable Cycles y con reducción de caudal
- Parámetros:**
  - Caudal de entrada (lps): 0.000000
  - Tiempo de corte (min): 0.000000
  - No. de pulsos: 0
  - Tiempo por pulso (min): 0.000000
  - Razón de rebaja: 0.000000
  - Razón de ajust de pulsos: 0.000000
  - Tiempo de ajust (min): 0.000000
- Coeficientes Numéricos:**
  - Incremento (min): 0.000000
  - Phi(espacial): 0.000000
  - Teta (temporal): 0.000000
  - Del: 0.000000
  - $\epsilon$ : 0.000000
  - Evap: 0.000000

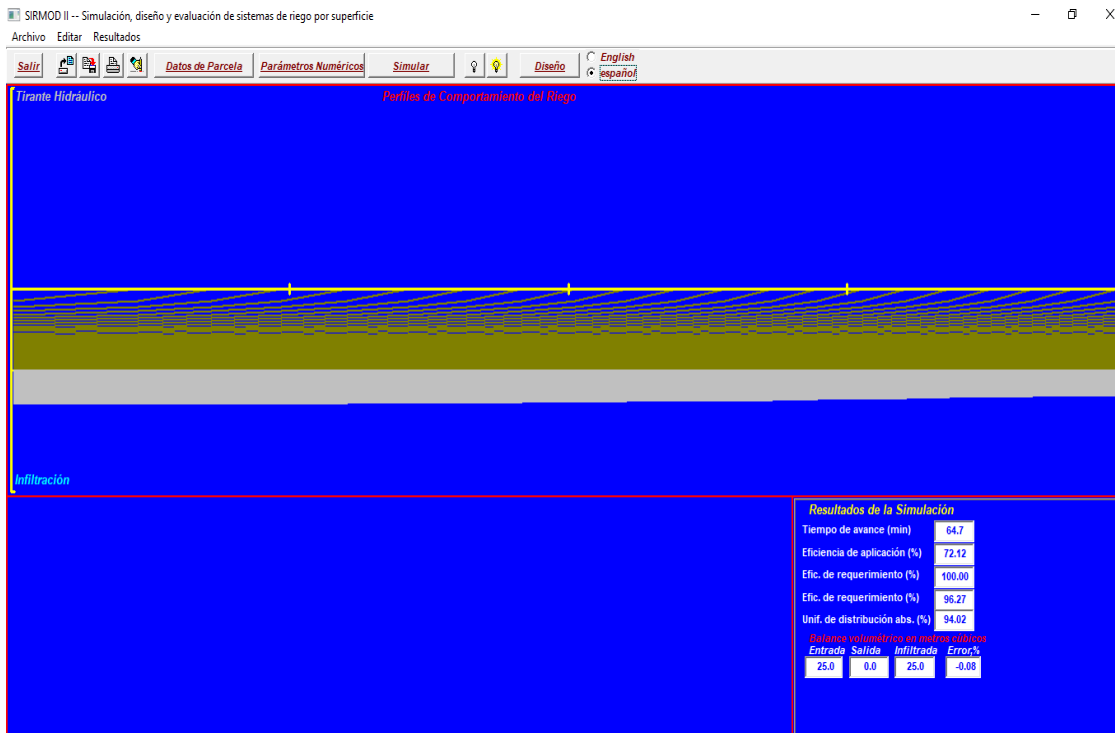
- Tipo de modelo de simulación.- El programa SIRMOD II incluye tres opciones para modelar: 1) El modelo de onda cinemática; 2) El modelo de cero inercia; y 3) El modelo hidrodinámico. El modelo seleccionado por default es el hidrodinámico. Para nuestro caso utilizamos el modelo hidrodinámico.

- Simulación del control de corte.- El modelo SIRMOD II puede hacer simulaciones ya sea especificando un intervalo de tiempo para el suministro del volumen de agua total o especificando una profundidad fija de aplicación. El intervalo de tiempo domina sobre el control de la profundidad, por lo que cuando se use el control de la

profundidad, el usuario debe adoptar un número grande para el intervalo de tiempo. Para este trabajo utilizamos como criterio para el tiempo de corte, que es el tiempo de riego.

- Régimen para el flujo de entrada. Este programa simula el riego para flujo tanto continuo como por pulsos.
- Parámetros de control de Flujo. Existen siete: 1) Caudal de entrada (lps), 2) Tiempo de corte(min), 3) Número de pulsos, 4) Tiempo por pulso (min), 5) Razón de rebaja, 6) Razón de ajuste de pulsos y 7) Tiempo de ajuste (min).
- Coeficientes numéricos.- Estos son calculados automáticamente por el programa. Para la simulación típica el usuario no necesita modificarlos.
- -Simulación: Una vez que los datos han sido ingresados, la simulación es hecha presando el botón “simular”. La pantalla de simulación aparecerá y mostrará un dibujo en tiempo real de los perfiles de avance y recesión como se ilustra en la Figura 7.

Figura 7. Ventana de simulación del SIRMOD II



En la pantalla de salida hay tres regiones. La primera ocupa la mitad superior de la pantalla y dibuja los movimientos del agua para la superficie y para el flujo subsuperficial, en la medida en que son calculadas las trayectorias para el avance y la recesión. El objetivo de lograr la profundidad requerida de aplicación es dibujada como  $Z_{req}$ , por lo cual cuando una profundidad infiltrada es mayor que este valor, se puede ver la pérdida de agua de riego como percolación profunda (esto se nota por que el color del flujo subsuperficial cambia de color cuando rebasa  $Z_{req}$ ).

En la parte inferior derecha está un cuadro donde se da un resumen del evento de riego simulado después de que ha acabado la fase de recesión (figura 6), se tienen entonces los valores de Eficiencia de Aplicación, Eficiencia de

requerimiento, y Uniformidad de Distribución absoluta, en términos de porcentaje, además del tiempo de avance en minutos, además de un balance volumétrico en metros cúbicos, además del error ocurrido en la simulación. Como una regla aceptable es un error menor a 5%, aunque la mayoría de las simulaciones se tiene un error cerca del 1%.

Además en la parte inferior izquierda, se tiene un hidrograma de escorrentía para los casos en que no se tenga un dique de contención aguas abajo.

Figura 8. Resultados de simulación

<b>Resultados de la Simulación</b>			
Tiempo de avance (min)	64.7		
Eficiencia de aplicación (%)	72.12		
Efic. de requerimiento (%)	100.00		
Efic. de requerimiento (%)	96.27		
Unif. de distribución abs. (%)	94.02		
<b>Balance volumétrico en metros cúbicos</b>			
<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Infiltrada</b>	<b>Error,%</b>
25.0	0.0	25.0	-0.08

-Generación de recetas de riego: Una vez evaluados los predios, el siguiente paso es encontrar aquellos variables del riego que son factibles de modificar, se escogieron gasto unitario ( $Q_u$ ) en  $lpsm^1$ , y el tiempo del riego ( $T_{riego}$ ) en minutos, porque son relativamente fáciles de modificar, si uno desea mejorar los riegos subsecuentes en el mismo ciclo agrícola y para siembras posteriores la modificación de la pendiente longitudinal ( $S_o$ ) y transversal ( $S_t$ ), porque también son relativamente fáciles de alterar, y no se reduce la superficie sembrada, como lo sería al cambiar otras variables de diseño del riego como el largo o el ancho.

## IV RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Infraestructura de riego

El productor tiene como infraestructura, una noria y un estanque, con estos da abasto a 65 hectáreas, entre dicha infraestructura tiene canales revestidos de concreto, canales de tierra y tubos de pvc enterrados los cuales termina en un hidrante y estos últimos fueron los que se aforaron; para aforar los tubos se utilizó una tina de 20 litros y se contabilizo el tiempo de llenado, se realizó 5 repeticiones y nos dio como resultado que arrojaba 15 litros por segundo.

### 4.2 Caracterización del predio

Las mediciones se hicieron en visitas a las melgas estudiadas, los datos se introdujeron en una hoja de Excel para su análisis y los resultados los podemos observar en la Figura 9, 10 y 11, obteniendo melgas irregulares, con las cuales el agua es desaprovechada y desperdiciada. Morales (2004) reporta que el valor promedio para la Comarca Lagunera es de 0.03% a favor del flujo del agua. Los valores en contra del flujo para ambos predios y en comparación con el valor promedio para la Comarca Lagunera reflejan una deficiencia en el sistema de riego.

Figura 9. Tipografía de melga 1

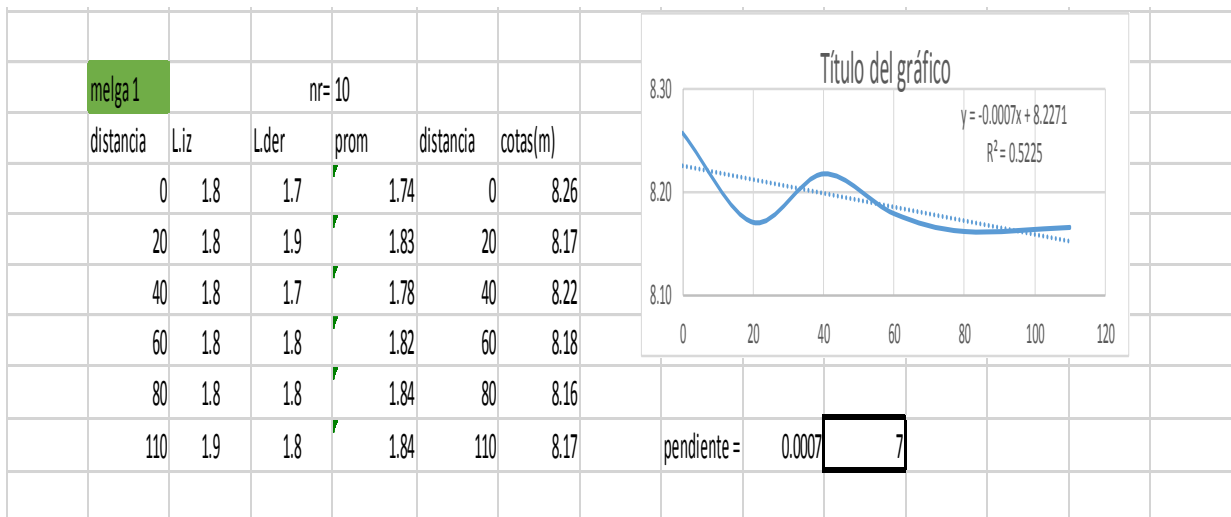


Figura 10. Tipografía de melga 2

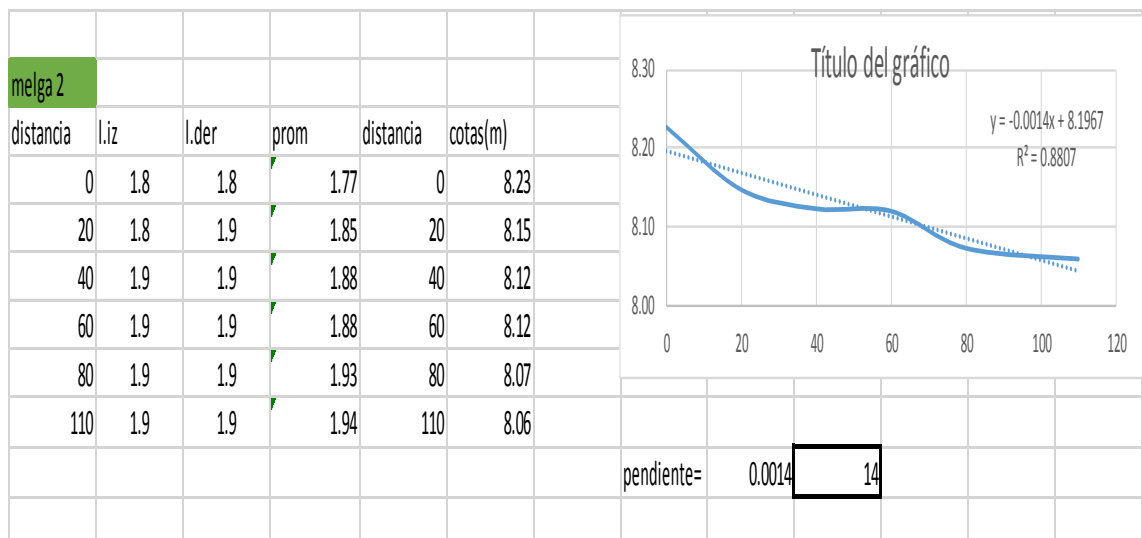
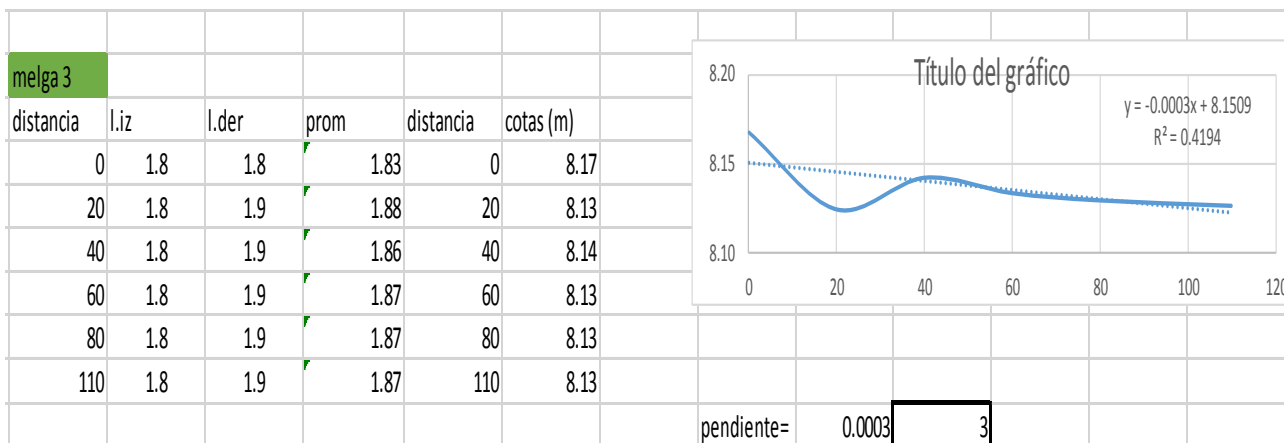


Figura 11. Topografía de melga 3



### 4.3 Propiedades físico-químico del suelo

Los resultados del análisis de suelo los podemos observar en la Cuadro 1. La norma oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, establece especificaciones sobre la calidad de suelos para poder llamarlos “productivos agrícolas” como lo son: pH, los suelos llamados productivos agrícolas deben de tener un pH de 7-8, por lo que del suelo analizado está dentro del rango; en relación a la materia orgánica encontramos nuestro suelo analizado obtiene valores de 0.12% y 0.24% de materia orgánica, por lo que revisando la tabla que nos muestra la norma oficial mexicana se encuentra en un valor bajo; El suelo analizado se ubica en franco arenoso de acuerdo a la norma; El valor de la conductividad eléctrica del suelo analizado se encuentra en el valor muy ligeramente salino ya que los valores obtenidos fueron 1.7 y 1.5 respectivamente.



Cuadro 1. Resultados de los análisis del suelo

	Muestra 1(0-30cm)	Muestra 2(30-60cm)
Parámetro		
Textura	Suelo franco	Franco arenoso
PH	7.74	7.99
CE	1.7	1.5
D.A.	1.2	1.2
M.O.%	0.12	0.24

#### 4.4 Calidad del agua

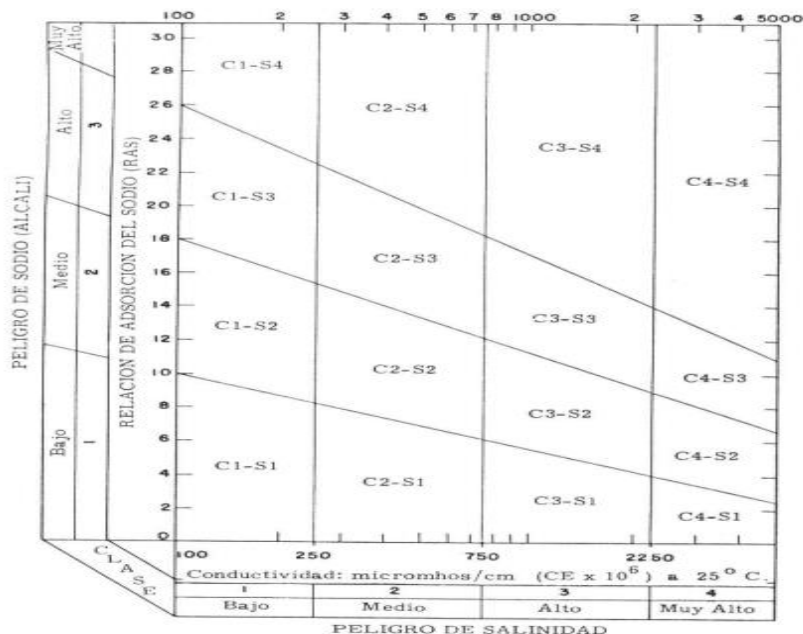
El análisis químico del agua se realizó con base en las Normas Mexicanas NMX-AA-051SCFI-2001 (SE 2001) y NOM-117-SSA1-1994 (SS 1994). Los resultados los podemos observar en el cuadro 2

Cuadro 2. Resultados de los análisis del agua

Parámetro	Valor	Unidades
Conductividad Eléctrica (CE)	2.17	mS/m <sup>2</sup>
PH	6.52	
Ca	113.6	ppm
Mg	10.56	ppm
Na	310.5	ppm
CL	21.3	ppm
HCO <sub>3</sub>	191.54	ppm
ST	0.528	

De acuerdo con las normas oficiales sobre la calidad del agua, el agua analizada se encuentra bajo los estándares de calidad; el agua es potable e ideal para su uso agrícola. Los parámetros para establecer la calidad del agua de riego seleccionados fueron los propuestos por el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos (Richards, 1954). Existe poca variabilidad en los valores del RAS, CE y pH por lo que la calidad correspondió a la categoría C3-S2 según el diagrama de clasificación de aguas de riego. Figura 12

Figura 12. Norma para clasificar las agua de riego según U.S. salinity laboratory staff (1954)



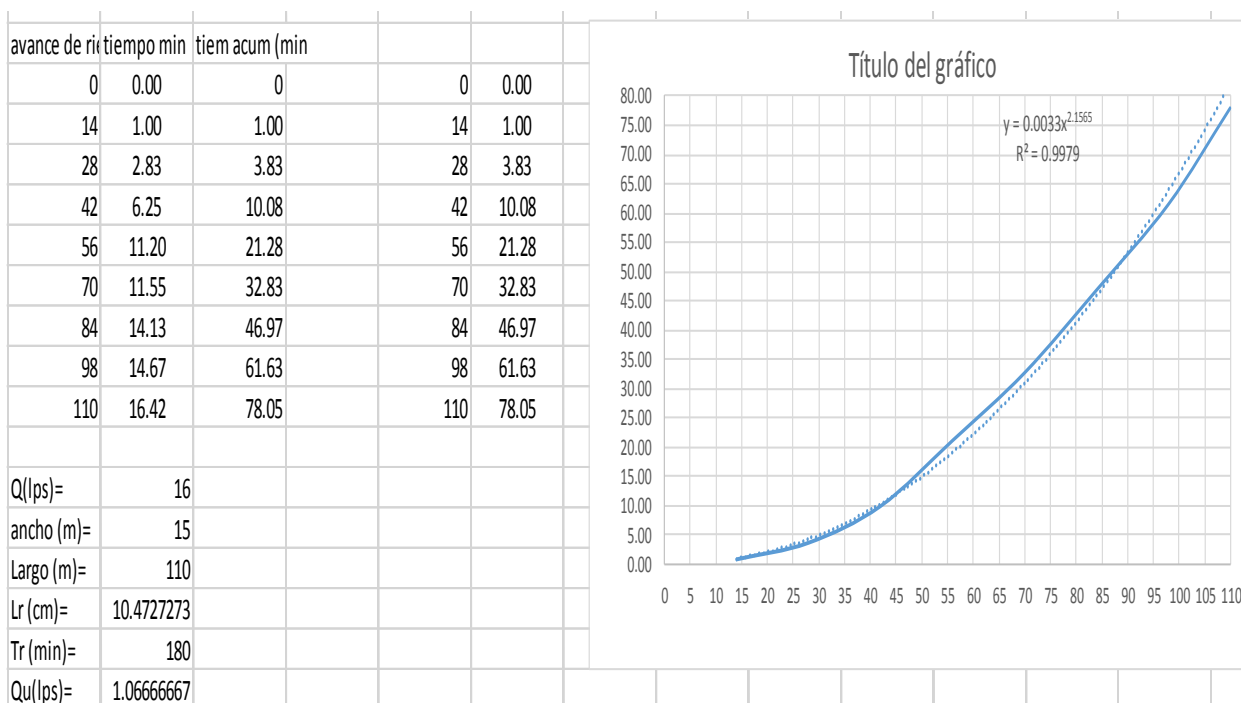
#### 4.5 Prueba de avance y recesión del riego

Las pruebas de riego en campo son importantes tanto para el diseño como para ajustar el diseño a las condiciones reales del terreno. Las variables experimentales son el gasto de riego unitario, la longitud de la melga o del surco y el tipo de suelo. (Walker, 2003).

Al obtener los datos sobre los tiempos del avance del riego se procedió a analizarlos en una hoja de Excel para obtener: ancho y longitud de la melga, gasto unitario, lamina de riego, tiempo de avance y tiempo de corte (ver Figura 13), ya

obtenidos los datos, se introdujeron en el modelo de simulación Sirmod II para su evaluación.

Figura 13. Resultados de la prueba de avance y recesión del riego



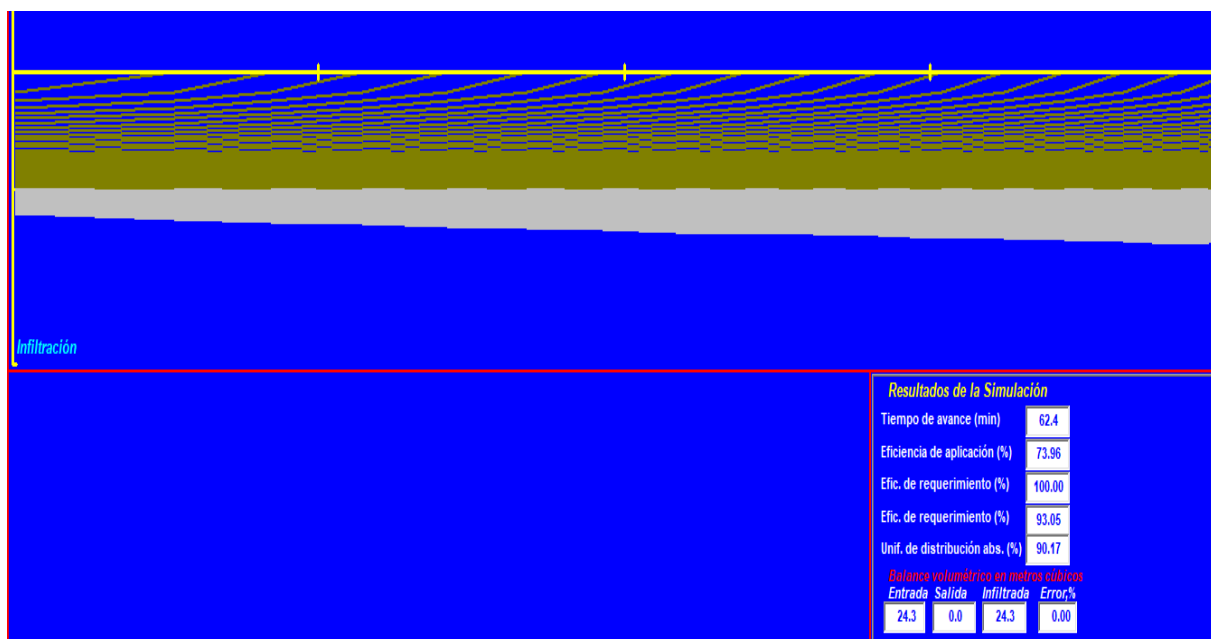
Delgado y colaboradores (2010) en un estudio similar al estudiado, obtuvieron respuestas seminales a las vistas en la Figura 13 por lo que optaron por utilizar el modelo de simulación Sirmod II para poder modificar los resultados y generar recomendaciones para el uso sustentable del agua

#### 4.6 Uso del sirmod II

Con ayuda del modelo de simulación de riego superficial SIRMOD II, se determinaron los parámetros de Eficiencia de Aplicación (Ea), Eficiencia de Requerimiento (Er) y Uniformidad de Distribución absoluta (UD) realizado en las melgas evaluadas, teniendo los siguientes resultados que podemos observar en la

figura 14; Los resultados promedio de la evaluación de los predios nos indican que en forma general se tiende a regar en exceso, debido a que por un lado se satisfacen los requerimientos de la planta  $E_r=93.05\%$ , pero la Eficiencia de aplicación es baja  $E_a=73.96\%$ .

Figura 14. Simulación de los resultados promedio del riego



R. C. Loredo Varela y colaboradores (2009) en su estudio similar sobre “uso de un modelo de simulación hidráulico para evaluación y generación de recetas de riego en sistemas de riego superficial en el norte de México” utilizaron el modelo de simulación Sirmod II el cual les genero una receta para la correcta aplicación del agua de riego, generando como resultados una  $E_a=87.83\%$  y  $UD = 86.559\%$ , manteniendo  $E_r=99.786\%$ .

## V CONCLUSIONES

El uso del modelo de simulación hidráulico SIRMOD II, es una herramienta que permite conocer en forma rápida, exacta y económica, el desempeño de los sistemas de riego superficial parcelario, y a partir de aquí es posible generar alternativas de mejora del regadío al tener la posibilidad de simular repetidamente, y de generar diversos escenarios, hasta encontrar las combinaciones que nos permitan lograr una alta eficiencia y uniformidad. Se cumplió con el objetivo y por lo tanto se acepta la hipótesis

Con base en los resultados, la primera alternativa (Diálogo de saberes) debe orientar al productor en la mejora de las condiciones hidroagrícolas, se considera prioritario modificar a favor del flujo del agua la pendiente en la melga, así como; realizar nuevos ensayos sobre condiciones físicas del suelo, tales como, conductividad hidráulica, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, velocidad de infiltración; para rediseñar en conjunto con el productor el sistema de riego puesto que se detectaron problemas en la operación.

Otra acción que deberá de ser considerada para futuros trabajos se refiere a involucrar activamente al productor para que genere conciencia sobre los recursos que posee, así podrá promoverse el apoderamiento y se podrá ver como parte fundamental del sistema

## VI Bibliografía

- Altieri Miguel A, (2001). Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables, *Ediciones Científicas Americanas*, Pp 27-34
- Allen Richard G. (2016). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *FAO*
- Arroyo Hernández P. (2008) “diseño de sistemas de riego por gravedad con red de tubería de distribución parcelaria a baja presión” Universidad Autónoma Nacional de México.
- Aurelio Pedroza Sandoval, José Luis Ríos Flores, Myriam Torres Moreno, Jesús Enrique Cantú Brito, Cesar Piceno Sagarnaga y Luis Gerardo Yáñez Chávez. (2013) EFICIENCIA DEL AGUA DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ FORRAJERO (*Zea mays* L.) Y ALFALFA (*Medicago sativa*): IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO. *Terra Latinoamericana. VOLUMEN 32,NÚMERO (3)*,
- Bonilla Morales, N. (2008). cultivo del maíz. Instituto nacional de innovación y transferencia en tecnología agropecuaria. *INTA*, 2008 P72.
- Burt, C. M. 1995. The surface irrigation manual “A compressive guide to design and operation of surface irrigation systems”. Published by Waterman Industries, Inc. Exeter, California. pp. 2.1-2.20.
- CONAGUA, 2014(comisión nacional del agua), estadísticas del agua en México, Coyoacán, México, D.F. *Printed and made in Mexico* Pp. 57-75

Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (2007). México: El Mercado del Maíz y la Agroindustria de la Tortilla. CD. de México, pp.6-10.

CISNEROS ZAYAS, E; et al. Respuesta productiva del cafeto al manejo del riego. Función agua-rendimiento. (Spanish). : Yield response of the coffee to irrigation management Water-yield function. (English). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 24, 4, 5-11, Oct. 2015. ISSN: 10102760.

Conant Jeff y Fadem Pam (2011) Guía comunitaria para la salud ambiental. *Hesperian*, pp 279-281.

David G. Reta Sánchez, Uriel Figueroa Viramontes, Rodolfo Faz Contreras, Gregorio Núñez Hernández, Arturo Gaytán Mascorro, J. Santos Serrato Corona y Jesús A. Payán García (2010). SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DEL AGUA. *Fitotec. Mex. Vol. 33 PP. 83 – 87*

Delgado, R.G., V. Álvarez R., C.E. Ramírez C., J. Estrada A., M. Rivera G., Y F. Vega S. 2010. Análisis del Modelo Matemática Hidrodinámico del Riego por Superficie en la Comarca Lagunera. Revista AGROFAZ vol x. n° 4. Diciembre del 2010

Dr. Tomás Díaz Valdés, Dr. Leopoldo Partidas Ruvalcaba, Dr. Yolanda E. Suárez Fernández, M.C. Ramón Lizárraga Jiménez, y M.C. Ángel López López (2013) Uso eficiente del agua y producción óptima en maíz, con el uso de cuatro dosis de nitrógeno. *Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 23, No. 1 pp.32-36*)

FAO (2013). EL MANEJO DEL SUELO EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS  
CON

BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS. Pp 8-14

FIRA (2015). Panorama Agroalimentario Maíz 2015. Pp.3-26.

Fipps, G. 1996. Irrigation water quality standars and salinity Management strategies.  
Texas Agricultural Extension Service, The Texas A&M University System.  
pp: 3-18. Consultado en:

<http://www.nal.usda.gov/ttic/tektran/data/000012/35/0000123536.html> en 2001

Godoy Ávila, Claudio; Pérez Gutiérrez, Alfonso; Torres E., Ciria A.; Hermosillo, Luis  
J.; Reyes J., Isidro Uso de agua, producción de forraje y relaciones  
hídricas en alfalfa con riego por goteo subsuperficial *Agrociencia*, vol. 37,  
núm. 2, marzo-abril, 2003, pp. 107-115 Colegio de Postgraduados  
Texcoco, México

Glover, C. R. 1996. Irrigation water classification systems. Guide A-166. Cooperative  
Extension Service. College of Agriculture and Home Economics. New  
Mexico State University. pp: 1-4.

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (2010). RIEGO POR  
GRAVEDAD. Cd México.

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA) (2010).  
CULTIVO DEL MAÍZ GUÍA TECNOLÓGICA PARA LA PRODUCCIÓN DE  
MAÍZ. Managua - Nicaragua: 2da. Edición Nº 03.



Miranda N. Oscar (2006). Calidad del agua de riego, pp41-42

MONTEMAYOR-TREJO, J. Alfredo et al. Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México. *Agrociencia* [online]. 2012, vol.46, n.3 [citado 2017-06-12], pp.267-278. Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952012000300006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000300006&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1405-3195.

Morales V., J. 2004. Sustentabilidad de los sistemas de riego en el norte de México: caso región lagunera. Universidad Juárez Del Estado De Durango, Facultad De Agricultura Y Zootecnia. Tesis Doctoral. Durango, México. 145 p.

Richards, L. A. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. US Salinity Laboratory Staff, USDA Agriculture Handbook No. 60

ODEPA Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2016). *Protocolo de agricultura sustentable*. Santiago de Chile, pp.8-11.

PLAN NACIONAL HÍDRICO (2014). Coyoacán, México, D.F.

Sarandon, J. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*, pp.400-404.

Servín palestina, M. (2015). *Sistemas para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real*. Montecillo, Texcoco, edo. México.

Sergio Zamora-Salgado<sup>1</sup>, Francisco Higinio Ruiz-Espinoza<sup>1\*\*</sup>, F. Alfredo Beltrán-Morales<sup>1</sup>, ††Liborio Fenech-Larios<sup>1</sup>, Bernardo Murillo-Amador<sup>2</sup>, José Loya-Ramírez<sup>1</sup> y Enrique Troyo-Diéquez- (2011). RÉGIMEN HÍDRICO DEL MAÍZ EN UNA ZONA ÁRIDA, DETERMINADO EN PORCENTAJES DE EVAPORACIÓN. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13 (2011): 181- 186

Tanji, K.K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity. En: Agricultural Salinity Assessment and Management. Amer. Soc. Civil Eng., ASCE Manual and Reports on Engineering Practice N<sup>o</sup>. 71, ASCE, New York. pp: 1-17.

Varela R. C. Loredo, I. Sánchez Cohen, G. García Herrera, J. G. Arreola Ávila, R. Trejo Calzada, O. Esquivel Arriaga. J. Santana Méndez, A. Flores Hernández, J. Ruiz Torres y M de J A. Ruiz Esparza. (2009). USO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICO PARA EVALUACIÓN Y GENERACIÓN DE RECETAS DE RIEGO EN SISTEMAS DE RIEGO SUPERFICIAL EN EL NORTE DE MÉXICO. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 2010

Walker, Wynn R. 2003. SIRMOD III Surface Irrigation Simulation, Evaluation and Design. Utah State University. Logan, Utah, Estados Unidos de América.