

## PROYECTO

# Tecnología de riego para reducción de volúmenes utilizados en la producción de cultivos

RD-1211



## Informe final

COORDINACIÓN DE RIEGO Y DRENAJE  
SUBCOORDINACIÓN DE INGENIERÍA DE RIEGO

México, 2012



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES



**DIRECTOR GENERAL**

Dr. Poliopro Fortunato Martínez Austria

**COORDINADOR DE RIEGO Y DRENAJE**

M.C Fernando Fragoza Díaz

**SUBCOORDINADOR DE INGENIERÍA DE RIEGO**

M.C Juan Carlos Herrera Ponce

**JEFE DE PROYECTO**

M.C. Pedro Pacheco Hernández

**PARTICIPANTES**

M.C. Juan Manuel Ángeles Hernández

Ing. Armando De los Santos García

M. Sc. Helene Emmi Karin Unland Weiss

## CONTENIDO

<b>1. METODOLOGIA .....</b>	<b>5</b>
1.1.- DETERMINAR VOLÚMENES APLICADOS, RENDIMIENTOS Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA PARA UN CULTIVO CON SURCOS ALTERNOS Y RIEGO INTERMITENTE EN UNA PARCELA A NIVEL COMERCIAL .....	5
1.1.1 Distrito de Riego 041 Valle del Yaqui, Sonora .....	5
1.1.1.1 Introducción.....	5
1.1.1.2 Materiales y Métodos .....	5
1.1.2.- Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, Sinaloa .....	8
1.1.2.1 Introducción.....	8
1.1.2.2 Seguimiento agronómico .....	8
1.1.2.3 Seguimiento hidráulico .....	8
1.1.3.- Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa .....	8
1.1.3.1 Introducción.....	8
1.1.3.2 Seguimiento agronómico.....	8
1.1.3.3 Seguimiento hidráulico .....	9
1.2 VOLÚMENES APLICADOS Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA PARA UN CULTIVO PRODUCIDO EN INVERNADERO.....	9
1.2.1 Revisión de información .....	9
1.2.1.1 Origen .....	11
1.2.1.2 Taxonomía y Morfología .....	11
1.2.1.3 Requerimientos edafoclimáticos .....	12
1.2.1.4 Particularidades del cultivo.....	13
1.2.2 Actividades .....	15
1.2.2.1 Caracterización del sitio .....	15
1.2.2.2 Manejo del cultivo .....	17
1.2.2.3 Instalación de sensores.....	18
1.2.2.4 Cultivo .....	20
1.3 ESTIMACIÓN MICROLISIMÉTRICA DEL CONSUMO DE AGUA DE UN CULTIVO .....	21
1.3.1 Evaluación de un microlisímetro de succión en campo comparado con lisimetría de pesada .....	21
1.3.1.1 Introducción.....	21
1.3.1.2 Materiales y métodos .....	21
1.3.2 Evaluación de un microlisímetro de succión en invernadero comparado con microlisimetría de balance.....	27
1.4 COMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE "PROGRAMA PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO PARCELARIO" .....	28
1.5 UN VIDEO SOBRE TECNOLOGÍA DE RIEGO DE ALTA EFICIENCIA. ....	28
<b>2 RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>33</b>
2.1 DETERMINAR VOLÚMENES APLICADOS, RENDIMIENTOS Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA PARA UN CULTIVO CON SURCOS ALTERNOS Y RIEGO INTERMITENTE EN UNA PARCELA A NIVEL COMERCIAL .....	33
2.1.1 Distrito de Riego 041 Valle del Yaqui, Sonora .....	33
2.1.1.1 Aplicación de agua en los tratamientos de riego .....	33
2.1.1.2 Curva de avance por tratamiento .....	35
2.1.1.3 Curvas de avance total de los 6 riegos de auxilio.....	45
2.1.1.4 Análisis de las variables respuesta del cultivo .....	48
2.1.2 Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, Sinaloa.....	50
2.1.2.1 Seguimiento agronómico .....	50
2.1.2.2 Seguimiento hidráulico .....	64
2.1.3 Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa .....	72
2.1.3.1 Seguimiento agronómico .....	72
2.1.3.2 Seguimiento hidráulico .....	82
2.2 VOLÚMENES APLICADOS Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA PARA UN CULTIVO PRODUCIDO EN INVERNADERO.....	100
2.2.1 Caracterización fisicoquímica del suelo .....	100

2.2.2 Manejo del cultivo .....	101
2.2.3 Análisis de datos climatológicos.....	102
2.2.4 Evapotranspiración dentro del invernadero .....	108
2.2.5 Requerimiento de riego dentro del invernadero .....	109
2.2.6 Volumen de agua requerido y aplicado.....	111
2.3 ESTIMACIÓN MICROLISIMÉTRICA DEL CONSUMO DE AGUA DE UN CULTIVO .....	112
2.3.1 Evaluación de un microlisímetro de succión en campo comparado con lisimetría de pesada .....	112
2.4 COMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE "PROGRAMA PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO PARCELARIO" .....	135
2.4.1 Requerimientos de Hardware .....	135
2.4.2 Requerimientos de Software .....	136
2.4.3 Contenido del Cd.....	136
2.4.4 Contenido del Sistema .....	136
2.4.4.1 Menú Principal.....	136
2.4.4.2 Sistema de riego por gravedad .....	137
2.4.4.3 Descripción del sistema .....	137
2.4.4.4 Procedimiento de evaluación .....	138
2.4.4.5 Uniformidad y Eficiencia .....	139
2.4.5 Sistema de riego por goteo.....	140
2.4.5.1 Descripción del sistema .....	141
2.4.5.2 Procedimiento de evaluación .....	142
2.4.5.3 Uniformidad y Eficiencia .....	142
2.4.6 Sistema de riego por aspersión .....	144
2.4.6.1 Descripción del sistema .....	144
2.4.6.2 Procedimiento de evaluación .....	145
2.4.6.3 Uniformidad y Eficiencia .....	146
2.5 UN VIDEO SOBRE TECNOLOGÍA DE RIEGO DE ALTA EFICIENCIA. ....	147
<b>3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>149</b>
<b>4. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>151</b>

## RESUMEN

El uso del agua a nivel parcelario es muy deficiente la cual es provocada por la falta de conciencia sobre el manejo del sistema de riego. Ocasionándose grandes pérdidas de agua por escurrimiento o percolación profunda. Lo anterior, exige la búsqueda de nuevas alternativas de aplicación del riego que permitan optimizar el uso del agua en la parcela y una de ellas es en riego por surcos alternados y flujo intermitente. Bajo este contexto, se planteó el darle seguimiento a una parcela en producción regada mediante surcos alternados y riego intermitente. En el experimento se aplicaron 6 riegos de auxilio, y en la comparación de los dos sistemas, se encontró que se tiene un ahorro de agua en promedio de 25.37% con el riego intermitente comparado con flujo continuo. Y en cuanto a rendimiento de algodón en el intermitente en surco doble y alternado se aumentó de 0.79 y 0.62 ton/ha respectivamente, comparado con flujo continuo en surcos doble y alternado.

Las grandes zonas de riego del país se localizan en zonas áridas y semiáridas, con fuertes problemas de disponibilidad hídrica, que por efectos del cambio climático se acentúa, lo cual afecta grandemente el rendimiento de los cultivos. Ante esta problemática, es indispensable desarrollar y transferir tecnologías para el uso eficiente del riego parcelario, que permitan reducir los volúmenes de agua aplicados, mantener el rendimiento de los cultivos, e incrementar la productividad del agua.

El riego intermitente y con surcos alternos son métodos eficientes para el manejo del agua a nivel parcelario, los cuales son necesarios transferirlos a los usuarios mediante demostraciones de su uso a nivel comercial en los distritos de riego, pues se ha demostrado ahorros del 30% al 40% del agua en comparación con los métodos tradicionales.

El mayor impacto de las tecnologías se obtiene en parcelas con las restricciones más fuertes para el riego por gravedad, como son: grandes longitudes de riego, texturas ligeras, escasez de agua, alto costo del agua, etc. En el área del Distrito de Riego 076, Valle del Carrizo, Sinaloa, se tienen parcelas con al menos una de estas restricciones. La Asociación de Usuarios Productores Agrícolas Módulo de Riego No. 1, Distrito 076 Valle del Carrizo, Sin., A.C. (Módulo 1) cuenta con personal de campo para dar seguimiento a la parcela, con productores cooperantes cuyas parcelas tienen alguna de estas restricciones, y con personal de gabinete para el procesamiento de la información mediante archivos digitales en formatos MS Word, Excel y jpg. Además, se garantizó que el productor cooperante disponga de agua durante todo el ciclo de cultivo, y que permita el uso y seguimiento de la tecnología en la parcela con dimensiones comerciales, en el área de influencia en el Distrito de Riego 076, Valle del Carrizo, Sinaloa.

Las grandes zonas de riego del país se localizan en zonas áridas y semiáridas, con fuertes problemas de disponibilidad hídrica, que por efectos del cambio climático se acentúa, lo cual afecta grandemente el rendimiento de los cultivos. Ante esta problemática, es indispensable desarrollar y transferir tecnologías para el uso eficiente del

riego parcelario, que permitan reducir los volúmenes de agua aplicados, mantener el rendimiento de los cultivos, e incrementar la productividad del agua.

El riego intermitente y con surcos alternos son métodos eficientes para el manejo del agua a nivel parcelario, los cuales son necesarios transferirlos a los usuarios mediante demostraciones de su uso a nivel comercial en los distritos de riego, pues se ha demostrado ahorros del 30% al 40% del agua en comparación con los métodos tradicionales.

El mayor impacto de las tecnologías se obtiene en parcelas con las restricciones más fuertes para el riego por gravedad, como son: grandes longitudes de riego, texturas ligeras, escasez de agua, alto costo del agua, etc. En el área del municipio de Angostura, Sinaloa, se tienen parcelas con al menos una de estas restricciones. SEPIASA S.A. de C.V. cuenta con personal de campo para dar seguimiento a la parcela, con productores cooperantes cuyas parcelas tienen alguna de estas restricciones, y con personal de gabinete para el procesamiento de la información mediante en archivos digitales en formatos MS Word, Excel y jpg. Además, se garantizó que el productor cooperante disponga de agua durante todo el ciclo de cultivo, y que permita el uso y seguimiento de la tecnología en la parcela con dimensiones comerciales, en el área de influencia en el D.R. 010 Culiacán-Humaya-San Lorenzo, Sinaloa.

Se realizó la simulación del coeficiente dual con la metodología de la FAO, se divide el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) en dos: uno para la transpiración de cultivo denominado coeficiente basal de cultivo ( $K_{cb}$ ) y otro para la evaporación del suelo ( $K_e$ ). Se identificaron las duraciones de las etapas de desarrollo de cultivo de la lechuga y se seleccionaron los valores correspondientes de  $K_{cb}$  para la etapa inicial ( $K_{cb\ ini}$ ), media ( $K_{cb\ med}$ ) y final ( $K_{cb\ fin}$ ), después se construyó la curva del coeficiente basal de cultivo para la obtención de los valores diarios de  $K_{cb}$  y posteriormente se determinaron los valores diarios de  $K_e$  para la evaporación en la superficie del suelo, por último se calcularon los valores diarios del coeficiente dual como la suma de  $K_{cb}$  y  $K_e$ .

En cuanto al método del lisímetro de pesada se realizó un trasplante de plántulas de lechuga en el lisímetro y zona aledaña, después del trasplante se tomaron lecturas diarias de peso para posteriormente determinar los coeficientes diarios de cultivo.

Al final se realizó una comparación gráfica de los coeficientes de cultivo para determinar las similitudes y diferencias que existen entre estos dos métodos.

## INTRODUCCIÓN

Las grandes zonas de riego del país se localizan en zonas áridas y semiáridas, con fuertes problemas de disponibilidad hídrica, que por efectos del cambio climático se acentúa, lo cual afecta grandemente el rendimiento de los cultivos. Ante esta problemática, es indispensable desarrollar y transferir tecnologías (surcos alternos, riego intermitente, macrotúneles, acolchados e invernaderos, cuantificación microlisimétrica del consumo de agua por las plantas, etc) para el uso eficiente del riego parcelario, que permitan reducir los volúmenes de agua aplicados, mantener el rendimiento de los cultivos, e incrementar la productividad del agua. El riego intermitente y con surcos alternos son métodos eficientes para el manejo del agua a nivel parcelario, los cuales son necesario transferirlos a los usuarios mediante demostraciones de su uso a nivel comercial en los distritos de riego, pues se ha demostrado ahorros del 30% al 40% del agua en comparación con los métodos tradicionales. La agricultura protegida está evolucionando para un uso más eficiente del agua y la disminución del uso de agroquímicos, entre otras opciones mediante el manejo orgánico y el uso de componentes orgánicos en los sustratos, por lo que es necesario dar el seguimiento a los parámetros agroclimatológicos y de productividad del agua y los cultivos hortícolas. Los conocimientos actuales permiten el desarrollo tecnológico de un microlisímetro para cuantificar el consumo de agua por las plantas, donde sus orígenes son el funcionamiento de los tensiómetros, con el auto-irrigador del riego por succión para mantener el cultivo en condiciones óptimas de humedad, pero con dificultades en la uniformidad del riego a nivel de campo, por la no uniformidad de las propiedades hidráulicas de los materiales utilizados en la fabricación de los cuerpos porosos, siendo necesario revisar, diseñar, construir y evaluar, microlisímetros de succión de bajo costo y alta precisión. El software desarrollado para evaluar sistemas de riego debe ser mejorado continuamente, para que proporcione un servicio de mayor calidad a sus usuarios y así contribuir de manera más eficiente al uso sustentable del agua de riego. La tecnología que más impacte en el ahorro del agua debe ser transferida a los usuarios de la manera más rápida posible y el video es una de las herramientas que mejor contribuyen a la transferencia de tecnología de riego

La lechuga (*Lactuca sativa L.*) se cultiva en cualquier época del año y como el resto de las hortalizas, es un buen abastecedor de vitaminas, minerales y sales indispensables para el ser humano. La conciencia que existe por mantener la salud a través del consumo de vegetales y frutas, ha provocado un mayor consumo de estas, que para el caso de México ha crecido significativamente el consumo.

Por ello, es importante investigar las variables que influyen en la producción, uno de los aspectos más importantes es la determinación de los requerimientos hídricos en el desarrollo del cultivo. Cabe mencionar que el agua disponible para el riego de los cultivos está cada vez más limitada tanto cuantitativa como cualitativamente debido al crecimiento acelerado de las demandas para uso doméstico e industrial, ello hace cada vez más necesaria la utilización eficiente del agua en los sistemas de riego.

Un riego eficiente es aquel capaz de mantener la humedad del suelo dentro de límites apropiados, para ello va a depender de las características propias de los cultivos, las condiciones climáticas, el manejo y el medio de desarrollo, todo lo cual se expresa a través de la evapotranspiración (ET).

La metodología aprobada por la FAO para el estudio de la evapotranspiración de los cultivos ( $ET_c$ ) se basa en su cálculo como el producto de la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) y el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), (Allen *et al.*, 2006).

En el presente trabajo se presenta el método de simulación del coeficiente dual propuesto por la FAO en su publicación 56 para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en el ciclo primavera – verano para las condiciones climáticas de Chapingo, Texcoco, Estado de México y su comparación con los coeficientes de cultivo obtenidos mediante el lisímetro de pesada.

En una zona de riego pueden existir diferentes métodos de riego en las cuales podemos señalar que existe gran diversidad, el Programa para Evaluación de Sistemas de Riego Parcelario es un sistema que nos permite realizar una evaluación de un sistema de riego de una manera más simple con sólo unos cuantos cálculos.

Este programa fue diseñado con la finalidad de que el usuario tenga un mejor aprovechamiento de sus recursos y tiempo para la eficaz evaluación de los sistemas de riego, cubriendo de esta manera sus requerimientos y brindándole las recomendaciones necesarias para llevar a cabo una mejor evaluación.

Se mostrará el funcionamiento de tres métodos de evaluación el Sistema de Riego por Gravedad, Sistema de Riego por Goteo y Sistema de Riego por Aspersión, presentando una descripción detallada de cada uno de los elementos de estos sistemas de riego.

El presente manual facilitará al usuario a comprender y manejar el programa de una manera adecuada, logrando una mayor eficiencia y rapidez para la sistematización de los datos manejados en cada sistema de riego.

## OBJETIVOS

Desarrollar y validar tecnologías de riego parcelario que permitan reducir los volúmenes utilizados en la producción de cultivos.

## **1. METODOLOGIA**

### **1.1.- Determinar volúmenes aplicados, rendimientos y productividad del agua para un cultivo con surcos alternos y riego intermitente en una parcela a nivel comercial**

Se evaluó el riego intermitente y con surcos alternos en parcelas demostrativas a nivel comercial en tres distritos de riego, los cuales se establecieron en alianza con instituciones de educación e investigación y con Asociaciones de Usuarios de riego, para determinar los volúmenes aplicados, rendimientos y productividad del agua en al menos una de ellas.

#### **1.1.1 Distrito de Riego 041 Valle del Yaqui, Sonora**

##### **1.1.1.1 Introducción**

Se evaluó el riego intermitente y con surcos alternos en parcelas demostrativas a nivel comercial en tres distritos de riego, los cuales se establecieron en alianza

##### **1.1.1.2 Materiales y Métodos**

###### a) Descripción del sitio de estudio

El seguimiento de la parcela experimental se realizó en el campo de una agricultor cooperante del Valle del Yaqui, en el cual cuenta con un cultivo de algodón regado con el sistema de riego por gravedad, en el ciclo productivo primavera-verano 2012.

El suelo donde se desarrolló el estudio es del tipo arcilloso compactado, el cual se preparó para el establecimiento del experimento con dos rastreos cruzados, tabloneo, trazo de surcos, canales y drenes la parcela consiste en 100 surcos, donde cada surco tiene una longitud de 400 m y un ancho de 0.95m, resultando una superficie de 80000 m<sup>2</sup>. En el cuadro 1.1 se presenta el análisis de textura del campo para dos profundidades 0-30 y 30-60cm.

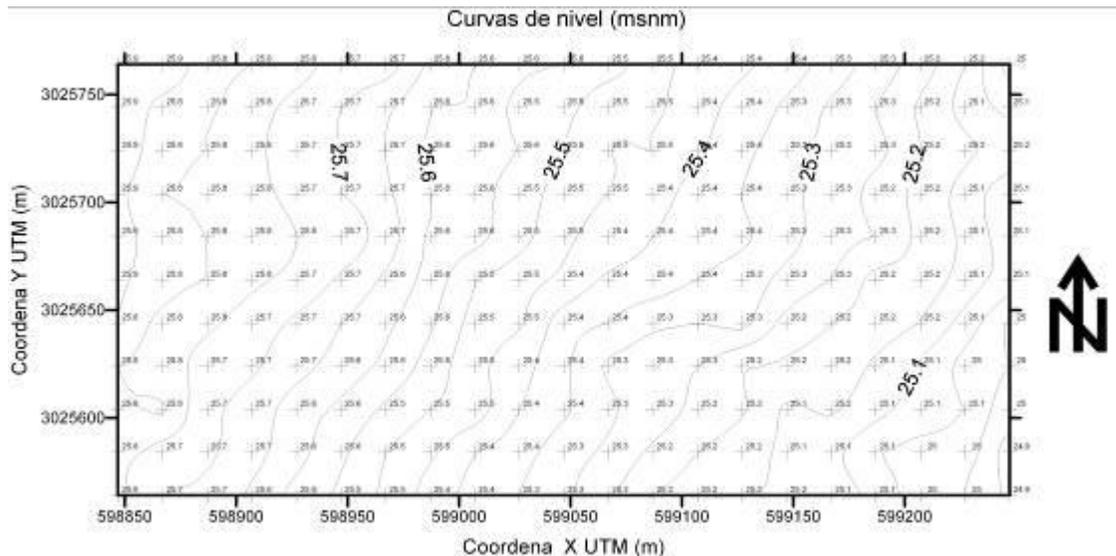
**Cuadro 1.1** Análisis de textura de la parcela 1002 del Valle del Yaqui.

MUESTRA	%ARENA	%ARCILLA	%LIMO	TEXTURA.	CC	PMP
0-30	17.65	62.55	19.13	Arcilla	36.14	21.10
30-60	15.08	65.45	19.47	Arcilla	37.53	21.97

El cultivo utilizado es algodón, el híbrido Dp 0935, el cual es el recomendado para el ciclo primavera-verano en el Valle del Yaqui. La siembra se realizó el día 5 de marzo del 2012 con una sembradora que arrojaba alrededor de 28 semillas por metro línea.

El manejo del cultivo se realizó de manera convencional acorde al esquema que utilizan los productores de la región del Valle del Yaqui, utilizando una fertilización base de 150 unidades de nitrógeno, 6 ton/ha de gallinaza/ha, seguido de aportaciones nitrogenadas de 25 unidades por riego de auxilio. Por otra parte en etapas tempranas se realizaron aplicaciones para el control de malas hierbas con Faena.

En la imagen 1.1 se presenta el levantamiento topográfico del campo donde se puede observar que el terreno tiene una pendiente de este a oeste de 0.22% y es el sentido del riego



**Imagen 1.1** Levantamiento topográfico de la parcela 1002 de Algodón.

b) Diseño experimental

Se están evaluando 6 tratamientos en algodón (Cuadro 1.2):

**Cuadro 1.2** Control de tratamientos evaluados

TRATAMIENTOS	DESCRIPCIÓN
1	Testigo surco doble
2	Testigo surco alternado
3	Intermitente surco doble
4	Intermitente surco alternado

Los tratamientos están distribuidos en la parcela, de 50 surcos cada uno. Para la toma de dato se va a dividir 4 secciones, donde cada sección representa una repetición. En total son 4 repeticiones por tratamiento, donde cada unidad experimental estará conformada por 12 metros cuadrados; y los resultados se analizaron por el diseño de parcelas anidadas.

Aplicación de agua por tratamiento de riego.

Dentro de la aplicación del riego se realizó el aforo a diferentes niveles de carga para obtener la curva de carga-gasto. En cada riego de auxilio se tomó el tiempo de inicio y término, así como el gasto aplicado por sifón para calcular la Imagen de riego aplicada.

Curva de avance por tratamiento

También se registró el avance del agua a cada 30 mts, a lo largo del surco. Con la finalidad de determinar el tiempo requerido para alcanzar el final del surco.

Respuesta del cultivo a los tratamientos de riego.

La respuesta del cultivo se evaluó a través de las variable de desarrollo fenológico y de rendimiento del cultivo.

Altura de planta, bellotas y capullos

Se midió durante el crecimiento del cultivo cada semana con las ayuda de una cinta métrica desde la base del tallo hasta la última hoja completamente desarrollada.

## **1.1.2.- Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, Sinaloa**

### **1.1.2.1 Introducción**

Para cumplir con los productos, se realizó la siguiente metodología:

#### **1.1.2.2 Seguimiento agronómico**

El Módulo 1 integró la información básica de cultivos sembrados en lotes con características para parcela de seguimiento, estableció los contactos y relaciones necesarias para el establecimiento de la parcela demostrativa.

El Módulo 1 dio seguimiento al desarrollo del cultivo, en relación con los parámetros de altura de planta, etapas de desarrollo y rendimiento.

#### **1.1.2.3 Seguimiento hidráulico**

El Módulo 1 dio seguimiento al desarrollo de los parámetros hidráulicos del riego: avance, recesión e imagen aplicada.

## **1.1.3.- Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa**

### **1.1.3.1 Introducción**

Para cumplir con los productos, se realizó la siguiente metodología:

#### **1.1.3.2 Seguimiento agronómico.**

Se integró la información básica de cultivos sembrados en lotes con características para parcela de seguimiento, se estableció los contactos y relaciones necesarias para el establecimiento de la parcela demostrativa.

Se dio seguimiento al desarrollo del cultivo, en relación con los parámetros de altura de planta, etapas de desarrollo y rendimiento.

### 1.1.3.3 Seguimiento hidráulico

Se dio seguimiento al desarrollo de los parámetros hidráulicos del riego: avance, recesión e imagen aplicada.

## 1.2 Volúmenes aplicados y productividad del agua para un cultivo producido en invernadero

En la República Mexicana, la agricultura de riego actualmente consume el 78% del agua total utilizada, mientras que, la demanda de agua por otros usos (doméstico, servicios, industrial y recreación) está en aumento continuo, lo que ha causado una tendencia a reducir el porcentaje de agua disponible para la agricultura, aunando que la demanda de alimentos por la población es cada vez mayor. Para ofrecer una solución a esta problemática de la agricultura de riego, se busca incrementar la productividad del agua.

La agricultura protegida bajo condiciones de invernadero representa una excelente alternativa para reducir los volúmenes de agua aplicados a los cultivos y al mismo tiempo, elevar la producción, lo cual se refleja en el incremento de la superficie con invernaderos en los últimos años y en el incremento de la tecnificación de riego incluyendo el uso de sistemas de riego de alta eficiencia. Un aspecto emergente del proceso de tecnificación es la instrumentación de los invernaderos con sensores agrometeorológicos para determinar los requerimientos hídricos reales de los cultivos bajo condiciones de invernadero, ya que hay diferencias importantes entre las condiciones ambientales externas e internas del invernadero.

Como parte de este estudio, se instrumentó un invernadero en la población de Ocuilco, estado de Morelos, para llevar a cabo la producción de un cultivo de pepino, desarrollado bajo condiciones de ambiente protegido. Los datos de los sensores ubicados en el exterior e interior del invernadero se utilizaron para estimar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>). Con los datos de la ET<sub>o</sub> y del desarrollo fenológico del cultivo, se calculó la evapotranspiración real del cultivo y el requerimiento de riego con fines de verificar la programación de los intervalos de riego.

### 1.2.1 Revisión de información

Actualmente, los consumidores están más interesados que nunca en el origen de los productos, de cómo fueron cultivados o si son seguros para comerse, así como del contenido nutricional enfatizando su preocupación por la posible contaminación con agroquímicos, especialmente por los de consumo en fresco. Por lo anterior, es necesario encontrar sistemas de producción apegados lo más cercano posible a lo no aplicación de agroquímicos, siendo uno de los caminos, la agricultura orgánica, la cual según la FAO

(2001) en forma general, la define como un método agrícola en el que no se utilizan fertilizantes ni plaguicidas sintéticos.

Se ha mencionado, que los principales problemas que enfrenta la agricultura orgánica, en México y en algunos lugares del mundo, son la comercialización, las limitantes ambientales, los costos de producción y la insuficiencia de capacitación e investigación; la comercialización debido a la oferta y demanda, en función del suministro constante de producto; las limitantes ambientales, debido a las aspersiones de agroquímicos en áreas aledañas a las orgánicas, repercutiendo en la contaminación de éstas, así como el agotamiento de los suelos; los costos de producción, debido a que la mayoría de los productos autorizados son extranjeros y por consiguiente de precio elevado, mientras que la insuficiencia de capacitación e investigación, origina que los productores recurran a técnicos y/o instituciones extranjeras.

La tendencia actual de producción de hortalizas es realizarla bajo invernadero, estas estructuras pretenden mejorar las condiciones ambientales para incrementar la productividad en función del nivel de tecnificación del invernadero, el cual garantiza que el producto cumpla con los estándares de calidad e inocuidad alimentaria que exigen los mercados internacionales, sin embargo, el principal problema de la producción en invernadero, una vez que se tienen las condiciones ambientales controladas, es la presencia de plagas y enfermedades así como la fertilización. Que de no efectuarse un efectivo control de plagas y patógenos, éstos puede llevar al exterminio total, lo anterior origina que la mayoría de los productos agroquímicos se apliquen de manera preventiva y continúa, sin tomar en cuenta los umbrales de acción, originando que el fruto lleve altas cantidades de residuos de agroquímicos, los cuales son monitoreados minuciosamente al pretender ser exportados con la consecuencia del rechazo del producto. Por otro lado, la fertilización nitrogenada se lleva a cabo básicamente con fuentes de nitratos, debido a su mayor solubilidad, sin embargo, éstos, pueden originar un daño en nuestro organismo, siendo mayor el problema en niños, debido a que si los nitratos no son dañinos, pueden convertirse a nitritos, los cuales en altas concentraciones son tóxicos.

El rendimiento de cultivos orgánicos en México a cielo abierto es bajo, por lo que es conveniente, producir en invernadero, garantizando rendimientos mucho más elevados, garantizando obviamente la aplicación de insumos orgánicos para garantizar la obtención de un producto orgánico y prácticamente inocuo. Hoy en día existe creciente interés por utilizar fuentes orgánicas para abonar los suelos, en un intento de regresar los sistemas naturales a la producción orgánica.

Se mencionó que la diferencia entre la producción en invernadero de hortalizas convencional contra la orgánica, varía en el tipo de sustrato, las prácticas de fertilización y el método de control de problemas fitosanitarios; así mismo, se mencionó que lo esencial contra la lucha de los insectos y enfermedades en los sistemas orgánicos, es la prevención y que en la actualidad hay productos permitidos por las normas internacionales de productos orgánicos, los cuales son todos a base de extractos vegetales.

FAO (2001) menciona que Japón, la Comunidad Europea y Estados Unidos, son los principales consumidores de productos orgánicos, los cuales tiene un sobre precio del orden del 40%.

### 1.2.1.1 Origen

El pepino es originario de las regiones tropicales del sur de Asia, siendo cultivado en la India desde hace más de 3,000 años. De la India se extiende a Grecia y de ahí a Roma y posteriormente se introdujo en China. El cultivo de pepino fue introducido por los romanos en otras partes de Europa; aparecen registros de este cultivo en Francia en el siglo IX, en Inglaterra en el siglo XIV y en Norteamérica a mediados del siglo XVI, ya que Cristóbal Colón llevó semillas a América. El primer híbrido apareció en 1872.

### 1.2.1.2 Taxonomía y Morfología

-Familia: Cucurbitaceae.

-Especie: Cucumis sativus L.

-Sistema radicular: es muy potente, dada la gran productividad de esta planta y consta de raíz principal, que se ramifica rápidamente para dar raíces secundarias superficiales muy finas, alargadas y de color blanco. El pepino posee la facultad de emitir raíces adventicias por encima del cuello.

-Tallo principal: anguloso y espinoso, de porte rastrero y trepador. De cada nudo parte una hoja y un zarcillo. En la axila de cada hoja se emite un brote lateral y una o varias flores.

-Hoja: de largo pecíolo, gran limbo acorazonado, con tres lóbulos más o menos pronunciados (el central más acentuado y generalmente acabado en punta), de color verde oscuro y recubierto de un vello muy fino.

-Flor: de corto pedúnculo y pétalos amarillos. Las flores aparecen en las axilas de las hojas y pueden ser hermafroditas o unisexuales, aunque los primeros cultivares conocidos eran monoicos y solamente presentaban flores masculinas y femeninas y en la actualidad todas las variedades comerciales que se cultivan son plantas ginoicas, es decir, sólo poseen flores femeninas que se distinguen claramente de las masculinas porque son portadoras de un ovario ínfero.

-Fruto: pepónide áspero o liso, dependiendo de la variedad, que vira desde un color verde claro, pasando por un verde oscuro hasta alcanzar un color amarillento cuando está totalmente maduro, aunque su recolección se realiza antes de su madurez fisiológica. La pulpa es acuosa, de color blanquecino, con semillas en su interior repartidas a lo largo del fruto. Dichas semillas se presentan en cantidad variable y son ovals, algo aplastadas y de color blanco-amarillento.

### 1.2.1.3 Requerimientos edafoclimáticos

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación de uno de estos incide sobre el resto.

**Cuadro 1.3** Temperatura:

ETAPA DE DESARROLLO	TEMPERATURA (°C)	
	DIURNA	NOCTURNA
Germinación	27	27
Formación de planta	21	19
Desarrollo del fruto	19	16

Las temperaturas que durante el día oscilen entre 20°C y 30°C apenas tienen incidencia sobre la producción, aunque a mayor temperatura durante el día, hasta 25°C, mayor es la producción precoz. Por encima de los 30°C se observan desequilibrios en las plantas que afectan directamente a los procesos de Imagen síntesis y respiración y temperaturas nocturnas iguales o inferiores a 17°C ocasionan malformaciones en hojas y frutos. El umbral mínimo crítico nocturno es de 12°C y a 1°C se produce la helada de la planta. El empleo de dobles cubiertas en invernaderos tipo parral supone un sistema útil para aumentar la temperatura y la producción del pepino.

-Humedad: es una planta con elevados requerimientos de humedad, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa óptima durante el día del 60-70% y durante la noche del 70-90%. Sin embargo, los excesos de humedad durante el día pueden reducir la producción, al disminuir la transpiración y en consecuencia la Imagen síntesis, aunque esta situación no es frecuente.

Para humedades superiores al 90% y con atmósfera saturada de vapor de agua, las condensaciones sobre el cultivo o el goteo procedente de la cubierta, pueden originar enfermedades fúngicas. Además un cultivo mojado por la mañana empieza a trabajar más tarde, ya que la primera energía disponible deberá cederla a las hojas para poder evaporar el agua de su superficie.

-Luminosidad: el pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción.

-Suelo: el pepino puede cultivarse en cualquier tipo de suelo de estructura suelta, bien drenado y con suficiente materia orgánica. Es una planta medianamente tolerante a la salinidad (algo menos que el melón), de forma que si la concentración de sales en el

suelo es demasiado elevada las plantas absorben con dificultad el agua de riego, el crecimiento es más lento, el tallo se debilita, las hojas son más pequeñas y de color oscuro y los frutos obtenidos serán torcidos. Si la concentración de sales es demasiado baja el resultado se invertirá, dando plantas más frondosas, que presentan mayor sensibilidad a diversas enfermedades. El pH óptimo oscila entre 5,5 y 7.

#### 1.2.1.4 Particularidades del cultivo

##### a) Marcos de plantación

Para cultivos tempranos con intención de quitarlos pronto para realizar un cultivo de primavera, los marcos suelen ser más pequeños (1,5 m x 0,4 m ó 1,2 m x 0,5 m). La densidad de plantación puede oscilar entre 11.000 y 13.000 plantas/hectárea. Si el cultivo es más tardío o se pretende alargar la producción cubriendo los meses de invierno, habrá que ampliar los marcos para reducir la densidad de plantación, con el fin de evitar la competencia por la luz y proporcionar aireación.

##### b) Tutorado

Es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida, mejorando la aireación general de esta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales (destallados, recolección, etc.). Todo ello repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades.

La sujeción suele realizarse con hilo de polipropileno (rafia) sujeto de una extremo a la zona basal de la planta (liado, anudado o sujeto mediante anillas) y de otro a un alambre situado a determinada altura por encima de la planta. Conforme la planta va creciendo se va liando o sujetando al hilo tutor mediante anillas, hasta que la planta alcance el alambre. A partir de ese momento se dirige la planta hasta otro alambre situado aproximadamente a 0,5 m, dejando colgar la guía y uno o varios brotes secundarios.

##### c) Poda

En el caso de dejar caer la planta tras pasar el alambre para coger los frutos de los tallos secundarios, se recomienda no despuntar el tallo principal hasta que éste alcance unos 40 cm del suelo, permitiendo únicamente el desarrollo de dos tallos secundarios, eliminando todos los demás. Normalmente se suele realizar en variedades muy vigorosas.

##### d) Destallado

En pepino “tipo holandés” se suprimirán todos los brotes laterales para dejar la planta a un solo tallo. Para los restantes tipos de pepino la poda es muy similar, aunque no se eliminan los brotes laterales, sino que se despuntan por encima de la segunda hoja.

##### f) Deshojado

Se suprimirán las hojas viejas, amarillas o enfermas. Cuando la humedad es demasiado alta será necesario tratar con pasta fungicida tras los cortes.

g) Aclareo de frutos

Deben limpiarse de frutos las primeras 7-8 hojas (60-75 cm), de forma que la planta pueda desarrollar un sistema radicular fuerte antes de entrar en producción. Estos frutos bajos suelen ser de baja calidad, pues tocan el suelo, además de impedir el desarrollo normal de parte aérea y limita la producción de la parte superior de la planta.

Los frutos curvados, malformados y abortados deben ser eliminados cuanto antes, al igual que aquellos que aparecen agrupados en las axilas de las hojas de algunas variedades, dejando un solo fruto por axila, ya que esto facilita el llenado de los restantes, además de dar también mayor precocidad.

h) Utilización de la fibra de coco como sustrato.

La fibra de coco es un subproducto de la industria del coco que se encuentra disponible en grandes cantidades en los países productores de cocos (cocos nucifera). Los subproductos resultantes del desfibrado de la nuez de coco proceden del mesocarpio de la misma y consisten en fibras largas, que se suelen utilizar para diversas actividades de manufactura, más restos de fibra y polvo, de aspecto similar a la turba, que se acumulan como residuo. Son generalmente estos restos de fibras, de longitud inferior a 2 mm, los que suelen utilizarse en mezclas como sustrato y se presentan generalmente prensadas en ladrillos que deben deshacerse y humectarse previamente a su uso. Las fibras largas, de longitud superior a 16 mm, se utilizan como sustratos en el cultivo hidropónico. Los países productores de fibra de coco son los países situados en los trópicos. En España se pueden encontrar fibra de coco procedente de Sri Lanka, México y Costa de Marfil, entre otros.

La fibra de coco consiste en partículas de lignina y celulosa, con una relación de C/N de 80. Aunque en general la fibra de coco puede utilizarse fresca, para algunos tipos de fibra de coco se presenta toxicidad del cultivo.

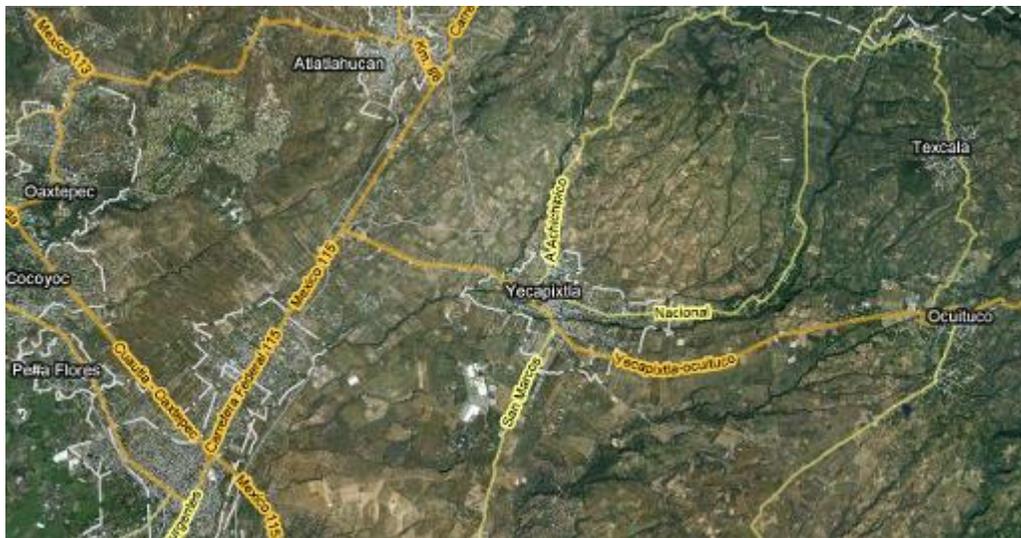
Este material tiene elevada capacidad de retención de agua y se ha utilizado tradicionalmente para mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos. La aplicación de fibra de coco mejora la retención de agua, aumenta la disponibilidad de nutrientes y aumenta la tasa de infiltración, la porosidad total y la conductividad hidráulica de los suelos donde se utiliza. La fibra de coco tiene bajo contenido de nutrientes, excepto para el potasio. Su pH, varía de 4 a 7; su conductividad eléctrica puede variar entre 0.1 y 6.0 ds/m, procediendo la elevada salinidad del lavado o contacto con agua de mar en las zonas de origen; este aspecto puede resultar un inconveniente para el cultivo, habiéndose encontrado material de distintas características (es conveniente analizar todos los pedidos de fibra de coco, al menos, con respecto a la salinidad). Se han descrito también algunos problemas de exceso de cloro, sodio o potasio. El contenido de materia orgánica es de

85-90 %. La capacidad de intercambio catiónico está entre los 20 y 30 meq/1. La porosidad total es superior al 80%, con aireación muy elevada. La conductividad hidráulica es también muy elevada. Su densidad varía entre 50 y 100 Kg. de materia seca por metro cúbico.

## 1.2.2 Actividades

### 1.2.2.1 Caracterización del sitio

Se seleccionó un invernadero de un productor cooperante, C. Herminio Morales, localizado en la población de Ocuituco, estado de Morelos, para llevar a cabo la producción de un cultivo de pepino desarrollado bajo condiciones de ambiente protegido. En la imagen 1.2 se muestra la ubicación del sitio. Sus coordenadas geográficas son 18°52.881 de latitud norte y 98°47.039 de longitud oeste, a una altura de 1852 metros sobre el nivel del mar.



**Imagen 1.2** Localización del invernadero en la carretera Yecapixtla-Ocuituco, Morelos.

El invernadero seleccionado tiene una superficie de 3,500 m<sup>2</sup>, de 100 m x 35 m de ancho.

Cuenta con una estructura de aluminio, conformado por seis naves cada una, cubierta con plástico calibre 7-20, con 75 % de luz, y un sistema de mallas laterales para protección de antiácidos. En la Imagen 1.3 se observa el invernadero.



**Imagen 1.3** Ubicación del invernadero. **Imagen 1.4** Tanque-cisterna de almacenamiento del agua.

La fuente de abastecimiento del agua de riego proviene de un pozo profundo con capacidad de 1 litro por segundo, el cual descarga en un tanque-cisterna de almacenamiento antes de su incorporación al cultivo. En la Imagen 1.3 se muestra el tanque de almacenamiento del agua bombeada del pozo profundo, el cual tiene una capacidad de 80 metros cúbicos.

El cabezal de bombeo consta de un sistema de bombeo que abastece a una superficie total de 2 ha con invernadero. Consta de un equipo motor bomba, un sistema de filtrado de discos y un sistema de inyección de fertilizantes. La imagen 1.5 muestra el cabezal de bombeo.



a) Texto **Imagen 1.5** Cabezal de bombeo, equipo motor bomba y filtrado e inyección de fertilizantes.  
b) Texto

3 Variables medidas de riego.

**Cuadro 1.4** Datos generales del productor y características básicas del predio.

<b>NOMBRE DEL PRODUCTOR:</b>	<b>HERMINIO MORALES</b>
Nombre del predio o campo:	Tecnifrutos
Nombre del técnico:	Ignacio Castillo
Tipo de tenencia:	Pequeña propiedad
Localidad:	Ocuituco
Municipio:	Ocuituco
Entidad Federativa:	Morelos
Cultivo:	Pepino
Fecha de siembra	25 de abril de 2012
Superficie del invernadero (ha):	0.35
Pendiente del terreno (%):	Mayor de 5 %
Duraciones del riego de la superficie tecnificada:	4 riegos al día, de 10 minutos cada riego
Textura del suelo:	Franca

### 1.2.2.2 Manejo del cultivo

El cultivo de pepino se sembró el día 25 de abril de 2012, sembrado directamente en el suelo con acolchado de plástico, solamente 2 camas se cultivaron en bolsas de plástico (Imagen 1.6). El manejo al principio del ciclo fue orgánico, sin embargo a partir de aproximadamente mediados de julio, se cambió a uso de abonos inorgánicos.

La integración y mezcla del sustrato orgánico se realizó en la siguiente proporción de los siguientes materiales: 64% de tierra natural del sitio, 17% de fibra de coco, 11% de tezontle y 8% de lombricomposta.



a) Contenedores con sustratos



b) sustrato

**Imagen 1.6** Llenado de contenedores con mezcla de sustratos.

### 1.2.2.3 Instalación de sensores

Se rehabilitaron los sensores instalados dentro y fuera del invernadero en Ocuituco, Morelos; se dio un mantenimiento completo a todos los sensores, limpiándoles y re-nivelando los sensores de radiación solar y viento. Se instaló una nueva pila en la estación dentro del invernadero, ya que ésta había dejado de funcionar por falta de carga en la pila vieja. Se instaló un nuevo pluviómetro en el techo del invernadero, ya que se había perdido la cubeta del pluviómetro anterior lo que ocasionó medición incorrecta de la precipitación. Se inició la colección de datos válidos dentro del invernadero; para el período del 1 al 14 de mayo solamente se cuenta con datos válidos de temperatura y humedad relativa de la estación instalado fuera del invernadero. Los datos del pluviómetro son válidos a partir del 26 de mayo 2012.



**Imagen 1.7** Pepino recién sembrado directo bajo acolchado de plástico (edad 10 días) y estación meteorológica instalada dentro del invernadero (Imagen tomada 14 mayo 2012).



**Imagen 1.8** Pepino sembrado en bolsas dentro del invernadero (edad 10 días) con riego por goteo (Imagen tomada 14 mayo 2012).

Afuera del invernadero, se instalaron sensores de temperatura del aire y humedad relativa (Imagen 1.9) a la misma altura que los sensores correspondientes dentro del invernadero; sensores de velocidad del viento y precipitación se instalaron en el techo del invernadero

para asegurar que no estén tapados por paredes de edificios cercanos (Imagen 1.10). Se presentaron fallas intermitentes en el sensor de radiación solar que se había instalado afuera del invernadero en la temporada anterior; por lo tanto, se tuvo que quitar el piranómetro antes instalado en el techo del invernadero. La falta del piranómetro fuera del invernadero no afectó el cálculo de la ETo y del requerimiento de riego, ya que no se afectaron los sensores instalados dentro del invernadero. La estación dentro del invernadero cuenta con sensores de temperatura, humedad relativa, radiación solar y humedad del suelo. El sensor de humedad del suelo se instaló el 8 de junio 2012.



**Imagen 1.9** Sensores afuera del invernadero (Imagen tomada 25 mayo 2012).



**Imagen 1.10** Anemómetro e instalación del nuevo pluviómetro en el techo del invernadero (Imagen tomada 25 mayo 2012).

Se instaló y se configuró el software para visualizar y bajar los datos de clima de forma manual a una laptop, mediante cable serial-USB (Imagen 1.10), ya que el productor cooperante actualmente no cuenta con computadora PC en el sitio del invernadero. Se comprobó el funcionamiento de todos los sensores instalados dentro y fuera del invernadero y se bajaron los datos periódicamente. Datos se guardan en promedios de cada 15 minutos.



**Imagen 1.11** Recolección y visualización de datos usando laptop.

#### 1.2.2.4 Cultivo

Si la gráfica del KC del pepino se elaboró con información de la FAO, hacer la cita correspondiente.

El cultivo de pepino se sembró el día 25 de abril de 2012, se sembró la variedad “Alanes”. Gran parte del invernadero cuenta con pepino sembrado directamente en el suelo con acolchado de plástico, solamente 2 camas consisten en pepino sembrado en suelo en bolsas de plástico (Imagen 1.10 y 1.11). El manejo al principio del ciclo fue orgánico, sin embargo a partir del 15 de julio, se cambió a uso de abonos inorgánicos.

El coeficiente de cultivo para pepino de invernadero es de 0.6 en la etapa inicial, incrementa linealmente durante la etapa de desarrollo hasta llegar a 1.15 en la etapa media, y baja a 0.75 hasta el final del ciclo (FAO, 1998). La duración del ciclo es de 115 días (duración de etapa inicial, desarrollo, media y final: 23, 31, 40 y 15 días, respectivamente). La fecha de siembra siendo 4 de mayo, el fin de ciclo se espera para el 5 de septiembre (Imagen 1.12).

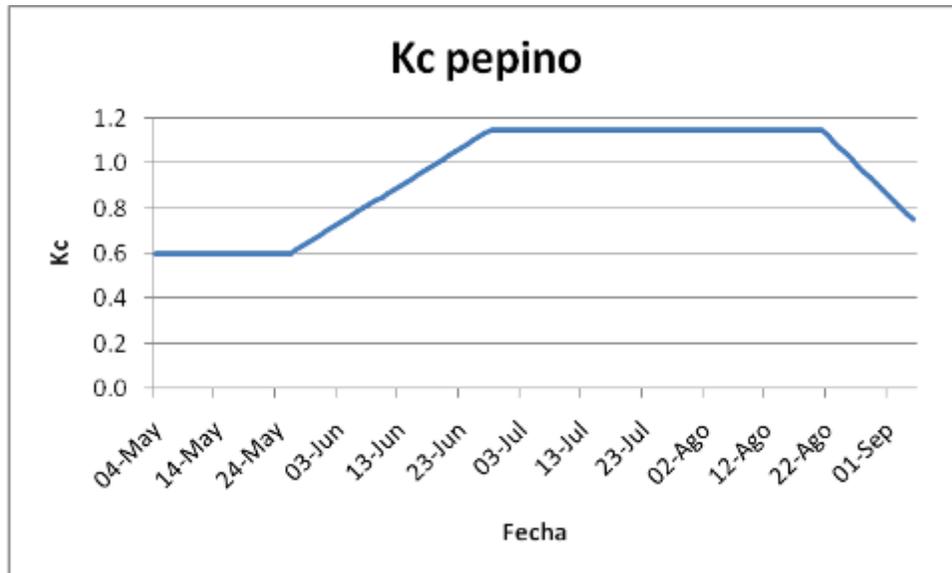


Imagen 1.12 Variación del coeficiente de cultivo de pepino.

### 1.3 Estimación microlisimétrica del consumo de agua de un cultivo

#### 1.3.1 Evaluación de un microlisímetro de succión en campo comparado con lisimetría de pesada

Se evaluaron microlisímetros en un campo experimental que cuente con lisímetro de pesada, estableciendo un cultivo de referencia de ciclo corto.

##### 1.3.1.1 Introducción

Evaluarán microlisímetros

##### 1.3.1.2 Materiales y métodos

Ubicación del sitio experimental

El experimento se realizó en el terreno de la estación agrometeorológica de la Universidad Autónoma Chapingo, la cual está ubicada en Texcoco, Estado de México. Las coordenadas geográficas del sitio son: 19.483° latitud norte, -98.9° longitud oeste y a una altitud de 2241 msnm.

Características climáticas durante el desarrollo del cultivo

En el cuadro 1.5 se presentan los valores máximos, mínimos y el promedio de las variables que se comentan y numeran.

**Cuadro 1.5** Variables climáticas durante el desarrollo del cultivo

\*Total

VARIABLE	MÁXIMA	MÍNIMA	PROMEDIO
Temperatura máxima (°C)	30.3	18.2	23.7
Temperatura mínima (°C)	14.5	6.4	11.1
Radiación solar (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	14.8	5.3	11.4
Humedad relativa (%)	77.5	30.8	63.9
Temperatura de rocío (°C)	12.2	-7.2	8.2
Velocidad del viento (m s <sup>-1</sup> )	1.9	0.4	1.0
Presión atmosférica (kPA)	78.6	78.0	78.3
Precipitación (mm día <sup>-1</sup> )	25.4	0.0	240*

Características edáficas

En base al análisis de suelo del sitio experimental, son de textura franco – arcillosa en los primeros 40 cm de profundidad. La densidad aparente es de aproximadamente 1.35 g/cm<sup>3</sup>, el pH es de aproximadamente de 6.99 (prácticamente neutro), se tiene 1.48% de materia orgánica. Existe un bajo abastecimiento de nitrógeno y azufre, derivado esto del bajo contenido de materia orgánica; el nivel de fósforo se encontró en niveles medios; nivel alto en potasio, magnesio y calcio. Es un suelo sin problemas de salinidad. Los contenidos de arcilla, limo y arena se reportaron en 35.24%, 23.28% y 41.48% respectivamente.

Trabajo en campo

Las actividades involucradas en el trabajo de campo fueron las siguientes:

Recopilación de variables meteorológicas

De acuerdo a los objetivos planteados en el documento, se registraron las siguientes variables meteorológicas en forma diaria a lo largo del ciclo vegetativo de la lechuga (Lectura sativa L.) mediante una estación meteorológica automatizada:

Agregar valores numéricos o adecuar texto

Temperatura máxima ( $T_{max}$ ; °C)

Temperatura mínima ( $T_{min}$ ; °C)

Presión atmosférica ( $P_{atm}$ ; mm Hg)

Velocidad del viento a dos metros de altura ( $u_2$ ; m s<sup>-1</sup>)

Radiación solar ( $R_s$ ; Watt m<sup>-2</sup>)

Temperatura del punto de rocío ( $T_{rocio}$ ; °C)

Humedad relativa (HR; %)

Precipitación (mm) con el pluviómetro

Preparación del terreno del lisímetro y formación de camas

El suelo en el lisímetro se removió de forma manual con picos y azadones para dejar lo más desmenuzado posible los primeros 30 cm de suelo.

Mientras que en la zona aledaña al lisímetro se formaron las camas (Imagen 1.13) mediante dos pasos de arado de subsuelo y barbecho profundo.

Las dimensiones de las camas fueron las siguientes: altura de 12 cm, ancho de 56 cm y espaciamiento entre camas de 20 cm.



**Imagen 1.13** Formación de camas

Trasplanté de plántulas en campo

El trasplante se realizó de forma manual en acomodo tres bolillo, con una distancia entre plantas de 30 cm y entre hileras de 30 cm.



**Imagen 1.14** Trasplante de Lechuga

#### Riegos

Los riegos se efectuaron cuando el cultivo lo necesitaba, tratando de reponer la Imagen consumida en el día anterior para que no sufriera estrés hídrico.

El sistema fue de riego por goteo, las características de la cinta y el emisor son las siguientes:

Marca: Naandanjain  
Modelo: TalDrip 0.6  
Diámetro nominal 17 mm  
Espesor de pared: 6 mil  
Diámetro interno 16 mm  
Espaciamiento de goteros: 30 cm  
Presión de entrada: 0.7 bares  
Gasto por emisor: 1.3 L/h



**Imagen 1.15** Cinta de goteo utilizada en el experimento

Control de malas hiervas

Para un adecuado control, se realizó la limpieza de hierbas manualmente con el uso de azadón, con el fin de que el cultivo se desarrollara lo mejor posible.

Control de plagas y enfermedades

A mediados del ciclo se aplicó lo siguiente:

Dimetuato. Insecticida para la eliminación de larvas

Mancozep. Fungicida para la eliminación de hongos

Cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) mediante la ecuación FAO 56 Penman – Monteith.

Para determinar  $ET_o$ , se realizó una serie de ajustes (promedios, sumas, conversiones, etc.) a los datos extraídos de la estación para poder calcular de forma correcta en el periodo de tiempo considerado.

Una vez teniendo los datos de las variables meteorológicas se prosiguió a calcular  $ET_o$  con ayuda del software Excel 2010.

Se utilizó la ecuación 4 para determinar los valores diarios de  $ET_o$ .

Simulación de coeficiente dual ( $K_c = K_{cb} + K_e$ ) para el cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) y obtención de la evapotranspiración de cultivo ( $ET_c$ ) mediante el método FAO (56)

Para determinar el coeficiente dual se dividió en dos coeficientes, coeficiente basal y coeficiente de evaporación.

#### Determinación de coeficiente basal (Kcb)

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

Identificación de las duraciones de las etapas de desarrollo de cultivo y selección de los valores de Kcb correspondientes (Kcb ini, Kcb med y Kcb).

Ajuste de los valores Kcb seleccionados utilizando la Ecuación 34.

Por último se calcularon los valores diarios de Kcb para cualquier periodo durante la temporada de crecimiento con la Ecuación 37.

#### Determinación de coeficiente de evaporación (Ke)

El primer paso fue calcular el valor máximo de Kc, es decir el límite superior Kc max (Ecuación 39).

El segundo paso fue determinar para cada día durante la temporada de crecimiento lo siguiente:

La fracción de suelo cubierta por la vegetación,  $f_c$  (Se tomaron diferentes mediciones en campo durante el desarrollo de cultivo y posteriormente se realizó un ajuste potencial para obtener los valores diarios).

La fracción de suelo humedecida por el riego o la precipitación (estos datos fueron en base a los eventos de lluvia y riego en el desarrollo del cultivo).

El agotamiento acumulado en la capa evapórate del suelo,  $D_e$  determinado a través de balance diario de agua presente en la capa superficial de suelo con la Ecuación 44.

El correspondiente coeficiente de reducción de la evaporación,  $K_r$  utilizando la Ecuación 41.

Una vez teniendo las variables para el cálculo se prosigue a determinar el coeficiente de evaporación, Ke con la Ecuación 38.

Cálculo de evapotranspiración de cultivo (ETc) utilizando el coeficiente dual (Kcb + Ke).

Para el cálculo de la evapotranspiración de cultivo ( $ET_c$ ) bajo condiciones estándar, utilizando la simulación del coeficiente dual se utilizó la Ecuación 33.

Determinación de valores diarios de coeficiente de cultivo con base a datos de lisímetro

Se realizaron mediciones de peso del lisímetro desde el día 11 de Junio al 30 de Julio de 2012.

La lectura de peso del lisímetro registrado por la mañana fue restada a la lectura de la tarde, esta lectura se corrigió con la Imagen de precipitación y riego que se aplicó en el día.

Para determinar el volumen de agua por riego en un día se realizó el aforo empleando algunos emisores y se determinó el caudal por emisor:

$$Q_e = \frac{65.46 \text{ mL}}{3 \text{ min}} = 21.82 \text{ mL/min} = 0.02182 \text{ L/min}$$

Debido a que se tuvieron 12 emisores en el lisímetro, el caudal total fue de:

$$Q_e \text{ total} = 12 * 0.02182 = 0.26184 \text{ L/min.}$$

Con el gasto total se determinó la cantidad de volumen que entra al lisímetro por cada riego con la siguiente formula:

$$\text{Volumen (L)} = Q_e \text{ (L/min)} * \text{Tiempo de riego (min)}$$

Para determinar el volumen de agua por evento de lluvia se determinó de la siguiente manera:

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \text{Lamina de lluvia (m)} * \text{Área del lisímetro (m}^2\text{)}$$
$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$$

Para la corrección por riego o por evento de lluvia se realizó una conversión de litros a kg asumiendo que 1 litro de agua equivale a 1 kg de peso en el lisímetro.

Por lo tanto, la evapotranspiración de cultivo o Imagen perdida (ET<sub>c</sub>) se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$ET_c \text{ (mm)} = \frac{[\text{Diferencia de peso (kg)}]}{\text{Área del lisímetro (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

### 1.3.2 Evaluación de un microlisímetro de succión en invernadero comparado con microlisimetría de balance

Se evaluarán microlisímetros de succión en un invernadero con un cultivo en contenedor con sustratos en comparación con microlisímetros de balance.

## **1.4 Complementación del software "Programa para la evaluación de sistemas de riego parcelario"**

Se actualizó el software "Programa para la evaluación de sistemas de riego parcelario" agregando las aplicaciones que sean necesarias para al menos tres sistemas de riego parcelario.

## **1.5 Un video sobre tecnología de riego de alta eficiencia.**

Se realizó un video de la tecnología que más impacte en el ahorro del agua, como una herramienta que contribuya a la transferencia de tecnología de riego, que con base en las expectativas de los resultados obtenidos fue el riego intermitente con sifones.

Se elaboró el guion y se realizaron tomas de video en campo, así como las animaciones requeridas para resaltar algunos aspectos no tan claros en las imágenes.

A continuación se muestra el guion de video e imágenes de la toma de video

Guion: “Sistema de Riego de Alta Eficiencia”

Elaboró: M. en A. Luis Arturo Brizuela Mundo

Revisó: M. C. Pedro Pacheco

Fecha elaboración: 15 de octubre de 2012

Fecha última revisión: 15 de noviembre de 2012

TOMA	VIDEO	DUR.	AUDIO
1	Colash de imágenes de riego	15	RIEGO INTERMITENTE CON SIFONES EN RIEGO POR GRAVEDAD
2	Regadores con técnicas tradicionales	30	Las cada vez más frecuentes e intensas sequías han disminuido el agua disponible para riego, por lo que es importante transferir tecnologías apropiadas para un uso eficiente del agua.
3	Logo IMTA desvanece a imágenes con técnicos y agricultores en capacitación	20	En la aplicación del agua de riego se pueden tener grandes volúmenes de pérdidas de agua en la parcela, debido a que: los regadores, con base en su experiencia, tratan de asegurar una buena uniformidad del riego a costa de utilizar grandes láminas de riego, existe poco conocimiento de los gastos de riego óptimos por surco o melga; aunado a lo anterior, los regadores utilizan técnicas de riego tradicionales.
4	Imágenes de riego intermitente con válvula automática	30	El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), desarrolla tecnologías de ingeniería de riego para ser utilizadas a técnicos y usuarios de las diferentes instancias relacionadas con el manejo y la operación de los sistemas de riego del país.
5	Texto	15	
6	Imagen y animación de los pulsos de riego	30	El riego intermitente ha permitido ahorros de hasta el 50% de la lámina de riego en comparación con los sistemas tradicionales en muchos países y desde hace muchos años, lo cual puede verificarse en bibliotecas o en internet.
7	Animación de la infiltración en tres pulsos contra	20	

8	un pulso  Imagen de componentes de riego intermitente para tuberías	30	El riego intermitente  El riego intermitente consiste esencialmente en sustituir la aplicación continua de agua por ciclos de riego y no riego alternados.
9	Imagen de operación de cajas de distribución de madera y cuencas de plástico con los sifones operando	15	Durante la etapa en que se suspende el riego se disminuye la infiltración del suelo para las siguientes etapas de riego, se aumenta la velocidad de flujo sobre su superficie, aumentando la uniformidad del riego y disminuyendo pérdidas al inicio y final de la parcela, tanto en longitudes cortas (100 m) como en largas (1000 m).
10		30	
11	Texto e imagen construcción de cajas  Imagen de construcción de cuencas	20	Sin embargo, siempre ha requerido de dispositivos automáticos y tubería con compuertas que son caros y exigen entrenamiento técnico de los operadores, lo cual constituye su paradigma actual.
12	Imagen de operación de las agujas de madera en el riego	30	El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua ha desarrollado una Metodología apropiada de manejo del riego intermitente por gravedad con sifones, donde se controlan las intermitencias con cajas distribuidoras de madera y sostenedores del cebado de los sifones con película de plástico
13		30	
14	Animación con tres pulsos de riego	20	Construcción de cajas de distribución tradicionales de madera o cualquier material, con agujas y guías.
15	Imágenes de DR076 y DR010 con la metodología  Cuadro con fondo de intermitencia	30	Construcción de cuencas de control de cebado permanente de sifones, a partir de una depresión formada al inicio del surco donde se coloca una superficie impermeable de plástico o material similar  Operación de la intermitencia una vez puesto en operación los

16	Imágenes de DR076 y DR010 con la metodología y cultivos con alta productividad	30	<p>sifones se nivela el vertedor de las cuencas formadas de plástico a ambos lados de las cajas distribuidoras y se controlan las intermitencias quitando y poniendo agujas a ambos lados de las compuertas distribuidoras.</p> <p>Las pruebas se realizaron a cada tercio de la longitud de las parcelas, en tres ciclos.</p> <p>La metodología desarrollada se ha validado en vario lugares y ciclos de cultivos, con resultados alentadores, como los que se muestran a continuación.</p> <p>Resultados</p> <table border="1" data-bbox="1108 764 1669 976"> <tr> <td>Un Riego presiembra 09</td> <td>LR cm</td> </tr> <tr> <td>Tradicional</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>Intermitente</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Un riego Sorgo 2011</td> <td>LR cm</td> </tr> <tr> <td>Tradicional</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>Intermitente</td> <td>14</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="1108 1003 1669 1222"> <tr> <td>Cuatro riegos Maíz O-I 2011/2012</td> <td>LR cm</td> </tr> <tr> <td>Tradicional S. Continuo</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>Intermitente S. Continuo</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>Surco Alterno</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Intermitente S. Alterno</td> <td>44</td> </tr> </table> <p>El riego intermitentes por gravedad con sifones y cajas de distribución de madera es una alternativa para elevar sustancialmente la eficiencia de riego parcelaria y hacer frentes a</p>	Un Riego presiembra 09	LR cm	Tradicional	42	Intermitente	20	Un riego Sorgo 2011	LR cm	Tradicional	22	Intermitente	14	Cuatro riegos Maíz O-I 2011/2012	LR cm	Tradicional S. Continuo	75	Intermitente S. Continuo	54	Surco Alterno	50	Intermitente S. Alterno	44
Un Riego presiembra 09	LR cm																								
Tradicional	42																								
Intermitente	20																								
Un riego Sorgo 2011	LR cm																								
Tradicional	22																								
Intermitente	14																								
Cuatro riegos Maíz O-I 2011/2012	LR cm																								
Tradicional S. Continuo	75																								
Intermitente S. Continuo	54																								
Surco Alterno	50																								
Intermitente S. Alterno	44																								

		los efectos de las sequías y el cambio climático, sin comprometer la sustentabilidad de la agricultura de riego y la autosuficiencia agroalimentaria
--	--	--



Realización de tomas de videos para riego intermitente con sifones.

## 2 RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 2.1 Determinar volúmenes aplicados, rendimientos y productividad del agua para un cultivo con surcos alternos y riego intermitente en una parcela a nivel comercial.

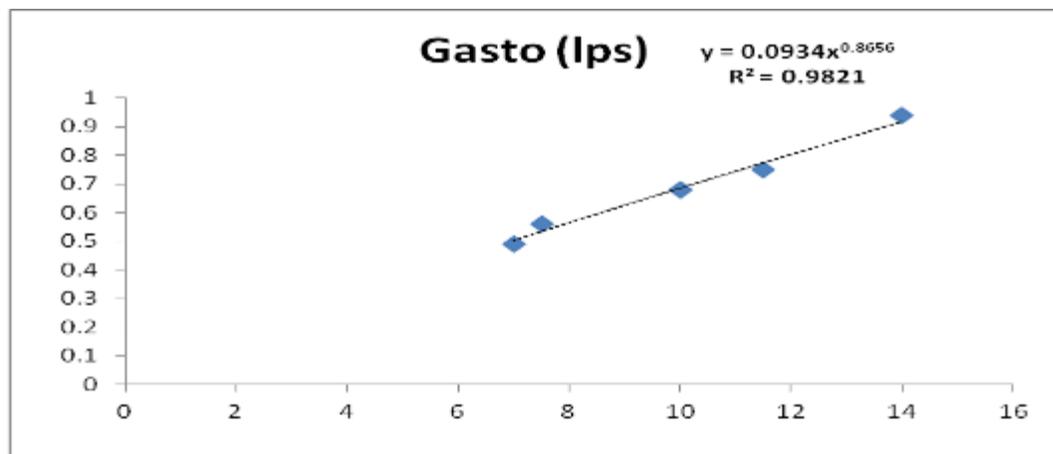
Se evaluó el riego intermitente y con surcos alternos en parcelas demostrativas a nivel comercial en tres distritos de riego, los cuales se establecieron en alianza con instituciones de educación e investigación y con Asociaciones de Usuarios de riego, para determinar los volúmenes aplicados, rendimientos y productividad del agua en al menos una de ellas.

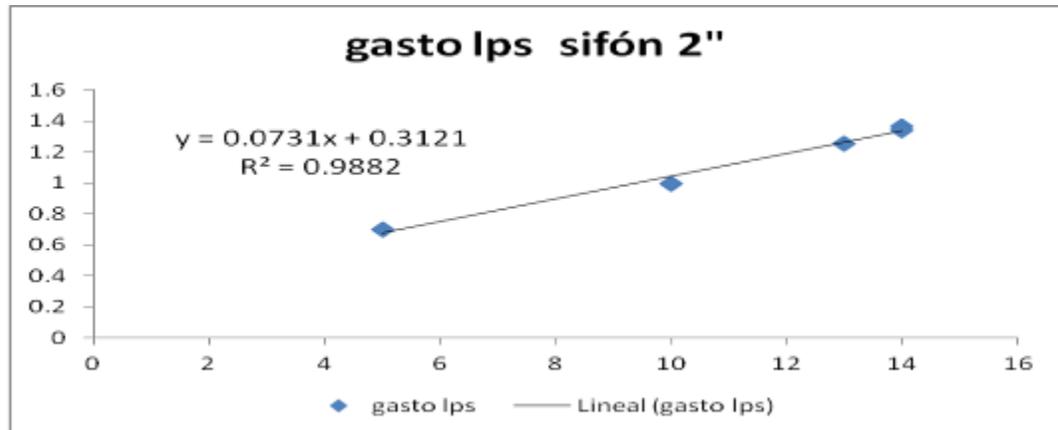
#### 2.1.1 Distrito de Riego 041 Valle del Yaqui, Sonora

##### 2.1.1.1 Aplicación de agua en los tratamientos de riego

Describir en el texto el significado de las variables mostradas en las graficas

En el desarrollo del experimento se utilizaron 2 tipos de sifones, de 1 ½ y 2 pulgadas. En la Imagen 2.1 Se presenta las curvas de carga – gasto de los dos sifones; las cuales fueron utilizadas para ajustar el gasto de aplicación por surco regado.





**Imagen 2.1** Curva de carga – gasto del sifón.

Lamina de riego aplicado por tratamientos

La aplicación de riego por tratamiento se evaluó en base al tiempo de riego, gasto por sifón y área regada, (cuadro 2.1). Las Imagen que se presentan son de los dos primeros riegos de auxilio.

Los resultados presentados, demuestran que en riego intermitente la Imagen total aplicada por riego de auxilio es menor que la Imagen del testigo; donde el riego intermitente en surco alternado es menor en un 25.87%, y en surco doble 24.87%.

**Cuadro 2.1** Imagen de riego aplicada por tratamientos de riego

NO.	TRATAMIENTOS	TOTAL EN 6 RIEGOS DE AUXILIO	% DE AHORRO DE AGUA CON RESPECTO AL TESTIGO
1	Testigo surco alternado	69.23	—
2	Intermitente surcos alternado 1	52.1	25%
3	Intermitente surco alternado 2	50.71	26.75%
4	Testigo Surco Doble	80.48	—
5	Intermitente surcos Dobles 1	61.67	23.44%
6	Intermitente surcos Dobles 2	59.57	26.31%

### 2.1.1.2 Curva de avance por tratamiento

En la imagen 2.2 se presenta la comparación de la curva de avance obtenida en el segundo riego de auxilio, donde se puede observar que el tratamiento de riego intermitente alternado de la parte 1 alcanza el final del surco con menor tiempo de riego que el testigo. Los datos medidos son de 1365 minutos el testigo, mientras que el riego intermitente alternado 889 minutos. Siendo menor en 476 minutos. Del mismo modo, los resultados mostraron similitudes con los reportados por Stringham and Keller (1979), Allen (1980), Poole (1981), Cooledge et al., (1982), Mahmood et al., (1993) and Mahmood et al., (1995) en la cual obtienen en promedio de 17% más tiempo para completar el riego convencional. En las Imágenes 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5 se muestran las curvas de avance y recesión del segundo riego intermitente de los tratamientos alterno comparado con testigo alterno y doble comparado con testigo doble.

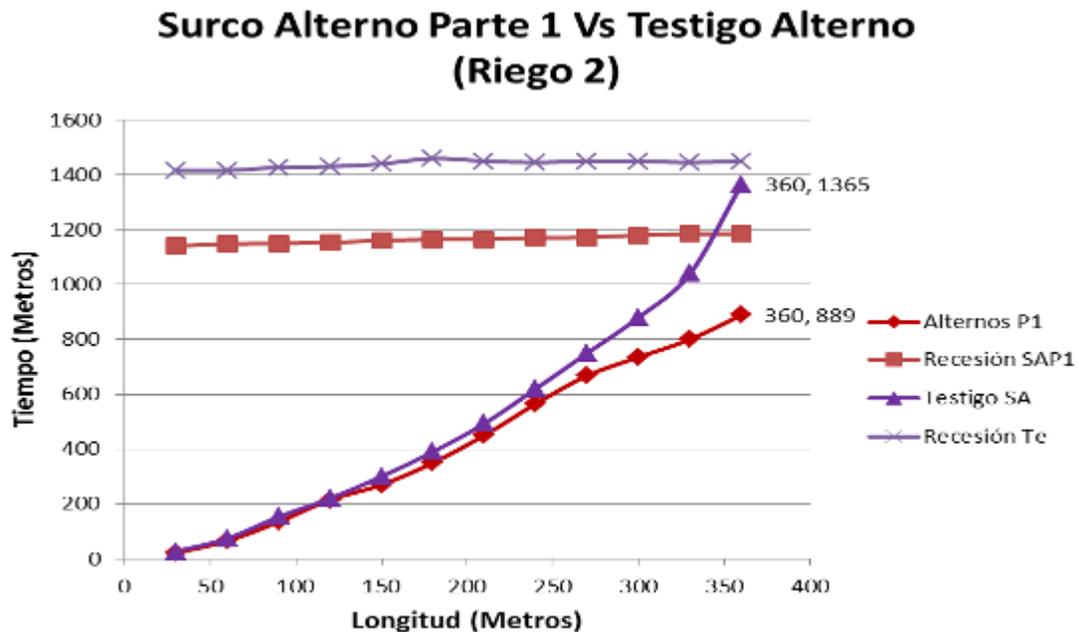


Imagen 2.2 Curva de avance y recesión intermitente alterno parte 1 riego 2

### Surco Alterno Parte 2 Vs Testigo Surco Alterno (Riego 2)

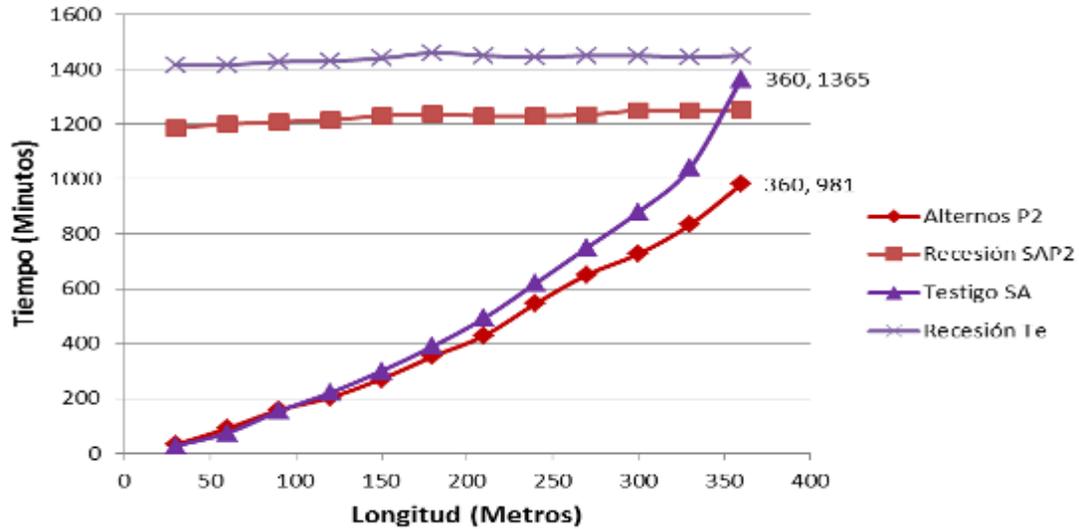


Imagen 2.3 Curva de avance y recesión intermitente alterno parte 2 riego 2

### Surco Doble Parte 1 Vs Testigo Surco Doble Riego (2)

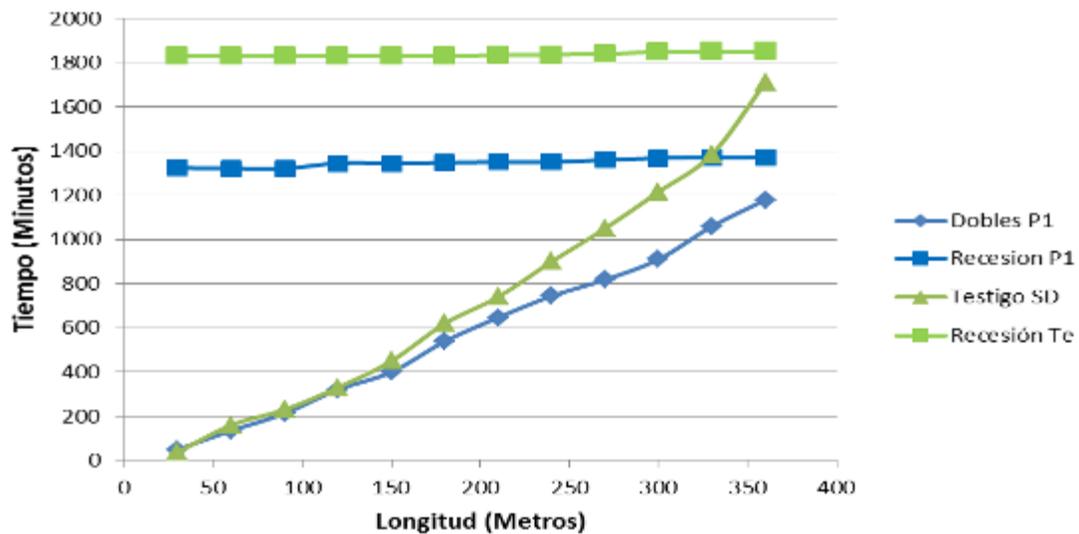
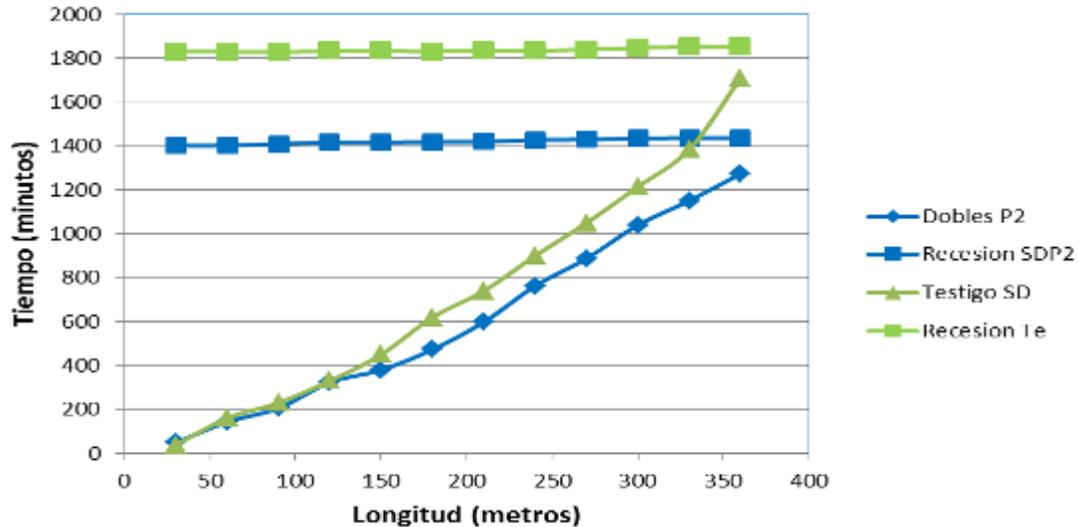


Imagen 2.4 Curva de avance y recesión intermitente doble parte 1 riego 2

### Surco Doble Parte 2 Vs Testigo Surco Doble (Riego 2)



**Imagen 2.5** Curva de avance y recesión intermitente doble parte 2 riego 2

En la imagen 2.6 se presenta la comparación de la curva de avance obtenida en el tercer riego de auxilio, donde se puede observar que el tratamiento de riego intermitente alternado de la parte 1 alcanza el final del surco con menor tiempo de riego que el testigo, Los datos medidos son de 491 minutos el testigo, mientras que el riego intermitente alternado 442 minutos. Siendo menor tiempo el tratamiento alternado por 49 minutos coexistiendo un equivalente de 4 m<sup>3</sup> de ahorro de agua en 760 m<sup>2</sup> y 52.63 m<sup>3</sup> por hectárea. En las Imágenes 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9 se muestran las curvas de avance y recesión del segundo riego intermitente de los tratamientos alterno comparado con testigo alterno y doble comparado con testigo doble.

### Surco Alterno Parte 1 Vs Testigo Surco Alterno (Riego 3)

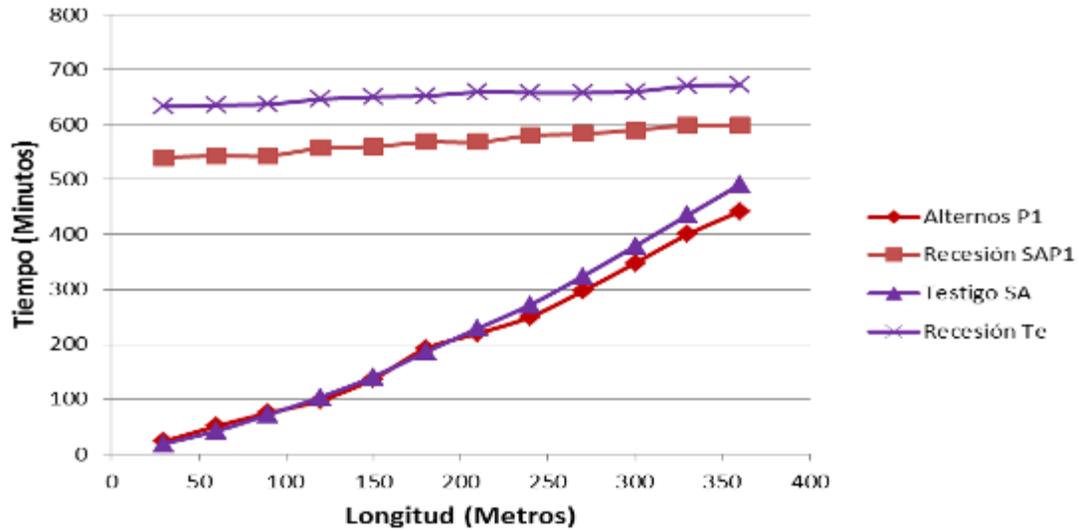


Imagen 2.6 Curva de avance y recesión intermitente alterno parte 1 riego 3

### Surco Alterno Parte 2 Vs Testigo Surco Alterno (Riego 3)

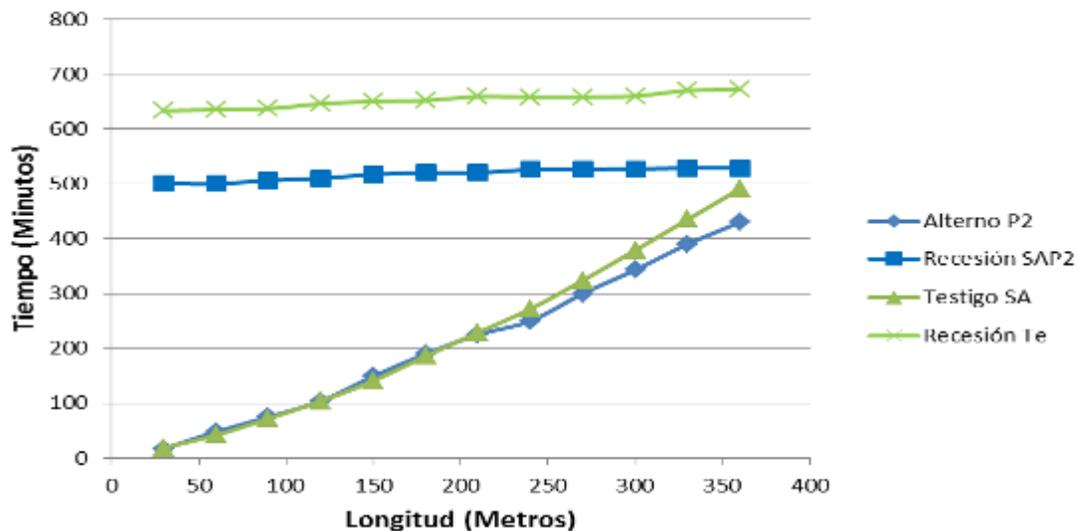


Imagen 2.7 Curva de avance y recesión intermitente alterno parte 2 riego 3

### Surco Doble Parte 1 Vs Testigo Surco Doble (Riego 3)

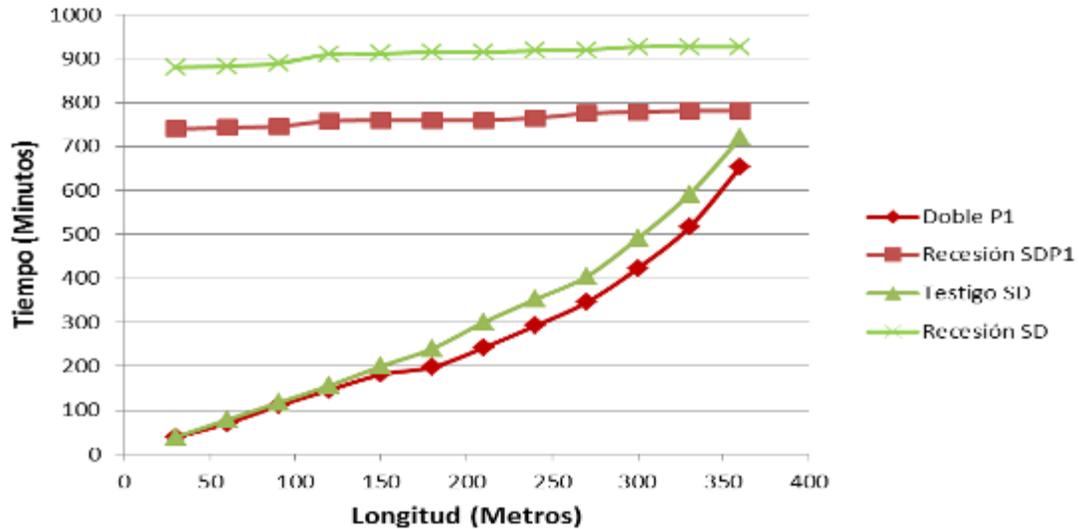


Imagen 2.8 Curva de avance y recesión intermitente doble parte 1 riego 3

### Surco Doble Parte 2 Vs Testigo Surco Doble (Riego 3)

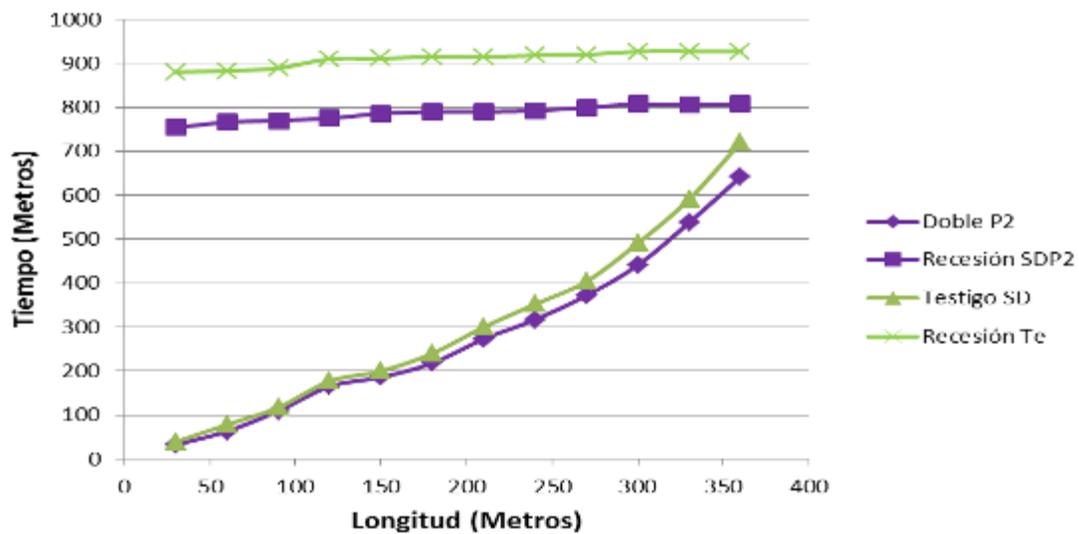


Imagen 2.9 Curva de avance y recesión intermitente doble parte 2 riego 3

En la imagen 2.10. Se presenta la comparación de la curva de avance obtenida en el cuarto riego de auxilio, donde se puede observar que el el tratamiento de riego intermitente alternado de la parte 1 alcanza el final del surco con menor tiempo de riego que el testigo, los datos medidos son de 670 minutos el testigo, mientras que el riego intermitente alternado 425 minutos. Siendo menor en 245 minutos, equivale a 20 m<sup>3</sup> en ahorra de agua por 760 m<sup>2</sup> y 263 m<sup>3</sup> por hectárea. En las Imágenes 2.10, 2.11, 2.12 y 2.13 se muestran las curvas de avance y recesión del segundo riego intermitente de los tratamientos alterno comparado con testigo alterno y doble comparado con testigo doble.

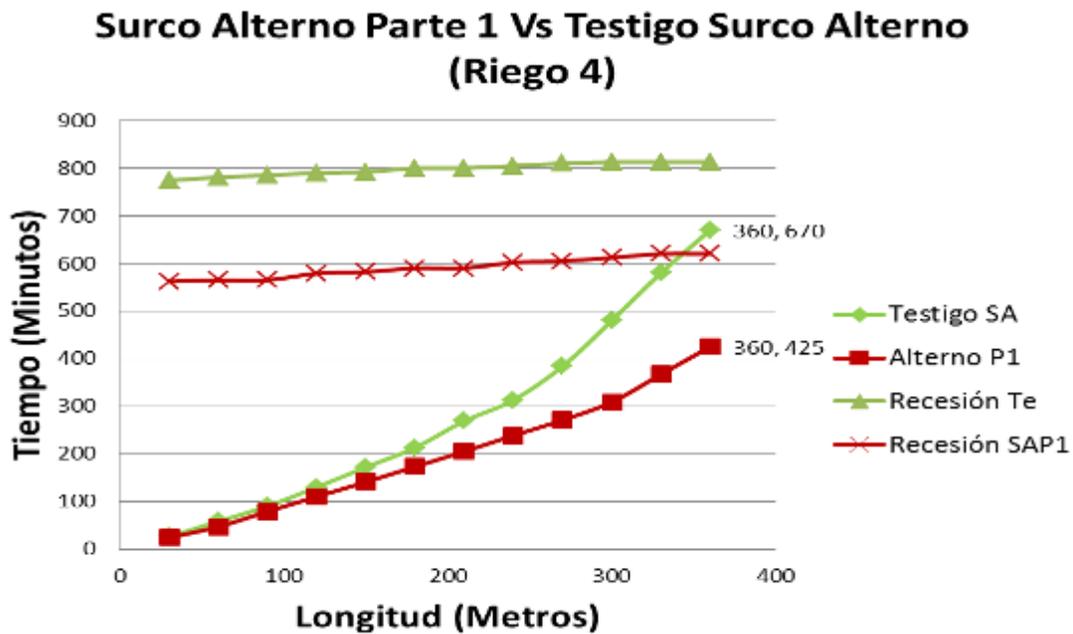


Imagen 2.10 Curva de avance y recesión intermitente alterno parte 1 riego 4

### Surco Alterno Parte 2 Vs Testigo Surco Alterno (Riego 4)

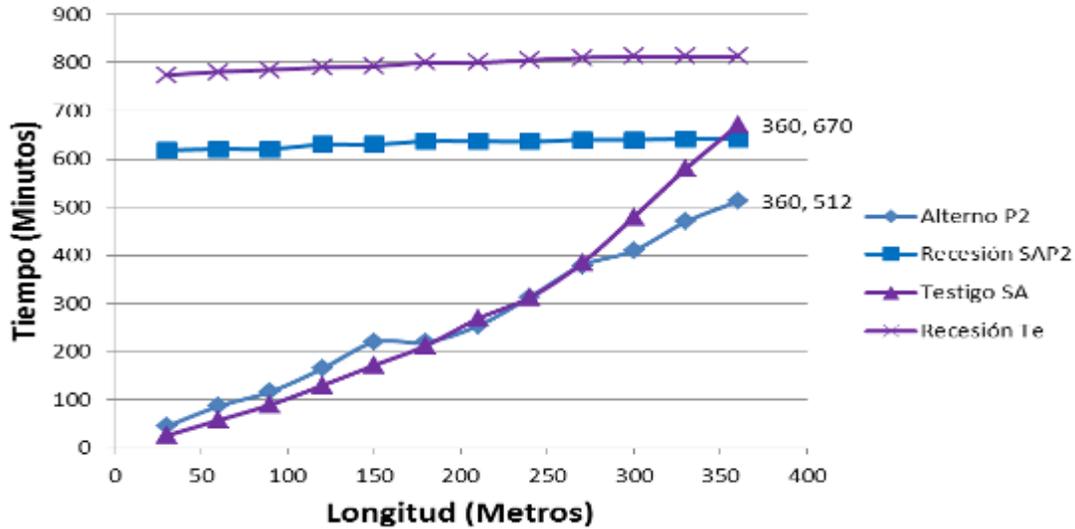


Imagen 2.11 Curva de avance y recesión intermitente alterno parte 2

### Surco Doble Parte 1 Vs Testigo Surco Doble (Riego 4)

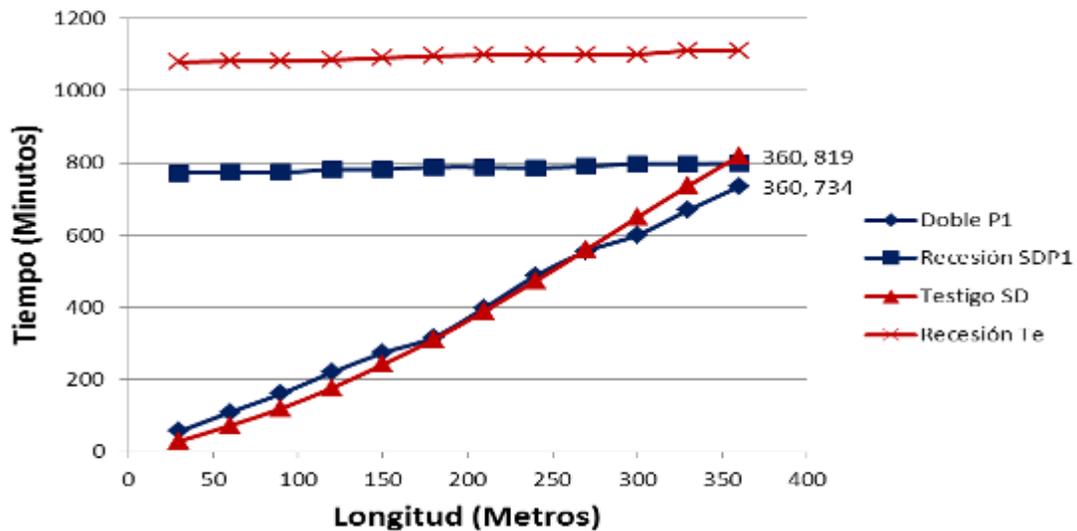
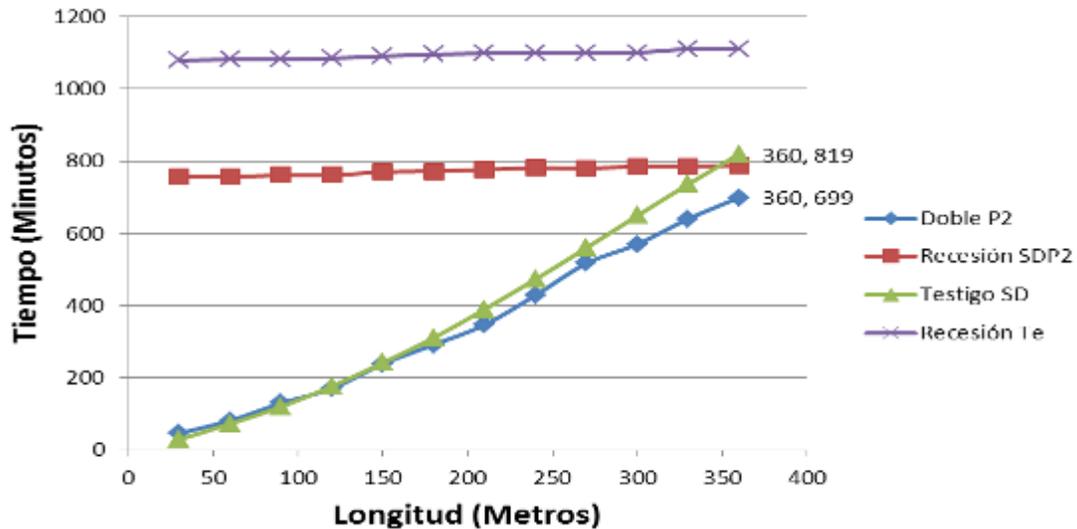


Imagen 2.12 Curva de avance y recesión intermitente doble parte 1

### Surco Doble Parte 2 Vs Testigo Surco Doble (Riego 4)



**Imagen 2.13** Curva de avance y recesión intermitente doble parte 2

En la imagen 2.14 se presenta la comparación de la curva de avance obtenida en el quinto riego de auxilio, donde se puede observar que el tratamiento de riego intermitente alternado de la parte 1 alcanza el final del surco con menor tiempo de riego que el testigo, Los datos medidos son de 537 minutos el testigo, mientras que el riego intermitente alternado 425 minutos. Siendo menor tiempo el tratamiento alternado por 112 minutos coexistiendo un equivalente de 9.13 m<sup>3</sup> de ahorro de agua en 760 m<sup>2</sup> y 120.13 m<sup>3</sup> por hectárea. En las Imágenes 2.14, 2.15, 2.16 y 2.17 se muestran las curvas de avance y recesión del segundo riego intermitente de los tratamientos alterno comparado con testigo alterno y doble comparado con testigo doble.

### Surco Alterno Parte 1 Vs Testigo Surco Alterno (Riego 5)

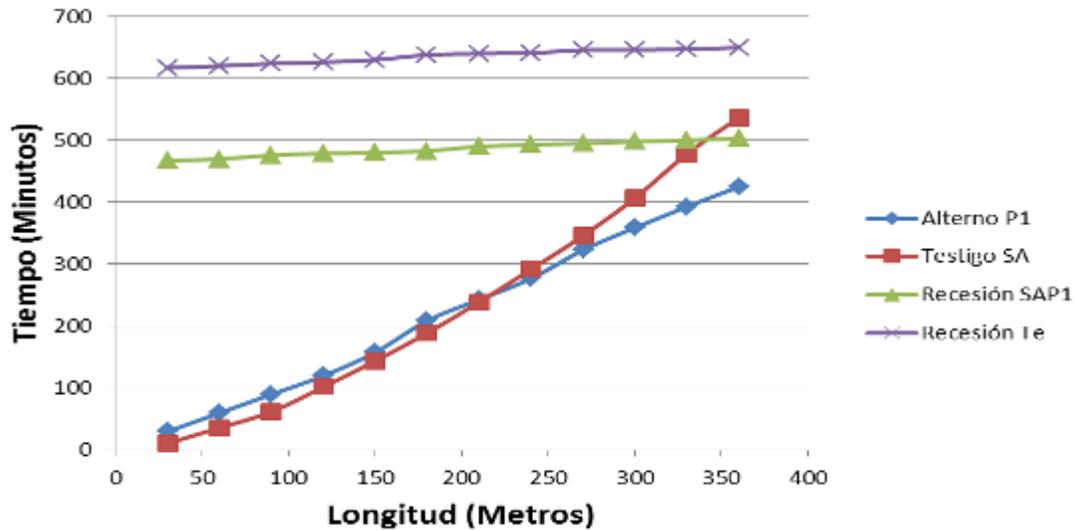


Imagen 2.14 Curva de avance y recesión intermitente alterno parte 1

### Surco Alterno Parte 2 Vs Testigo Surco Alterno (Riego 5)

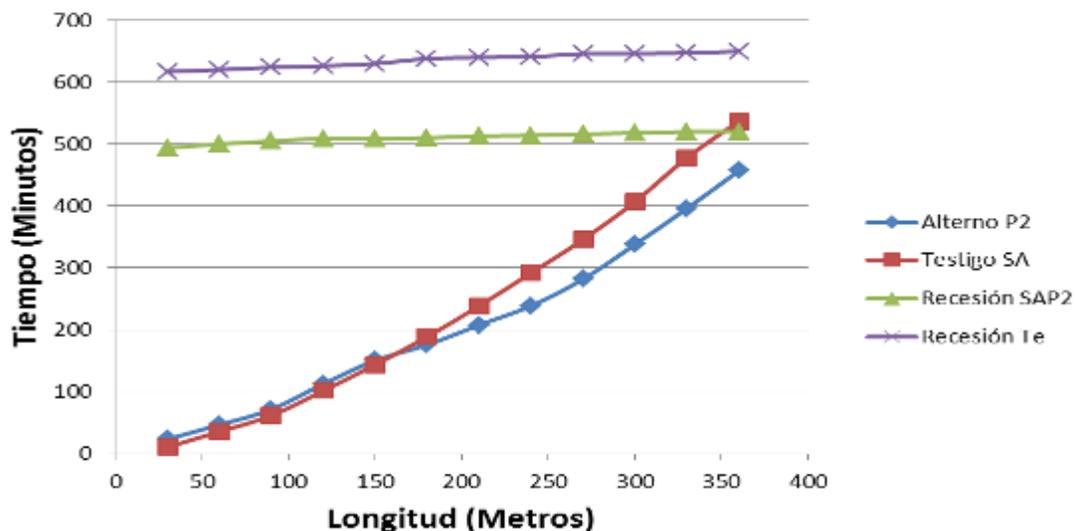


Imagen 2.15 Curva de avance y recesión intermitente alterno parte 2

### Surco Doble Parte 1 VS Testigo Surco Doble (Riego 5)

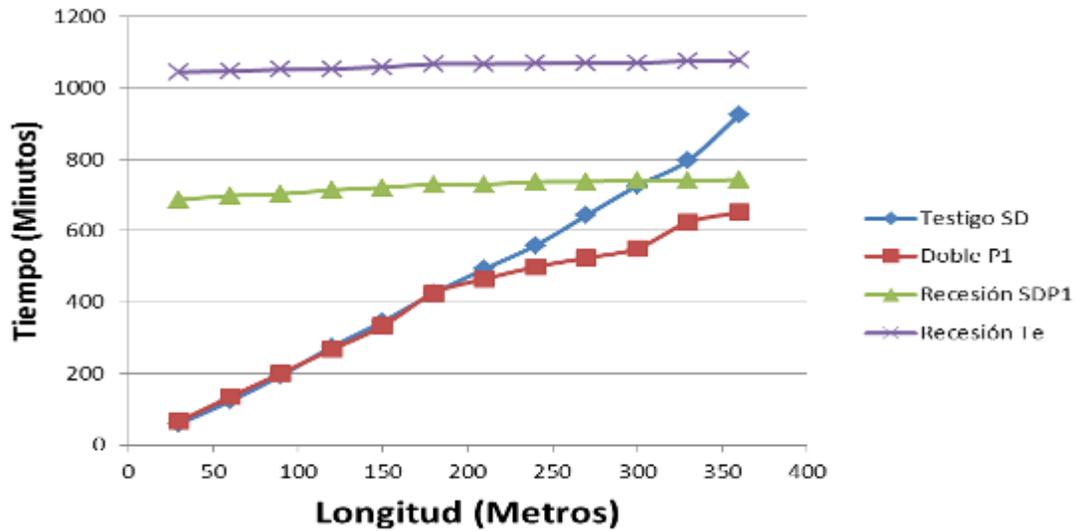


Imagen 2.16 Curva de avance y recesión intermitente doble parte 1

### Surco Doble Parte 2 VS Testigo Surco Doble (Riego 5)

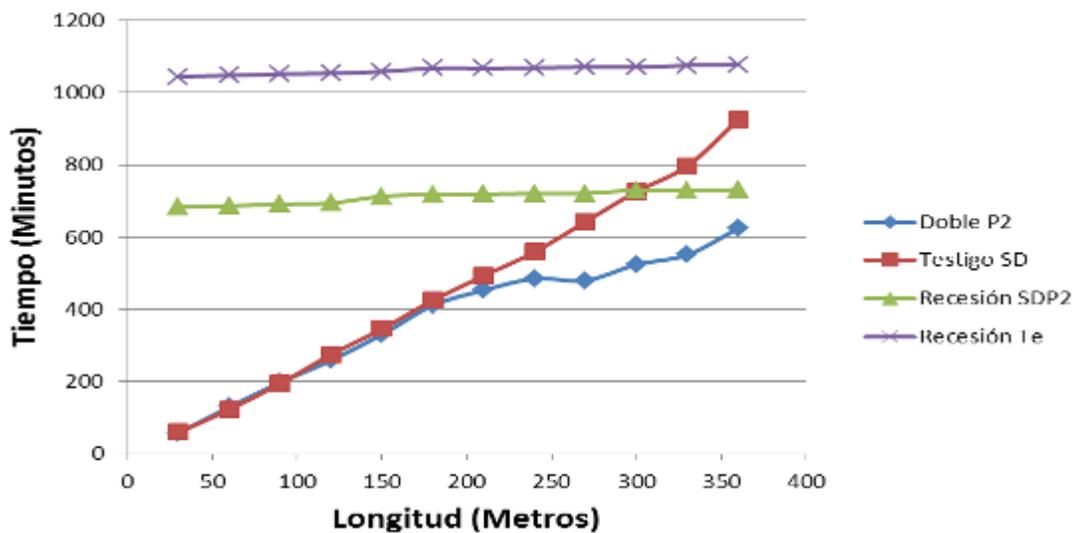
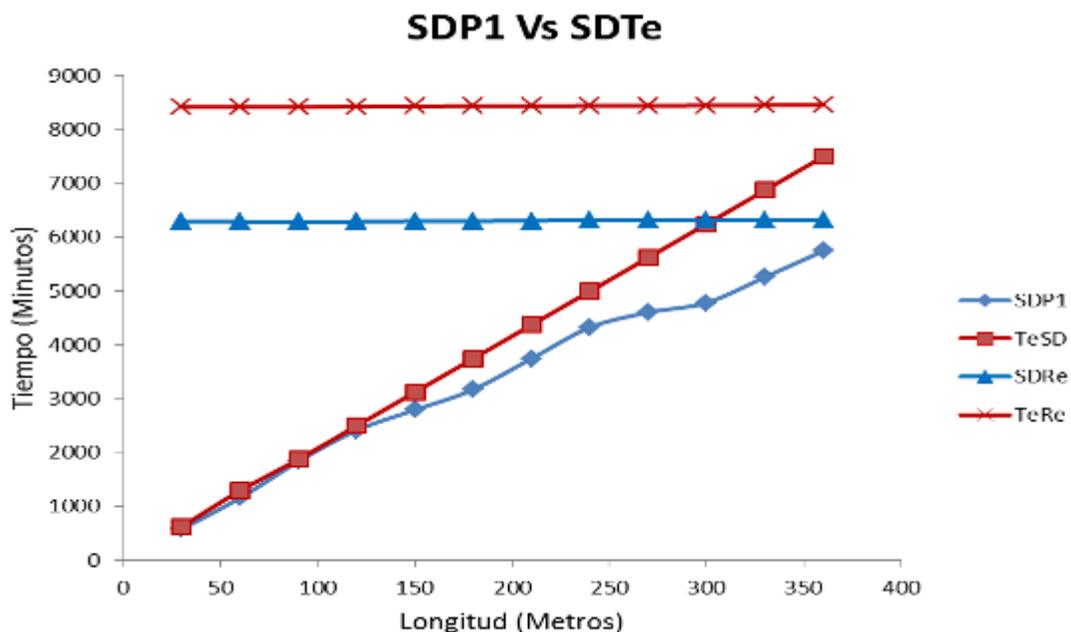


Imagen 2.17 Curva de avance y recesión intermitente doble parte 2

### 2.1.1.3 Curvas de avance total de los 6 riegos de auxilio

En el comportamiento de avance coincide con los resultados reportados de Mahmood et al., (2003) quien indica también que el riego intermitente requiere menos tiempo para completar el riego que la forma convencional. En la Imagen 5.18 se presenta la comparación de la curva de avance obtenida en por la suma de los seis riegos de auxilio, donde se puede observar que el tratamiento de riego intermitente alternado de la parte 1 alcanza el final del surco con menor tiempo de riego que el testigo, Los datos medidos son de 6448 minutos el testigo, mientras que el riego intermitente alternado 4852 minutos. Siendo menor tiempo el tratamiento alternado por 1596 minutos coexistiendo un equivalente de 185.5 m<sup>3</sup> de ahorro de agua en 760 m<sup>2</sup> (escala experimental) y 2440 m<sup>3</sup> por hectárea. En las Imágenes 2.18, 2.19, 2.20 y 2.21 se muestran las curvas de avance y recesión total de los seis riego de auxilio intermitente de los tratamientos alterno comparado con testigo alterno y doble comparado con testigo doble. El tratamiento que mostró un menor ahorro de agua fue el surco doble de la parte 1 con un total de 5744 minutos y 7496 para el testigo equivaliendo a una diferencia de 1756 minutos.



**Imagen 2.18** Curva de avance y recesión surco doble parte 1 contra testigo surco doble

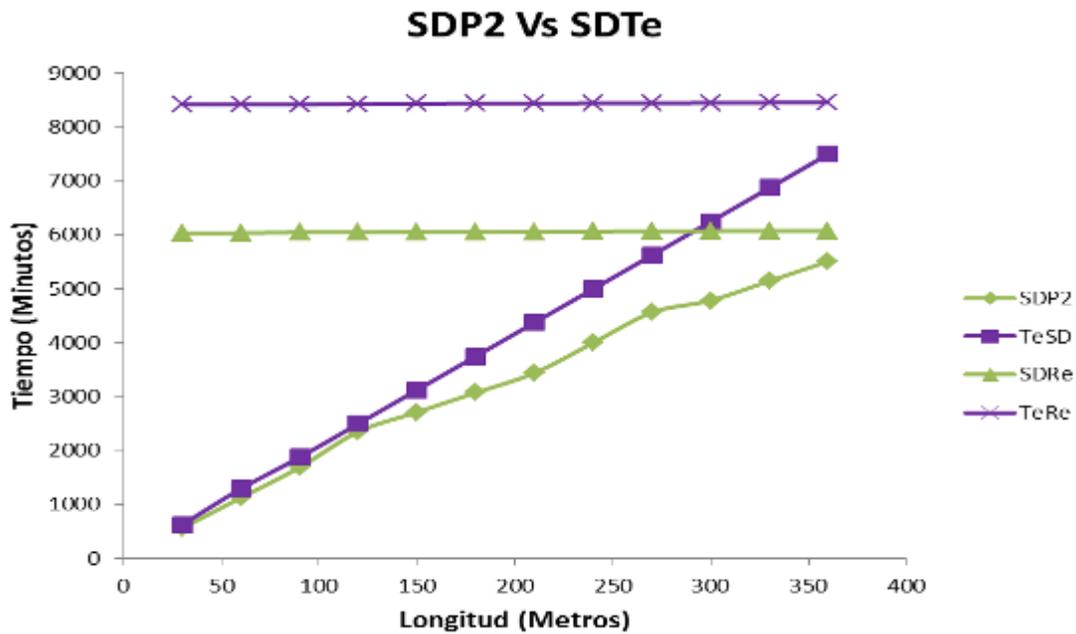


Imagen 2.19 Curva de avance y recesión surco doble parte 2 contra testigo surco doble

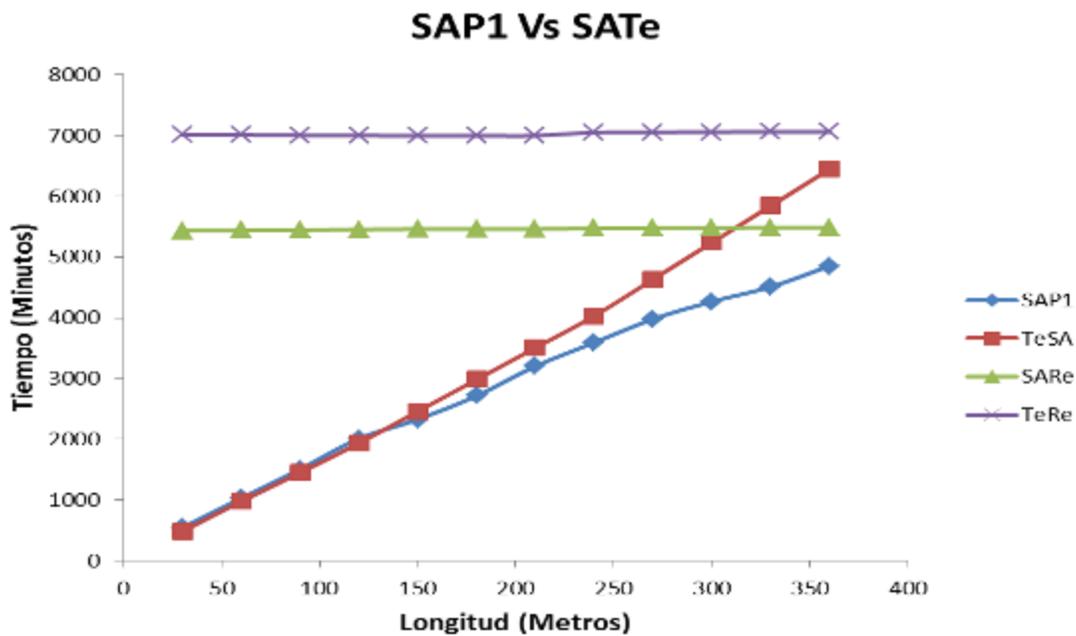
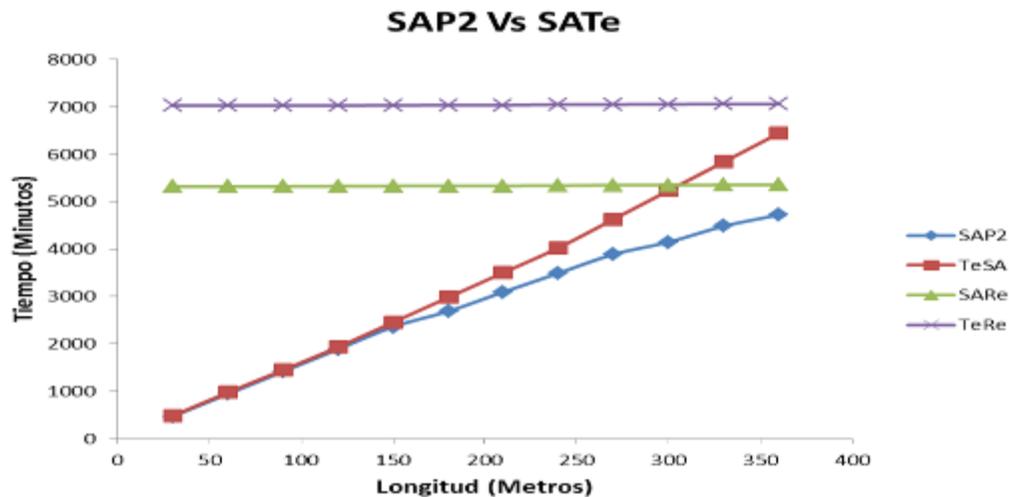
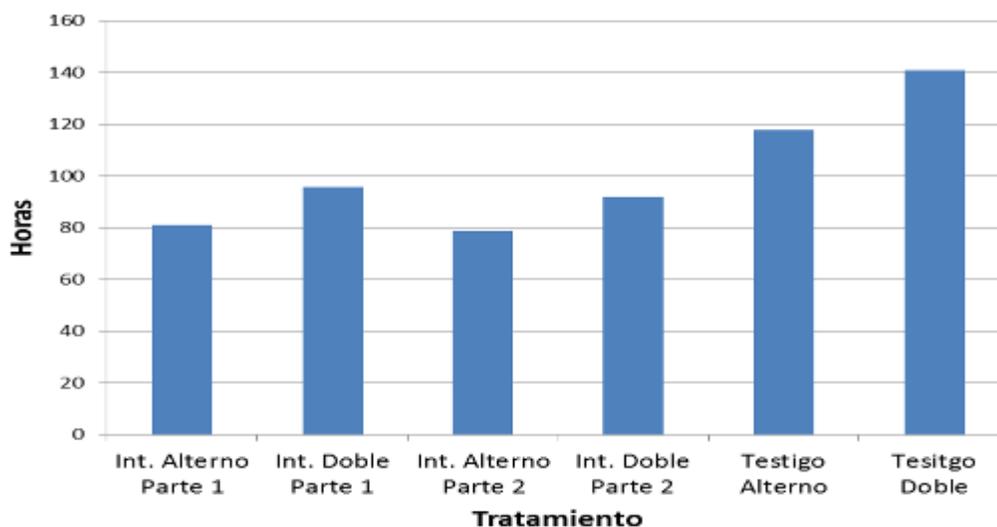


Imagen 2.20 Curva de avance y recesión surco alterno parte 1 contra testigo surco alterno



**Imagen 2.21** Curva de avance y recesión surco alternativo parte 2 contra testigo surco alternativo

En la Imagen 2.22 muestra la suma de horas totales en los 6 riegos de auxilios en lo cual el testigo doble con 140.9 horas efectivas es el que toma más tiempo para terminar los 400 metros y un rendimiento final de 4.14 ton/ha, sin embargo el mejor resultado de los tratamientos se muestra en el tratamiento alternativo de la parte 2 con un total de 78.71 horas y un total de 80.86 horas para la parte 1, lo cual obtuvieron un rendimiento aproximado de 5.15 ton/ha. Con el testigo alternativo y el promedio de los tratamientos alternos en ambas partes, se tienen una diferencia de 37.89 horas, esto significa a un ahorro aproximado de 185.5 m<sup>3</sup> en los tratamientos (escala experimental) y un equivalente a 2440 m<sup>3</sup> en una hectárea.



**Imagen 2.22** Horas totales de riego por 6 riegos de auxilio para avanzar 400 metros

En el cuadro 2.2 se muestran los porcentajes de ahorro en agua, los resultados muestran un ahorro promedio de 24 – 27% para el tratamiento intermitente alterno y un 23 – 27% para el tratamiento intermitente doble, estos resultados están por arriba de los reportados en cultivo de algodón por Ismail y Ragheb (2006), obteniendo un ahorro de 15%, y por debajo de Wang et al., (2005) reportando un ahorro de agua de 27.7%. Amer (1998) encontró en cultivos de algodón un ahorro de agua de 20 a 22% con la aplicación de riego intermitente y un incremento en producción del 4 al 9 % en el cual en este experimento se obtuvo un aumento de 13.68% para el tratamiento alterno y un 19% para el tratamiento doble como se puede mostrar en la siguiente cuadro 2.3.

**Cuadro 2.2** Porcentaje de ahorro en agua en riego intermitente con respecto a riego continuo

TRATAMIENTO	VOLUMEN APLICADO [M3]	AHORRO EN AGUA [%]	AHORRO EN TIEMPO [HR]
Int. Alterno Parte 1	395.96	24.75	36.82
Int. Doble Parte 1	468.692	23.37	45.17
Int. Alterno Parte 2	385.396	26.75	38.97
Int. Doble Parte 2	452.732	26.52	49.1
Testigo Alterno	526.148	-	-
Testigo Doble	611.648	-	-

**Cuadro 2.3** Incremento de producción en cultivo de algodón

	INTERMITENTE DOBLE 1	INTERMITENTE ALTERNADO 1	TESTIGO DOBLE	TESTIGO ALTERNO
Ton/ha	4.93	5.15	4.14	4.53
Incremento [%]	19	13.68	-	-

### 2.1.1.4 Análisis de las variables respuesta del cultivo

a) Altura de planta, Capullo y bellotas.

La respuesta del cultivo a la aplicación de riego intermitente se evaluó con las variables fisiológicas, altura de planta, bellotas y capullos. En la cuadro 2.4 se presentan los muestreos de altura, capullo y bellotas, donde se observa que hay mayor número de capullo y bellota en los surcos regados con flujo intermitente comparados con el testigo. Lo que represento un mejor desarrollo y un mayor rendimiento.

**Cuadro 2.4** Muestreo de variables fisiología de la planta de algodón por tratamiento.

TRATAMIENTO	SURCOS	ALTURA	CAPULLO	BELLOTA
intermitente1	doble	129.6	11	5
intermitente1	alternado	124.1	10.3	4.5
intermitente 2	doble	120.6	9.1	4.6
intermitente 2	alternado	116.2	11.3	2.5
Testigo	doble	130.2	6.1	3.8
Testigo	alternado	127.0	7.5	3.5

b) Evaluación del rendimiento de algodón por tratamiento de riego.

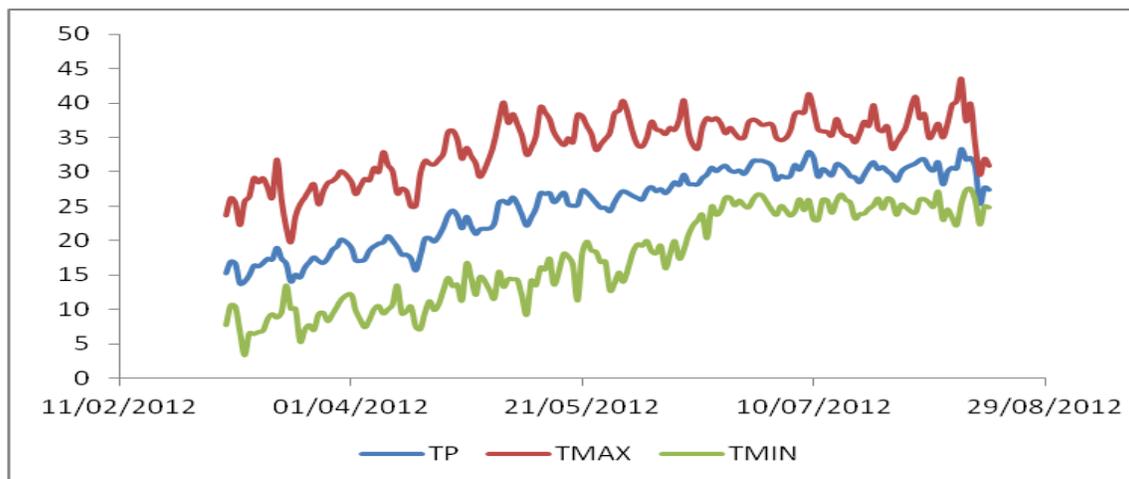
La cosecha de algodón se realizó el 13 y 14 de agosto, los resultados se presentan en el cuadro 2.5. Encontrándose, que rendimiento de algodón fue mayor en el riego intermitente con surco doble y alternado de 0.79 y 0.62 ton/ha respectivamente, comparado con flujo continuo.

**Cuadro 2.5** Muestreo de cosecha 13 y 14 de Agosto

PESO	INTERMITENTE DOBLE 1	INTERMITENTE ALTERNADO 1	TESTIGO DOBLE	TESTIGO ALTERNO
Kg/12 m <sup>2</sup>	5.93	6.19	4.98	5.45
Ton/ha	4.93	5.15	4.14	4.53

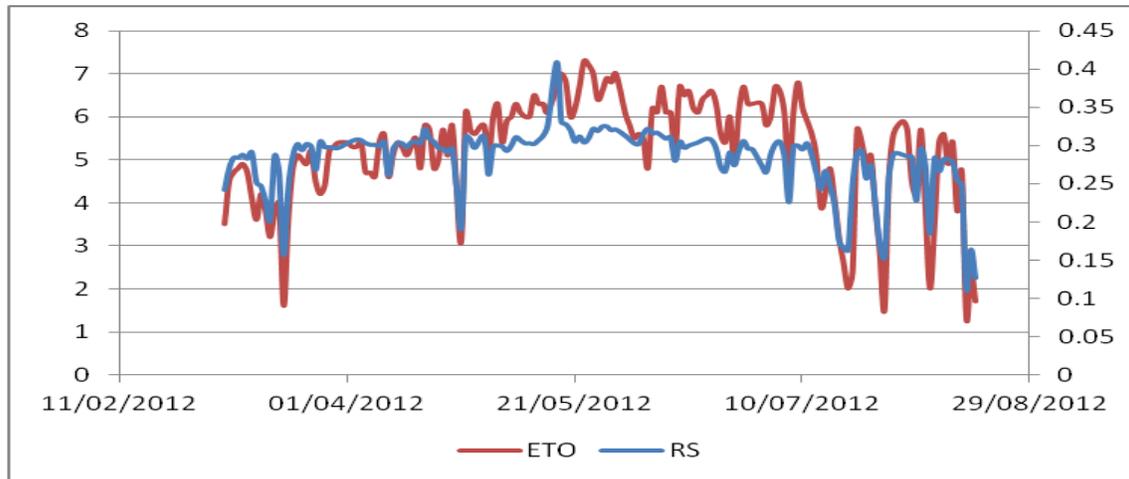
c) Variables climáticas

En la Imagen 2.23 se presentan el registro de las temperaturas máximas mínimas y promedio que se presentaron en el periodo del 5 de marzo al 17 de Agosto.



**Imagen 2.23** Registro de las temperaturas en el periodo el 5 de marzo al 29 de mayo 2012.

Por otro lado, en este informe se agrega los datos de evapotranspiración y de radiación solar registradas en el periodo del 5 de marzo al 17 de Agosto del 2012.



**Imagen 2.24** Registro de datos de evapotranspiración y radiación solar durante el periodo del de 5 de marzo al 17 de Agosto del 2012.

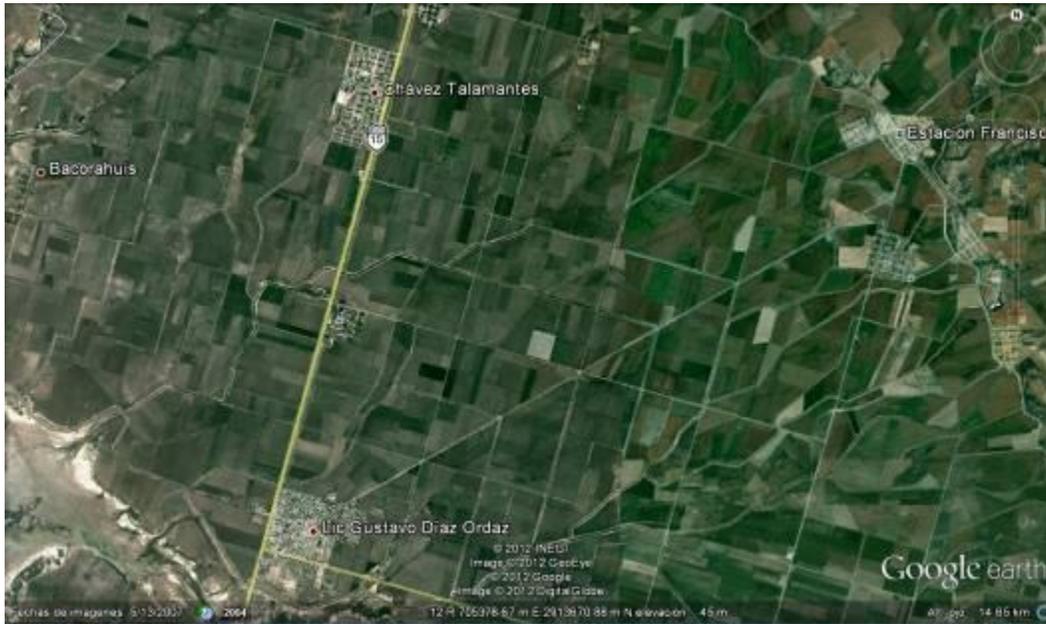
## 2.1.2 Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, Sinaloa

Los resultados obtenidos son los siguientes

### 2.1.2.1 Seguimiento agronómico

El Módulo 1 se integró la información básica de cultivos sembrados en lotes con características para parcela de seguimiento, estableció los contactos y relaciones necesarias para el establecimiento de la parcela demostrativa.

Se hizo una revisión de parcelas posibles candidatas para el cultivo del maíz en el Distrito de Riego 076, Valle del Carrizo, Sinaloa, como se muestra en las siguientes imágenes



**Imagen 2.25** Área de influencia del Módulo de Riego No. 1, Distrito 076 Valle del Carrizo, Sin., A.C.



**Imagen 2.26** Recorrido de parcelas, al fondo el ejido Dolores Hidalgo

Una vez vistas las diferentes condiciones de las parcelas y disponibilidad de los agricultores cooperantes, se seleccionó una parcela del ejido Dolores Hidalgo, la cual fue manejada por completo por el Módulo 1 y se muestra en la siguiente imagen.



**Imagen 2.27** Parcela demostrativa en el parcela del ejido Dolores Hidalgo

Se hizo una revisión de documentos actualizados sobre el cultivo del maíz en el estado de Sinaloa, mediante búsquedas en internet, encontrando algunas experiencias actualizadas, como se muestra en las siguientes imágenes:



Imagen 2.28 Documento para productores financiado por Produce Sinaloa



**Imagen 2.29** Documento para productores financiado por Produce Sinaloa

Se realizó un seguimiento al desarrollo del cultivo, en relación con los parámetros de altura de planta, etapas de desarrollo y rendimiento.



**Imagen 2.30** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 6 Feb. 2012



**Imagen 2.31** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 6 Feb. 2012 límite poniente



**Imagen 2.32** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 26 Feb. 2012



**Imagen 2.33** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 3 Marzo. 2012



**Imagen 2.34** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 3 Marzo. 2012



**Imagen 2.35** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 30 Marzo. 2012



**Imagen 2.36** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 21 Abril. 2012



**Imagen 2.37** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. De Abril. 2012



**Imagen 2.38** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 13 Mayo, 2012



**Imagen 2.39** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 13 Mayo, 2012



**Imagen 2.40** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 27 Junio. 2012



**Imagen 2.41** Estado de desarrollo maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 27 Junio. 2012



a) medición del maíz



b) recopilación del maíz

**Imagen 2.42** Muestreo de maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 28 Junio. 2012



a) costales de maíz



b) muestreo del maíz

**Imagen 2.43** Muestreo de maíz parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 28 Junio, 2012



**Imagen 2.44** Muestreo de maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 28 Junio. 2012



**Imagen 2.45** Cosecha de maíz Parcela DR 076 Valle del Carrizo, Sin. 27 Junio. 2012

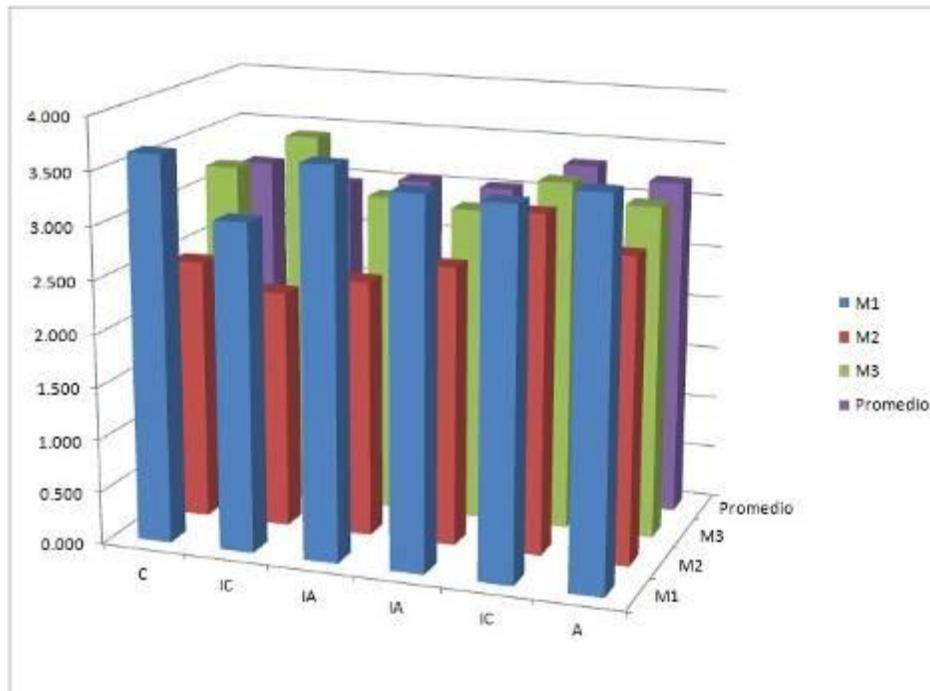
Para cada tratamiento se realizaron tres muestras (M1, M2 y M3) en surcos de 5.0 m de longitud, los cuales tienen un ancho de 0.8 m. Los Kg de muestreo se muestran en la tabla siguiente, así como su conversión a toneladas por hectárea.

**Cuadro 2.6** Muestreo en Kg en surcos de 5.0 m lineales

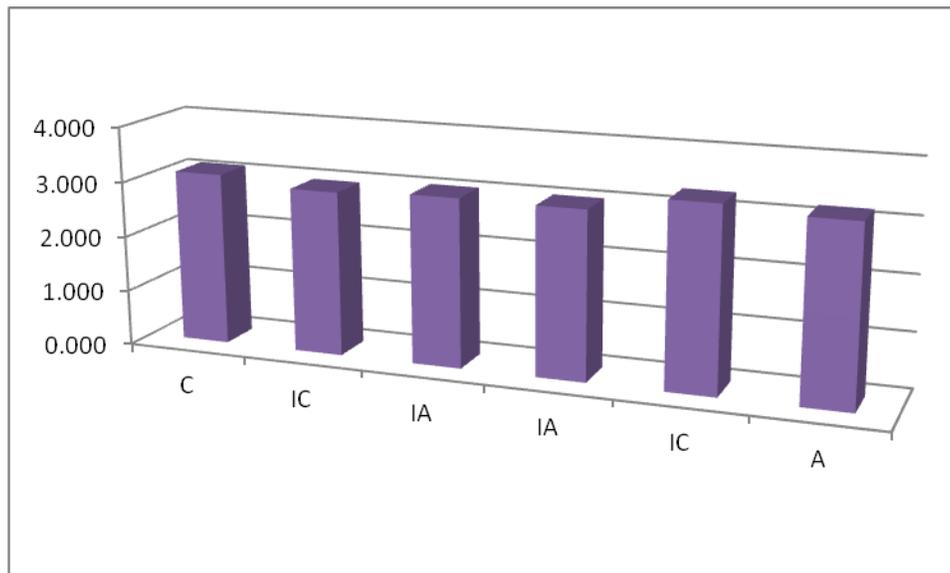
MUESTRA	C	IC	IA	IA	IC	A
M1	3.650	3.090	3.660	3.464	3.436	3.590
M2	2.480	2.250	2.427	2.634	3.184	2.870
M3	3.230	3.570	3.047	2.989	3.304	3.140
Promedio	3.120	2.970	3.045	3.029	3.308	3.200

Los tratamientos significan lo siguiente:

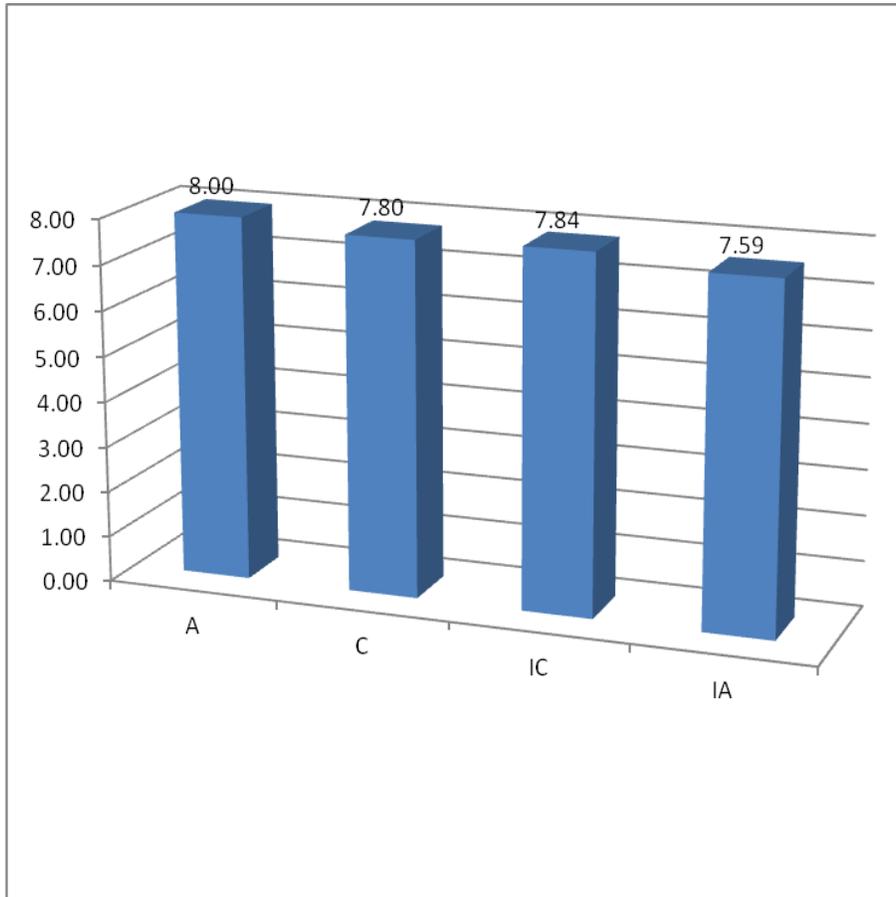
A riego con surcos alternos, C riego con surcos continuos, IA riego intermitente con surcos alternos y la IC riego intermitente con surcos continuos.



**Imagen 2.46** Muestreo en Kg en surcos de 5.0 m lineales, en muestras M1, M2 y M3, donde A riego con surcos alternos, C riego con surcos continuos, IA riego intermitente con surcos alternos y la IC riego intermitente con surcos continuos



**Imagen 2.47** Muestreo en Kg en surcos de 5.0 m lineales, en muestra promedio, donde A riego con surcos alternos, C riego con surcos continuos, IA riego intermitente con surcos alternos y la IC riego intermitente con surcos continuos.



**Imagen 2.48** Muestreo en ton/ha, donde A riego con surcos alternos, C riego con surcos continuos, IA riego intermitente con surcos alternos y la IC riego intermitente con surcos continuos.

### 2.1.2.2 Seguimiento hidráulico

Para un seguimiento al desarrollo de los parámetros hidráulicos del riego: avance, recesión e Imagen aplicada, fue necesario un seguimiento a los trabajos previos, como se muestra a continuación.



**Imagen 2.49** Colocación de estacas con banderas para control de las fases del riego



a) maquinaria



b) Peones

**Imagen 2.50** Habilitación de regaderas con maquinaria y peones



a) maquinaria



b) Instalación de regadera

**Imagen 2.51** Habilitación de estructuras en regaderas con maquinaria y peones



**Imagen 2.52** Inicio de riego intermitente y revisión de gastos para avance homogéneo



**Imagen 2.53** Riego Intermitente



Imagen 2.54 C Riego Continuo tradicional IC Surco Alterno Continuo



Imagen 2.55 Riego intermitente cambio de posición primer intermitencia





**Imagen 2.56** Operación del riego intermitente con sifones el 25 de febrero de 2012

El traslado de niveles en las cuencas sostenedoras de nivel con plástico, se realizó de la primera a la última en el pulso de riego, con la ayuda de nivel de hilo y manguera, como se muestra en las siguientes imágenes.



**Imagen 2.57** Traslado de niveles en cuencas sostenedoras de nivel el 25 de febrero de 2012

La operación del fertirriego por gravedad, incluye la habilitación y calibración de sus componentes, como se muestra en las siguientes imágenes.



**Imagen 2.58** Manejo de la fertirrigación por gravedad.



Imagen 2.59 Operación del riego intermitente con sifones.



Imagen 2.60 Manejo de la fertirrigación por gravedad.



Imagen 2.61 Operación del riego intermitente en surco alterno (IA) y continuo (IC) el 21 de abril de 2012



**Imagen 2.62** Operación del riego intermitente en surco alterno (IA) y continuo (IC) el 13 de mayo de 2012

El seguimiento a la humedad de la parcela se realizó con un sensor de humedad tipo TDR, como se muestra en las siguientes imágenes.



**Imagen 2.63** Seguimiento de la humedad de la parcela el 3 de marzo de 2012



**Imagen2 .64** Permanencia de niveles en cuencas sostenedoras de nivel el 3 de marzo de 2012

### **2.1.3 Distrito de Riego 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa**

Los resultados obtenidos son los siguientes

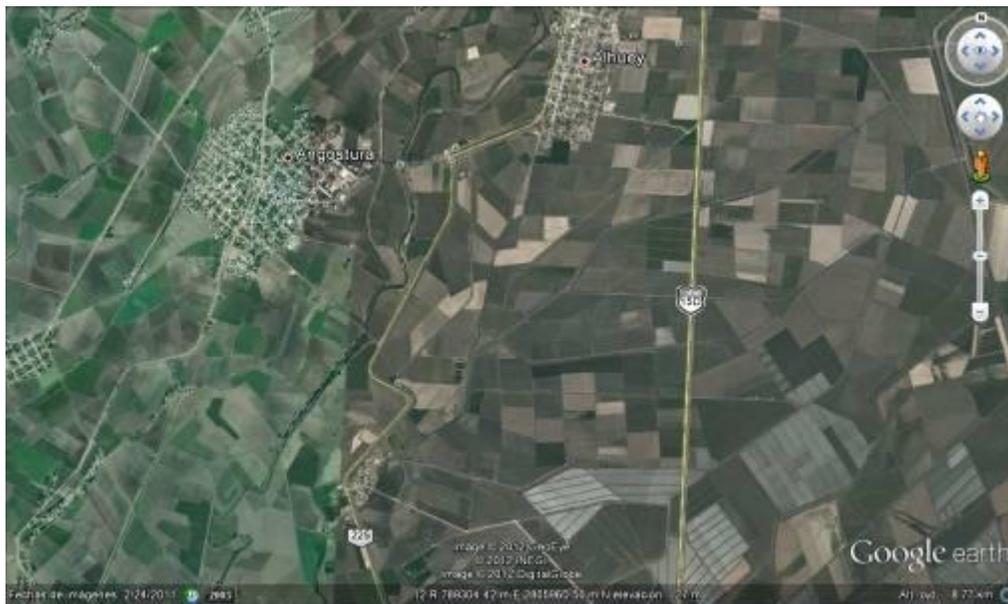
#### **2.1.3.1 Seguimiento agronómico**

Se integró la información básica de cultivos sembrados en lotes con características para parcela de seguimiento, estableció los contactos y relaciones necesarias para el establecimiento de la parcela demostrativa.

Se hizo una revisión de parcelas posibles candidatas para el cultivo del maíz en el municipio de Angostura, estado de Sinaloa, como se muestra en las siguientes imágenes:



**Imagen 2.65** Recorrido para selección de parcelas demostrativas en cultivos establecidos



**Imagen 2.66** Área de recorrido para selección de parcelas demostrativas dentro del área de influencia del Módulo V-2 del DR 010 Culiacán-Humaya, Sinaloa.

Una vez vistas las diferentes condiciones de las parcelas y disponibilidad de los agricultores cooperantes, se seleccionó la

Se hizo una revisión de documentos actualizados sobre el cultivo del maíz en el estado de Sinaloa, como se muestra en las siguientes imágenes:



Imagen 2.67 Manual para fertilización del maíz y sorgo



**Imagen 2.68** Manual para programación del riego en tiempo real para maíz y frijol

Se realizó un seguimiento al desarrollo del cultivo, en relación con los parámetros de altura de planta, etapas de desarrollo y rendimiento.



**Imagen 2.69** Estado de desarrollo del cultivo de maíz.



**Imagen 2.70** Estado de desarrollo del cultivo.



a) altura del maíz



b) altura del Maíz

**Imagen 2.71** Estado de desarrollo del cultivo de maíz.

**Imagen 2.72** Estado de desarrollo del cultivo de maíz.





**Imagen 2.73** Estado de desarrollo del cultivo.



**Imagen 2.74** Cosecha del cultivo de maíz.



Imagen 2.75 Muestreo de cosecha del cultivo de maíz.



Imagen 2.76 Muestreo de cosecha del cultivo de maíz.



**Imagen 2.77** Muestreo de cosecha del cultivo de maíz.

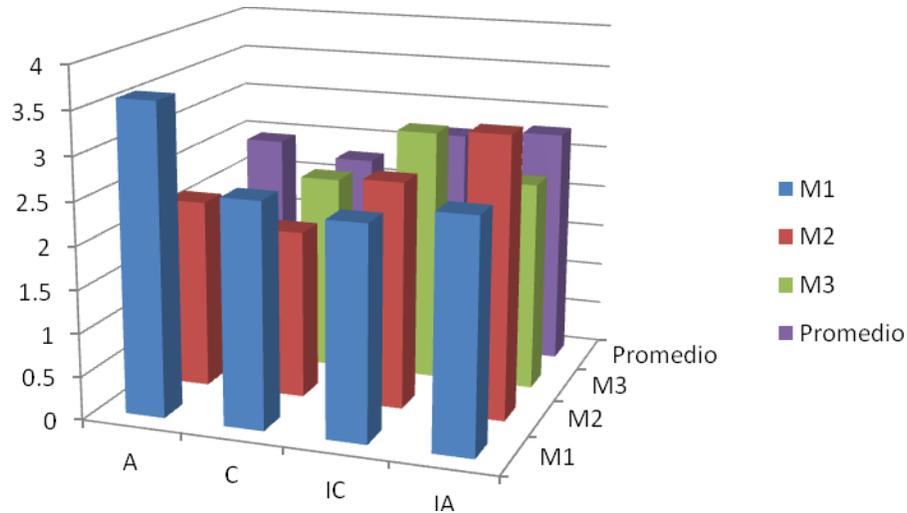
Para cada tratamiento se realizaron tres muestras (M1, M2 y M3) en surcos de 5.0 m de longitud, los cuales tienen un ancho de 0.75 m. Los Kg de muestreo se muestran en el siguiente cuadro, así como su conversión a toneladas por hectárea.

MUESTRA	TRATAMIENTO			
	A	C	IC	IA
M1	3.6	2.6	2.46	2.65
M2	2.2	1.95	2.63	3.25
M3	1.52	2.3	2.95	2.43
Promedio	2.44	2.28	2.68	2.77
Ton/ha	6.5	6.1	7.1	7.4

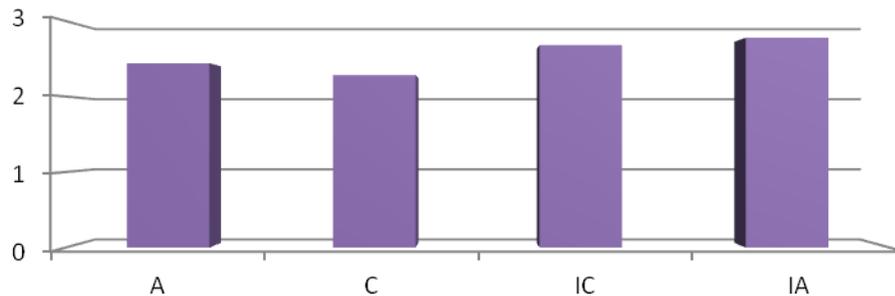
Los tratamientos significan lo siguiente:

A riego con surcos alternos, C riego con surcos continuos, IA riego intermitente con surcos alternos y la IC riego intermitente con surcos continuos.

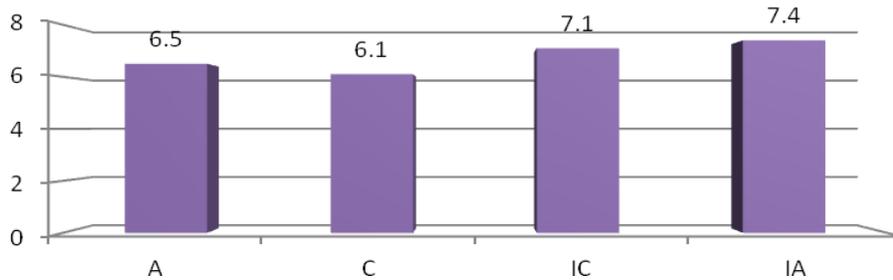
La comparación gráfica de los resultados obtenidos se muestra en la Imagen siguiente:



**Imagen 2.78** M1, M2 y M3, en Kg donde A riego con surcos alternos, C riego con surcos continuos, IA riego intermitente con surcos alternos y la IC riego intermitente con surcos continuos.



**Imagen 2.79** Promedio de muestreos, en Kg donde A riego con surcos alternos, C riego con surcos continuos, IA riego intermitente con surcos alternos y la IC riego intermitente con surcos continuos.



**Imagen 2.80** Promedio de muestreos, en ton/ha donde A riego con surcos alternos, C riego con surcos continuos, IA riego intermitente con surcos alternos y la IC riego intermitente con surcos continuos.

### 2.1.3.2 Seguimiento hidráulico

Para un seguimiento al desarrollo de los parámetros hidráulicos del riego: avance, recesión e Imagen aplicada, fue necesario un seguimiento a los trabajos previos, como se muestra a continuación:



**Imagen 2.81** Fabricación de caja individual 6 de marzo de 2012



**Imagen 2.82** Fabricación final de caja individual 6 de marzo de 2012



**Imagen 2.83** Fabricación de caja en Tee 6 de marzo de 2012



**Imagen 2.84** Fabricación de caja en Tee 6 de marzo de 2012



**Imagen 2.85** Construcción de regadera principal y auxiliar con bordero y canalera 6 de marzo de 2012



**Imagen 2.86** Afine de regadera principal y auxiliar con canalera 6 de marzo de 2012



**Imagen 2.87** Traslado de estructuras de madera a parcela demostrativa 6 de marzo de 2012



**Imagen 2.88** Preparación del sitio para estructuras de madera 6 de marzo de 2012



**Imagen 2.89** Instalación de estructuras de madera en Tee 6 de marzo de 2012



**Imagen 2.90** Instalación de estructura de madera individual 6 de marzo de 2012



**Imagen 2.91** Habilitación de tractobomba centrífuga 7 de marzo de 2012



**Imagen 2.92** Habilitación de tractobomba centrífuga 7 de marzo de 2012



**Imagen 2.93** Estacado para delimitar tratamientos y medir fases de riego 8 de marzo de 2012



**Imagen 2.94** Habilitación de cuencas sostenedoras de nivel de riego 8 de marzo de 2012



**Imagen 2.95** Habilitación de cuencas sostenedoras de nivel de riego 8 de marzo de 2012



**Imagen 2.96** Habilitación e inicio de riego intermitente 8 de marzo de 2012



**Imagen 2.97** Habilitación e inicio de riego continuo 8 de marzo de 2012



**Imagen 2.98** Medición de gasto de riego 8 de marzo de 2012



**Imagen 2.99** Riego intermitente 6 de mayo de 2012



**Imagen 2.100** Riego intermitente 6 de mayo de 2012

En las siguientes Imágenes se muestra la operación de las intermitencias o tiempos de riego y no riego.

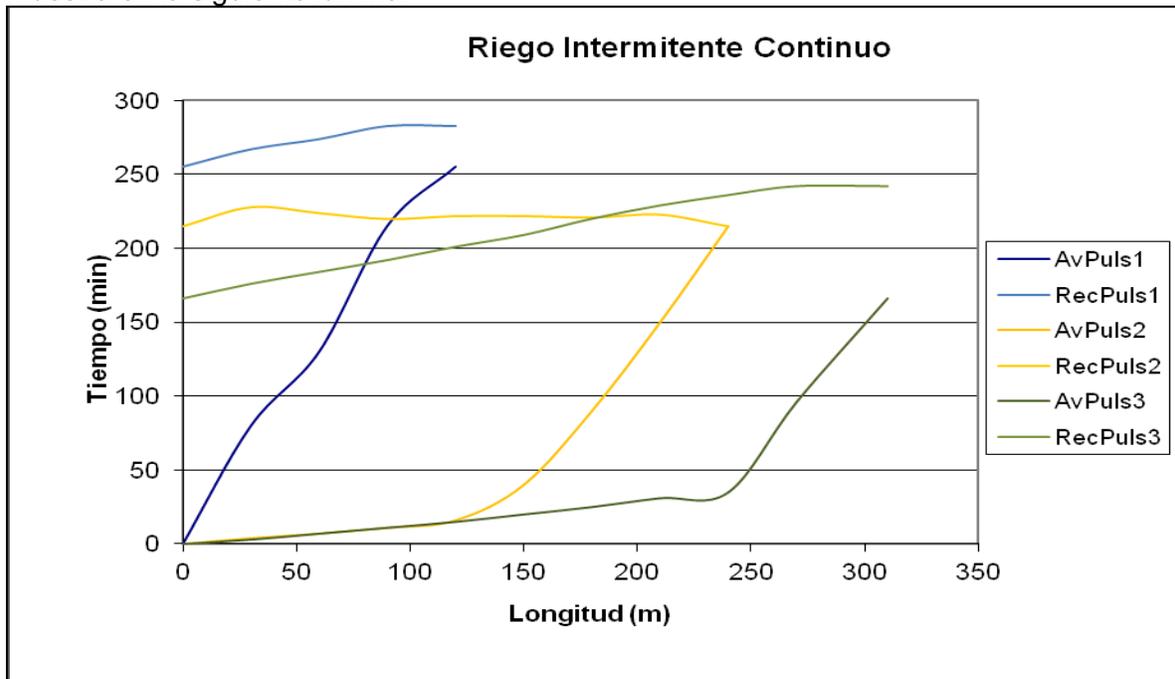


**Imagen 2.101** Operación del riego intermitente: flechas azules dirección del flujo, flechas amarillas movimiento de agujas en la caja distribuidora. Primer pulso derecho.

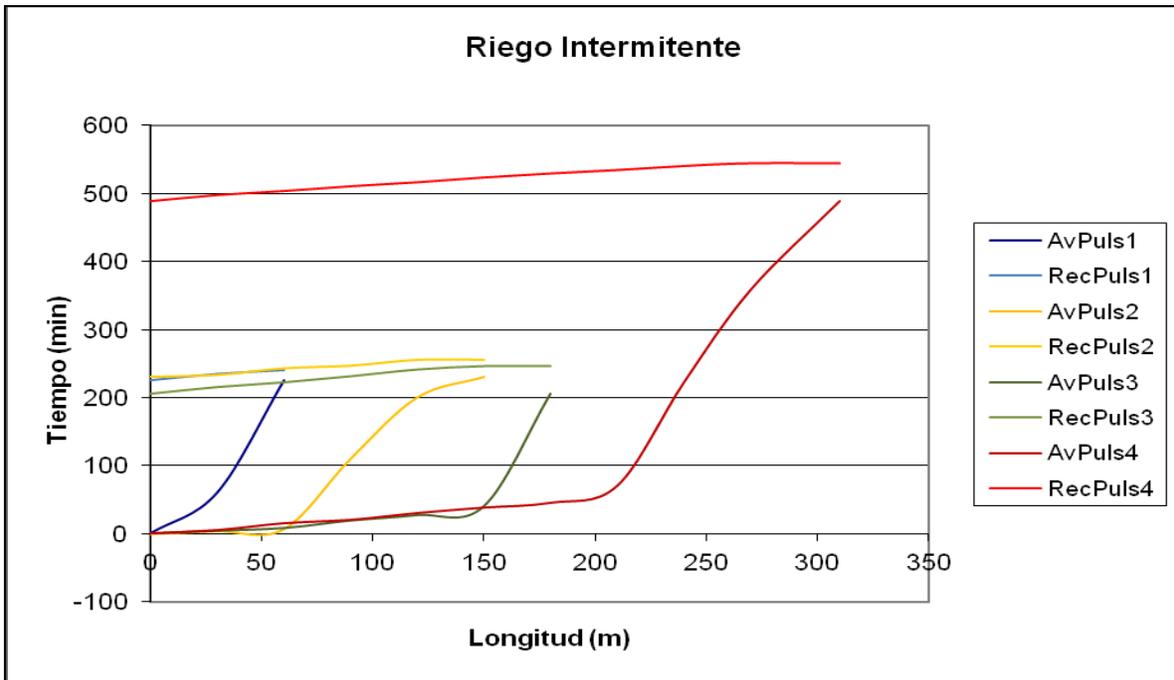


**Imagen 2.102** Operación del riego intermitente: flechas azules dirección del flujo, flechas amarillas movimiento de agujas en la caja distribuidora. Primer pulso izquierdo.

El comportamiento de las fases del riego en la intermitencia con surco continuo se muestra en la siguiente lámina.

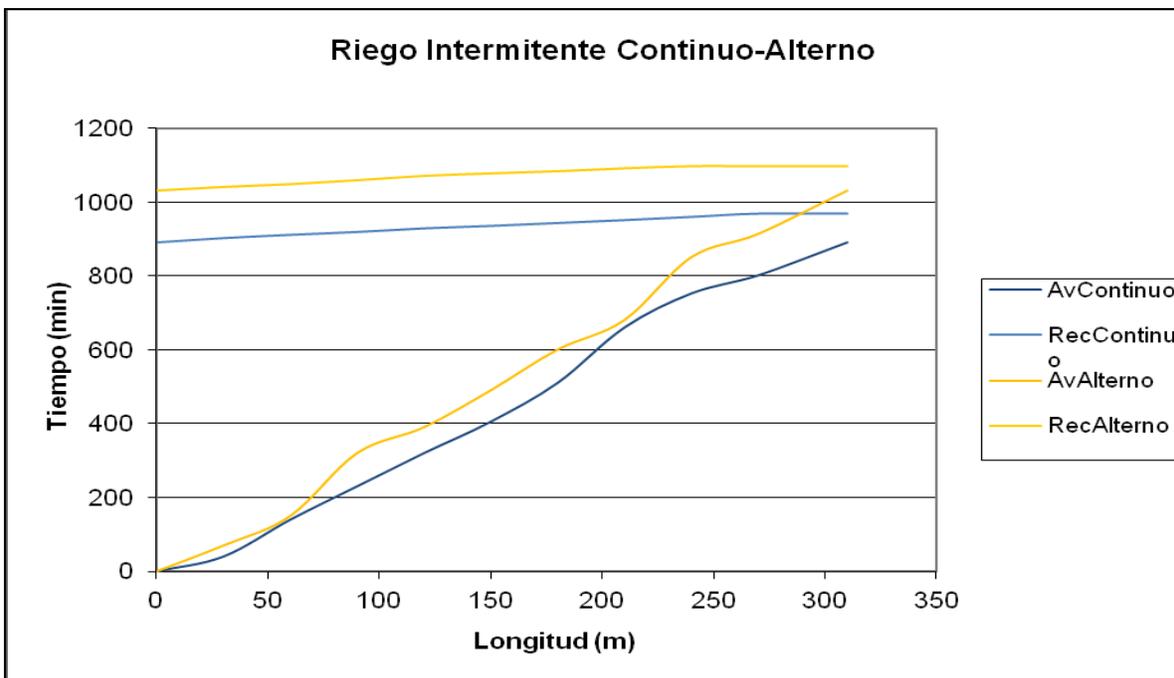


Fases del riego intermitente con tres pulsos en surco continuo



Fases del riego intermitente con cuatro pulsos en surco alterno

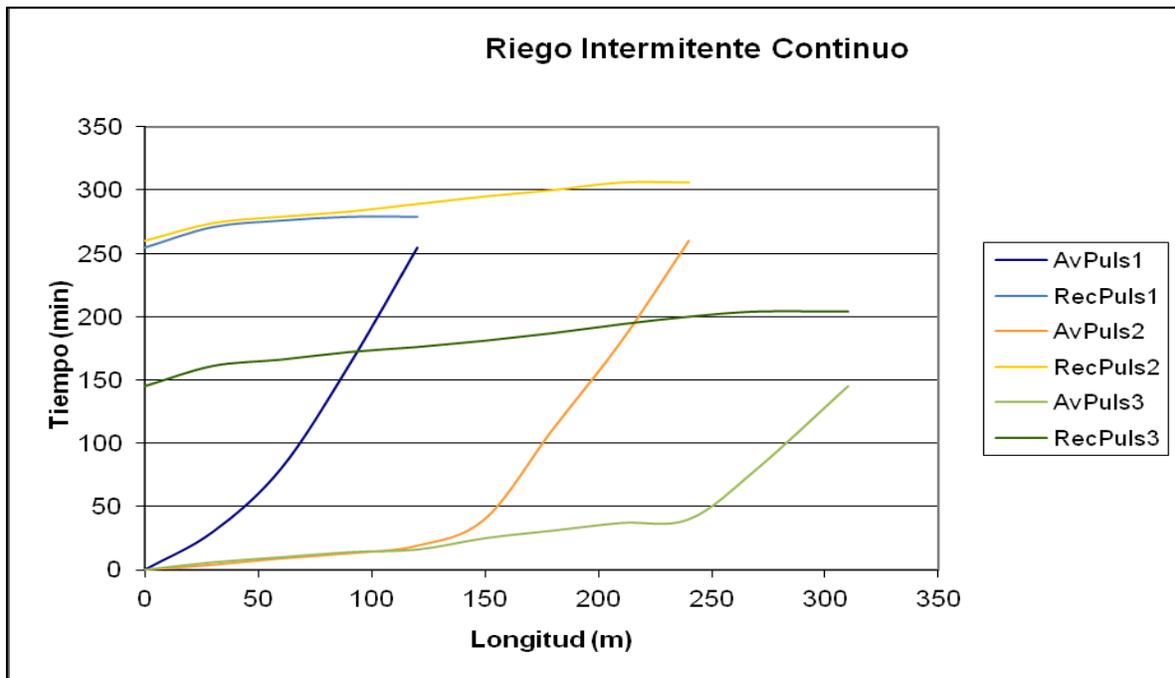
Los cuatro pulsos se dieron porque en el surco continuo mandaba en la definición de los pulsos en el en surco alterno fue necesario un cuarto pulso de riego para regar la longitud total de riego.



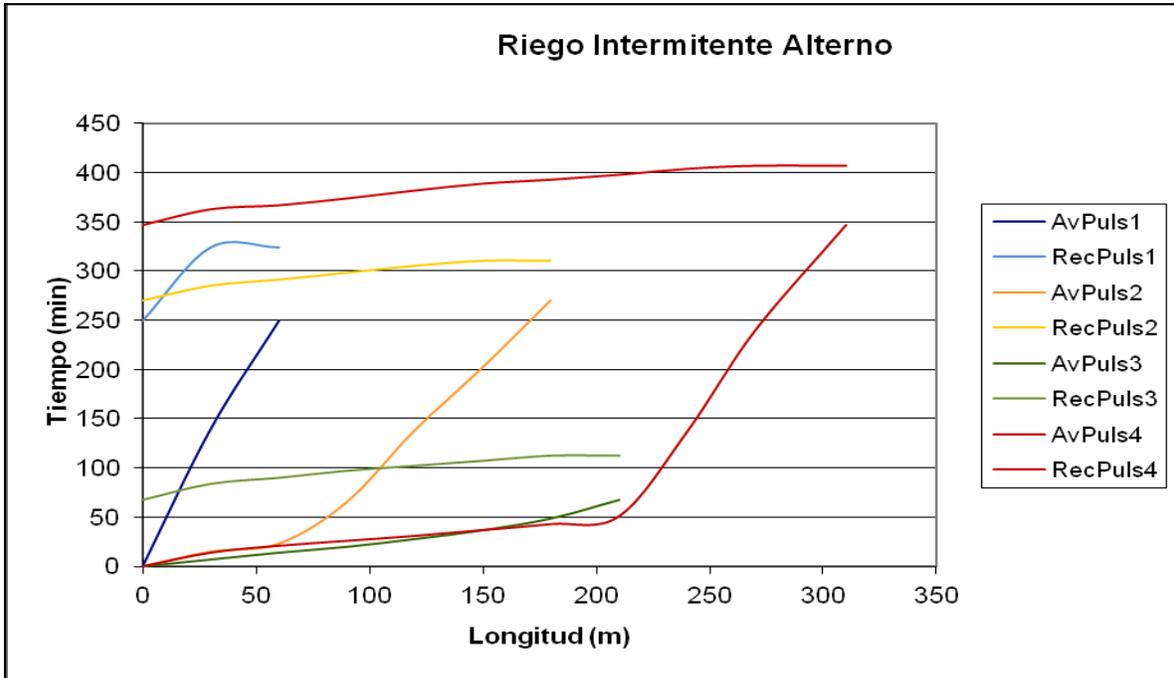
### Fases del riego continuo y alterno

Como era de esperarse el surco alterno requiere un poco más de tiempo para llegar la longitud total, pero cubriendo el doble de superficie, de ahí su mayor eficiencia de uso del agua.

En el siguiente riego se comportaron de manera similar las diferentes técnicas de riego.

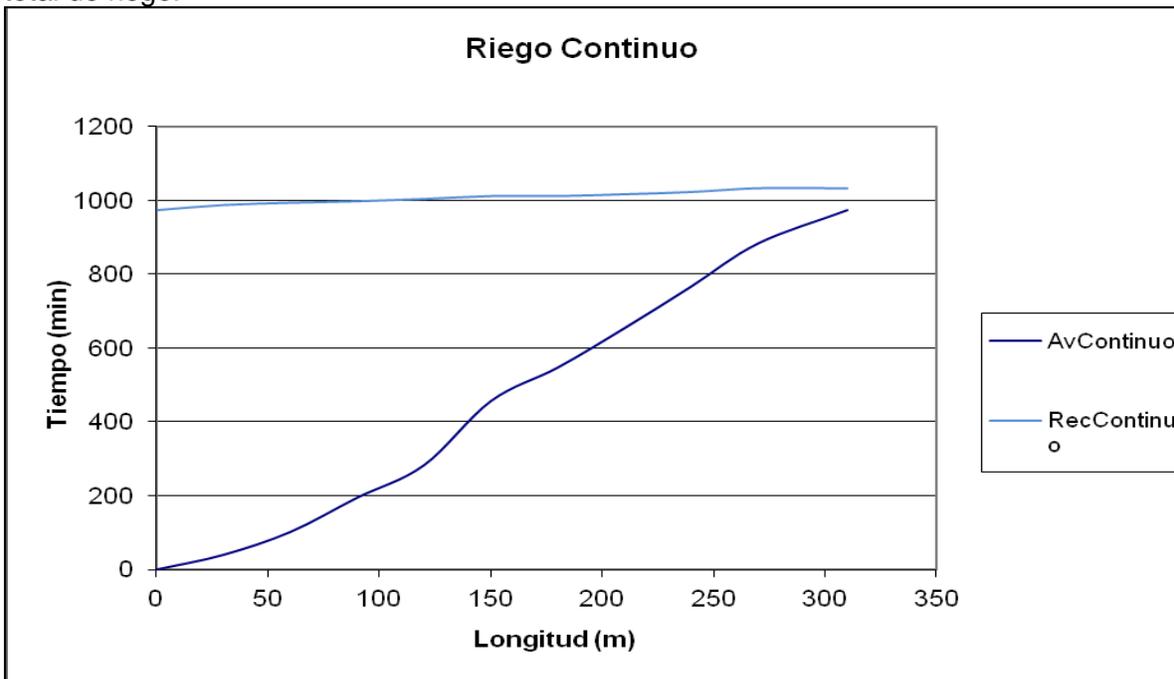


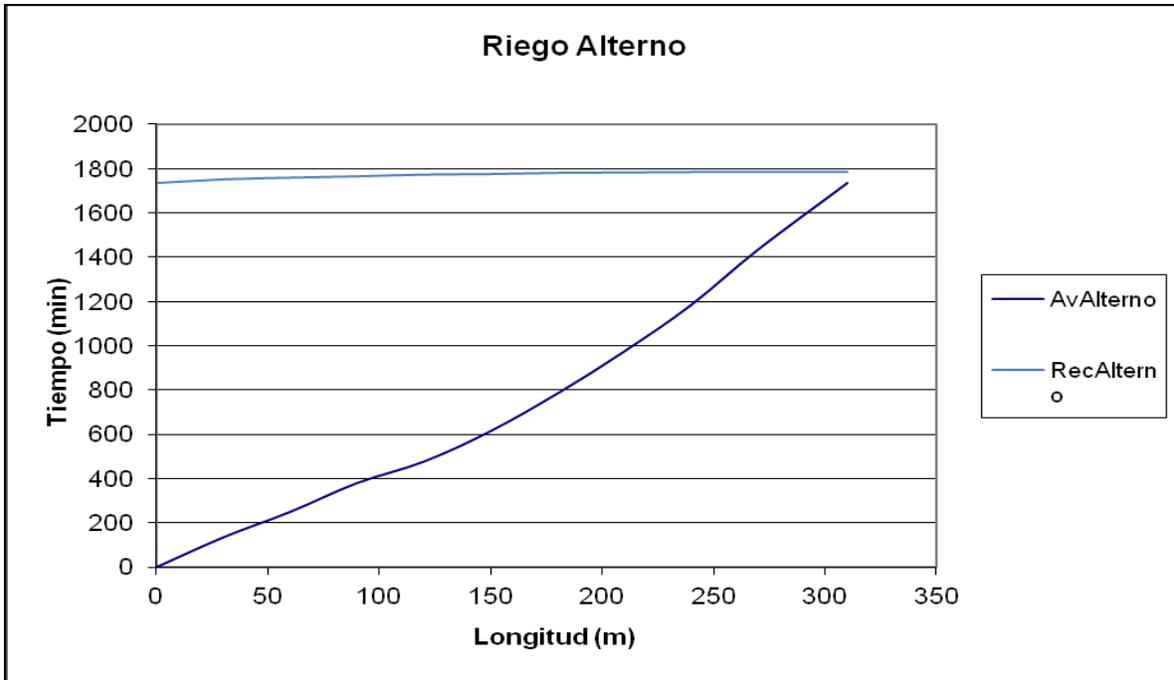
Fases del riego intermitente con tres pulsos en surco continuo



Fases del riego intermitente con cuatro pulsos en surco alterno

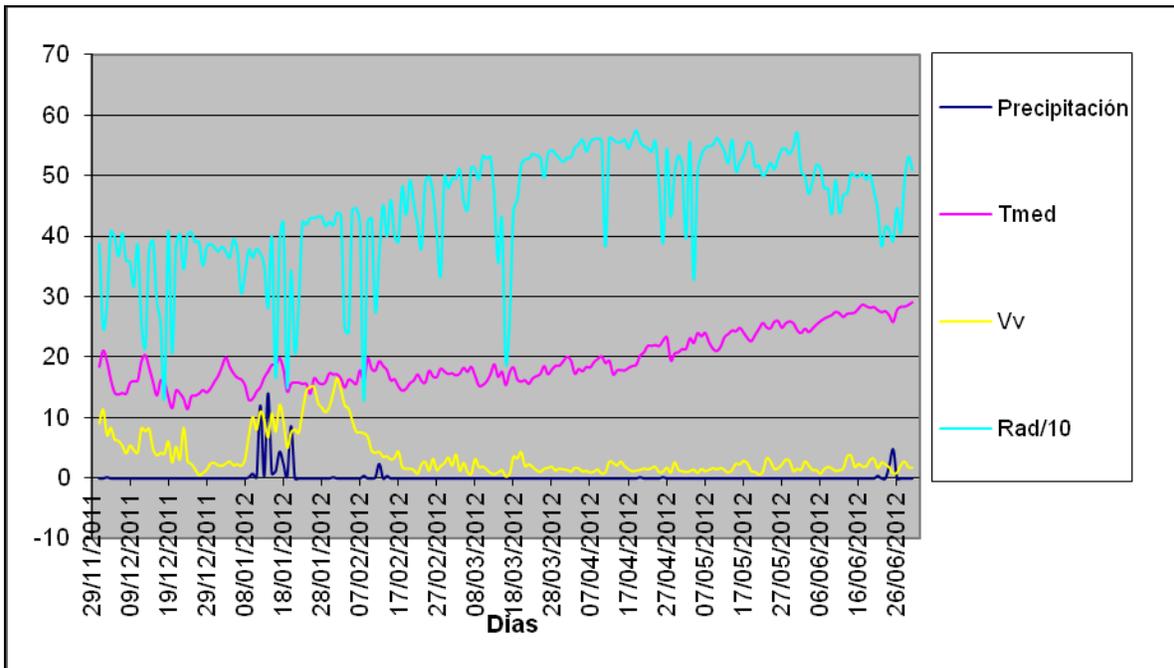
Los cuatro pulsos se dieron porque en el surco continuo mandaba en la definición de los pulsos en el en surco alterno fue necesario un cuarto pulso de riego para regar la longitud total de riego.





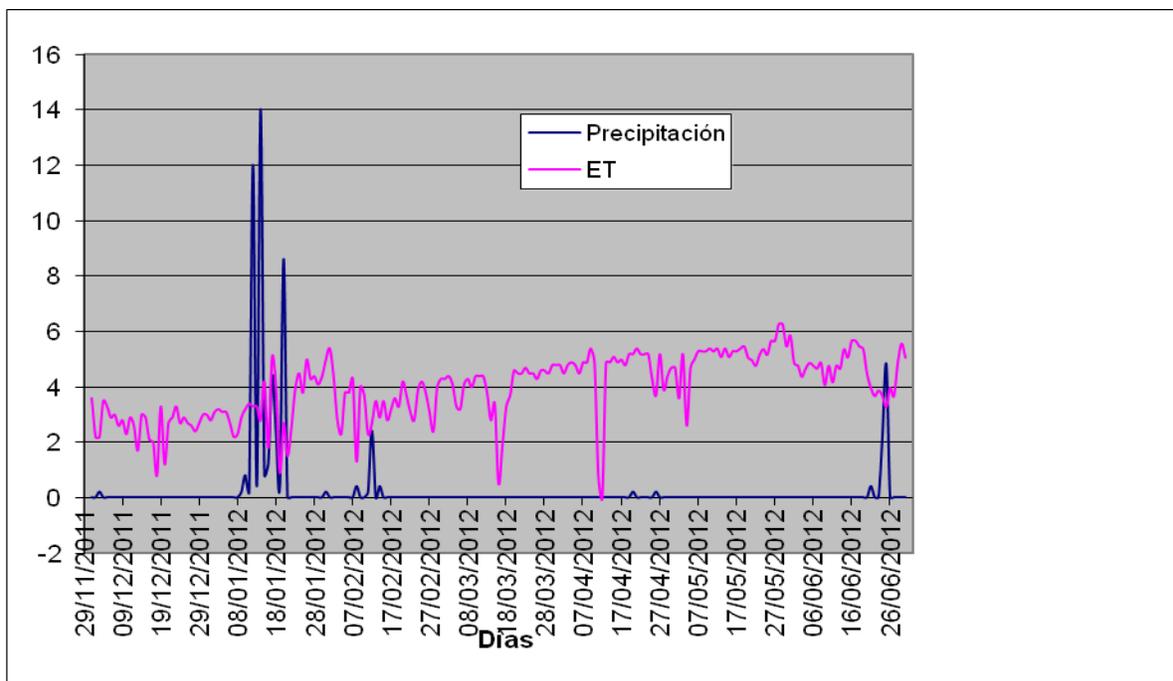
Fases del riego continuo y alterno

El comportamiento del clima se aprecia en las siguientes láminas.

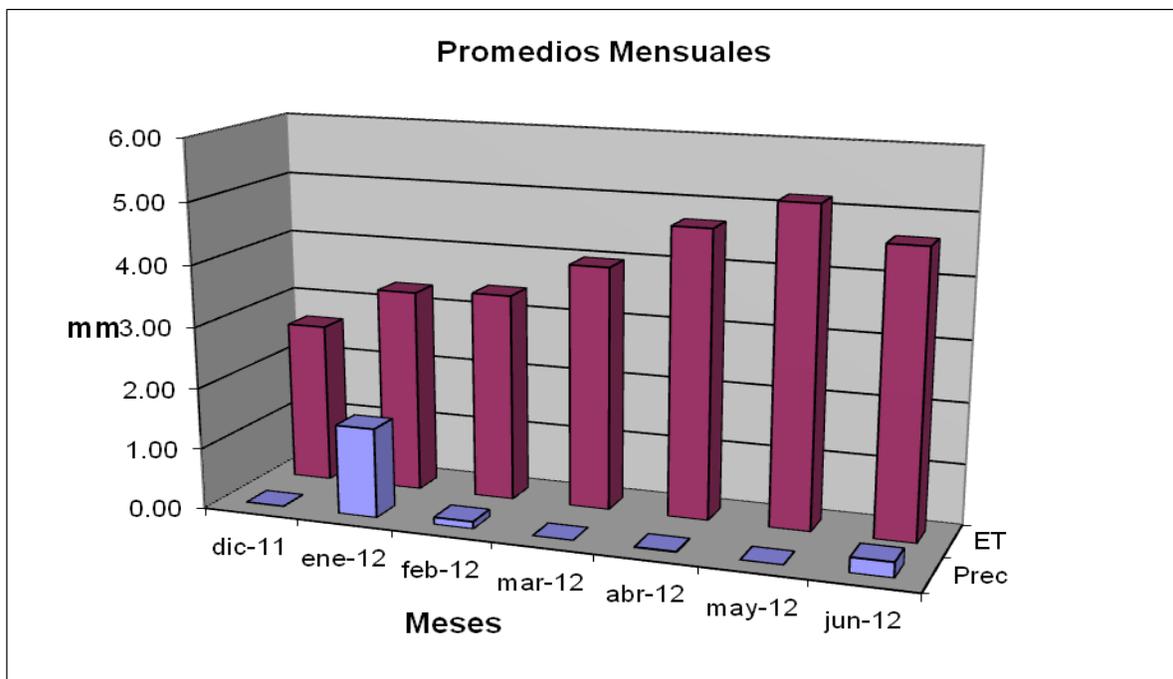
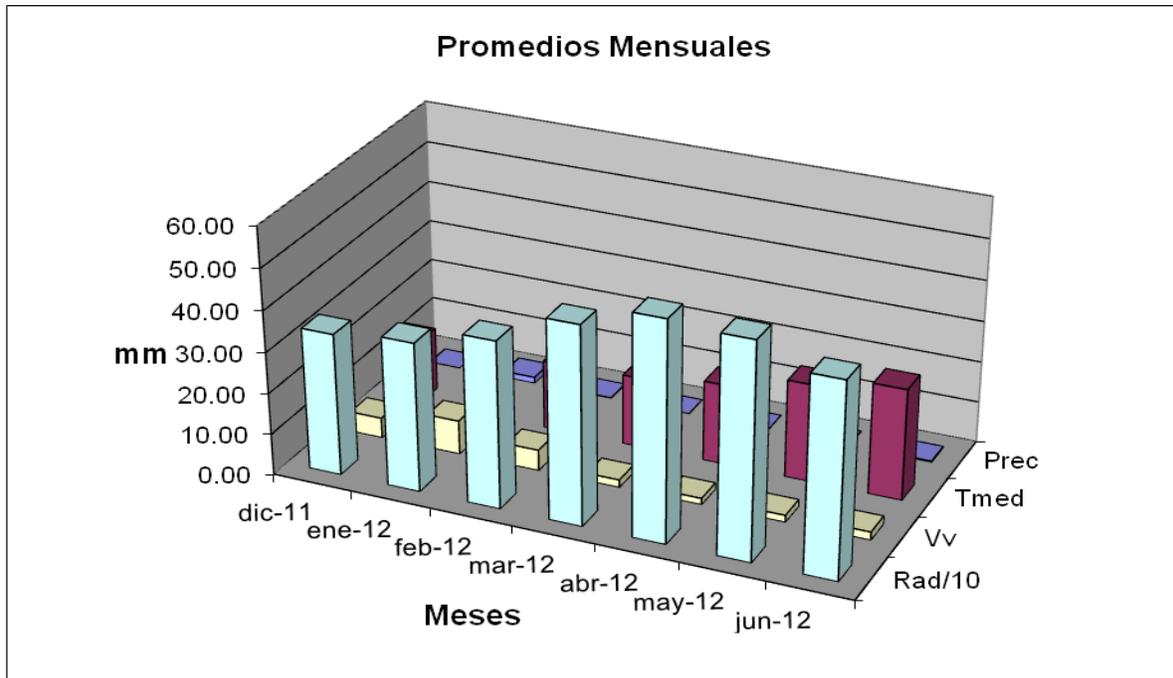


Se aprecia que el viento (Vv) fue significativo hasta la primer quincena de febrero, a partir de la cual es prácticamente nula. Asimismo se observa un incremento sostenido de la temperatura media (Tmed) y la radiación solar (Rad), donde se aprecia que bajas puntuales en la radiación corresponden a bajas puntuales de la temperatura. La lluvia (Precipitación) es despreciable a lo largo del ciclo del cultivo.

La lluvia (Precipitación) y Evapotranspiración de referencia a lo largo del ciclo del cultivo se muestra en la siguiente lámina, donde las escasas lluvias muestran que en solo cuatro días el requerimiento de riego fue satisfecho por la lluvia.



El comportamiento de las medias mensuales de los parámetros climáticos se muestra en las siguientes gráficas.



Una muestra de los datos tabulados se aprecia en la siguiente tabla.

FECHA	PRE C.	T. MAX.	T. MIN.	T. MED.	VV MAX.	DVV MAX.	VV	DV	RAD. G	HR	ET	EP	RAD. G/10
01/12/2011	0	27.9	11.3	18.48	21.1	155.90 (SE)	9.05	257.88 (O)	387.84	68.12	3.60	3.87	38.784
02/12/2011	0	25.2	17	21.14	22.3	134.90 (SE)	11.32	169.23 (S)	247.73	74.9	2.20	3.02	24.773
03/12/2011	0.2	25.9	14.2	19.35	13.5	303.30 (NO)	7.11	247.58 (O)	286.98	76.86	2.20	2.6	28.698
04/12/2011	0	22.5	10.2	16.35	15.9	311.00 (NO)	8.32	263.08 (O)	407.74	57.24	3.50	3.79	40.774
05/12/2011	0	24.4	6.2	14.18	13.9	303.40 (NO)	6.41	104.57 (E)	398.79	55.4	3.30	3.81	39.879
06/12/2011	0	23.3	7.3	13.9	16.2	305.50 (NO)	6.16	332.51 (NO)	367.38	54.9	2.90	3.76	36.738
07/12/2011	0	24.7	5.4	14.14	13.2	296.10 (NO)	5.38	260.89 (O)	405.08	61.24	3.00	3.75	40.508
08/12/2011	0	24.9	5	14.03	11.6	241.80 (SO)	4.1	273.79 (O)	360.2	71.12	2.60	3.12	36.02
09/12/2011	0	24.5	8.9	15.78	16.5	215.30 (SO)	5.4	239.59 (SO)	357.42	67.23	2.80	3.39	35.742
10/12/2011	0	25.3	11	16.11	11.7	242.80 (SO)	4.62	191.41 (S)	316.79	69.21	2.30	3.05	31.679
11/12/2011	0	25.2	8.6	16.17	8.9	218.90 (SO)	4.24	25.02 (NE)	386.31	67.84	2.90	3.23	38.631
12/12/2011	0	27	12.6	19.4	22.6	156.80 (SE)	8.2	230.00 (SO)	255.8	64.95	2.60	3.5	25.58
13/12/2011	0	24.8	17.3	20.43	18.2	255.30 (O)	7.72	44.69 (NE)	216.37	72.75	1.70	2.67	21.637
14/12/2011	0	24.6	14	18.3	22.2	240.20 (SO)	8.13	232.99 (SO)	377.03	68.66	3.00	3.33	37.703
15/12/2011	0	23.7	10.1	15.95	10.5	301.70 (NO)	4.82	151.35 (SE)	392.77	67.06	2.90	2.96	39.277
16/12/2011	0	22.3	7.9	13.74	10.7	224.70 (SO)	3.76	107.95 (E)	293.2	73.68	2.10	2.28	29.32

## 2.2 Volúmenes aplicados y productividad del agua para un cultivo producido en invernadero.

Se dio seguimiento al uso eficiente del agua en un invernadero, mediante el manejo orgánico y el uso de componentes orgánicos en los sustratos, a través del monitoreo de los parámetros agroclimáticos y de productividad del agua.

### 2.2.1 Caracterización fisicoquímica del suelo

En el cuadro 2.8 se indican los resultados de la caracterización fisicoquímica del suelo proveniente de una de las naves de invernadero de Ocuituco, Morelos.

**Cuadro 2.8** Resultados del análisis fisicoquímico del suelo.

No. CONTROL	pH	CE dSm-1	Ca meqL-1	Mg meqL-1	Na meqL-1	K meqL-1	CO <sub>3</sub> meqL-1	HCO <sub>3</sub> meqL-1
1033	6.53	1.12	4.74	4.62	1.15	0.33	ND	1.54
1034	6.96	0.81	4.68	2.28	1.04	0.29	ND	1.67

Nº CONTROL	Cl meqL-1	SO4 meqL-1	B mg Kg-1
1033	0.95	8.06	1.11
1034	0.75	5.57	0.62

Nº CONTROL	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	TEXTURA
1033	54.2	34.0	11.8	FRANCO ARENOSO
1034	50.2	34.0	15.8	FRANCO

Identificación:

1033: Invernadero Ocuituco – muestra lado sur.  
1034: Invernadero Ocuituco – muestra lado norte.

Interpretación muestra 1034:

pH:	(6.96)	Terreno prácticamente neutro
CE:	(0.81 dS/m)	Libre de salinidad
MO:	(0.94 %)	Pobre en materia orgánica
Ninorg:	(17.6 mg/kg)	Bajo en nitrógeno inorgánico
P:	(36.8 mg/kg)	Moderadamente alto en fósforo “asimilable”
K:	(1430 mg/kg)	Muy alto en potasio “aprovechable”
Ca:	(2247 mg/kg)	Medio en calcio “aprovechable”
Mg:	(768 mg/kg)	Moderadamente alto en magnesio “aprovechable”
Fe:	(42.4 mg/kg)	Alto en hierro “asimilable”
Cu:	(4.85 mg/kg)	Muy alto en cobre “asimilable”
Zn:	(7.30 mg/kg)	Alto en zinc “asimilable”
Mn:	(13.13 mg/kg)	Moderadamente alto en manganeso “asimilable”
B:	(0.84 mg/kg)	Medio en boro “asimilable”
Dap:	(1.32 t/m <sup>3</sup> )	Media densidad aparente.

### 2.2.2 Manejo del cultivo

Este tema debería estar en la metodología

La desinfección del suelo para el control de enfermedades causadas por Fusarium, Rizoctonia, Phytiun, Esclerotinia, que son los causantes del Damping of, se utilizó tricobiol (Trichoderma harzianum, T viride, T pseudoconingii, T lignorum).

Para controlar problemas como Phytophthora, Alternaria y Royas se utilizaron extractos vegetales (Agroverdebacter) como fuentes de aminoácidos y proteínas, para control de plagas se utilizaron trampas con feromonas (tuta absoluta) y Encarsia formosa (mosca blanca), como repelentes de plagas se utilizaron productos a base de ajo, además de los plásticos amarillos atrapamoscas. Para plagas como: mosquita blanca, pulgones, trips y

otros áfidos, se aplicaron bioinsecticidas naturales como: contratar AR, caldo sulfocálcico o extracto de ajo con alcohol.

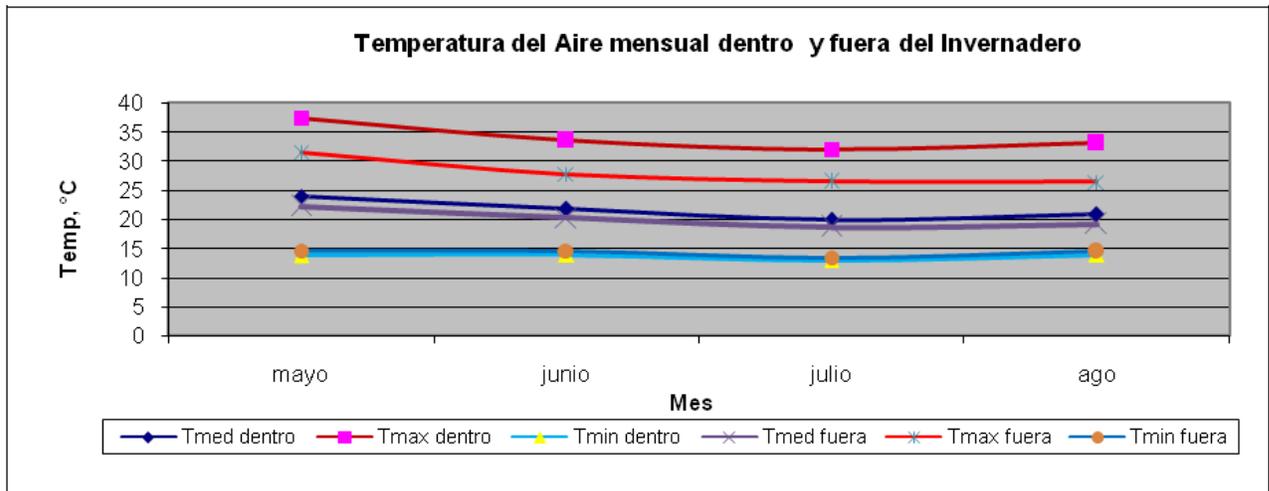
Como fertilizantes se utilizaron bioles enriquecidos con macro y micro elementos, complementados con minerales orgánicos como calcio, magnesio, hierro y potasio. Se aplicó una vez por semana una mezcla de Tricón, Honvir M, Base FD, y Control FNB para prevenir enfermedades como el Tizón y enchinamientos que son los más agresivos.

### 2.2.3 Análisis de datos climatológicos

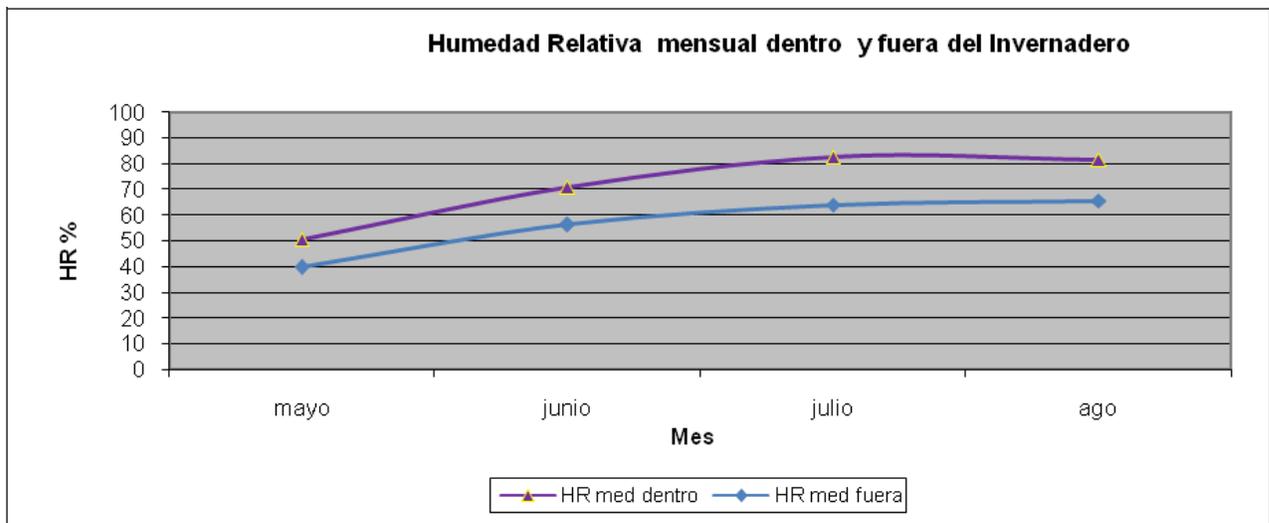
Se midieron las variables de clima dentro y fuera del invernadero de Ocuituco, Morelos desde principios de mayo hasta fines de agosto 2012. Para efectuar las comparaciones de variables de clima, se muestran valores medios mensuales de temperatura del aire media, mínima y máxima, y de la humedad relativa dentro y fuera del invernadero (Cuadro 2.9 e Imágenes 2.103 y 2.104, respectivamente). La Imagen 2.103 muestra que no hay diferencia apreciable entre los valores mínimos mensuales de la temperatura del aire dentro y fuera del invernadero, mientras que, la temperatura máxima mensual fue significativamente más alta dentro que fuera del invernadero durante todo el periodo de medición de mayo a agosto 2012. La temperatura máxima mensual se observó en mayo, con 37.4 °C y 31.5 °C dentro y fuera del invernadero, respectivamente. La temperatura mínima mensual se observó en julio, con 13.0 °C y 13.45 °C dentro y fuera del invernadero, respectivamente. Con respecto a la humedad relativa, valores medios mensuales fueron consistentemente más altos dentro que fuera del invernadero durante los meses mayo a agosto 2012 (Imagen 2.131). La humedad relativa mensual máxima fue registrada dentro del invernadero en julio (82.6%) y fuera del invernadero en agosto (65.6%). La humedad relativa mensual mínima fue observada en mayo, con 50.7% y 39.7% dentro y fuera del invernadero, respectivamente.

**Cuadro 2.9** Comparación de temperatura del aire y humedad relativa medida dentro y fuera del invernadero de Ocuituco, Mor., entre mayo y agosto 2012.

MES	Tmed	Tmax	Tmin	Tmed	Tmax	Tmin	HR med	HR med
	DENTRO	DENTRO	DENTRO	FUERA	FUERA	FUERA	DENTRO	FUERA
	*C	*C	*C	*C	*C	*C	%	%
mayo	23.99	37.44	13.76	22.24	31.53	14.65	50.71	39.71
junio	21.73	33.59	13.95	20.23	27.85	14.60	70.73	56.10
julio	19.95	31.97	13.01	18.68	26.45	13.39	82.55	63.94
ago.	20.84	33.06	13.95	19.23	26.43	14.48	81.48	65.61



**Imagen 2.103** Temperatura del aire medida dentro y fuera del invernadero, Ocuituco, Mor. mayo – agosto 2012.



**Imagen 2.104** Humedad relativa medida dentro y fuera del invernadero, Ocuituco, Mor. mayo – agosto 2012

Las siguientes Imágenes y el Cuadro 2.10 muestran las demás variables de clima medidas en el sitio del invernadero; dentro del invernadero: la radiación solar y humedad del suelo (Imágenes 2.105 y 2.106, respectivamente); fuera del invernadero: velocidad del viento y precipitación (Imágenes 2.107 y 2.108, respectivamente). Cabe mencionar que las mediciones de humedad del suelo iniciaron el 8 de junio 2012, y no hubo datos válidos de precipitación hasta el 25 de mayo 2012. Como se muestra en Imagen 2.105, la radiación solar mensual máxima ( $256 \text{ W/m}^2$ ) se observó en mayo, antes de comenzar la temporada de lluvias cuando se disminuyó la radiación solar debido al incremento en nubosidad. Durante los meses de junio a agosto, la radiación solar fue relativamente constante, con su valor mínimo ocurriendo en junio ( $171 \text{ W/m}^2$ ). La humedad del suelo

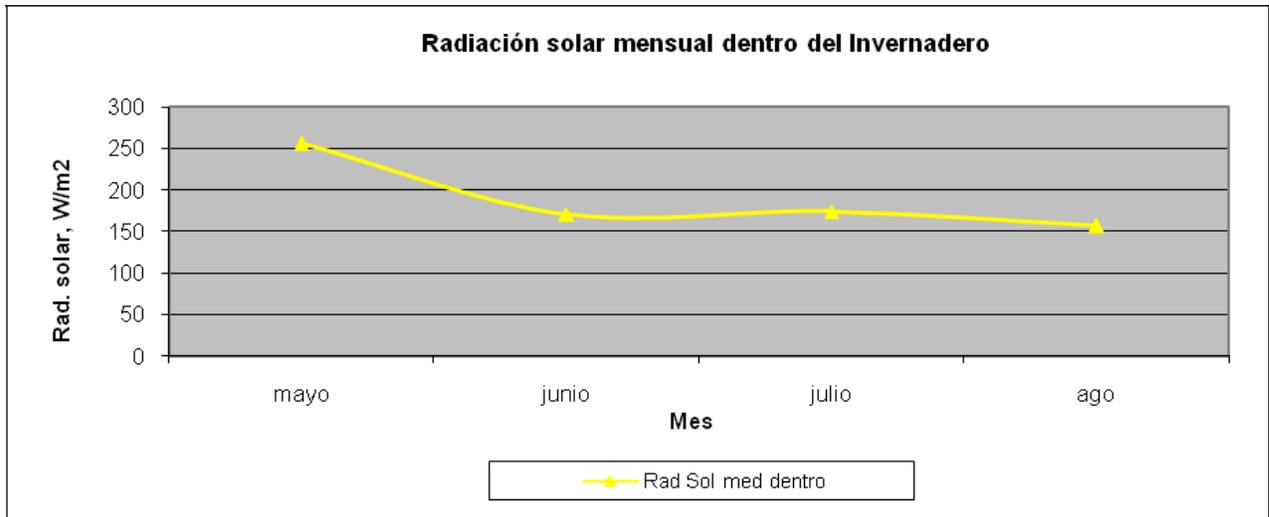
registrada dentro del invernadero fue relativamente constante, variando entre 29% en junio y 31% en agosto (Imagen 2.106). La humedad del suelo solamente depende en la aplicación de riegos por el sistema de riego por goteo instalado dentro del invernadero, ya que el techo de polietileno impide que entre la lluvia dentro del invernadero. Los riegos fueron aplicados en intervalos de duración de 5 minutos, cada 1.5 horas durante cada día, en horario 10am a 5pm.

La velocidad del viento se midió en el techo fuera del invernadero, variando entre un mínimo de 0.7 km/h en julio y un máximo de 2.3 km/h en mayo. El valor máximo de las ráfagas de viento se midió en junio con 22.7 km/h. muestra el total de precipitación medido en el techo del invernadero, a partir del 25 de mayo 2012. El total mensual más alta se midió en julio con 368 mm/mes.

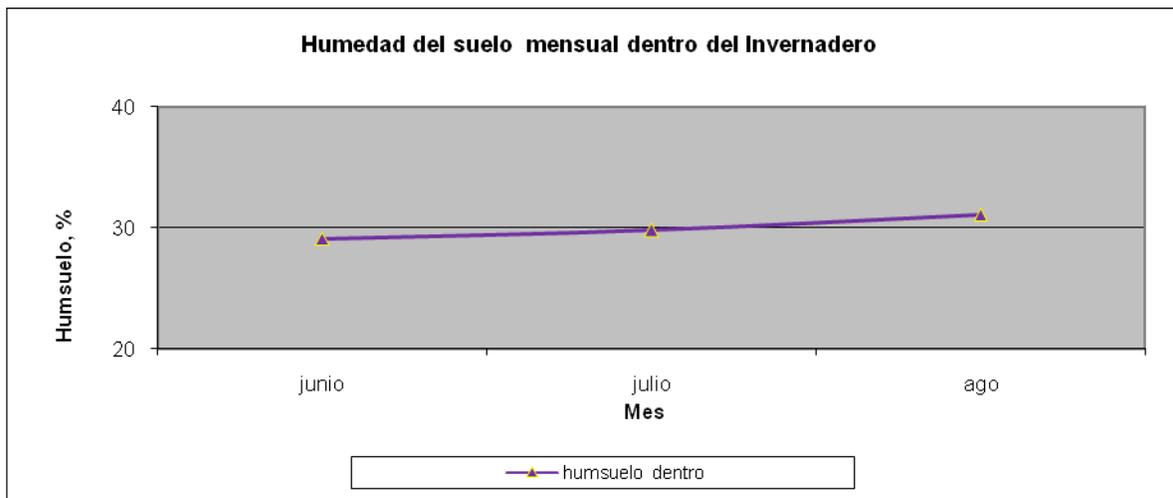
No se midió la velocidad del viento adentro del invernadero, ya que el invernadero carece de cualquier tipo de ventiladores y el material cubriendo los lados del invernadero impide movimiento del aire dentro del invernadero. (Papadopoulos, 1994) recomienda una velocidad del aire baja de 0.5 m/s para pepino sembrado dentro de invernaderos. Según la misma publicación, el movimiento horizontal del aire ayuda en minimizar el gradiente de temperatura y elimina humedad sobrante de la parte baja del invernadero (abajo del follaje), distribuyendo la humedad en el resto del invernadero. Además ayuda recircular bióxido de carbón desde la parte alta del invernadero al dosel de hojas, donde se adsorba y fija en el proceso de Imagen síntesis. Aun un movimiento moderado de aire en el invernadero mejora la uniformidad del microclima en el invernadero, beneficiando la productividad del cultivo.

**Cuadro 2.10** Radiación solar y humedad del suelo medidas dentro, velocidad del viento y precipitación medidas fuera del invernadero de Ocuituco, Mor., entre mayo y agosto 2012 (ND= no disponible)

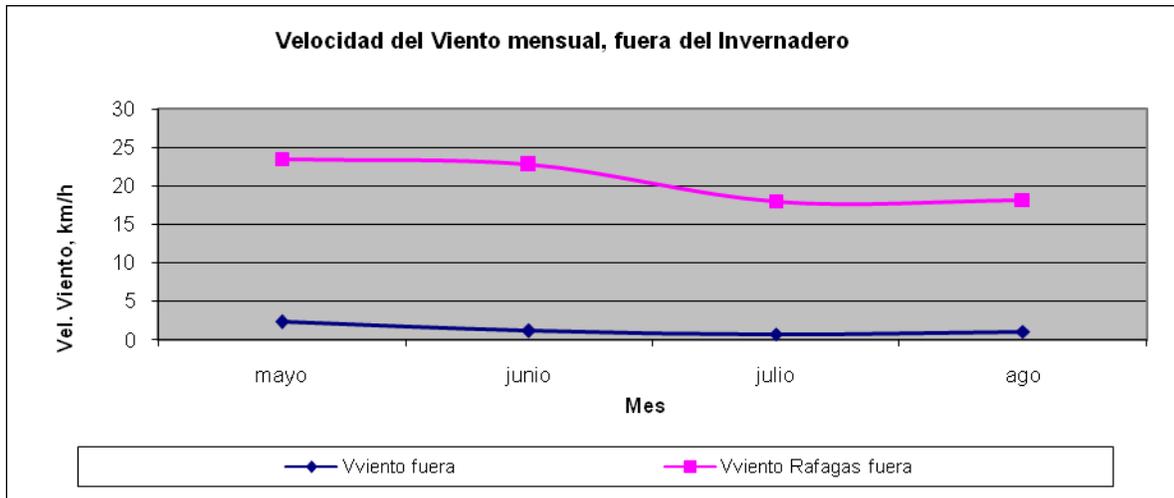
MES	RAD SOL	HUMSUELO	VVIENTO	VVIENTO RAFAGAS	PREC TOT
	MED				
	DENTRO				
	W/M2	%	KM/H	KM/H	MM/MES
mayo	256.26	ND	2.29	23.47	15.1
junio	170.83	29.09	1.12	22.73	261.00
julio	174.16	29.76	0.69	17.97	368.2
ago	156.86	31.07	1.06	18.16	207.80



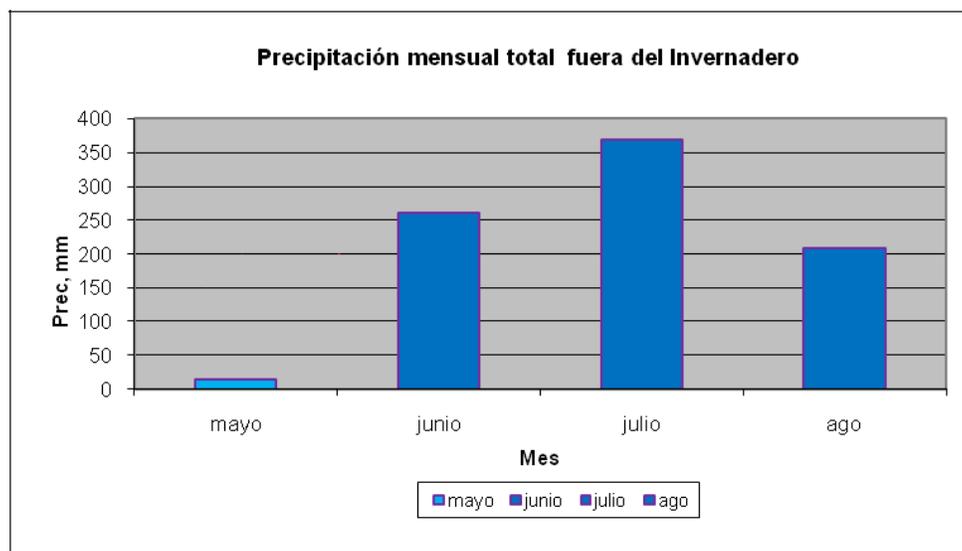
**Imagen 2.105** Radiación solar medida dentro del invernadero, Ocuituco, Mor. mayo – agosto 2012



**Imagen 2.106** Humedad del suelo medida dentro del invernadero, Ocuituco, Mor. junio – agosto 2012



**Imagen 2.107** Velocidad del viento medida fuera del invernadero, Ocuituco, Mor. mayo – agosto 2012



Nota: Valor de la precipitación registrado a partir del 25 de mayo de 2012.

**Imagen 2.108** Precipitación medida fuera del invernadero, Ocuituco, Mor. mayo – agosto 2012

El total diario más alto de precipitación medido fue de 48.5 mm el día 28 de junio 2012. Comparando las temperaturas diarias dentro y fuera del invernadero, es evidente que las temperaturas máximas diarias dentro del invernadero exceden el umbral máximo de temperatura recomendado para cucúrbitas para iniciar ventilación mecánica (26.7 °C, Cuadro 2.11). Además, en este invernadero frecuentemente se supera la temperatura óptima máxima de 32.2 °C afectando el desarrollo del pepino (causando amarillamiento) y de la planta y su sistema de raíces en general.

Lo anterior se debe a que el invernadero bajo estudio cuenta con material de plástico en el techo, y en los lados extremos del invernadero, mientras que solamente las paredes laterales son cubiertas por malla-sombra que permite circulación limitada del aire. La parte más alta del techo también cuenta con malla-sombra para ventilación, sin embargo, es aparente de los datos de temperatura dentro comparada con la temperatura fuera del invernadero que la ventilación en este invernadero es insuficiente.

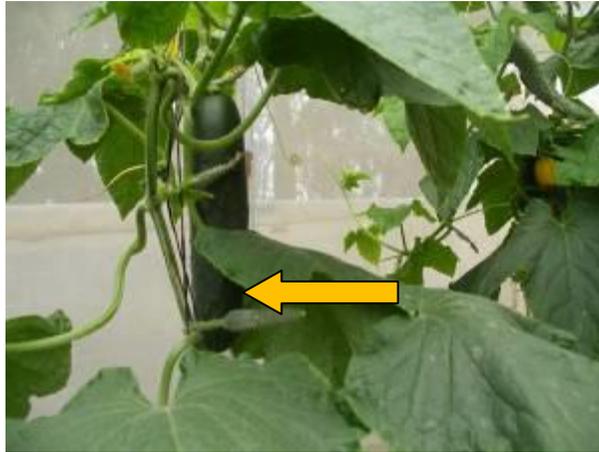
El cuadro presenta información de cultivos que no se mencionan en el documento. Hacer referencia a estos cultivos en el texto o eliminarlos del cuadro.

**Cuadro 2.11** Temperaturas críticas para cultivos en invernaderos de túnel alto.

CULTIVO	ETAPA DE CRECIMIENTO	TEMP. ÓPTIMA (°C)	TEMP. MÁX (°C)	TEMP. LÍMITE PARA VENTILAR (°C)
Jitomate	Transplante-floración	21.1 - 23.9	29.4	23.9
	Floración-cosecha	21.1 - 23.9	29.4	18.3
Pimienta	Transplante-floración	21.1 - 26.7	29.4	23.9
	Floración-cosecha	21.1 - 26.8	32.2	23.9
Berejena	Transplante-floración	21.1 - 29.4	35.0	26.7
	Floración-cosecha	21.1 - 29.5	35.0	26.7
Curcubitáceas	Transplante-floración	21.1 - 29.6	32.2	26.7
	Floración-cosecha	23.9 - 29.7	32.2	26.7
Verduras de hoja verde	Siembra-cosecha	15.6 - 18.3	23.9	12.8
Fresa	Siembra Otoño	12.8 - 21.1	23.9	15.6
	Cosecha primavera	18.3 - 23.9	23.9	15.6
Zarzamora	Cosecha Otoño	21.1 - 26.7	32.2	32.2
Frambuesa	Cosecha Otoño	15.6 - 23.9	26.7	23.9

Fuente: Lewis W. Jett, West Virginia University Extension Service

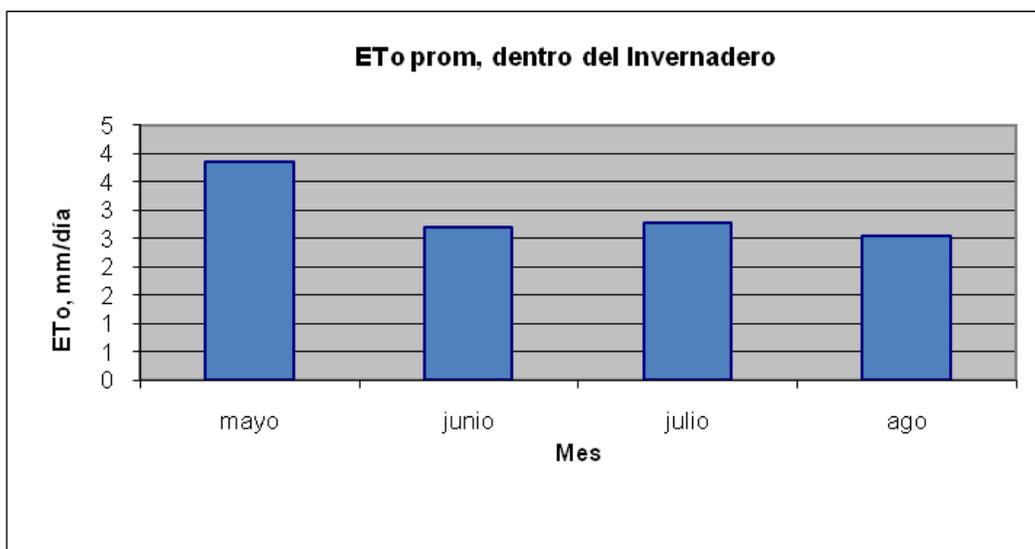
Con respecto a la humedad relativa (HR) promedio diaria, se observaron valores generalmente mucho más altos dentro que fuera del invernadero, Datos de cada 15 minutos muestran que las diferencias mayores ocurrieron durante las noches con diferencias menores a medio día. En general, las diferencias de HR entre día y noche fueron más grandes dentro que fuera del invernadero, lo que es perjudicial para el desarrollo del cultivo, ya que la HR durante la noche subió hasta casi 100% a partir del inicio de la temporada de lluvias. Cuando la HR es demasiado alta, favorece el desarrollo de enfermedades y hongos. Durante el último mes y medio del ciclo del pepino, se observaron daños significativos al cultivo por infección con hongos (Imagen 2.109).



**Imagen 2.109** Fruto de pepino afectado por enfermedad por exceso de humedad, Imagen tomada el 27 julio 2012

#### 2.2.4 Evapotranspiración dentro del invernadero

Se calculó la evapotranspiración de referencia ( $ETo$ ) dentro del invernadero en base de los datos diarios de radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, mediante el método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Para este cálculo, se supone una velocidad del viento constante casi nula (0.001 km/h), ya que no se midió la velocidad del viento dentro del invernadero presumiendo que ésta es esencialmente cero por las condiciones antes mencionadas. La evapotranspiración media mensual calculada para los meses mayo a agosto 2012 se muestran en la Imagen 2.110, donde es evidente el valor medio mensual más alto registrado en el mes de mayo (3.85 mm/día) y más bajo en agosto (2.53 mm/día).



**Imagen 2.110** Evapotranspiración media mensual dentro del invernadero, Ocuituco, Mor.  
Mayo – agosto 2012

Las Imágenes muestran la ETo diaria calculada para los meses de mayo, junio, julio y agosto 2012. El valor más alto de 6.0 mm se registró para el 31 de mayo 2012 (día del año 152). Cabe mencionar que no se contaba con datos suficientes para calcular la ETo dentro del invernadero para los primeros 11 días del ciclo (fecha de siembra: 4 de mayo, día del año 125), ya que datos de clima de la estación dentro del invernadero no estaban disponibles hasta el 15 de mayo 2012 (día del año 136).

### 2.2.5 Requerimiento de riego dentro del invernadero

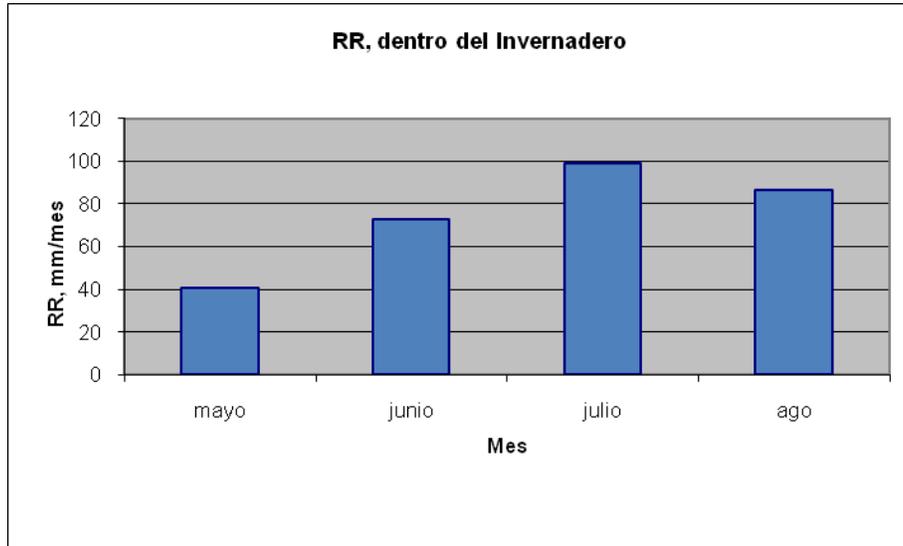
La evapotranspiración real (ETr) se calculó multiplicando el coeficiente de cultivo para el pepino (inciso 2) por la ETo correspondiente al mismo día:

$$ET_{\text{invernadero}} = K_c \times E_{To}$$

Aunando que el cultivo se sembró dentro del invernadero, no fue necesario restar la precipitación efectiva de la ETr<sub>invernadero</sub> para determinar el requerimiento de riego:

$$RR_{\text{invernadero}} = E_{Tr_{\text{invernadero}}}$$

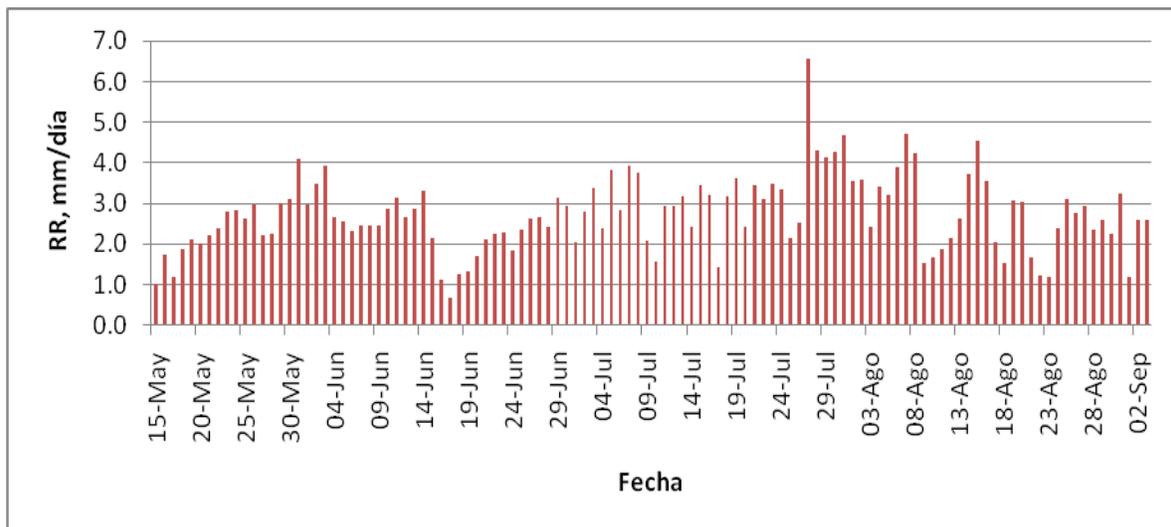
El requerimiento de riego total mensual calculado para los meses mayo a agosto 2012 se muestra en la Imagen 2.111, cabe mencionar que el total para mayo solamente incluye los días 15 a 31 de mayo 2012, ya que no hubo datos válidos de clima antes del 15 de mayo para poder calcular ETo y RR. Para los 17 días calculados un requerimiento de riego total de 40 mm, con un valor promedio de 2.35 mm/día. Para el mes de junio se registró un valor de 73 mm, con un promedio de 2.2 mm/día; para el mes de julio se registró el valor más alto con 99.3 mm, con un promedio de 3.2 mm/día; agosto con un total de 86 mm, con un promedio de 2.8 mm/día.



**Imagen 2.111** Requerimiento de riego total mensual dentro del invernadero, Ocuituco, Mor. Mayo – agosto 2012

Es importante observar que durante la temporada de lluvias, aun cuando se presentaron lluvias significativas afuera del invernadero, lo que hubiera reducido el RR fuera del invernadero prácticamente a cero, adentro del invernadero fue necesario seguir aplicando riegos auxiliares ya que el cultivo no pudo aprovechar la lluvia caída afuera.

La Imagen 2.112 da un panorama de la variación del RR durante todo el ciclo del pepino. El valor máximo del requerimiento de riego fue calculado para el día 27 de julio 2012, con 6.57 mm/día durante la etapa media del crecimiento del cultivo. El cuadro del Anexo B.2 muestra la evolución diaria de la evapotranspiración de referencia, del coeficiente de cultivo para pepino y del requerimiento de riego (RR) para todo el ciclo del cultivo.



**Imagen 2.112** Requerimiento de riego diario para el ciclo completo de pepino en Ocuilco, Mor.

## 2.2.6 Volumen de agua requerido y aplicado

Con base en las mediciones realizadas al sistema de riego, se determinaron los siguientes valores (cuadro 2.12) del gasto de riego aplicado, el tiempo de riego, el número de riegos por día, el volumen aplicado por día, la eficiencia de aplicación para el valor de requerimiento de riego.

**Cuadro 2.12** Parámetros obtenidos de la evaluación del riego

PARÁMETRO	VALOR
Superficie (ha)	3,500
Gasto de riego (l/s)	7.7
Tiempo por riego (minutos)	10
Requerimiento de riego promedio mes de mayo (mm/día)	2.5
Requerimiento de riego promedio mes de junio (mm/día)	2.2
Requerimiento de riego promedio mes de julio (mm/día)	3.3
Requerimiento de riego promedio mes de agosto (mm/día)	2.9

**Cuadro 2.13** Requerimientos de riego y volumen de agua aplicado promedios.

	15 AL 31 DE MAYO	01 AL 30 DE JUNIO	01 AL 31 DE JULIO	01 AL 31 DE AGOSTO	TOTAL
Requerimiento de riego (mm)	40	73	99.3	86	298.3
Requerimiento de riego promedio diario (mm)	2.4	2.4	3.2	2.8	
Volumen de agua requerido (m3)	140	255.5	347.55	301	1044.05
Volumen de agua requerido (m3/día)	8.2	8.5	11.2	9.7	
Riegos diarios de 10 minutos	2	2	3	3	
Gasto hidráulico del equipo de bombeo (l/s)	7.7	7.7	7.7	7.7	
Volumen de agua aplicado (m3/día)	9.24	9.24	13.86	13.86	
Volumen de agua aplicado durante el periodo (m3)	157.08	277.2	429.66	429.66	1293.6
Eficiencia de aplicación (%)	89.1	92.2	80.9	70.1	

Cabe mencionar que son valores promedios del requerimiento de riego y de los riegos aplicados al día. En los días con mayor requerimiento de agua, generalmente se aplicaba un riego adicional diario, por lo que la eficiencia de aplicación es menor a la indicada.

## 2.3 Estimación microlisimétrica del consumo de agua de un cultivo

### 2.3.1 Evaluación de un microlisímetro de succión en campo comparado con lisimetría de pesada

Se evaluarán microlisímetros en un campo experimental que cuente con lisímetro de pesada, estableciendo un cultivo de referencia de ciclo corto.

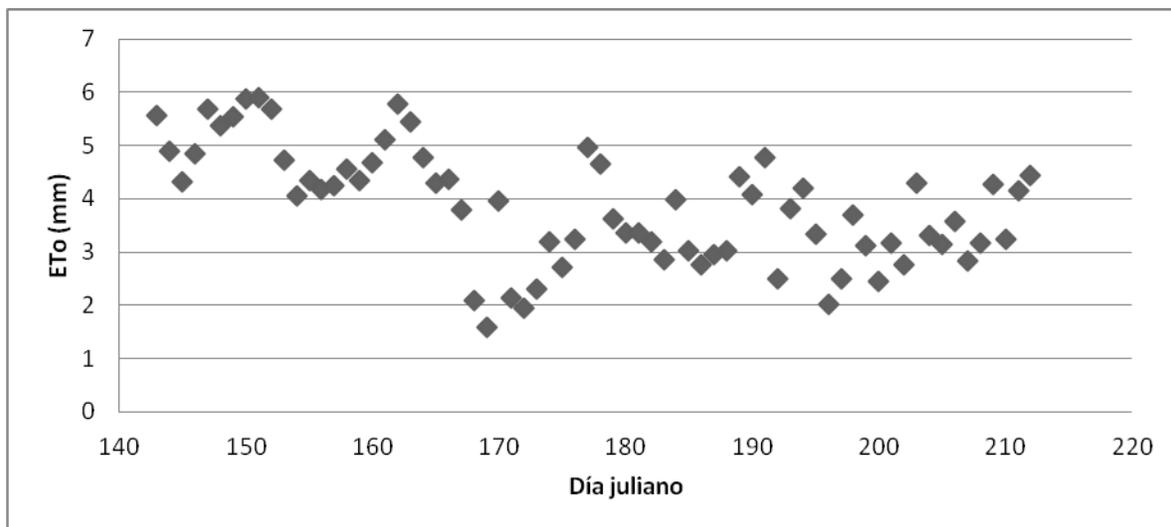
Representación gráfica e interpretación de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) obtenida

En el Cuadro 2.14 se presentan datos estadísticos de las ET<sub>o</sub> durante todo el ciclo del cultivo.

**Cuadro 2.14** Valores estadísticos de la ET<sub>o</sub>

DÍA JULIANO	ESTADÍSTICA	VALOR NUMÉRICO
151	Valor máximo =	5.9 mm
169	Valor mínimo =	1.6 mm
	Promedio =	3.9 mm
	Desviación estándar =	1.1

En el cuadro 2.14 se presentan los cálculos para obtener ET<sub>o</sub>, y en la imagen 2.140 se muestra el comportamiento de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) para el periodo del 22 de Mayo al 30 de Julio de 2012 (143 a 212 en días julianos).



### Imagen 2.113 Variación temporal de la ETo

La representación gráfica de las variables involucradas para el cálculo de ETo para el periodo anteriormente mencionado.

Simulación de coeficiente dual de la lechuga (*Lactuca Sativa* L.)

Coeficiente basal de cultivo  $K_{cb}$

Se calculó la simulación para la lechuga de tipo romana variedad Denver.

De acuerdo al criterio que presenta Allen et al., (2006) (Cuadro 2.15) y fracción de suelo cubierta por la vegetación ( $f_c$ ) (Cuadro 2.16) se determinó la duración de las etapas (Cuadro 2.17).

### Cuadro 2.15 Criterio para la determinación de la duración de las etapas

ETAPA	CRITERIO
Inicio de Crecimiento	Desde la fecha de siembra hasta el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura de suelo.
Desarrollo del cultivo	Desde el momento en que la cobertura de suelo es de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa, que para algunos cultivos es alrededor de 70% – 80%.
Mediados de temporada	Comprende el periodo de tiempo entre la cobertura efectiva completa hasta el comienzo de la madurez (comienzo de la vejez, senescencia de las hojas, caída de hojas o aparición de color marrón en el fruto) Nota: En esta etapa se cosechan en fresco algunos cultivos hortícolas para aprovechar su vegetación verde (lechuga).
Final de temporada	Comprende el periodo entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia.

Fracción de suelo cubierta por la vegetación ( $f_c$ )

Para determinar  $f_c$ , se realizaron mediciones periódicas (Cuadro 2.16) y posteriormente se realizó un ajuste (Imagen 2.114) para obtener las mediciones diarias de  $f_c$  (Cuadro 2.17),

### Cuadro 2.16 Mediciones periódicas de $f_c$ durante el ciclo del cultivo

Día juliano	$f_c$
172	0.39
180	0.68
186	0.85
190	0.99

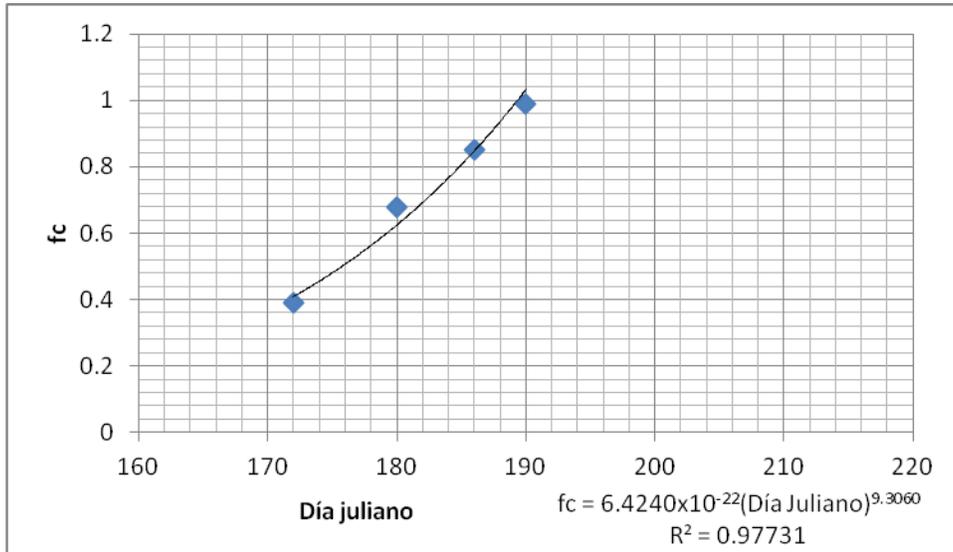


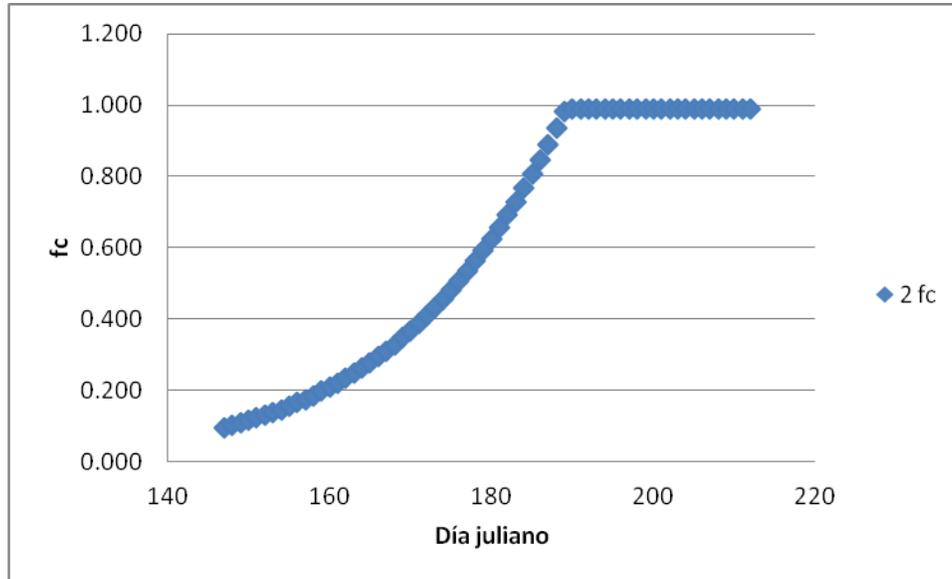
Imagen2.114 Línea de tendencia potencial para determinar valores diarios de fc

**Cuadro 2.17** Valores diarios de fc en el ciclo del cultivo

Fecha	Día juliano	fc
22-may	143	0.073
23-may	144	0.078
24-may	145	0.083
25-may	146	0.089
26-may	147	0.095
27-may	148	0.101
28-may	149	0.108
29-may	150	0.114
30-may	151	0.122
31-may	152	0.129
01-jun	153	0.138
02-jun	154	0.146
03-jun	155	0.155
04-jun	156	0.165
05-jun	157	0.175
06-jun	158	0.186
07-jun	159	0.197
08-jun	160	0.209
09-jun	161	0.221
10-jun	162	0.234
11-jun	163	0.248
12-jun	164	0.263
13-jun	165	0.278
14-jun	166	0.294
15-jun	167	0.311
16-jun	168	0.328
17-jun	169	0.347
18-jun	170	0.367
19-jun	171	0.387
20-jun	172	0.409
21-jun	173	0.432
22-jun	174	0.455

Fecha	Día juliano	fc
23-jun	175	0.480
24-jun	176	0.506
25-jun	177	0.534
26-jun	178	0.563
27-jun	179	0.593
28-jun	180	0.624
29-jun	181	0.657
30-jun	182	0.692
01-jul	183	0.728
02-jul	184	0.766
03-jul	185	0.806
04-jul	186	0.847
05-jul	187	0.890
06-jul	188	0.936
07-jul	189	0.983
08-jul	190	0.990
09-jul	191	0.990
10-jul	192	0.990
11-jul	193	0.990
12-jul	194	0.990
13-jul	195	0.990
14-jul	196	0.990
15-jul	197	0.990
16-jul	198	0.990
17-jul	199	0.990
18-jul	200	0.990
19-jul	201	0.990
20-jul	202	0.990
21-jul	203	0.990
22-jul	204	0.990
23-jul	205	0.990
24-jul	206	0.990

Fecha	Día juliano	fc
25-jul	207	0.990
26-jul	208	0.990
27-jul	209	0.990
28-jul	210	0.990
29-jul	211	0.990
30-jul	212	0.990



**Imagen 2.115** Valores diarios de fc durante el ciclo de cultivo

Las etapas de cultivo se determinaron del 22 de mayo al 30 de julio de 2012, ya que representa el desarrollo de cultivo en el campo experimental (trasplanté hasta cosecha).

**Cuadro 2.18** Etapas de cultivo de lechuga

FECHA	DÍA JULIANO	ETAPA	DURACIÓN (DÍAS)
22 de Mayo de 2012	143	Inicio de crecimiento	5
27 de Mayo de 2012	148	Desarrollo del cultivo	35
01 de Julio de 2012	183	Mediados de temporada	30

Posteriormente se seleccionaron los valores de Kcb ini, Kcb med y Kcb fin del Cuadro 2 y se obtuvieron los siguientes:

$$Kcb \text{ ini} = 0.15$$

$$Kcb \text{ med} = 0.9$$

$$Kcb \text{ fin} = 0.9$$

Se ajustó el valor de Kcb med de acuerdo a las condiciones locales del clima, con la Ecuación 34.

**Cuadro 2.19** Valor ajustado de Kcb med

	Kcb tab	u2	HRmin	h	Kcb corr
Kcb med	0.9	0.785	47.7	0.3	0.871

Como se requieren solamente tres valores para describir y elaborar la curva de coeficiente de cultivo. Después de dividir el periodo de crecimiento en las cuatro etapas generales y seleccionar y ajustar los valores de Kcb correspondientes a la etapa inicial (Kcb ini), de

mediados de temporada (Kcb med) y final (Kcb fin), se puede elaborar la curva de coeficiente de cultivo y determinar los coeficientes diarios de Kcb.

Debido a que el cálculo de coeficiente basal requiere de las duraciones completas de las etapas, se tomó el dato faltante de acuerdo a Allen et al., (2006), el cual fue:

Inicio de crecimiento: 25 días

Para los valores diarios de Kcb de la etapa de desarrollo del cultivo se utilizó la

Ecuación 37 y en el Cuadro 2.20 se presentan los valores diarios para cada una de las etapas de crecimiento.

**Cuadro 2.20** Valores diarios de Kcb en el desarrollo de la lechuga

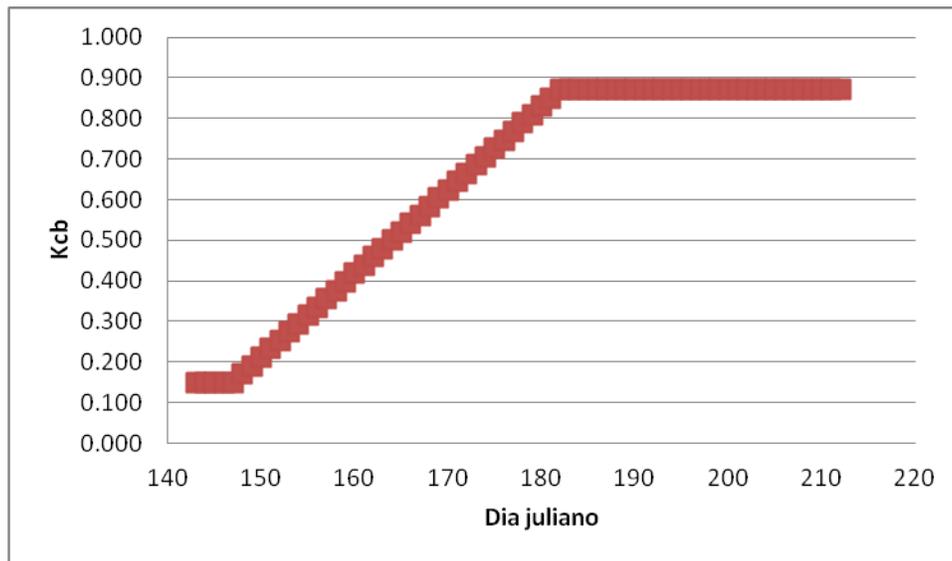
1	2	3	4	5	6	7	8
ETAPA	DÍA	I	L PREV	L ETAPA	KCB PREV	KCB PROX	KCB
INICIAL DE CRECIMIENTO	143 A 147	1 A 25					0.150
Etapa de desarrollo del cultivo	148	26	25	35	0.150	0.871	0.171
	149	27	25	35	0.150	0.871	0.191
	150	28	25	35	0.150	0.871	0.212
	151	29	25	35	0.150	0.871	0.232
	152	30	25	35	0.150	0.871	0.253
	153	31	25	35	0.150	0.871	0.274
	154	32	25	35	0.150	0.871	0.294
	155	33	25	35	0.150	0.871	0.315
	156	34	25	35	0.150	0.871	0.335
	157	35	25	35	0.150	0.871	0.356
	158	36	25	35	0.150	0.871	0.377
	159	37	25	35	0.150	0.871	0.397
	160	38	25	35	0.150	0.871	0.418
	161	39	25	35	0.150	0.871	0.438
	162	40	25	35	0.150	0.871	0.459
	163	41	25	35	0.150	0.871	0.480
	164	42	25	35	0.150	0.871	0.500
	165	43	25	35	0.150	0.871	0.521
	166	44	25	35	0.150	0.871	0.541
	167	45	25	35	0.150	0.871	0.562
	168	46	25	35	0.150	0.871	0.583
	169	47	25	35	0.150	0.871	0.603
	170	48	25	35	0.150	0.871	0.624
	171	49	25	35	0.150	0.871	0.644
	172	50	25	35	0.150	0.871	0.665
173	51	25	35	0.150	0.871	0.686	
174	52	25	35	0.150	0.871	0.706	
175	53	25	35	0.150	0.871	0.727	
176	54	25	35	0.150	0.871	0.747	
177	55	25	35	0.150	0.871	0.768	

1	2	3	4	5	6	7	8
ETAPA	DÍA	I	L PREV	L ETAPA	KCB PREV	KCB PROX	KCB
INICIAL DE CRECIMIENTO	143 A 147	1 A 25					0.150
	178	56	25	35	0.150	0.871	0.789
	179	57	25	35	0.150	0.871	0.809
	180	58	25	35	0.150	0.871	0.830
	181	59	25	35	0.150	0.871	0.850
	182	60	25	35	0.150	0.871	0.871
Mediados de temporada	183 a 212	61 a 90					0.871

El significado de las columnas del Cuadro 2.20, se indican a continuación:

Etapa  
Día juliano  
Día del desarrollo vegetativo  
Duración de etapa previa ( $i - 1$ )  
Duración de etapa actual ( $i$ )  
Valor de Kcb previo ( $j - 1$ )  
Valor de Kcb próximo ( $j$ )  
Valor de Kcb diario, (Ecuación 37)

En la imagen 2.116 se muestra la curva de coeficiente de cultivo Kcb.



**Imagen 2.116** Valores diarios de Kcb

Coeficiente de evaporación  $K_e$

Límite superior ( $K_c \max$ )

Valor máximo de  $K_c$ , es decir el límite superior de  $K_c$  max, (Ecuación 39). Debido a que los eventos de riego o lluvia fueron frecuentes, el valor del coeficiente 1.2 se redujo a 1.1.

La altura de cultivo en cualquier día se calculó como un valor igual a la proporción de  $K_{cb}$  en ese día con relación al valor de  $K_{cb}$  med, multiplicando por la máxima altura de cultivo. Teniendo en cuenta que la altura de cultivo no disminuya con el tiempo, (Allen et al., 2006).

$$h_i = \frac{K_{cb \text{ etapa } (i)} * h_{max}}{K_{cb \text{ med}}} \quad (2)$$

Para el cálculo se tiene:

$$h_{max} = 0.3 \text{ m y } K_{cb \text{ med}} = 0.871$$

En la imagen 2.1 se observa el comportamiento de la altura de la lechuga a lo largo del ciclo del cultivo.

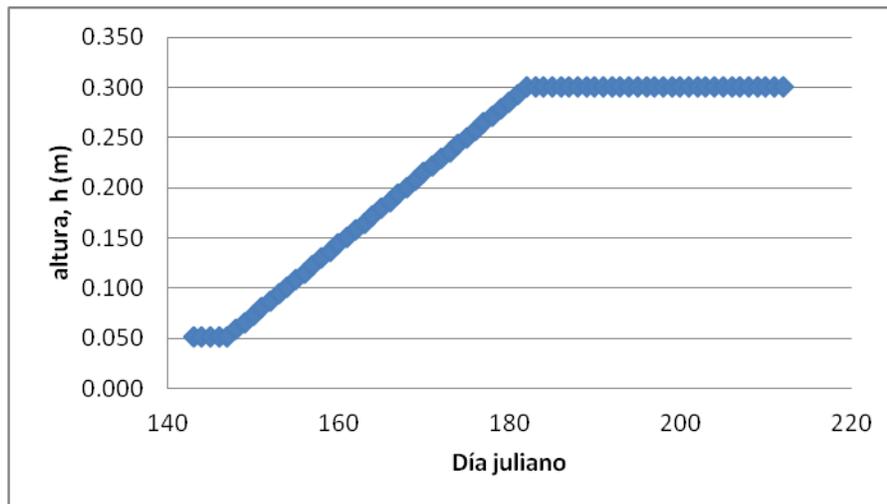


Imagen 2.117 Altura de la planta durante el ciclo de cultivo

Cuadro 2.21 Determinación de  $K_c$  max

1	2	3	4	5	6	7	8
DÍA JULIANO	$u_2$	HR min	h	$K_{cb}$	$K_{cb \text{ max}}$	$K_{cb} + 0.05$	$K_c \text{ max}$
143	1.898	21.869	0.052	0.150	1.126	0.200	1.126
144	0.996	17.635	0.052	0.150	1.120	0.200	1.120
145	0.929	22.900	0.052	0.150	1.113	0.200	1.113
146	1.092	22.306	0.052	0.150	1.116	0.200	1.116
147	1.698	19.674	0.052	0.150	1.126	0.200	1.126
148	1.748	27.742	0.059	0.171	1.118	0.221	1.118

1	2	3	4	5	6	7	8
DÍA JULIANO	u2	HR min	h	Kcb	Kcb max	Kcb + 0.05	Kc max
149	1.492	20.312	0.066	0.191	1.125	0.241	1.125
150	1.621	16.227	0.073	0.212	1.133	0.262	1.133
151	1.513	8.837	0.080	0.232	1.142	0.282	1.142
152	1.325	10.608	0.087	0.253	1.138	0.303	1.138
153	1.275	23.396	0.094	0.274	1.120	0.324	1.120
154	0.775	33.175	0.101	0.294	1.099	0.344	1.099
155	0.894	33.657	0.108	0.315	1.100	0.365	1.100
156	0.796	31.726	0.116	0.335	1.102	0.385	1.102
157	1.015	28.358	0.123	0.356	1.110	0.406	1.110
158	1.256	29.299	0.130	0.377	1.113	0.427	1.113
159	1.083	30.264	0.137	0.397	1.109	0.447	1.109
160	1.208	32.073	0.144	0.418	1.108	0.468	1.108
161	1.029	23.263	0.151	0.438	1.120	0.488	1.120
162	1.435	15.395	0.158	0.459	1.140	0.509	1.140
163	1.190	17.199	0.165	0.480	1.133	0.530	1.133
164	0.913	28.184	0.172	0.500	1.110	0.550	1.110
165	0.958	27.179	0.179	0.521	1.113	0.571	1.113
166	0.835	29.106	0.186	0.541	1.107	0.591	1.107
167	1.365	33.727	0.194	0.562	1.109	0.612	1.109
168	1.554	61.304	0.201	0.583	1.063	0.633	1.063
169	0.413	66.986	0.208	0.603	1.032	0.653	1.032
170	0.652	46.277	0.215	0.624	1.073	0.674	1.073
171	0.375	57.471	0.222	0.644	1.047	0.694	1.047
172	0.844	62.841	0.229	0.665	1.046	0.715	1.046
173	0.790	56.652	0.236	0.686	1.056	0.736	1.056
174	0.921	49.795	0.243	0.706	1.071	0.756	1.071
175	0.488	53.627	0.250	0.727	1.055	0.777	1.055
176	0.600	49.663	0.257	0.747	1.064	0.797	1.064
177	1.798	39.007	0.265	0.768	1.108	0.818	1.108
178	1.723	34.770	0.272	0.789	1.115	0.839	1.115
179	0.702	41.304	0.279	0.809	1.082	0.859	1.082
180	0.617	45.336	0.286	0.830	1.072	0.880	1.072
181	0.565	46.294	0.293	0.850	1.069	0.900	1.069
182	0.904	46.274	0.300	0.871	1.075	0.921	1.075
183	0.692	51.250	0.300	0.871	1.061	0.921	1.061
184	0.879	41.193	0.300	0.871	1.085	0.921	1.085
185	0.548	45.765	0.300	0.871	1.069	0.921	1.069
186	0.765	49.556	0.300	0.871	1.066	0.921	1.066
187	0.660	41.462	0.300	0.871	1.080	0.921	1.080
188	1.006	48.501	0.300	0.871	1.073	0.921	1.073
189	0.940	39.406	0.300	0.871	1.090	0.921	1.090
190	0.863	38.898	0.300	0.871	1.089	0.921	1.089
191	1.425	41.233	0.300	0.871	1.096	0.921	1.096
192	0.602	58.895	0.300	0.871	1.044	0.921	1.044
193	0.679	46.363	0.300	0.871	1.071	0.921	1.071
194	1.575	51.828	0.300	0.871	1.078	0.921	1.078

1	2	3	4	5	6	7	8
DÍA JULIANO	u2	HR min	h	Kcb	Kcb max	Kcb + 0.05	Kc max
195	1.040	47.172	0.300	0.871	1.076	0.921	1.076
196	0.469	61.998	0.300	0.871	1.035	0.921	1.035
197	0.423	52.264	0.300	0.871	1.054	0.921	1.054
198	0.817	46.376	0.300	0.871	1.074	0.921	1.074
199	0.673	52.763	0.300	0.871	1.058	0.921	1.058
200	0.663	57.747	0.300	0.871	1.048	0.921	1.048
201	0.904	47.386	0.300	0.871	1.073	0.921	1.073
202	0.529	55.874	0.300	0.871	1.049	0.921	1.049
203	0.835	41.540	0.300	0.871	1.084	0.921	1.084
204	0.738	46.008	0.300	0.871	1.073	0.921	1.073
205	0.590	52.786	0.300	0.871	1.056	0.921	1.056
206	0.631	48.683	0.300	0.871	1.065	0.921	1.065
207	0.696	53.346	0.300	0.871	1.057	0.921	1.057
208	0.764	45.631	0.300	0.871	1.074	0.921	1.074
209	0.704	47.399	0.300	0.871	1.069	0.921	1.069
210	0.779	51.314	0.300	0.871	1.063	0.921	1.063
211	1.129	40.796	0.300	0.871	1.091	0.921	1.091
212	0.875	40.240	0.300	0.871	1.087	0.921	1.087

El significado de las columnas del Cuadro 2.21, se indican a continuación:

Día juliano

Valor promedio de la velocidad de viento diaria a 2 m de altura  $[m s^{-1}]$

Valor promedio de la humedad relativa mínima diaria  $[\%]$

Altura de la planta  $[m]$

Valor de coeficiente dual diario

Valor de coeficiente dual máximo diario

Valor de coeficiente dual más 0.05

Valor máximo de coeficiente de cultivo, (Ecuación 39)

Fracción de suelo humedecida por el riego o la precipitación (fw)

En el Cuadro 2.22 se presentan los valores diarios de fw.

**Cuadro 2.22** Determinación de fw

DÍA JULIANO	PRECIPITACIÓN	RIEGO POR GOTEO	FW
143	0.00		0.30
144	0.00		0.30
145	0.00		0.30
146	0.00		0.30
147	0.00		0.30
148	0.00		0.30
149	0.00		0.30
150	0.00		0.30
151	0.00		0.30
152	0.00		0.30
153	10.20	*	1.00
154	4.70		1.00
155	0.00		0.30
156	1.00		1.00
157	0.00		0.30
158	0.20		1.00
159	0.40		1.00
160	1.60		1.00
161	0.00		0.30
162	0.00		0.30
163	0.00	0.00	0.30
164	0.00	0.00	0.30
165	0.30	0.36	1.00
166	0.00	0.00	0.30
167	1.00	0.36	1.00
168	5.60	0.00	1.00
169	25.30	0.00	1.00
170	15.00	0.00	1.00
171	9.10	0.00	1.00
172	2.60	0.00	1.00
173	0.00	0.00	0.30
174	9.60	0.00	1.00
175	0.90	0.00	1.00
176	20.80	0.00	1.00
177	0.00	0.00	0.30
178	0.00	0.00	0.30
179	0.00	0.00	0.30
180	16.30	0.00	1.00
181	0.00	0.00	0.30
182	0.00	0.00	0.30
183	0.00	0.00	0.30
184	0.00	0.00	0.30
185	0.90	0.00	1.00

DÍA JULIANO	PRECIPITACIÓN	RIEGO POR GOTEO	FW
186	0.50	0.00	1.00
187	0.00	0.48	0.30
188	0.60	0.36	1.00
189	0.00	0.00	0.30
190	11.70	0.68	1.00
191	0.00	0.00	0.30
192	7.80	0.00	1.00
193	0.00	0.00	0.30
194	0.00	0.00	0.30
195	1.60	0.36	1.00
196	15.00	0.00	1.00
197	18.80	0.00	1.00
198	4.60	0.00	1.00
199	4.10	0.00	1.00
200	0.00	0.00	0.30
201	0.90	0.00	1.00
202	3.30	0.00	1.00
203	2.70	0.00	1.00
204	25.40	0.00	1.00
205	2.70	0.00	1.00
206	0.00	0.00	0.30
207	0.00	0.00	0.30
208	10.40	0.00	1.00
209	4.40	0.00	1.00
210	0.00	0.00	0.30
211	0.00	0.00	0.30
212	0.00	0.00	0.30

El significado de las columnas del cuadro 2.22, se indican a continuación:

Día juliano.

Precipitación [mm día<sup>-1</sup>]

Cantidad de agua de riego por un emisor [ml día<sup>-1</sup>]

Fracción promedio de la superficie de suelo humedecida por el riego o lluvia, valores tomados con base al cuadro 2.23.

\*Se desconoce la cantidad exacta de aplicación, pero se tuvieron riegos frecuentes.

Fracción de la superficie de suelo a partir de la cual ocurre la mayor parte de la evaporación  $f_{ew}$

$f_{ew}$  se calculó con la siguiente ecuación:

$$f_{ew} = \min(1 - f_c, f_w) \quad (3)$$

Cálculo diario de Ke.

**Cuadro 2.23** Cálculo diario de Ke

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DÍA	ET <sub>o</sub>	fc	1-fc	fw	few	K <sub>cb</sub>	De, i	K <sub>r</sub>	K <sub>c</sub> max	Ke
143	5.41	0.07	0.93	0.30	0.30	0.15	0.00	1.00	1.13	0.34
144	6.01	0.08	0.92	0.30	0.30	0.15	0.00	1.00	1.12	0.34
145	6.78	0.08	0.92	0.30	0.30	0.15	0.00	1.00	1.11	0.33
146	5.15	0.09	0.91	0.30	0.30	0.15	0.00	1.00	1.12	0.33
147	5.56	0.09	0.91	0.30	0.30	0.15	0.00	1.00	1.13	0.34
148	4.89	0.10	0.90	0.30	0.30	0.17	0.00	1.00	1.12	0.34
149	4.33	0.11	0.89	0.30	0.30	0.19	0.00	1.00	1.12	0.34
150	4.85	0.11	0.89	0.30	0.30	0.21	0.00	1.00	1.13	0.34
151	5.68	0.12	0.88	0.30	0.30	0.23	0.00	1.00	1.14	0.34
152	5.37	0.13	0.87	0.30	0.30	0.25	0.00	1.00	1.14	0.34
153	5.54	0.14	0.86	1.00	0.86	0.27	0.00	1.00	1.12	0.85
154	5.87	0.15	0.85	1.00	0.85	0.29	0.00	1.00	1.10	0.81
155	5.90	0.16	0.84	0.30	0.30	0.31	0.00	1.00	1.10	0.33
156	5.70	0.16	0.84	1.00	0.84	0.34	0.00	1.00	1.10	0.77
157	4.72	0.17	0.83	0.30	0.30	0.36	0.00	1.00	1.11	0.33
158	4.04	0.19	0.81	1.00	0.81	0.38	0.00	1.00	1.11	0.74
159	4.34	0.20	0.80	1.00	0.80	0.40	0.00	1.00	1.11	0.71
160	4.19	0.21	0.79	1.00	0.79	0.42	0.00	1.00	1.11	0.69
161	4.25	0.22	0.78	0.30	0.30	0.44	0.00	1.00	1.12	0.34
162	4.57	0.23	0.77	0.30	0.30	0.46	0.00	1.00	1.14	0.34
163	4.35	0.25	0.75	0.30	0.30	0.48	0.00	1.00	1.13	0.34
164	4.69	0.26	0.74	0.30	0.30	0.50	0.00	1.00	1.11	0.33
165	5.11	0.28	0.72	1.00	0.72	0.52	0.00	1.00	1.11	0.59
166	5.78	0.29	0.71	0.30	0.30	0.54	0.00	1.00	1.11	0.33
167	5.45	0.31	0.69	1.00	0.69	0.56	0.00	1.00	1.11	0.55
168	4.78	0.33	0.67	1.00	0.67	0.58	0.00	1.00	1.06	0.48
169	4.29	0.35	0.65	1.00	0.65	0.60	0.00	1.00	1.03	0.43
170	4.37	0.37	0.63	1.00	0.63	0.62	0.00	1.00	1.07	0.45
171	3.79	0.39	0.61	1.00	0.61	0.64	0.00	1.00	1.05	0.40
172	2.08	0.41	0.59	1.00	0.59	0.66	0.00	1.00	1.05	0.38
173	1.59	0.43	0.57	0.30	0.30	0.69	0.00	1.00	1.06	0.32
174	3.96	0.46	0.54	1.00	0.54	0.71	0.00	1.00	1.07	0.36
175	2.14	0.48	0.52	1.00	0.52	0.73	0.00	1.00	1.05	0.33
176	1.96	0.51	0.49	1.00	0.49	0.75	0.00	1.00	1.06	0.32
177	2.32	0.53	0.47	0.30	0.30	0.77	0.00	1.00	1.11	0.33
178	3.19	0.56	0.44	0.30	0.30	0.79	0.00	1.00	1.11	0.33
179	2.70	0.59	0.41	0.30	0.30	0.81	0.00	1.00	1.08	0.27
180	3.25	0.62	0.38	1.00	0.38	0.83	0.00	1.00	1.07	0.24
181	4.97	0.66	0.34	0.30	0.30	0.85	0.00	1.00	1.07	0.22
182	4.64	0.69	0.31	0.30	0.30	0.87	0.00	1.00	1.08	0.20
183	3.62	0.73	0.27	0.30	0.27	0.87	0.00	1.00	1.06	0.19
184	3.36	0.77	0.23	0.30	0.23	0.87	0.00	1.00	1.09	0.21
185	3.36	0.81	0.19	1.00	0.19	0.87	0.00	1.00	1.07	0.20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DÍA	ET <sub>o</sub>	f <sub>c</sub>	1-f <sub>c</sub>	f <sub>w</sub>	f <sub>ew</sub>	K <sub>cb</sub>	De, i	K <sub>r</sub>	K <sub>c</sub> max	Ke
186	3.20	0.85	0.15	1.00	0.15	0.87	0.00	1.00	1.07	0.16
187	2.85	0.89	0.11	0.30	0.11	0.87	0.00	1.00	1.08	0.12
188	3.99	0.94	0.06	1.00	0.06	0.87	0.00	1.00	1.07	0.07
189	3.04	0.98	0.02	0.30	0.02	0.87	0.00	1.00	1.09	0.02
190	2.76	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.09	0.01
191	2.96	0.99	0.01	0.30	0.01	0.87	0.00	1.00	1.10	0.01
192	3.03	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.04	0.01
193	4.42	0.99	0.01	0.30	0.01	0.87	0.00	1.00	1.07	0.01
194	4.08	0.99	0.01	0.30	0.01	0.87	0.00	1.00	1.08	0.01
195	4.77	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.08	0.01
196	2.49	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.04	0.01
197	3.82	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.05	0.01
198	4.19	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.07	0.01
199	3.34	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.06	0.01
200	2.03	0.99	0.01	0.30	0.01	0.87	0.00	1.00	1.05	0.01
201	2.49	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.07	0.01
202	3.69	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.05	0.01
203	3.13	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.08	0.01
204	2.44	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.07	0.01
205	3.17	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.06	0.01
206	2.77	0.99	0.01	0.30	0.01	0.87	0.00	1.00	1.07	0.01
207	4.30	0.99	0.01	0.30	0.01	0.87	0.00	1.00	1.06	0.01
208	3.32	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.07	0.01
209	3.15	0.99	0.01	1.00	0.01	0.87	0.00	1.00	1.07	0.01
210	3.58	0.99	0.01	0.30	0.01	0.87	0.00	1.00	1.06	0.01
211	2.84	0.99	0.01	0.30	0.01	0.87	0.00	1.00	1.09	0.01
212	3.17	0.99	0.01	0.30	0.01	0.87	0.00	1.00	1.09	0.01

El significado de las columnas del Cuadro 17, se indican a continuación:

Día juliano.

Evapotranspiración de referencia, es un dato previamente calculado con FAO Penman – Monteith.

Fracción del suelo cubierta con la vegetación.

Fracción expuesta del suelo.

Fracción promedio de la superficie de suelo humedecida por el riego o lluvia, valores tomados del cuadro 2.24.

Fracción de la superficie de suelo donde ocurre la mayor parte de la evaporación, (Ecuación 47).

Coefficiente basal de cultivo, previamente calculado, cuadro 2.24.

Lamina acumulada de evaporación (agotamiento) después de un humedecimiento

Completo al final del día  $i$  [mm]. Se asumió que la capa superficial de suelo se encontró siempre a capacidad de campo de acuerdo a la Imagen 25 con la interpretación del Cuadro 2.24, por lo tanto  $D_e, i = 0$ .

Coefficiente de reducción de la evaporación del suelo,  $K_r = 1$ ; debido a que el riego y la precipitación fue suficiente para llevar la porción  $f_{ew}$  de la capa evaporante a capacidad de campo de acuerdo a la Imagen 25 con la interpretación del Cuadro 2.24.

Límite superior de la evaporación y la transpiración que puede ocurrir en una superficie cultivada, previamente calculado, Cuadro 15.

Coefficiente de evaporación (Ecuación 38),

Donde  $K_e = \min\{K_r(K_{c\max} - K_{cb}), f_{ew} K_{c\max}\}$ .

#### Cuadro 2.24 Interpretación de las lecturas del tensiómetro

Fuente: Megh, 2005

CENTIBARES	INTERPRETACIÓN
2 a 10	Cerca de saturado
11 a 20	Capacidad de campo
21 a 60	Intervalo de riego (Comenzar a regar)
61 a 70	Seco (Intervalo de estrés)

En la imagen 2.145 se muestra que el cultivo de lechuga permaneció en el intervalo de “cerca de saturado” y “capacidad de campo”.

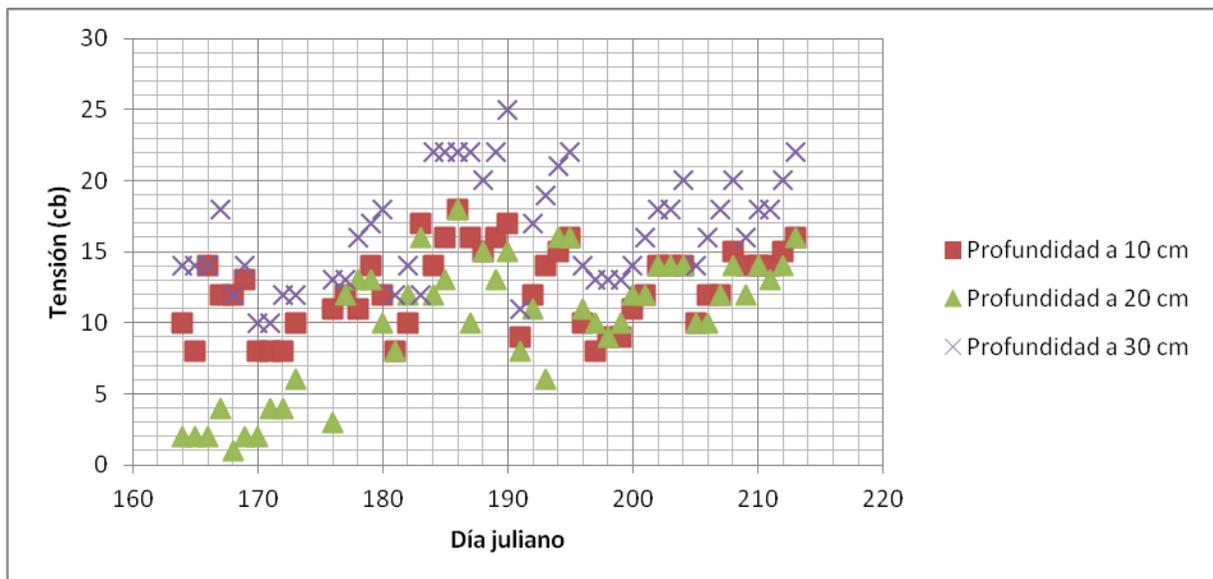


Imagen 2.118 Lecturas del tensiómetro en centibares (cb) durante el experimento

Nota: Se asumió que el suelo presentó capacidad de campo desde el trasplante debido a que se aplicaron riegos frecuentes durante el desarrollo de cultivo.

Evapotranspiración de cultivo utilizando el valor de la simulación de coeficiente dual de cultivo

**Cuadro 2.25** Valores diarios de coeficiente dual y evapotranspiración de cultivo

1	2	3	4	5
Día	Kcb	Ke	Kc	ETc
143	0.1500	0.3378	0.4878	2.6375
144	0.1500	0.3361	0.4861	2.9234
145	0.1500	0.3340	0.4840	3.2809
146	0.1500	0.3348	0.4848	2.4987
147	0.1500	0.3379	0.4879	2.7107
148	0.1706	0.3354	0.5060	2.4739
149	0.1912	0.3375	0.5287	2.2896
150	0.2118	0.3398	0.5516	2.6776
151	0.2324	0.3427	0.5751	3.2653
152	0.2530	0.3415	0.5945	3.1944
153	0.2736	0.8467	1.1203	6.2023
154	0.2942	0.8052	1.0994	6.4560
155	0.3148	0.3301	0.6449	3.8067
156	0.3354	0.7665	1.1019	6.2776
157	0.3560	0.3331	0.6891	3.2534
158	0.3766	0.7363	1.1129	4.5011
159	0.3972	0.7116	1.1088	4.8171
160	0.4178	0.6903	1.1081	4.6380
161	0.4384	0.3359	0.7743	3.2874
162	0.4590	0.3419	0.8009	3.6568
163	0.4796	0.3399	0.8195	3.5655
164	0.5002	0.3330	0.8332	3.9052
165	0.5208	0.5920	1.1127	5.6907
166	0.5414	0.3322	0.8736	5.0452
167	0.5620	0.5467	1.1086	6.0372
168	0.5826	0.4805	1.0631	5.0783
169	0.6032	0.4289	1.0320	4.4256
170	0.6238	0.4495	1.0732	4.6856
171	0.6444	0.4030	1.0474	3.9716
172	0.6650	0.3807	1.0456	2.1756
173	0.6856	0.3167	1.0023	1.5964
174	0.7062	0.3645	1.0707	4.2359
175	0.7267	0.3282	1.0549	2.2553
176	0.7473	0.3169	1.0643	2.0851
177	0.7679	0.3323	1.1002	2.5481
178	0.7885	0.3260	1.1145	3.5544
179	0.8091	0.2727	1.0818	2.9257
180	0.8297	0.2423	1.0720	3.4866
181	0.8503	0.2185	1.0689	5.3114

1	2	3	4	5
Día	Kcb	Ke	Kc	ETc
182	0.8709	0.2045	1.0755	4.9939
183	0.8709	0.1903	1.0612	3.8456
184	0.8709	0.2142	1.0852	3.6486
185	0.8709	0.1984	1.0694	3.5919
186	0.8709	0.1631	1.0340	3.3065
187	0.8709	0.1184	0.9894	2.8242
188	0.8709	0.0690	0.9400	3.7535
189	0.8709	0.0185	0.8895	2.7004
190	0.8709	0.0109	0.8818	2.4316
191	0.8709	0.0110	0.8819	2.6095
192	0.8709	0.0104	0.8814	2.6690
193	0.8709	0.0107	0.8816	3.8930
194	0.8709	0.0108	0.8817	3.5957
195	0.8709	0.0108	0.8817	4.2053
196	0.8709	0.0104	0.8813	2.1938
197	0.8709	0.0105	0.8815	3.3676
198	0.8709	0.0107	0.8817	3.6936
199	0.8709	0.0106	0.8815	2.9473
200	0.8709	0.0105	0.8814	1.7853
201	0.8709	0.0107	0.8817	2.1977
202	0.8709	0.0105	0.8814	3.2511
203	0.8709	0.0108	0.8818	2.7560
204	0.8709	0.0107	0.8817	2.1547
205	0.8709	0.0106	0.8815	2.7922
206	0.8709	0.0107	0.8816	2.4438
207	0.8709	0.0106	0.8815	3.7883
208	0.8709	0.0107	0.8817	2.9306
209	0.8709	0.0107	0.8816	2.7808
210	0.8709	0.0106	0.8816	3.1599
211	0.8709	0.0109	0.8818	2.5083
212	0.8709	0.0109	0.8818	2.7915

El significado de las columnas del cuadro 2.26, se indican a continuación:

Día juliano.

Coefficiente basal de cultivo, previamente calculado.

Coefficiente de evaporación, previamente calculado.

Coefficiente dual de cultivo ( $Kc = Kcb + Ke$ ).

Evapotranspiración de cultivo, (Ecuación 33).

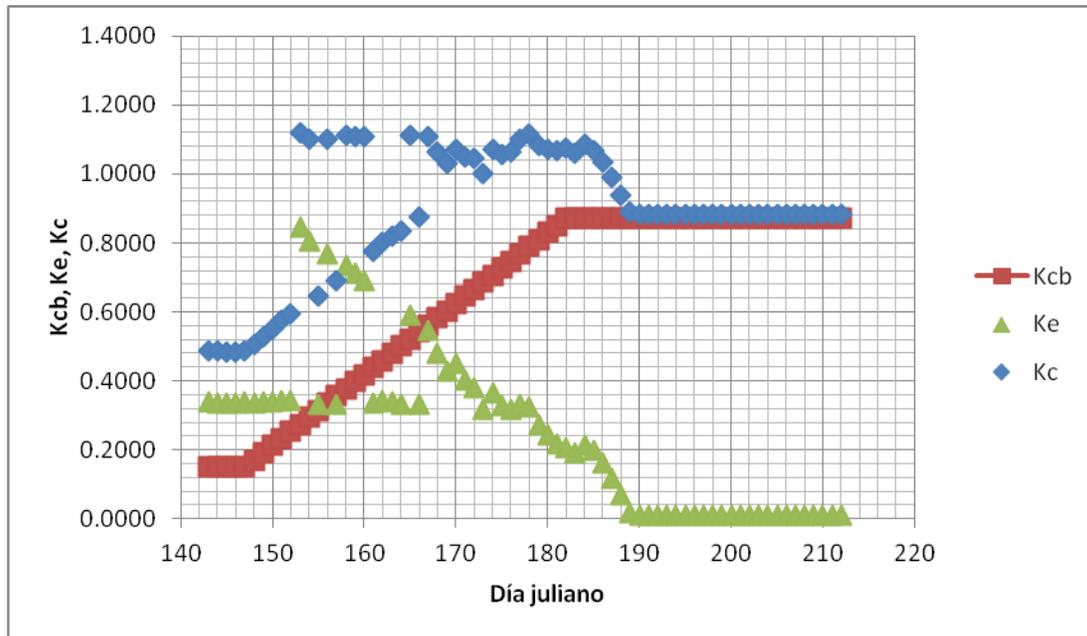
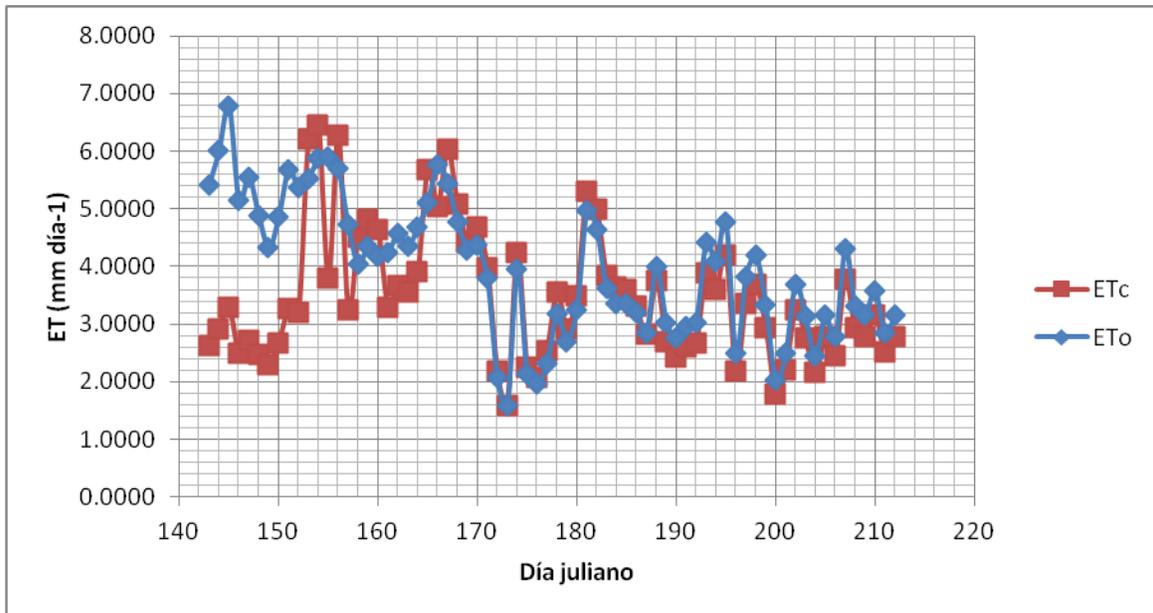


Imagen 2.119 Comportamiento del Kcb, Ke y Kc

En la imagen 2.120 se muestran las curvas de coeficiente de cultivo de acuerdo a las condiciones climáticas de Chapingo, México.

El Ke presenta valores mayores en la etapa inicial, esto es debido a que inicialmente la fracción cubierta por vegetación es mínima, pero conforme se desarrolla el cultivo disminuye el valor del Ke por el hecho de que la cobertura vegetal aumenta y reduce la fracción de suelo. Cabe mencionar que la tasa máxima de evaporación ocurre cuando se tiene un humedecimiento grande en la superficie de suelo (riego o lluvia), debido a esto se presentan los picos de Ke.



**Imagen 2.120** Comportamiento de ETC y ETO en el desarrollo de cultivo

En la Imagen 2.121 se observa el comportamiento de la ETC y ETO, lo cual la ETC al inicio presenta valores menores a la ETO, pero conforme se desarrolla el cultivo tiende a igualar a la Etc y en la etapa final tiende a supera ligeramente a la ETO.

Coeficiente de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) mediante el lisímetro de pesada

Las lecturas en el lisímetro iniciaron el día 11 de junio al 30 de Julio de 2012, en días julianos es del 163 al 212.

El acomodo del sistema de riego y plantación de la lechuga se muestra en la Imagen 2.121.

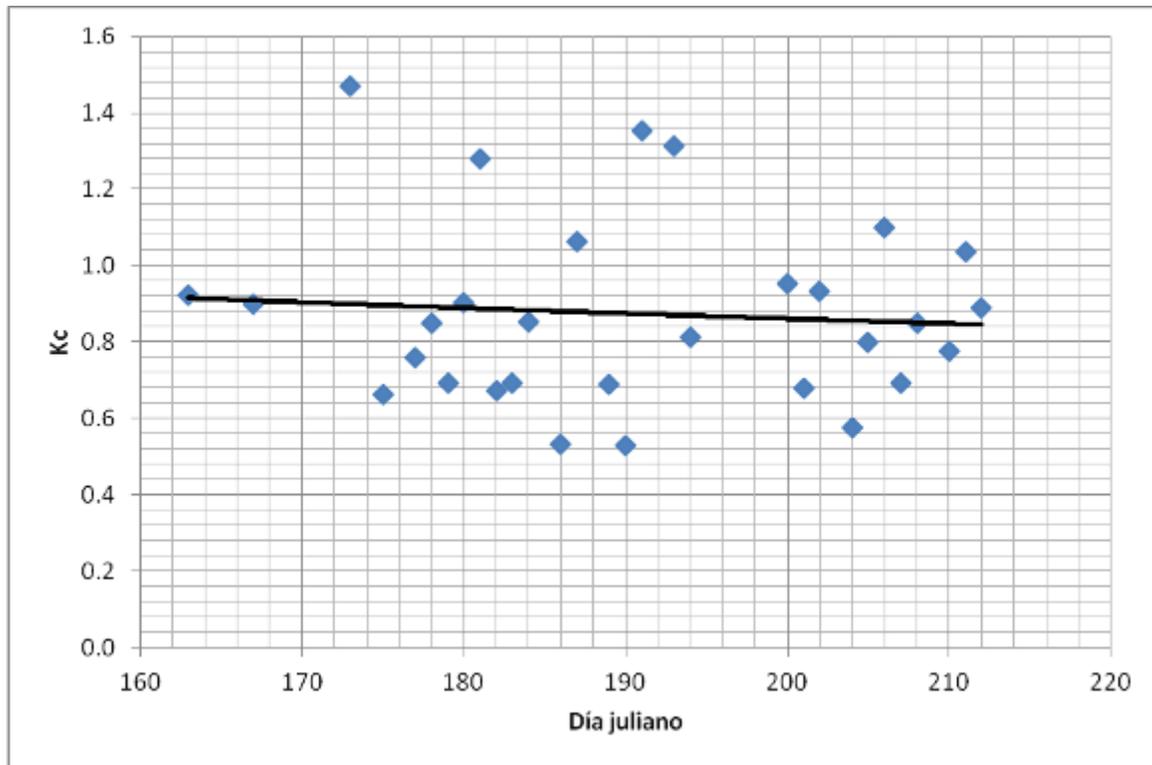
**Cuadro 2.26** Cálculo de coeficiente de cultivo mediante el lisímetro de pesada.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Día	W1 (kg)	W2 (kg)	P (mm)	P (kg)	LR (min)	LR (kg)	P + LR (kg)	(3) - (8)	Dif. Peso	ET <sub>c</sub> (mm)	ET <sub>o</sub>	K <sub>c</sub>
163	495.0	509.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	14.0	5.0	5.4	0.9
167	533.0	542.0	1.0	2.8	60.0	15.7	18.5	9.0	9.5	3.4	3.8	0.9
173	669.5	660.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	9.5	3.4	2.3	1.5
175	682.0	674.5	0.9	2.5	0.0	0.0	2.5	7.5	5.0	1.8	2.7	0.7
177	711.0	700.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	10.5	3.8	5.0	0.8
178	693.0	682.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	11.0	3.9	4.6	0.8
179	681.0	674.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	7.0	2.5	3.6	0.7
180	673.5	710.5	16.3	45.5	0.0	0.0	45.5	37.0	8.5	3.0	3.4	0.9
181	710.0	698.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	12.0	4.3	3.4	1.3
182	696.5	690.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	6.0	2.2	3.2	0.7
183	686.5	681.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	5.5	2.0	2.9	0.7
184	679.5	670.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	9.5	3.4	4.0	0.9
186	664.0	658.5	0.5	1.4	0.0	0.0	1.4	5.5	4.1	1.5	2.8	0.5
187	658.0	661.0	0.0	0.0	45.0	11.8	11.8	3.0	8.8	3.1	3.0	1.1
189	659.0	650.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	8.5	3.0	4.4	0.7
190	650.0	685.0	11.7	32.6	32.0	8.4	41.0	35.0	6.0	2.2	4.1	0.5
191	690.5	672.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	18.0	6.5	4.8	1.4
193	687.0	673.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	14.0	5.0	3.8	1.3
194	671.5	662.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	9.5	3.4	4.2	0.8
200	772.5	766.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	6.5	2.3	2.4	1.0
201	764.5	756.0	0.9	2.5	0.0	0.0	2.5	8.5	6.0	2.1	3.2	0.7
202	756.0	758.0	3.3	9.2	0.0	0.0	9.2	2.0	7.2	2.6	2.8	0.9
204	752.5	818.0	25.4	70.8	0.0	0.0	70.8	65.5	5.3	1.9	3.3	0.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Día	W1 (kg)	W2 (kg)	P (mm)	P (kg)	LR (min)	LR (kg)	P + LR (kg)	(3) - (8)	Dif. Peso	ET <sub>c</sub> (mm)	ET <sub>o</sub>	K <sub>c</sub>
205	816.0	815.5	2.7	7.5	0.0	0.0	7.5	0.5	7.0	2.5	3.2	0.8
206	815.5	804.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	11.0	3.9	3.6	1.1
207	800.5	795.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	5.5	2.0	2.8	0.7
208	794.5	816.0	10.4	29.0	0.0	0.0	29.0	21.5	7.5	2.7	3.2	0.9
210	812.5	805.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	7.0	2.5	3.2	0.8
211	806.0	794.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	12.0	4.3	4.2	1.0
212	792.0	781.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	11.0	3.9	4.4	0.9

El significado de las columnas del Cuadro 2.27, se indican a continuación:

1. Día juliano
2. Lectura de lisímetro en la mañana
3. Lectura de lisímetro en la tarde
4. Precipitación dentro de las horas de lectura de lisímetro
5. Conversión de la precipitación de mm a kg, explicado en el apartado 4.7
6. Tiempo de Imagen de riego
7. Conversión de Imagen de riego de mm a kg, explicado en el apartado 4.7
8. Suma del peso de precipitación y lamina de riego
9. Peso de lectura de la tarde menos la suma de precipitación y lamina de riego
10. Diferencia absoluta de la lectura de mañana y la lectura de la tarde (con corrección de precipitación y lluvia)
11. Evapotranspiración de cultivo, (Ecuación 45)
12. Evapotranspiración de referencia, datos del Cuadro 2.28 en el anexo 9.1
13. Coeficiente de cultivo, despejado de la Ecuación 32



**Imagen 2.121** Kc obtenido de lisímetro

En la imagen 2.122 se observa el comportamiento de coeficiente de cultivo Kc a lo largo del ciclo de cultivo

Comparación de coeficiente dual y coeficiente de cultivo mediante el lisímetro.

En la Imagen 2.122 se presenta de forma gráfica la comparación de coeficiente de cultivo dual y el obtenido en lisímetro, en la cual se muestra que los valores de Kc obtenidos en lisímetro subestiman ligeramente a los valores de Kc dual.

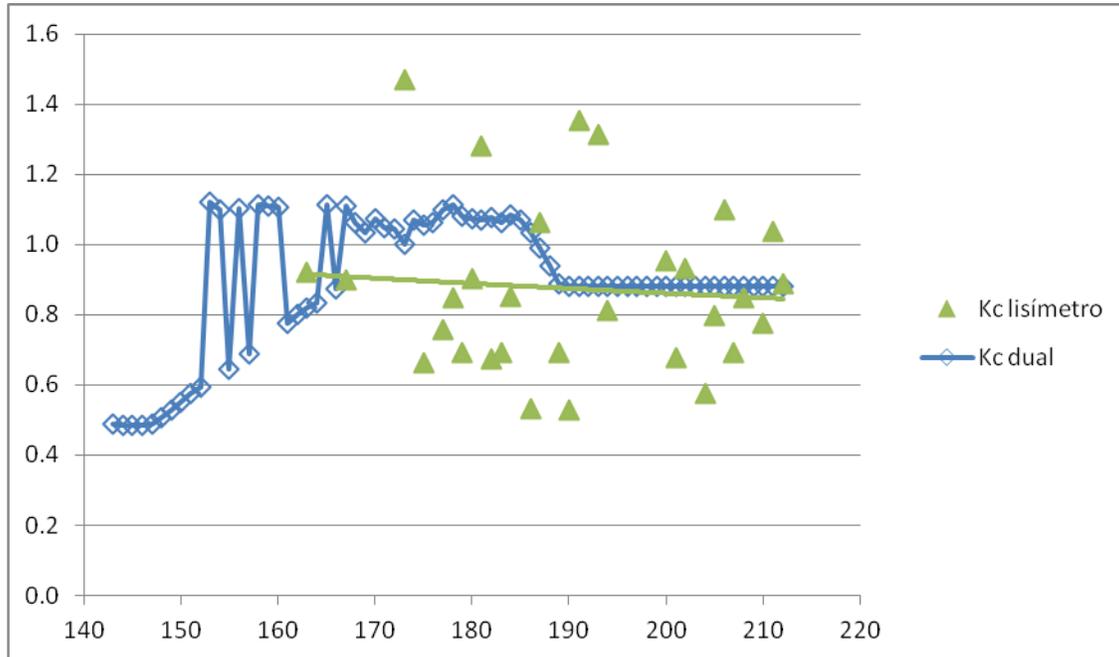


Imagen 2.122 Comparación de Kc lisímetro y Kc dual

Evapotranspiración total de cultivo (ET<sub>c</sub>) y su rendimiento

La evapotranspiración total de cultivo se calculó sumando la evapotranspiración del cultivo diaria durante el ciclo del cultivo:

$$\text{Evapotranspiración total de cultivo} = \sum_{i=163}^{212} ET_c$$

$$\text{Evapotranspiración total de cultivo} = 243.04 \text{ mm}$$

Para el rendimiento se calculó inicialmente el promedio del peso comercial por planta (Cuadro 2.27) y posteriormente se calculó el rendimiento de acuerdo al marco de plantación

Cuadro 2.27 Peso de raíz y peso comercial al tiempo de la cosecha (final de etapa 3)

LECHUGA NO.	PESO DE RAÍZ (G)	PESO COMERCIAL (G)	PESO COMERCIAL (KG)
1	17.5	516.0	0.5160
2	40.8	741.0	0.7410
3	26.9	766.5	0.7665
4	30.3	1013.6	1.0136
5	33.0	1064.7	1.0647
6	34.2	1096.9	1.0969
7	28.5	944.3	0.9443
8	28.5	806.5	0.8065

LECHUGA NO.	PESO DE RAÍZ (G)	PESO COMERCIAL (G)	PESO COMERCIAL (KG)
9	32.2	875.8	0.8758
10	31.3	701.2	0.7012
11	16.9	276.3	0.2763
12	25.9	535.2	0.5352
13	35.2	1025.1	1.0251
14	16.8	303.0	0.3030
15	33.3	753.3	0.7533
16	28.0	916.1	0.9161
17	30.0	473.8	0.4738
18	38.8	946.9	0.9469
Promedio	29.3	764.2	0.7642

Debido a que en el lisímetro se tienen 18 plantas se realizó lo siguiente:

Peso comercial en el lisímetro =  $18 \times 0.7642 \text{ kg} = 13.7562 \text{ kg} = 0.0137562 \text{ ton}$

Con el área del lisímetro se calculó el rendimiento en ton/ha.

$$\text{Rendimiento} = \left( \frac{0.0137562 \text{ ton}}{1.62 \text{ m} \times 1.62 \text{ m}} \right) \left( \frac{10000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} \right) = 49.3 \frac{\text{ton}}{\text{ha}}$$

### 2.3.2 Evaluación de un microlisímetro de succión en invernadero comparado con microlisimetría de balance.

Se evaluarán microlisímetros de succión en un invernadero con un cultivo en contenedor con sustratos en comparación con microlisímetros de balance.

### 2.4 Complementación del software "Programa para la evaluación de sistemas de riego parcelario".

Se actualizó el software "Programa para la evaluación de sistemas de riego parcelario" agregando las aplicaciones que sean necesarias para al menos tres sistemas de riego parcelario.

#### 2.4.1 Requerimientos de Hardware

- PC con procesador Pentium, a velocidad de 200MHz (o superior).
- Sistema operativo Windows XP (o superior).
- 256 Mb de RAM
- Disco Duro 40 Gb
- Unidad de CD-ROM

- Mouse compatible
- Pantalla color VGA ó superior con 256 colores como mínimo.

## 2.4.2 Requerimientos de Software

- Java

## 2.4.3 Contenido del Cd

- Programa para la evaluación de sistemas de riego parcelario.
- Base de datos.

## 2.4.4 Contenido del Sistema

### 2.4.4.1 Menú Principal

En la ventana principal (Imagen 2.124) se indica el nombre “Programa para evaluación de sistemas de riego parcelario”; en la misma pantalla se tiene la barra de menú, donde se pueden ingresar las evaluaciones de riego por gravedad, riego por goteo y riego por aspersión.

Al tomar cualquiera de éstas tres opciones se despliega la lista de funciones con información correspondiente a cada uno de los sistemas de riego.



**Imagen 2.123** Menú principal del Programa para Evaluación de Sistemas de Riego Parcelario.

#### 2.4.4.2 Sistema de riego por gravedad

Al seleccionar la opción “Riego por Gravedad” la ventana nos muestra las funciones del programa para este sistema de riego, las cuáles se enlistan a continuación (Imagen 2.124).

Funciones del sistema de riego por gravedad:

- a) Descripción del Sistema
- b) Procedimiento de Evaluación
- c) Uniformidad y Eficiencia



Imagen 2.124 Detalles de menú riego por gravedad.

#### 2.4.4.3 Descripción del sistema

En la opción “Descripción del Sistema” nos mostrará las características del sistema de riego por gravedad (Imagen 2.125).



Imagen 2.125 Descripción del sistema de riego por gravedad.

#### 2.4.4.4 Procedimiento de evaluación

Al seleccionar la opción “Procedimiento de Evaluación” nos dará una descripción del procedimiento de evaluación del sistema de riego por gravedad (Imagen 2.126), de la cual se puede leer el contenido completo moviendo la barra de desplazamiento vertical.

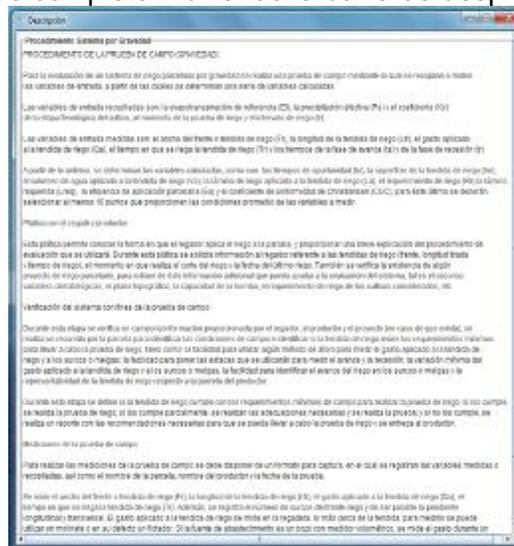


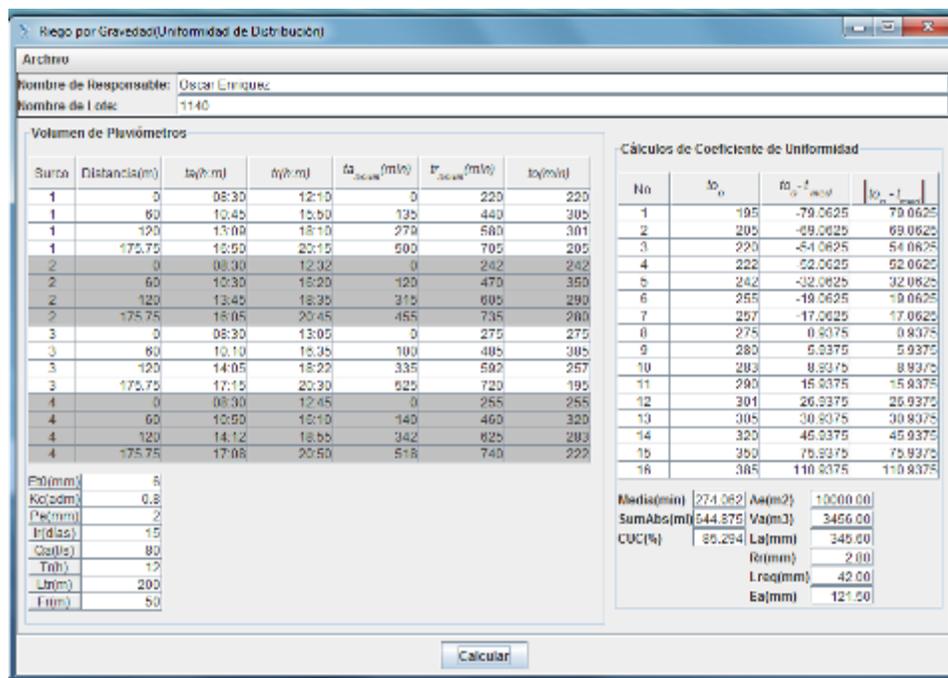
Imagen 2.126 Procedimiento de evaluación del sistema de riego por gravedad.

### 2.4.4.5 Uniformidad y Eficiencia

En la ventana de Uniformidad y Eficiencia se ingresarán los datos recopilados durante la evaluación en campo, el nombre del responsable y nombre del lote, así como los 16 tiempos obtenidos de la fase de avance ( $t_a$ ) y de la fase de recesión ( $t_r$ ). El orden para ingresar estos tiempos será de la esquina superior izquierda hacia abajo y de izquierda a derecha.

A continuación se ingresarán en la parte inferior izquierda de la ventana de “Uniformidad y Eficiencia” (Imagen 2.127), las variables medidas que son: la evapotranspiración de referencia ( $E_t$ ), la precipitación efectiva ( $P_e$ ) y el coeficiente ( $K_c$ ) de la etapa fenológica del cultivo, al momento de la prueba de riego y el intervalo de riego ( $I_r$ ); y las variables de entrada medidas que son: el ancho del frente o tendida de riego ( $F_r$ ), la longitud de la tendida de riego ( $L_{tr}$ ), el gasto aplicado a la tendida de riego ( $Q_a$ ) y el tiempo en que se riega la tendida de riego ( $T_r$ ).

Al dar clic en “Calcular” automáticamente nos mostrará los siguientes resultados: los tiempos de oportunidad ( $t_o$ ), la superficie de la tendida de riego ( $A_e$ ), el volumen de agua aplicado a la tendida de riego ( $V_a$ ), la Imagen de riego aplicada a la tendida de riego ( $L_a$ ), el requerimiento de riego ( $R_r$ ), la Imagen requerida ( $L_{req}$ ), la eficiencia de aplicación parcelaria ( $E_a$ ) y el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), que se muestran en la parte derecha de la ventana “Uniformidad y Eficiencia”.



**Nombre de Responsable:** Oscar Enriquez  
**Nombre de Lote:** 1140

**Volúmenes de Pluviómetros**

Surco	Distancia(m)	$t_a$ (h:m)	$t_r$ (h:m)	$t_a$ (m/s)	$t_r$ (m/s)	$t_o$ (h:m)
1	0	08:30	12:10	0	220	220
1	60	10:45	15:50	135	440	305
1	120	13:00	18:10	270	580	301
1	175.75	15:50	20:15	500	705	205
2	0	08:30	12:02	0	242	242
2	60	10:30	15:20	120	470	350
2	120	13:45	18:30	315	605	290
2	175.75	18:05	20:45	455	735	260
3	0	08:30	13:05	0	275	275
3	60	10:10	15:35	100	405	305
3	120	14:05	18:20	335	500	257
3	175.75	17:15	20:30	625	720	195
4	0	08:30	12:45	0	255	255
4	60	10:50	15:10	140	460	320
4	120	14:12	18:55	342	625	293
4	175.75	17:08	20:50	518	740	220

**Cálculos de Coeficiente de Uniformidad**

No	$t_o$	$t_o - t_{med}$	$ t_o - t_{med} $
1	195	-79.0625	79.0625
2	205	-69.0625	69.0625
3	220	-54.0625	54.0625
4	222	-52.0625	52.0625
5	242	-32.0625	32.0625
6	255	-19.0625	19.0625
7	257	-17.0625	17.0625
8	275	0.9375	0.9375
9	280	5.9375	5.9375
10	283	8.9375	8.9375
11	290	15.9375	15.9375
12	301	26.9375	26.9375
13	305	30.9375	30.9375
14	320	45.9375	45.9375
15	350	75.9375	75.9375
16	385	110.9375	110.9375

**Medias:**  $t_o$ (min) 274.362,  $A_e$ (m<sup>2</sup>) 10000.00  
**SumAbs:**  $t_o$ (mi) 544.875,  $V_a$ (m<sup>3</sup>) 3456.00  
**CUC(%)** 85.294,  $L_a$ (mm) 345.00  
**Rr:**  $R_r$ (mm) 2.00  
**Lreq:**  $L_{req}$ (mm) 42.00  
**Ea:**  $E_a$ (mm) 121.50

**Entradas:**  $E_t$ (mm) 4,  $K_c$ (mm) 0.8,  $P_e$ (mm) 2,  $I_r$ (dias) 15,  $C_e$ (%) 80,  $T_r$ (h) 12,  $L_{tr}$ (m) 200,  $F_r$ (m) 50

**Calcular**

Imagen 2.127 Captura y Cálculos de Coeficientes de Uniformidad.

Otra manera de ingresar los datos es desde una base de datos ya definida, esto se puede hacer dando clic en el menú “Archivo” y seleccionando la opción “Importar archivo” (imagen 2.128); enseguida te mostrará la ventana de “Abrir”, en donde se ingresará la ruta de donde se encuentra la base de datos que se quiere calcular.

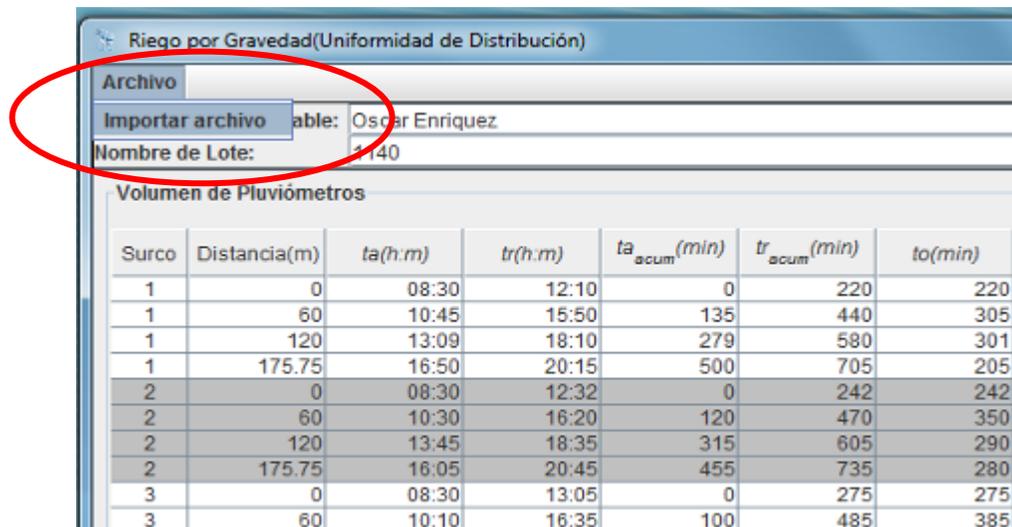


Imagen 2.128 Importar archivo.

## 2.4.5 Sistema de riego por goteo

Al seleccionar la opción “Riego por Goteo”, la ventana nos muestra las funciones del programa para el sistema de riego por goteo las cuáles se enlistan a continuación (Imagen 2.129).

Funciones del sistema de riego por goteo:

- a) Descripción del sistema
- b) Procedimiento de evaluación
- c) Uniformidad y Eficiencia



Imagen 2.129 Detalles de menú de riego por goteo.

### 2.4.5.1 Descripción del sistema

En la opción “Descripción del Sistema” nos mostrará las características del sistema de riego por goteo (Imagen 2.130), de la cual se puede leer el contenido completo de la descripción moviendo la barra de desplazamiento vertical.



Imagen 2.130 Descripción del sistema de riego por goteo.

### 2.4.5.2 Procedimiento de evaluación

Al seleccionar la opción "Procedimiento de evaluación" nos dará una descripción de la evaluación del sistema de riego por goteo (Imagen 2.131), de la cual se puede leer el contenido completo moviendo la barra de desplazamiento vertical.

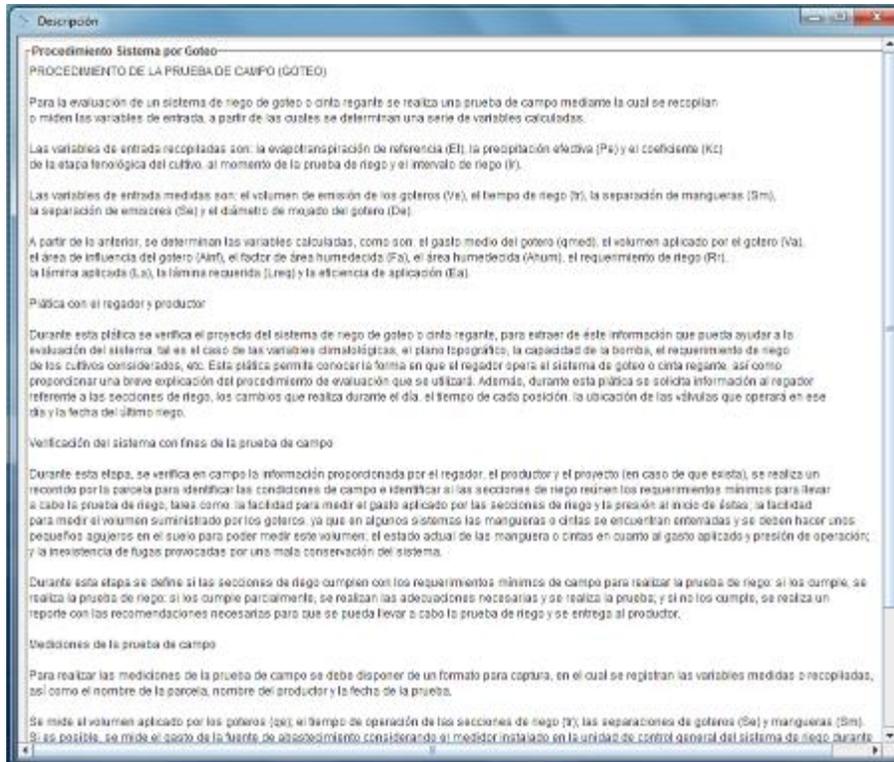


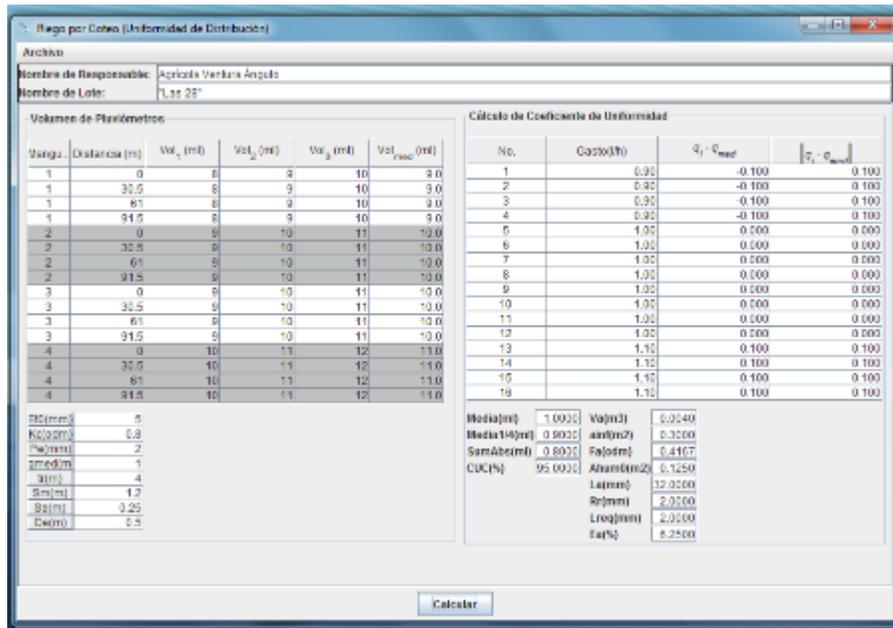
Imagen 2.131 Procedimiento de evaluación del sistema de riego por goteo.

### 2.4.5.3 Uniformidad y Eficiencia

En la ventana de Uniformidad y Eficiencia se capturan los datos generales de la evaluación de un sistema de riego de goteo o cinta regante, estos datos pueden ser recopilados como la evapotranspiración de referencia (Et), la precipitación efectiva (Pe) y el coeficiente (Kc) de la etapa fenológica del cultivo, al momento de la prueba de riego y el intervalo de riego (Ir), y los que son medidos, el volumen de emisión de los goteros (Ve), el tiempo de riego (tr), la separación de mangueras (Sm), la separación de emisores (Se) y el diámetro de mojado del gotero (De), que se muestran en la parte inferior izquierda de la ventana de "Uniformidad y Eficiencia" (Imagen 2.132).

Finalmente al dar clic en el botón "Calcular", nos mostrará los promedios de los volúmenes para cada uno de los 16 puntos de muestreo, el gasto medio del gotero (qmed), el volumen aplicado por el gotero (Va), el área de influencia del gotero (Ainf), el factor de área humedecida (Fa), el área humedecida (Ahum), el requerimiento de riego

(Rr), la Imagen aplicada (La), la Imagen requerida (Lreq) y la eficiencia de aplicación (Ea), que se muestran en la parte derecha de la ventana.



**Volumen de Pluviómetros**

Mangu...	Distancia (m)	Vol <sub>1</sub> (ml)	Vol <sub>2</sub> (ml)	Vol <sub>3</sub> (ml)	Vol <sub>med</sub> (ml)
1	0	8	9	10	9.0
1	30.5	8	9	10	9.0
1	61	8	9	10	9.0
1	91.5	8	9	10	9.0
2	0	9	10	11	10.0
2	30.5	9	10	11	10.0
2	61	9	10	11	10.0
2	91.5	9	10	11	10.0
3	0	9	10	11	10.0
3	30.5	9	10	11	10.0
3	61	9	10	11	10.0
3	91.5	9	10	11	10.0
4	0	10	11	12	11.0
4	30.5	10	11	12	11.0
4	61	10	11	12	11.0
4	91.5	10	11	12	11.0

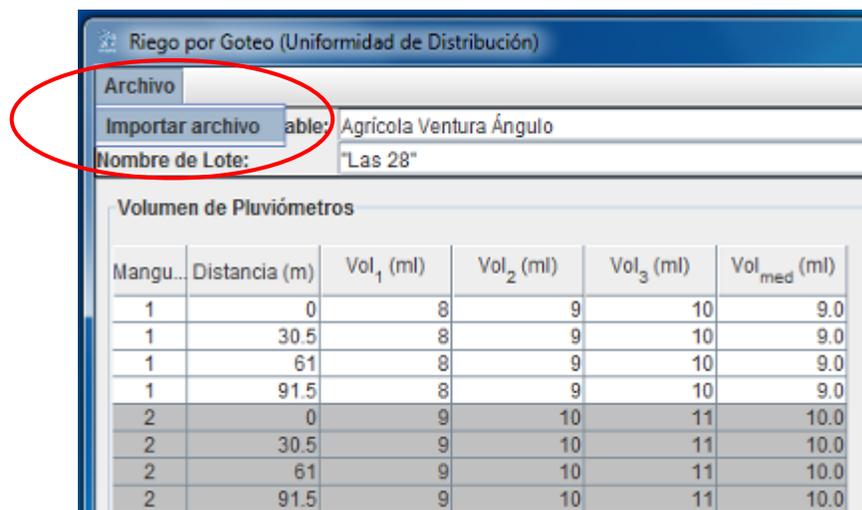
**Cálculo de Coeficiente de Uniformidad**

No.	Costo(h)	q <sub>i</sub> - C <sub>med</sub>	q <sub>i</sub> - C <sub>med</sub>
1	0.90	-0.100	0.100
2	0.90	-0.100	0.100
3	0.90	-0.100	0.100
4	0.90	-0.100	0.100
5	1.00	0.000	0.000
6	1.00	0.000	0.000
7	1.00	0.000	0.000
8	1.00	0.000	0.000
9	1.00	0.000	0.000
10	1.00	0.000	0.000
11	1.00	0.000	0.000
12	1.00	0.000	0.000
13	1.10	0.100	0.100
14	1.10	0.100	0.100
15	1.10	0.100	0.100
16	1.10	0.100	0.100

Media(ml) 1.0000; Var(ml) 0.0340  
Media14(ml) 0.8000; am(ml) 0.3200  
SumAbs(ml) 0.8000; Faj(ml) 0.4107  
CUC(%) 95.0000; Ahum(ml) 0.1250  
Laj(ml) 12.0000  
Rj(ml) 2.0000  
Lreq(ml) 2.0000  
Ea(%) 8.2500

Imagen 2.132 Captura y Cálculo de Coeficiente de Uniformidad.

Otra manera de ingresar los datos es desde una base de datos ya definida, esto se puede hacer dando clic en el menú "Archivo" y seleccionando la opción "Importar archivo" (Imagen 2.133); enseguida mostrará la ventana de "Abrir", en donde se ingresará la ruta de donde se encuentra la base de datos que se quiere calcular.



**Archivo**

Importar archivo

Nombre de Lote: "Las 28"

**Volumen de Pluviómetros**

Mangu...	Distancia (m)	Vol <sub>1</sub> (ml)	Vol <sub>2</sub> (ml)	Vol <sub>3</sub> (ml)	Vol <sub>med</sub> (ml)
1	0	8	9	10	9.0
1	30.5	8	9	10	9.0
1	61	8	9	10	9.0
1	91.5	8	9	10	9.0
2	0	9	10	11	10.0
2	30.5	9	10	11	10.0
2	61	9	10	11	10.0
2	91.5	9	10	11	10.0

Imagen 2.133 Importar archivo.

## 2.4.6 Sistema de riego por aspersión

Al seleccionar la opción “Riego por Aspersión” la ventana nos muestra las funciones del programa para este sistema de riego, las cuáles se enlistan a continuación (Imagen 2.134).

Funciones del sistema de riego por gravedad:

- Descripción del Sistema.
- Procedimiento de Evaluación.
- Uniformidad y Eficiencia.



Imagen 2.134 Detalles de menú riego por aspersión.

### 2.4.6.1 Descripción del sistema

En la opción “Descripción del Sistema” nos mostrará las características del sistema de riego por aspersión (Imagen 2.135), de la cual se puede leer el contenido completo de la descripción moviendo la barra de desplazamiento vertical.

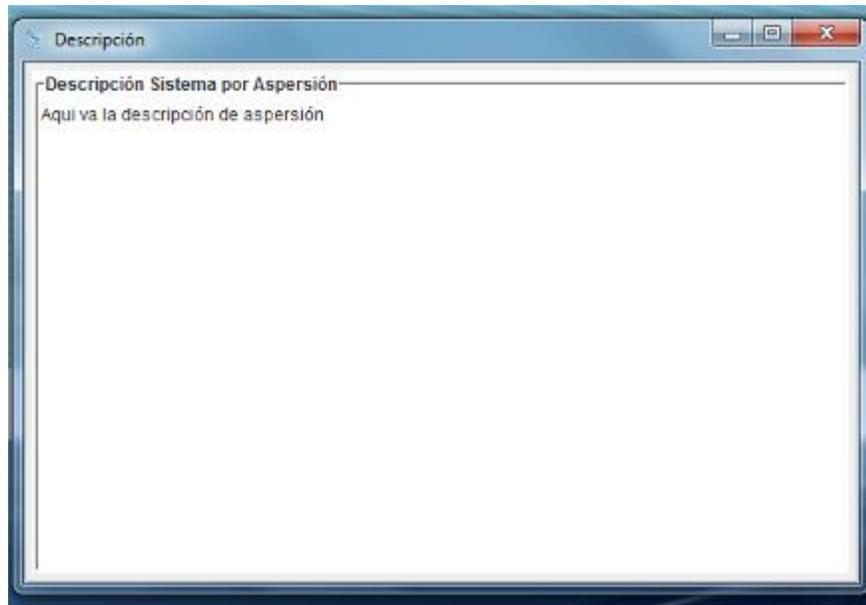


Imagen 2.135 Descripción del sistema de riego por aspersión.

### 2.4.6.2 Procedimiento de evaluación

Al seleccionar la opción “Procedimiento de Evaluación” nos dará una descripción del procedimiento de evaluación del sistema de riego por aspersión (Imagen 2.136), de la cual se puede leer el contenido completo moviendo la barra de desplazamiento vertical.

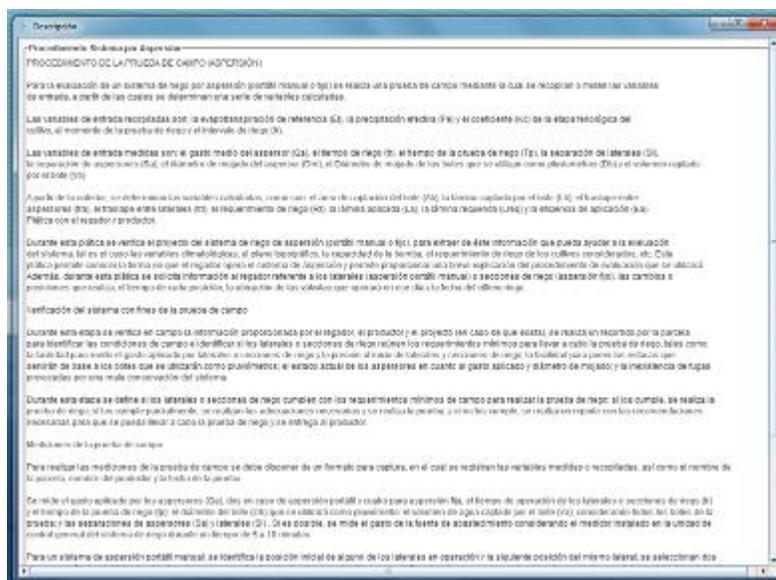


Imagen 2.136 Procedimiento de evaluación del sistema de riego por aspersión.

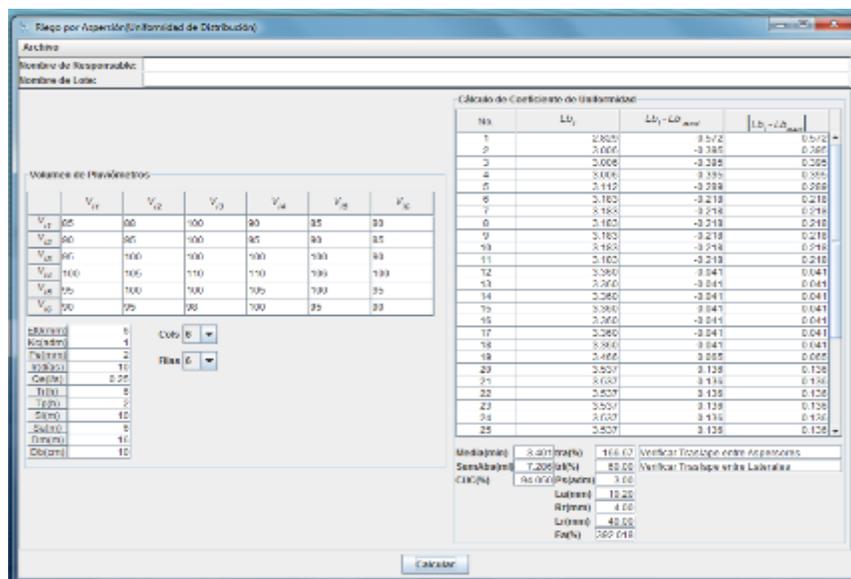
### 2.4.6.3 Uniformidad y Eficiencia

En el menú de Riego por Aspersión al seleccionar la opción “Uniformidad y Eficiencia” nos mostrará la ventana de Riego por Aspersión (Uniformidad de Distribución) en el que se ingresarán los datos generales obtenidos durante la evaluación en campo.

En esta ventana en la parte del centro se deben de indicar cuantos pluviómetros se utilizaron en cada lateral de riego durante la evaluación, en “Cols” y “Filas” que se encuentran en el centro de la ventana (Imagen 2.165), en estas listas tiene hasta un máximo de 10 pluviómetros para ingresar.

Enseguida se capturaran las variables de entrada recopiladas, la evapotranspiración de referencia ( $E_t$ ), la precipitación efectiva ( $P_e$ ) y el coeficiente ( $K_c$ ) de la etapa fenológica del cultivo, al momento de la prueba de riego y el intervalo de riego ( $I_r$ ), también las variables de entrada medidas, el gasto medio del aspersor ( $Q_a$ ), el tiempo de riego ( $t_r$ ), el tiempo de la prueba de riego ( $T_p$ ), la separación de laterales ( $S_l$ ), la separación de aspersores ( $S_a$ ), el diámetro de mojado del aspersor ( $D_m$ ), el Diámetro de mojado de los botes que se utilizan como pluviómetros ( $D_b$ ) y el volumen captado por el bote ( $V_b$ ), que se muestran en la parte inferior izquierda de la ventana.

Por último, le dará clic en “Calcular” y automáticamente nos mostrará los siguientes resultados de Coeficiente de Uniformidad, el área de captación del bote ( $A_b$ ), la Imagen captada por el bote ( $L_b$ ), el traslape entre aspersores ( $tra$ ), el traslape entre laterales ( $trl$ ), el requerimiento de riego ( $R_r$ ), la Imagen aplicada ( $L_a$ ), la Imagen requerida ( $L_{req}$ ) y la eficiencia de aplicación ( $E_a$ ), así como una recomendación de los traslapes de aspersores y los laterales, como se muestra en la parte derecha de la ventana de Uniformidad de Distribución (Imagen 2.137).



**Volúmenes de Pluviómetros**

	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$	$V_7$	$V_8$	$V_9$	$V_{10}$
$V_1$	85	80	100	90	85	90	85	80	85	80
$V_2$	90	85	100	95	90	95	90	85	90	85
$V_3$	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$V_4$	100	100	110	110	100	100	100	100	100	100
$V_5$	105	105	100	105	100	100	100	100	100	100
$V_6$	110	105	110	110	100	100	100	100	100	100
$V_7$	105	100	100	105	100	100	100	100	100	100
$V_8$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$V_9$	95	95	95	100	95	95	95	95	95	95

**Cálculo de Coeficiente de Uniformidad**

No	$L_b$	$L_b - L_{b_{min}}$	$ L_b - L_{b_{max}} $
1	2.825	0.572	0.572
2	2.000	-0.385	0.385
3	3.000	-0.320	0.320
4	3.000	0.330	0.330
5	2.112	-0.288	0.288
6	2.162	-0.218	0.218
7	2.184	-0.218	0.218
8	2.162	-0.218	0.218
9	2.182	-0.218	0.218
10	2.155	-0.218	0.218
11	2.162	-0.218	0.218
12	3.280	0.041	0.041
13	2.260	-0.041	0.041
14	2.260	-0.041	0.041
15	2.260	-0.041	0.041
16	2.260	-0.041	0.041
17	2.260	-0.041	0.041
18	2.260	-0.041	0.041
19	2.400	0.055	0.055
20	2.527	0.128	0.128
21	2.527	0.130	0.130
22	2.527	0.130	0.130
23	2.527	0.130	0.130
24	2.527	0.130	0.130
25	2.527	0.130	0.130

Media (mm) 3.201 (78%) 166.02 Verificar Traslape entre Aspersores  
 Sema (mm) 7.200 (84%) 80.00 Verificar Traslape entre Laterales  
 CUE (%) 95.072 (Requisito) 3.00  
 Cubos 10.20  
 Filas 4.00  
 L (mm) 42.00  
 Ra (m) 287.010

Calcular

Imagen 2.137 Captura y Cálculos de Coeficientes de Uniformidad.

Otra manera de ingresar los datos es desde una base de datos ya definida, esto se puede hacer dando clic en el menú “Archivo” y seleccionando la opción “Importar archivo” (Imagen 2.138); enseguida mostrará la ventana de “Abrir”, en donde se ingresará la ruta de donde se encuentran los datos que se quiere calcular.

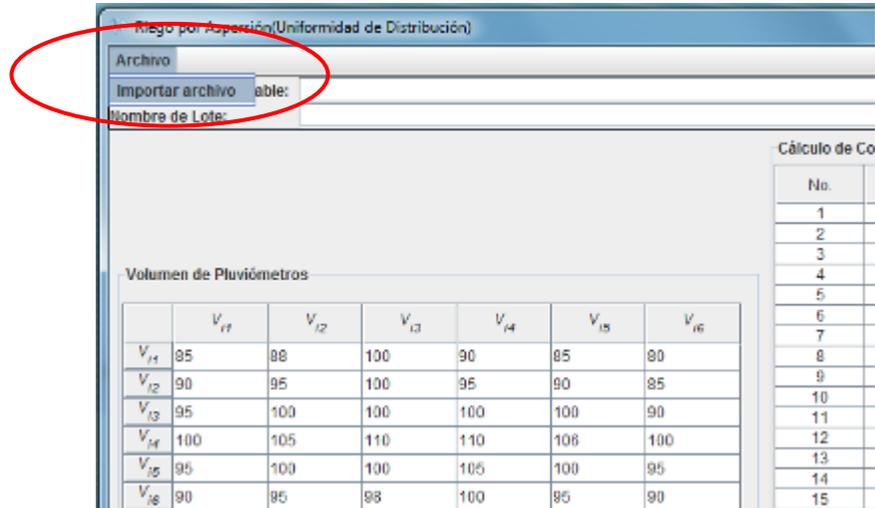


Imagen 2.138 Importar archivo.

## 2.5 Un video sobre tecnología de riego de alta eficiencia.

Se realizó un video de la tecnología que más impacte en el ahorro del agua, como una herramienta que contribuya a la transferencia de tecnología de riego.



**Tecnología de riego para reducción de volúmenes utilizados en la  
producción de cultivos**

SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES



### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la aplicación de 6 riegos de auxilio, con el sistema de riego intermitente se ha logrado un ahorro de agua del 25.37% con respecto a la aplicación del riego continuo.

El desarrollo fenológico del cultivo en los tratamientos de riego, presenta mejor respuesta en la aplicación del riego intermitente en número, capullo y bellota comparado con el testigo.

Se tiene un mejor rendimiento de 0.75ton/ha mas en los tratamientos de intermitencia con respecto a los tratamientos de riego continuo, esto demuestra que el riego intermitente en cultivos de algodón permite mejorar la producción del cultivo.

Durante el estudio de campo, se contrastaron las condiciones climáticas (temperatura y humedad relativa) dentro y fuera del invernadero. Se observaron temperaturas máximas significativamente más altas durante el día dentro que fuera del invernadero, y una humedad relativa máxima mucho más elevada durante la noche dentro que fuera del invernadero, ambas condiciones perjudiciales para el desarrollo del cultivo de pepino.

Basado en las observaciones de temperatura y humedad relativa, se recomienda estudiar la posibilidad de instalar un sistema de ventilación mecánica para mejorar el ambiente dentro del invernadero, creando condiciones más adecuados para el desarrollo del cultivo lo que se espera resulte en una mejor calidad y rendimiento del fruto, así como una reducción en afectaciones por enfermedades del cultivo en las temporadas de temperatura y humedad relativa elevada dentro del invernadero.

Con la información climatológica registrada, se obtuvo un requerimiento de riego que varió de 2.5 mm/día para el mes de mayo, de 2.2 mm/día para junio, de 3.3 mm/día para julio y de 2.9 mm/día para agosto; de acuerdo a los volúmenes de agua aplicados en cada periodo (mes), se obtuvieron eficiencias de aplicación del riego de 89.1%, del 92.2%, del 80.9% y del 70.1%, respectivamente.

Este manual tiene la finalidad de hacer más fácil el uso y manejo del Programa para la Evaluación de Sistemas de Riego Parcelario.

Esperamos que satisfaga las necesidades de los usuarios, ya que ha sido elaborada en base a los requisitos que han sido solicitados y sobre todo reflejar buenos resultados.

En la comparación de los dos métodos se observó que los datos tienen la misma tendencia, sin embargo los valores obtenidos con el lisímetro son ligeramente menores a los del coeficiente dual.

El valor promedio de coeficiente de cultivo para la etapa de inicio de crecimiento y mediados de temporada mediante la simulación fue de  $K_{c\ ini} = 0.49$  y  $K_{c\ med} = 0.94$ .

Se obtuvieron los coeficientes diarios de cultivo mediante el lisímetro, teniendo un valor promedio a mediados de temporada de  $K_{c\text{ med}} = 0.86$ .

De acuerdo a los valores diarios de la simulación del coeficiente dual por el método FAO (56) se observó que el comportamiento de la curva del coeficiente del cultivo tiene una tendencia creciente conforme la planta se desarrolla. Debido a que este método divide el coeficiente de cultivo en dos (transpiración y evaporación), se logra observar que el coeficiente basal aumenta mientras que el coeficiente de evaporación disminuye en relación al crecimiento de la planta.

Se calculó la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) con la ecuación FAO Penman – Monteith desde el 22 de mayo al 30 de julio de 2012, teniendo como valores estadísticos: valor máximo de  $5.9 \text{ mm día}^{-1}$ , valor mínimo de  $1.6 \text{ mm día}^{-1}$  y un promedio de  $3.9 \text{ mm día}^{-1}$ . En relación a las variables climáticas se observó que la radiación neta es una de las variables más influyentes en el cálculo.

Se recomienda que el cultivo de lechuga se desarrolle desde la etapa inicial hasta la final (floración) en el lisímetro, para poder comparar mejor los dos métodos. .

Realizar investigaciones de las duraciones de las etapas de cultivo de lechuga para Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Validar los resultados de  $K_c$  obtenidos en el presente trabajo mediante observaciones experimentales completas.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

Allen N.L., 1980. Advance rates in furrow irrigation for cycled flow. M.Sc. thesis, Utah State University, Logan, Utah.

Amer, M.H. (1998) Surge flow irrigation as a farm practice for cotton production. Zagazig Journal of Agriculture Research 25: 659–669.

Coolidge P.S., Walker W.R., Bishop A.A., 1982. Advance and run-off surge flow furrow irrigation. J. Irrig. Drain., ASCE 108, 35-42.

Ismail S. M. and Ragheb M.A. 2006. Improvement of irrigation efficiency and water productivity by surge flow irrigation in short furrows. 14<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Conference. Assiut University, Assiut Egypt.

Mahmood S., Sial J.K., Ahmad N., Awan Q.A., Khan M.A., 1993. Surge vs. continuous irrigation methods. Pakistan J. Agric. Sci., 30, 125-132.

Mahmood S., Sial J.K., Latif M., Nadeem M.A., 1995. Effects of tillage depth on advance rate for surge irrigation. J. Drain. Reclam. Inst. Pakistan, 7, 13-15.

Mahmood S., Khan M.A., Latif M., Sial J.K. 2003. Application of surge irrigation on borders for water savings and wheat production: first year study results. Ital. J. Agron

Poole G.J., 1981. Infiltration and advance under surge flows in furrow irrigation. M.Sc. thesis Utah State University, Logan, Utah.

Stringham G.E., Keller J., 1979. Surge flow for automatic irrigation. In: Irrigation and drainage in the nineteen eighties. Proc. Specialty Conference of the American Society of Civil Engineers, New York, 132-142.

Wang Y.W., Luo W., Wang Z.R., 2005. Surge flow irrigation with sediment-laden water in northwestern China. Agricultural water management 75, 1-9.

Allen, R.G., L.S. Pereira, L.S., Raes, D., y Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.

Baille M., Baille A. and Delmoa-D. (1994). Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops. Agric. For. Meteorology. 71 : 83-97.

FAO. 2001. Los mercados mundiales de frutas y verduras orgánicas. Roma, Italia

Jett, L., High Tunnel Temperature Management. Publicado en el sitio internet del West Virginia University Extension Service: [http://anr.ext.wvu.edu/commercial\\_horticulture/high\\_tunnels/high\\_tunnel\\_temperature\\_management](http://anr.ext.wvu.edu/commercial_horticulture/high_tunnels/high_tunnel_temperature_management).

Jolliet O. and Bailey B.J. (1992). The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: Measurements and models comparison. *Agric. For. Meteorology*, 58: 43-63.

Mississippi State University Extension Service. Greenhouse tomato handbook. Publicado en el sitio de internet: <http://msucare.com/pubs/publications/p1828.pdf>.

Soriano T., J. Hernández J., Morales M.I., Escobar I., y Castilla N. (2002). Radiation transmission differences in east-west oriented plastic greenhouses. *ISHS Acta Horticulturae* 633: XXVI International Horticultural Congress: Protected Cultivation 2002.

Allen, R G, Pereira, LS, Raes, D, Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56. Roma, Italia. 298 p.

Ángeles, M. V. 2002. Diseño agronómico de Sistemas de Riego Presurizado. Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. México. 167 p.  
Calder Ian R. 1990. Evaporation in the Uplands. Institute of Hydrology Wallingford, UK. 148 p.

Elías, C. F. y Castellvi, S. F. 2001. Agrometeorología. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Grupo Mundi – Prensa. España. 517 p.

Megh, R. G., José A. S. P. y Rivera L. E. M. 2005. El tensiómetro: Su uso, instalación y mantenimiento. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico. 172 p.

McIntosh, D. H., 1978. Meteorología básica. Universidad de Edimburgo. 365 p.

Rincón, S. L. R. 2008. La Fertirrigación de la lechuga. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA). Grupo Mundi – Prensa. España. 260 p.

Rojas, O. E. 1985. Estudio Agroclimático de Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 177 p.

Torres, R. E. 1995. Agro – Meteorología. Universidad Autónoma Antonio Narro. Editorial Trillas. 154 p. México.

Salazar, O. L. 2011. Identificación de razas de *Bremia lactucae* y caracterización de variedades de lechuga. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Colegio de Postgraduados. México. 52 p.

Villar, H. B. J. 2007. Evapotranspiración de referencia por el método FAO (56) Penman – Monteith y coeficiente dual del tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. México. 116 p.