

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO UL.  
División de Carreras Agronómicas**



**RENDIMIENTO DEL ALGODONERO BAJO ESTRÉS  
HÍDRICO EN EL SUELO**

**CESAR ARIAS FUENTES**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS

RENDIMIENTO DE ALGODONERO BAJO ESTRÉS HÍDRICO EN EL SUELO

POR:

CESAR ARIAS FUENTES

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:

  
Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

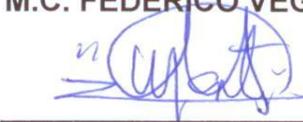
ASESOR PRINCIPAL  
EXTERNO:

  
Ph. D. MARCO ANTONIO INZUNZA IBARRA

ASESOR:

  
M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

ASESOR:

  
M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

  
Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO U.L.  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS QUE PRESENTA EL C. CESAR ARIAS FUENTES  
Y QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

  
Ph. D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

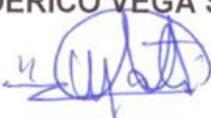
VOCAL:

  
Ph. D. MARCO ANTONIO INZUNZA IBARRA

VOCAL:

  
M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL:

  
M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

  
Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS, Por su creación, brindarme la vida, darme una familia maravillosa, mantenerme firme ante las adversidades, poner en mi trayectoria la oportunidad de concluir mis estudios de nivel licenciatura y el medio en que me desarrolle.

Agradezco infinitamente a mis padres y hermanos, por todo su apoyo, económico, consejos que mucho me han servido como persona, y educarme de esa manera. Agradezco a mis profesores promotores del conocimiento, su disposición de enseñanza, nuevas formas de trabajo, desarrollo profesional, inculcando valores humanitarios. A los amigos por haberme brindado tiempo de convivencia, apoyo en los problemas de escuela, oportunidad de expresar nuestras ideas y opinando para mejorar nuestra personalidad en diferentes aspectos.

## **AGRADECIMIENTO ESPECIAL**

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmosfera (CENID-RASPA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Gómez Palacio, Durango. Bajo la dirección y asesoría del Ph.D. Marco Antonio Inzunza Ibarra y forma parte del proyecto “RENDIMIENTO DE ALGODONERO BAJO ESTRÉS HÍDRICO EN EL SUELO”.

## **DEDICATORIA**

**A mis padres; Antonia Fuentes Morales, Octaviano Arias Pérez,** Por haberme brindado educación, en casa, escuela y lugar en que me encontrara. Inculcarme principios de desarrollo personal como buen ser humano y saber enfrentar los problemas. A mis hermanos, **Israel Arias Fuentes, Norma Delia Arias Fuentes, Octaviano Arias Fuentes, Omar Arias Fuentes.,** por brindarme su apoyo incondicional.

**“EDUCA A LOS NIÑOS Y NO SERÁ NECESARIO CASTIGAR A LOS  
HOMBRES “**

**Pitágoras de Samos**

**“DE TODAS LAS ACTIVIDADES DEL HOMBRE NO HAY OTRA MÁS NOBLE  
QUE LA AGRICULTURA”**

**Marco Tulio Cicerón**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA .....	I
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	III
RESUMEN .....	V
Palabras clave.....	V
ABSTRACT.....	VI
Key words.....	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos .....	2
1.2. Hipótesis.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Importancia del Algodón ( <i>Gossypium hirsutum</i> L.).....	3
2.2. Producción Mundial de Algodón.....	3
2.3. Origen del algodón ( <i>Gossypium hirsutum</i> L.).....	3
2.4. Taxonomía del algodón.....	4
2.5. Descripción.....	4
2.6. Biología Reproductiva .....	4
2.7. Plagas.....	5
2.8. Enfermedades .....	7
2.9. Diseño de tratamientos San Cristóbal.....	7
2.10. Uso del agua en algodónero.....	8
2.11. Relación entre uso de agua y rendimiento en fibra de algodón .....	9
2.12. Eficiencia en uso de agua .....	10
2.13. Requerimiento de agua y nutrientes .....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1. Localización del sitio experimental .....	11
3.2. Características Físicoquímicas del suelo del área experimental .....	12
3.3. Datos del establecimiento del cultivo .....	12
3.4. Preparación del terreno .....	13
3.5. Siembra y fertilización.....	13

3.6.	Instalación del sistema de riego.....	13
3.7.	Muestreo de humedad del suelo y riego .....	14
3.8.	VARIABLES EVALUADAS.....	14
3.9.	Metodología de muestreo del suelo .....	15
3.9.1.	Muestreo gravimétrico.....	15
3.9.2.	Reflectometría (TDR) en el dominio temporal.....	17
3.10.	Diseño experimental y de tratamientos.....	18
3.11.	Factores de estudio en los tratamientos.....	19
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1.	Condiciones de humedad de los tratamientos en el campo.....	19
4.2.	Rendimiento de algodón en hueso .....	20
4.3.	Eficiencia en Uso de Agua de algodón en hueso $\text{kg m}^{-3}$ .....	21
4.4.	Relación entre rendimiento de algodón en hueso y régimen de humedad del suelo .....	22
4.5.	Relación entre rendimiento de algodón en hueso y consumo de agua.....	23
5.	CONCLUSIONES .....	24
6.	LITERATURA CITADA.....	25
7.	PÁGINAS WEB CITADAS.....	30
1.	ANEXO .....	31

## **RESUMEN**

El estudio se realizó en el campo experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera del INIFAP, en Gómez Palacio, Durango. La siembra del algodón fue el 23 de marzo del 2012. El objetivo fue determinar la función de respuesta del algodón a diferentes contenidos de humedad en el suelo. El experimento se estableció bajo un diseño experimental bloques al azar con cuatro repeticiones. Los siete tratamientos evaluados en campo, fueron resultado de un diseño de tratamientos incompleto "San Cristóbal" de dos factores y cuatro niveles de humedad en dos etapas fenológicas del cultivo: 40, 60, 80 y 100 % del abatimiento de la humedad aprovechable consumida del suelo (HAC) por el cultivo en ambas etapas, de siembra a inicio de floración y de inicio de floración a madurez fisiológica. El contenido de humedad del suelo fue monitoreado por reflectometría y gravimetría. Los resultados muestran que la más alta producción de algodón en hueso fue de 8.7 t ha<sup>-1</sup>, bajo 63 y 62 % del nivel de abatimiento de la humedad aprovechable (HAC) en la primera y segunda etapa de desarrollo del algodonero, con un consumo de 97 cm de agua. Los modelos obtenidos presentan un ajuste satisfactorio con un coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) de 89 a 94% que permite predecir la producción de algodón en hueso a diferentes niveles de abatimiento de humedad aprovechable con alta confiabilidad.

### **Palabras clave**

*Gossypium hirsutum* L., Función de producción, Reflectometría, Gravimetría, Lámina de agua consumida, Humedad Aprovechable Consumida, Eficiencia de agua.

## **ABSTRACT**

The study was conducted at the experimental station of the National Research Center Disciplinary Soil Water Plant Atmosphere Relationship, INIFAP at Gomez Palacio, Durango. Cotton was planted in March 23, 2012. The objective was to determine the production function of cotton to different soil moisture contents. The experiment was established under an experimental randomized complete block design with four replications. The seven treatments evaluated, were the result of an incomplete treatment design "San Cristobal" of twofactor and four levels of soil moisture depletion in two phenological stages: 40, 60, 80 and 100 % of the soil moisture available consumed(HAC) for the crop in two stages, planting to flowering and flowering initiation physiological maturity. The soil moisture was monitored in each treatment using reflectometry and gravimetry method.

The results showed that the highest cotton yield of  $8.7 \text{ t ha}^{-1}$  in the treatment at 63 and 62 % (HAC) in the first and second development stage of the cotton, consuming 97cm of water. The models obtained had excellent coefficient of determination ( $R^2$ ) adjustment of order from 89 to 94 %.

### **Key words**

Cotton, Production function, Reflectometry, Gravimetry, Consumed water, Soil available moisture depletion, WUE.

## 1. INTRODUCCIÓN

El algodón se originó a partir de plantas silvestres adaptadas a ambientes subtropicales y semiáridas, sin embargo, la selección intensiva ha reducido la variabilidad genética para la tolerancia a sequía, que ha hecho difícil mejorar más el potencial de rendimiento (*Rosenow et al., 1983*). El algodón se cultiva principalmente en la zona norte del país con una superficie total de 155,416.5 ha. Los estados con mayor producción son: Baja California, Chihuahua, Coahuila, Durango, Sinaloa, Sonora y Tamaulipas. La producción más importante la genera Chihuahua con 355,036.53 toneladas de las 668,661.90 toneladas generadas en el país anualmente (*SIAP-SAGARPA, 2012*).

En la Región Lagunera se ha cultivado desde hace más de 150 años. Su explotación en esta región se reporta desde antes de 1810. La superficie cultivada se ha visto disminuida de manera considerable en los últimos años, debido a diversos factores. Se ha sembrado en una superficie superior a 90 mil ha en 1962. Esta superficie, actualmente se ha reducido hasta 20,110 ha, por problemas de escasez de agua, incidencia de plagas, enfermedades y altos costos de cultivo (*SIAP, 2013*). El Algodón es el cultivo de fibra natural más importante del mundo. Independientemente de si se riega o no, el algodón a menudo está expuesto a sequía, que afecta adversamente el rendimiento y calidad de la fibra (*Pettigrew, 2004*). La sequía inducida por el suelo y / o déficit de agua de la atmósfera, constituye la limitante más importante del medio ambiente para la supervivencia de la planta y productividad de los cultivos (*Boyer, 1982*). Debido al aumento de la aridez y crecimiento de la población, se espera que en un futuro cercano se agudizará la escasez de agua (*Chaves et al., 2003*). Debido a esto, se requiere una comprensión global de los mecanismos fisiológicos, respuestas al estrés hídrico y genéticos subyacentes o adaptación de las plantas del algodón para hacer frente a estos próximos retos.

La Región Lagunera depende del agua captada en las dos presas existentes y del agua milenaria del subsuelo, por tener un clima árido y semiárido, tiene como principal factor limitante, la disponibilidad de agua para la producción de los cultivos. Dentro de las estrategias para solventar este problema se tiene el incremento de la eficiencia en uso del agua, esto incluye el manejo del agua desde la fuente de abastecimiento hasta su aplicación al cultivo.

### **1.1. Objetivos**

Determinar la función de respuesta del algodón a diferentes niveles de abatimiento de la humedad aprovechable del suelo.

### **1.2. Hipótesis**

La producción de algodón es afectada por la disponibilidad de agua en el suelo.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Importancia del Algodón (*Gossypium hirsutum* L.)**

Es el cultivo de fibra de mayor importancia y es el segundo cultivo de mayor relevancia de semilla oleaginosa, (*Myers D., 1999*). El producto principal es la fibra, hebras que cubren la semilla dentro de la capsula, proporcionan una fuente de fibra de alta calidad a la industria textil. La semilla de algodón, subproducto obtenido de la fibra, es una fuente importante de aceite y proteína substancial para la producción de alimentos para el ganado. Los desechos producidos pueden ser utilizados como fertilizantes, y la celulosa de los tallos pueden ser utilizados para elaborar productos como papel y cartón (*Freeland et al., 2006*).

### **2.2. Producción Mundial de Algodón**

El algodón es cultivado en más de 80 países y se estima que aproximadamente 2.4% del área cultivable en el mundo está destinado para el algodón. Las áreas específicas de producción incluyen países como Estados Unidos, India, China, México, Sudamérica, El Medio Oriente y Australia (*Blaise, 2006*). En promedio, la producción anual de algodón en el periodo 2005-2006 fue de 24.9 Mega toneladas (Mt), mientras que la predicción para el periodo 2007-2008 fue de 25.4 Mt; y se pronostica una producción de 28.0 Mt para el periodo 2011-2012 (*Wood et al., 2007*). De esta producción mundial, Estados Unidos, China y la India juntos proporcionan la mitad del algodón (57.7%). China es el principal productor (25.7%). Estados Unidos el principal exportador mundial de algodón (36.3%), seguido de Uzbekistán y Australia. En Sudamérica destaca Brasil con un 4.2%.

### **2.3. Origen del algodón (*Gossypium hirsutum* L.)**

El centro de origen para *G. hirsutum* en América Central y México, mientras que el posible centro de domesticación se localiza en el sureste de México,

probablemente en la península de Yucatán durante el periodo precolombino (*Brubaker y Wendel, 1994*). La dispersión de estas formas de algodón al resto de Mesoamérica y Sudamérica presenta evidencia de que la población paso por un evento de cuello de botella, durante el cual se redujo la variabilidad genética como consecuencia de la presión de selección por la domesticación. Los genotipos seleccionados, con amplia similitud a las variedades actuales, comprenden reducción en la latencia de la semilla, hábito de crecimiento anual y fotoperiodo independiente de la floración (*Iqbal et al., 2001*).

## **2.4. Taxonomía del algodón**

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Género: *Gossypium*L. 1753

Especie: *hirsutum*L. 1763

(*Cronquist, A. 1981*)

## **2.5. Descripción**

El algodón es un cultivo anual que se desarrolla a cielo abierto. El desarrollo de la planta pasa por cinco etapas de crecimiento: germinación, emergencia, desarrollo de hojas secundarias, floración y maduración (*Freeland et al., 2006*). *G. hirsutum*, arbusto perenne que en condiciones comerciales, las plantas crecen aproximadamente de 1 a 1.5 metros de longitud, y son plantas anuales que se destruyen después de la cosecha.

## **2.6. Biología Reproductiva**

La reproducción en algodón es de manera sexual tanto por autogamia (autofecundación) como por alogamia (fecundación cruzada), siendo este último, el mecanismo más común (*McGregor, 1976*). El algodón presenta flores hermafroditas con androceo y gineceo en la misma flor (*Fryxell, 1993*). Uno de los mecanismos de fecundación en algodón es la autopolinización, y se lleva acabo

cuando no existen los polinizadores adecuados. Los nectarios de la flor son una atracción olfatoria para los visitantes, debido a ello, el índice de visitantes en las flores favorece la fecundación cruzada, por ende la variabilidad genética y nuevas combinaciones alélicas dentro de la especie (*McGregor, 1976*).

La formación de cuadros o botones florales empieza aproximadamente a 5 semanas después de la siembra, aproximadamente 25 días después de la aparición de los botones se presenta la antesis (*Ritchie et al., 2009*). Capsula de 2.5 – 5.0 cm de largo, generalmente estrechamente elongadas, glabras (no presentan pubescencia en hojas), prominentemente foveolada (presentan pequeños hoyuelos). Capsulas con dehiscencia loculicida (*Fryxell, 1993*). La fructificación termina entre 3 y 4 meses de iniciada la germinación, el fruto se abre y expone la semilla junto a las fibras asociadas (*Monografías: Algodón; InfoAgro: Algodón*).

## **2.7. Plagas**

La mayor parte de los insectos que se encuentran en el cultivo de algodón, son alrededor de 1,326 especies en todo el mundo y forman parte natural de este agro-ecosistema. Sólo una pequeña proporción de insectos son considerados plagas, las cuales causan un detrimento importante en el rendimiento de este cultivo. El tipo y número de plagas presentes depende de varios factores como: el clima, la estación y el esta do fenológico del cultivo, principalmente. Estos factores en su conjunto determinan la susceptibilidad de la planta a cada tipo de plaga, el control de plagas implica un alto impacto en los costos del cultivo dado que requiere de repetidas aplicaciones de insecticidas. Además del impacto en los costos de cultivo, las plagas de artrópodos pueden afectar la producción de cápsulas y la calidad de fibra. Las plagas de mayor impacto para el cultivo de algodón se resumen en el Cuadro 1, (*Polak et al., 2005*).

**Cuadro 1: Plagas del cultivo del algodón**

<b>Nombre Científico</b>	<b>Nombre Común</b>	<b>Estadio Fenológico</b>	<b>Daño</b>
Coleóptera		Plántula	A yemas terminales.
Curculionidae	Picudo del		A botones florales.
Anthonomus	algodonero	Reproductivo	Capsulas y calidad de fibra
<u>grandis</u>			
Hemíptera	Chinche	Vegetativo	Caída y malformación de
Pirrhocoridae	manchadora	Reproductivo	capsulas, apertura defec-
Dysdercus spp.			-toso de frutos, manchas
<u>en la fibra.</u>			
Helliothis	Gusano	Reproductivo	Perforaciones circular en
Virescens	bellotero		cápsulas, con penetración
Heliothis zea			total o parcial de las larvas.
<u>Lepidóptera</u>			
Pectinophora	Gusano	Reproductivo	Daño a cápsulas y semillas
gossypiella	rosado		Daño en hojas, se alimenta
Tetranychus	Araña	Vegetativo	de la savia provocando la
<u>Urticae</u>	roja		<u>senescencia de las hojas</u>
Tetranychidae	Pulgón del	Vegetativo	Se alimentan de la savia y
Aphis gossypii	algodón	Reproductivo	produce una sustancia pro-
Hemiptera			vocando la obstrucción de
<u>los estomas dificultando la</u>			
<u>respiración. (P1).</u>			
Bemisia tabaci	Mosca	Vegetativo	(P1) Provoca manchas a la
Homoptera	blanca	Reproductivo	fibras. Es precursora de
<u>enfermedades virales.</u>			
Thrips	Trips		
angusticeps/ T.			
tabaci			
<u>Agrotis segetum</u>	<u>Gusano gris</u>		

(Polak et al., 2005; Delattre, 1992).

## **2.8. Enfermedades**

La enfermedad de mayor impacto en el algodón es ocasionada por el hongo *Verticillium dahliae*. Otras enfermedades son ocasionadas por los hongos *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, *Thielaviopsis basicola* y *Fusarium* spp. Además existe un número importante de hongos que también son considerados patógenos en el cultivo de algodón, ya sea como agentes primarios o como invasores secundarios. La bacteria *Xanthomonas campestris* ocasiona una enfermedad conocida como mancha angular del algodón. Esta se presenta con mayor frecuencia después de un periodo de lluvia intenso, afectando todas las áreas de la planta y cualquier etapa de desarrollo. En las hojas de la planta adulta, las manchas son de forma angular y rodean las nervaduras. Infecciones agudas pueden producir defoliación extrema. Algunos virus como: geminivirus de mosaico del abutilon, geminivirus de las hojas rugosas del algodón, geminivirus de hojas enrolladas del algodón, (AGBIOS, 2013).

La viruela es una enfermedad causada por un hongo que se hospeda en los zacates Navajita y Agujita, puede afectar al algodoneo en cualquier etapa de su ciclo, siendo más grave en la época de lluvia, los síntomas de la enfermedad aparecen 7 días después de la infección y puede observarse pequeños puntos de color amarillo crema del tamaño de una cabeza de alfiler, en hojas, cuadros y bellotas, los que a medida que pasa el tiempo aumentan su tamaño y cambian de color a un amarillo-naranja, alcanzando hasta 1 cm de diámetro entre los 12 a 15 días después de la infección. La manera más eficaz de prevenir la enfermedad es eliminando los pastos Agujita y Navajita, (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos., INIFAP, 1991).

## **2.9. Diseño de tratamientos San Cristóbal**

Dentro de los diseños de tratamientos empleados en la investigación, el uso de diseños factoriales es más conveniente, debido a que permite determinar la existencia y significancia de interacciones entre los factores de variación, que dan mayor información que los efectos simples de los mismos.

Los factoriales completos tienen el inconveniente de que al aumentar los factores de variación y los niveles de cada factor, el número de tratamientos aumenta considerablemente, volviendo a veces costosa e impráctica la realización de un experimento; por ello se idearon los factoriales incompletos, en los que solo se incluye una parte, estratégicamente seleccionada, del factorial completo, a cuyo conjunto de tratamientos se le conoce como matriz de tratamientos (*Muñoz, 1974*).

El diseño de tratamientos San Cristóbal es un diseño compuesto central modificado (*Basilio. Rojas 1962*), con fines de lograr una gran reducción de los tratamientos de un diseño factorial, para un experimento de dos factores con cuatro niveles igualmente espaciados, constituyen un factorial  $4^2$ , el diseño San Cristóbal reduce los 16 tratamientos a 7, Figura 2., (*Rojas 1981 y Martínez 1996*).

## **2.10. Uso del agua en algodónero**

En la comarca lagunera, se encontró que las variedades precoces requieren de tres riegos para que no sea afectado su potencial productivo, puesto que dos riegos reducen la producción en 17% (*Palomo y Godoy, 1994b*). El irrigar con el 100 % de evapotranspiración máxima con goteo, produjo 43.1% más rendimiento de algodón en hueso, y un ahorro del 26.9 % de agua, con respecto al utilizar riego por surcos (*Singh et al., 2010*). El riego por goteo alterno, presentó perfiles más secos y valores de conductancia estomática más bajos que el riego por goteo convencional, para el mismo nivel de riego. Sin embargo, se obtuvieron rendimientos similares, eficiencia en uso de agua más alta y ahorró de 32% del agua de riego con este método, comparado con el goteo convencional (*Du et al., 2008*).

En algodónero, para producir 1.2, 0.78 y 0.27 t ha<sup>-1</sup> de fibra en promedio, requiere un consumo hídrico de 60, 46.5 y 22 cm respectivamente. Una floración y fructificación en intervalo de tiempo, puede permitir que las plantas de algodón se recuperen de tensiones transitorias, cuando una planta de algodón se somete a estrés, debe particionar sus recursos limitados de carbohidratos para asegurar la

producción de fruto, significa que la característica de madurez del cultivo y tasa de riego pueden afectar la producción y retención de bellota (*Jenkins et al., 1990*).

El estrés hídrico en algodón se asocia con la disminución de biomasa, menor producción de nudos, mayor tasa de maduración del cultivo y cambios en la distribución de las bellotas. El rendimiento de algodón está vinculado a la cantidad de bellotas que la planta produce, tamaño de la bellota y porcentaje de fibra (*Ritchie et al., 2009*). El crecimiento del algodón, rendimiento y calidad se ven alterados por la prolongación del déficit de humedad (*Dağdelen et al., 2009, Pettigrew., 2004*). En riego por goteo, produjo más bellota en la base de la planta y un menor número de bellotas en la parte superior comparado con el riego por aspersión. Sin embargo, los rendimientos fueron más altos para el riego por goteo en comparación con el riego por aspersión (*Ritchie et al., 2009*). El mayor rendimiento de algodón en hueso fue de  $3,450 \text{ kg ha}^{-1}$  se obtuvo bajo riego por surcos (*Anac et al., 1999*).

El mayor rendimiento de algodón en hueso  $5,870 \text{ kg ha}^{-1}$  se obtuvo en riego completo (100%) con intervalo de riego de 6 días, seguido por  $5,849 \text{ kg ha}^{-1}$  para el intervalo de riego de 3 días utilizando riego por goteo (*Yazar et al., 2002*). Los rendimientos de algodón en hueso fueron de  $3,180$  hasta  $4,030 \text{ kg ha}^{-1}$  bajo riego por goteo (*Cetin et al., 1994*). En el riego por goteo se permitió que el contenido de agua del suelo se agotara a 60% para mantener la productividad óptima en un suelo franco arcilloso (*Yazar et al., 2002*).

### **2.11. Relación entre uso de agua y rendimiento en fibra de algodón**

El mayor rendimiento de  $1500 \text{ kg ha}^{-1}$  de fibra, se obtuvo con 74 cm de agua distribuidos de siembra a maduración del algodón, con una Eficiencia en uso de agua de  $0.114 \text{ kg m}^{-3}$  (*Wanjura et al., 2002*). La eficiencia en uso de agua fue 30% mayor en riego por goteo, lo que indica una ventaja definitiva de este método en el suministro de agua (*Mateos et al., 1991*).

La eficiencia en uso de agua de este cultivo al irrigarse con goteo sub-superficial, fue 19% más alta que el sistema de riego por aspersión. El rendimiento de fibra obtenido con riego sub-superficial fue 15% mayor, con 7.5 cm menos agua que con aspersión (*Whitaker et al., 2008*). El rendimiento en fibra de algodón osciló entre 2,610 a 3,640 kg / ha en riego por surcos inundados, 850 a 3,380 kg / ha en riego por aspersión, y desde 2,070 hasta 4,900 kg / ha en riego por goteo (*Cetin O., 2002*).

### **2.12. Eficiencia en uso de agua**

La eficiencia en uso de agua (EUA) en algodónero, varió de 0,77 a 0,96  $\text{m}^{-3}$  en dos años de estudio. La EUA para el tratamiento con 25 % de abatimiento de humedad aprovechable fue más grande, mientras que para el tratamiento con 100 % de abatimiento de humedad aprovechable fue más pequeño en dos años de estudio. En general, los valores de EUA disminuyeron cuando el uso del agua incrementó. Los valores de EUA fueron diferentes a los de otros investigadores en diferentes regiones. Sin embargo, los valores de EUA bajo sistema de riego por goteo fueron mayores que los valores de EUA bajo un sistema de riego por surcos (*Sezgin et al., 2001; Dağdelen et al., 2006*). El rendimiento máximo fue obtenido por surcos inundados y la máxima eficiencia de uso del agua (EUA) se obtuvo mediante el riego por surcos alternos. El uso eficiente del agua más bajo se encontró para el riego por aspersión (*Kanber et al. 1997*).

### **2.13. Requerimiento de agua y nutrientes**

Un cultivo convencional con fertilización de 550  $\text{kg ha}^{-1}$  (Urea; 300 kg, MAP; 150 kg, Sulfato de Potasio; 100 kg), extrae del suelo aproximadamente 40 kg de N, 16 kg P y 17 kg de K. La mayor necesidad de nutrientes para el algodón se da en los primeros 60 días después de la siembra. Una provisión excesiva de N reduce la capacidad de resistencia a insectos y retrasa la maduración del algodón (*Fritschi et al., 2003*). La aportación de niveles óptimos de agua, está directamente relacionada con un desarrollo favorable en el crecimiento vegetativo de la planta,

floración, producción de bellotas y rendimiento, se requieren al menos 500 mm de agua (McWilliams, 2003).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización del sitio experimental

Este estudio se realizó en el campo experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID RASPA INIFAP), ubicado en Gómez Palacio, Durango(Figura 1). El clima de la región es desértico, árido, con precipitación promedio anual de 250 mm, evaporación media anual de 2600 mm y temperatura media anual de 22°C. La lluvia es en verano, con lluvia invernal que representa de 5 a 10.2% del total anual. Previo al trabajo, se realizó un análisis del suelo para determinar sus propiedades físicas y químicas. Los resultados ubican el suelo en la serie Coyote la más representativa de la región. Suelo profundo, Franco arcillo limoso a franco arcilloso. Las características físico químicas del suelo más importantes se muestran en el Cuadro 2 y 3. La calidad del agua utilizada en el estudio se clasifica como: C<sub>1</sub>S<sub>1</sub>, baja en contenido de sales y sodio (Richards, 1977).

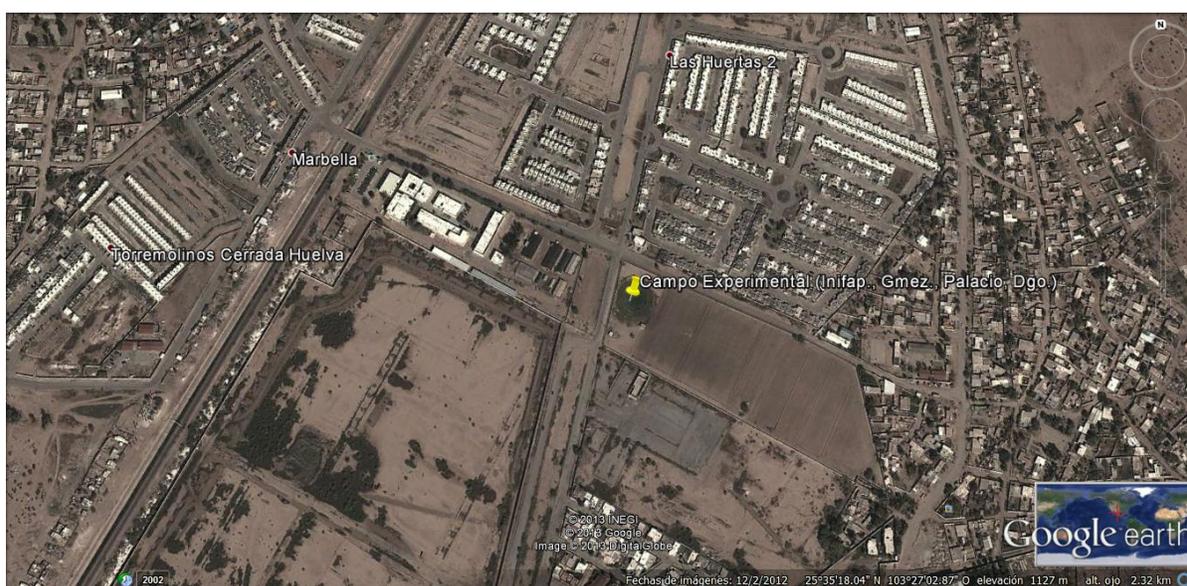


Figura 1: Campo experimental del CENID RASPA INIFAP

### 3.2. Características Fisicoquímicas del suelo del área experimental

**Cuadro 2. Características físicas del suelo**

Prof. (cm)	MO (%)	Arena (%)	Limo (%)	arcilla (%)	Textura	CC (%)	PMP (%)	Da (g cm- 3)
0-30	1.08	38.0	38.0	24.0	Franco arcilloso	30.6	15.9	1.3
30-60	0.67	38.0	38.0	24.0	Franco arcilloso	30.0	14.7	1.2
60-90	0.33	41.4	35.4	23.2	Franco	29.3	14.4	1.3

MO = Materia orgánica; CC = Capacidad de campo; PMP = Punto de marchitez permanente; Da = Densidad aparente.

**Cuadro 3. Características químicas del suelo**

Prof. (cm)	NO3 (mg kg-1)	P (mg kg-1)	K (mg kg- 1)	CO3 (%)	Ce (dS m-1)	PSI (%)	RAS (%)
0-30	5.50	12.0	1648.0	5.30	0.67	1.79	2.09
30-60	31.50	9.0	1848.0	6.80	1.20	1.76	2.07
60-90	11.00	24.0	1131.0	8.66	1.84	2.48	2.58

NO3 = Nitratos; P = Fósforo disponible; K = Potasio disponible; CO3 = Carbonatos totales; Ce = Conductividad eléctrica; PSI = Porcentaje de sodio intercambiable; RAS = Relación de adsorción de sodio.

### 3.3. Datos del establecimiento del cultivo

- La Variedad de algodón utilizada fue la *FM 1740 B2RF de Bayer.*: Variedad Australiana que cuenta con 2 genes de bollgard, que les confiere tolerancia a lepidópteros así como tolerante al herbicida FAENA (Glifosato).
- Fertilizante 130-80-00.

### **3.4. Preparación del terreno**

Con la finalidad de tener una buena preparación del terreno, y de las mejores condiciones para el del cultivo, se efectuó un barbecho profundo, rastreo cruzado y una nivelación láser. Lo importante de estas prácticas fue alcanzar un grado aceptable de uniformidad del relieve del terreno experimental con el objetivo de lograr una alta eficiencia de distribución del riego y por consecuencia una aceptable uniformidad en el desarrollo del cultivo. Posterior a esto se realizó el trazo del experimento y delimitación de las parcelas experimentales de cada uno de los tratamientos.

### **3.5. Siembra y fertilización**

La siembra se realizó el 23 de marzo del 2012 utilizando la variedad transgénica, *FM 1740 B2RF de Bayer*. Contiene 2 genes de bollgard, que les confiere tolerancia a lepidópteros así como tolerante al herbicida FAENA (Glifosato) de maduración precoz intermedia, de porte medio y ligeramente arbustivo. Se sembró a surco sencillo con separación de 76 cm entre sí. La separación entre plantas fue 10 cm para una población de 130,000 plantas por ha, aproximadamente. La fertilización se realizó utilizando la fórmula 130N 80P 00K. Se aplicó la totalidad de la dosis de nitrógeno (Urea) y del fosforo (superfosfato triple) al momento de la siembra.

### **3.6. Instalación del sistema de riego**

En la irrigación del área experimental, se instaló una red de distribución de agua en base a la instalación de tubería de presión, esto desde la fuente de abastecimiento hasta el área experimental. La tubería de conducción instalada en el área experimental fue de un diámetro de seis pulgadas, incluyendo la adaptación de hidrantes en el tubo a una distancia de 36 m entre estos para la conexión de tubería de compuertas para el riego de las melgas colindantes al área experimental. Con el fin de aplicar el volumen requerido para cada una de las

parcelas experimentales y para cada tratamiento, se instaló tubería de 38.1 mm de diámetro con conexiones a lo largo del área experimental para la unión de manguera flexible y de esta manera llevar el agua de riego a cada una de las parcelas experimentales. Para controlar la cantidad de agua aplicada a cada uno de los tratamientos ensayados, se instaló un medidor volumétrico previamente calibrado. Este medidor fue conectado al final de la manguera mencionada, para la aplicación del volumen de agua consumido por cada uno de los tratamientos.

### **3.7. Muestreo de humedad del suelo y riego**

En el buen control del contenido de humedad del suelo se realizaron muestreos de forma continua durante el ciclo vegetativo del algodón. Al inicio del experimento, se realizó un muestreo de humedad del suelo y así conocer el contenido de humedad y en base a esto aplicar el riego de pre-siembra. De la misma manera, fueron realizados muestreos continuos en los tratamientos para conocer su contenido de humedad. Lo anterior se realizó durante la duración u operación del experimento con el fin de monitorear el abatimiento de humedad del suelo en cada uno de los tratamientos y con esto conocer si se alcanzaba el nivel de humedad prefijado para cada uno de ellos y poder aplicar o reponer la humedad consumida por el cultivo y llevarla a capacidad de campo en el perfil de suelo de 0 a 90 cm. Utilizando el TDR y la barrena tipo vehimeyer, el tamaño de muestra para el segundo método de humedad, fue de aproximadamente 150 gr.

### **3.8. Variables Evaluadas**

- Humedad Aprovechable Consumida -  $HAC_1$  % (Ecuación 1)
- Humedad Aprovechable Consumida -  $HAC_2$  % (Ecuación 1)
- Lámina de Agua Consumida - cm (Ecuación 4)
- Rendimiento de algodón en hueso-  $\text{ton ha}^{-1}$  (Ecuación 8)
- (EUA) Rendimiento de algodón en hueso con relación al agua consumida-  $\text{kg m}^{-3}$  (Ecuación 9)

Humedad aprovechable consumida: Es una relación entre el abatimiento de la humedad en un momento dado, con respecto a la humedad a la humedad aprovechable entre capacidad de campo y el punto de marchitez permanente del suelo. Es la humedad aprovechable, que un suelo puede retener de acuerdo a sus propiedades físicas, puede ser calculado mediante la siguiente ecuación (1).

$$HAC_i = \frac{P_{s_{CC}} - P_{s_i}}{P_{s_{CC}} - P_{s_{PMP}}} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

$HAC_i$  = Humedad aprovechable consumida al momento del muestreo i, (%)

$P_{s_{CC}}$  = Contenido de humedad del suelo a capacidad de campo(%)

$P_{s_{PMP}}$  = Contenido de humedad del suelo a punto de marchitez permanente(%)

$P_{s_i}$  = Contenido de humedad en el suelo al momento del muestreo i (%)

Nota:  $P_{s_{CC}}$  y  $P_{s_{PMP}}$  se determinaron en la olla o membrana de presión en laboratorio.

### **3.9. Metodología de muestreo del suelo**

#### **3.9.1. Muestreo gravimétrico**

Se realizó un muestreo general con 3 repeticiones; al inicio, al final de cada etapa y al finalizar el experimento, a una profundidad de 120 cm. Muestreando con la frecuencia que cada tratamiento lo ameritó. Por ejemplo; el tratamiento 40 % de la etapa 1, se muestreo entre los 5, 6 ó 7 días, el tratamiento 100 % de la etapa 1 se muestreo cada 2 ó 3 semanasCuadro5, la variabilidad dependió de las condiciones climáticas y tipo de suelo.

El muestreo se realizó dentro de la parcela útil entre la hilera de plantas. Las muestras se colocaron en la estufa por 24 horas y a una temperatura de 110 °C para llevarlo a peso constante. Se utilizó la ecuación 2 para su cálculo.

$$P_s = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} * 100 \quad (2)$$

Dónde:

$P_s$  = Contenido de humedad en el suelo (%)

$P_{sh}$ =Peso de suelo húmedo (gm)

$P_{ss}$ = Peso de suelo seco (gm)

Para determinar el nivel de batimiento de la humedad aprovechable en cada tratamiento, fue necesario calcular el contenido de humedad en el suelo ( $P_s$ ) para determinar cuándo regar a un determinado tratamiento. Esto fue calculado despejando la ecuación 1, la variable  $P_s$ .

Para facilitar los cálculos se realizaron en una hoja de Excel. La Humedad Aprovechable Consumida ( $HAC_i$ ) se calculó mediante la ecuación 3.

$$HAC_i = \frac{L_{c_j}}{L_{a_j}} \quad (3)$$

Dónde:

$HAC_i$  = Humedad aprovechable consumida, al momento del muestreo  $i$ , (%)

$L_{c_j}$  = Contenido de humedad, expresado en lámina consumida, en la capa  $j$ (cm). Ecuación 4.

$$L_{c_j} = (CC_j - p_{s_j}) * d_{a_j} * p_{r_j} \quad (4)$$

$L_{a_j}$  = Contenido de humedad aprovechable máxima expresada en lámina, en la capa  $j$  (cm). Ecuación 5.

$$L_{a_j} = (CC_j - PMP_j) * D_a * P_{r_j} \quad (5)$$

$n$  = No. Capas de suelo donde existe consumo.

Una vez obtenida la lámina consumida en base al muestreo gravimétrico, esta se aplicó a la parcela una manguera de volumen conocido (conocer su gasto con un medidor volumétrico). El volumen se calculó en base a la lámina necesaria para reponer a CC el perfil de suelo explorado por las raíces:

$$V = L_c (m) * \text{Área} (m^2) = m^3 \quad (6)$$

Una vez que se obtuvo el volumen a aplicar a la parcela experimental se calculó el tiempo de riego.

$$Tiempo\ de\ riego = \frac{Volumen\ (m^3)}{Gasto\ (m^3/min)} = min(7)$$

### **3.9.2. Reflectometría (TDR) en el dominio temporal**

La calibración del TDR se realizó en forma paralela, en un experimento de algodón con siete tratamientos, que consistió en evaluar la respuesta del algodón al porcentaje de la humedad aprovechable del suelo, en los niveles de 40, 60, 80 y 100 % en dos etapas fenológicas del algodón. Se instaló un tubo de acceso PVC de 5 cm de diámetro y 150 cm de largo por tratamiento en una repetición. Otro tubo fue instalado en la periferia del campo del área experimental bajo condiciones extremadamente secas y sin riego, con fin de obtener datos fuera del rango de la humedad aprovechable de los cultivos. Durante la conducción del experimento se realizó el monitoreo del contenido de humedad en el suelo para los diferentes tratamientos de riego, en forma paralela con ambos métodos, el gravimétrico y el TDR.

La toma de lecturas con el TDR, se realizó al introducir la sonda dentro del tubo PVC hasta la primera profundidad de muestreo (30 cm). Se tomaron tres lecturas, dándole vuelta 120 grados después de cada lectura individual, con el fin de obtener un promedio más representativo por profundidad. En forma similar, se muestrearon las siguientes profundidades (60 y 90 cm) en el mismo tubo de acceso. Al mismo tiempo del muestreo con el TDR se realizó el gravimétrico.

Se utilizó la barrena vehimeyer, con un tamaño de muestra de suelo de aproximadamente 60 cm. Este se efectuó con dos pozos por tratamiento, dos o tres veces a la semana y cercano a los tubos de acceso (a un metro de diámetro en forma aproximada). Se muestrearon los tratamientos de acuerdo a su nivel de contenido de humedad en el suelo. Se determinó un promedio de humedad

volumétrica por profundidad (0-30, 30-60 y 60-90 cm) usando los valores del % de humedad multiplicada por su correspondiente densidad aparente.

El intervalo de profundidad del muestreo gravimétrico coincidió con el intervalo de medición del TDR, cuyas lecturas se tomaron justo antes de las muestras gravimétricas. Los muestreos tuvieron el doble propósito de observar puntos para la calibración del TDR y monitoreo de la humedad aprovechable del experimento.

### 3.10. Diseño experimental y de tratamientos

El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar y un diseño de tratamientos San Cristóbal de dos factores, Figura 2. En el cual se eligieron solo siete tratamientos en forma estratégica de un total de 16 combinaciones del original 4x4. De acuerdo al diseño de tratamientos las combinaciones evaluadas en el campo fueron siete diferentes niveles de abatimiento de la humedad aprovechable en el suelo en los primeros 90 cm de profundidad radicular del cultivo. Los tratamientos fueron distribuidos de manera aleatoria en el campo. A cada parcela o unidad experimental se le asignó una superficie de 20 m<sup>2</sup> (4 de ancho por 5 de largo).

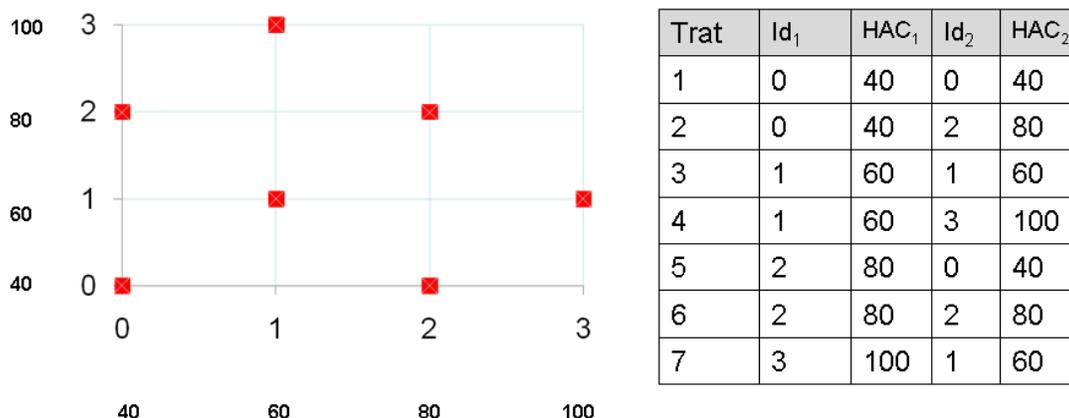


Figura 2. Elección de tratamientos para el cultivo de algodón

### 3.11. Factores de estudio en los tratamientos

El trabajo consistió en estudiar dos factores, Cuadro 4. El primer factor fue la variación del régimen de humedad del suelo en la etapa 1 (de emergencia a inicio de floración). El segundo factor fue la variación del régimen de humedad del suelo en la etapa 2 (de inicio de floración a madurez fisiológica del algodón). Los niveles de abatimiento de la humedad aprovechable estudiados en la primera etapa ( $HAC_1$ ), de emergencia a inicio de floración fueron: 40, 60, 80, 100 %. Similarmente para la segunda etapa ( $HAC_2$ ), de inicio de floración a madurez fisiológica del grano, se evaluaron los mismos niveles de abatimiento de la humedad aprovechable.

**Cuadro 4. Abatimiento de humedad aprovechable del suelo en los tratamientos de algodónero.**

Tratamiento	Etapa 1, de emergencia a inicio de floración ( $HAC_1$ , %)	Etapa 2, de inicio de floración a madurez fisiológica ( $HAC_2$ , %)
1	40	40
2	40	80
3	60	60
4	60	100
5	80	40
6	80	80
7	100	60

$HAC_1$  = Humedad aprovechable consumida en la etapa 1 (%);  $HAC_2$  = Humedad aprovechable consumida en la etapa 2 (%)

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Condiciones de humedad de los tratamientos en el campo

En el Cuadro 5 se presentan los valores promedio del régimen de humedad y lámina consumida a los que fueron sometidos los diferentes tratamientos del cultivo del Algodón. El rango del contenido de la humedad aprovechable

consumida fluctuó de 42 % en la etapa de siembra a inicio de floración en el tratamiento 40-40 y el 40-80, de condiciones de humedad no restrictivas, a altamente restrictivas de humedad, del orden del 100 % de la HAC, tanto para el tratamiento 100-60, para la primera etapa, como el 60-100, en la segunda etapa del algodón. Para el caso de la lámina consumida por el algodón, el mayor consumo de 64 en la primera etapa, se presentó en el tratamiento 40-40 de condiciones más húmedas que el resto, el menor consumo de 29 cm, se mostró en el tratamiento 100-60 de bajo contenido de humedad en la etapa vegetativa del algodón.

**Cuadro 5. Rendimiento y Eficiencia en uso de agua a diferentes abatimientos de humedad aprovechable consumida por el algodón**

Tratamiento	HAC <sub>1</sub> (%)	HAC <sub>2</sub> (%)	LC <sub>1</sub> (cm)	LC <sub>2</sub> (cm)	R (t ha <sup>-1</sup> )	EUA (kg m <sup>-3</sup> )
40-40	42	44	64	52	8.21	0.707
40-80	42	82	64	37	6.19	0.612
60-60	63	62	53	44	8.67	0.897
60-100	63	100	53	34	5.30	0.610
80-40	81	44	41	52	7.14	0.767
80-80	81	82	41	37	7.37	0.945
100-60	99	62	29	42	5.89	0.830

HAC<sub>1</sub> y HAC<sub>2</sub> = Humedad aprovechable consumida en las dos etapas del algodón; LC<sub>1</sub> y LC<sub>2</sub> = Lamina consumida en las dos etapas estudiadas; R= Rendimiento de grano del algodón; EUA= Eficiencia de uso del agua.

## 4.2. Rendimiento de algodón en hueso

El rendimiento de algodón en hueso (t ha<sup>-1</sup>) por tratamientos y repetición, bajo los diferentes niveles de abatimiento de humedad aprovechable se presenta en el Cuadro 5. El análisis de varianza Cuadro9,mostró diferencia altamente significativa entre tratamientos ( $\alpha = 0.01$ ). El abatimiento de humedad aprovechable en el tratamiento 60-60 presentó el mayor rendimiento con 8.7 t ha<sup>-1</sup>,el resultado fue igual estadísticamente al tratamiento 40-40,siendo ambos significativamente superior al resto de los tratamientos ( $\alpha = 0.05$ ).

El mayor rendimiento se obtuvo al aplicar el riego en el cultivo a 63 % en la etapa 1 y 62% en la etapa 2, de humedad aprovechable del suelo, se aplicó el riego cuando en el suelo se presentó una tensión de -0.48 y -0.461 MPa en la primer y segunda etapa del cultivo, respectivamente, rendimiento que concuerdan con los obtenidos por *Singh et al., 2010*.

Los rendimientos más bajos se obtuvieron en los tratamientos 60-100 y 100-60, con un rendimiento de 5.30 y 5.89 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La planta en ambos tratamientos creció bajo condiciones de estrés hídrico cerca al punto de marchitez permanente en alguna de sus etapas evaluadas. Tratamientos que resultaron ser estadísticamente inferiores en rendimiento de algodón en hueso con respecto al resto de los tratamientos, pero iguales entre sí, Cuadro 5. Lo anterior permite observar que los resultados muestran una respuesta no lineal de rendimiento bajo diferentes niveles de abatimiento de humedad aprovechable, teniendo un efecto negativo sobre el rendimiento.

#### **4.3. Eficiencia en Uso de Agua de algodón en hueso kg m<sup>-3</sup>**

La eficiencia en uso de agua (EUA) promedio varió de 0.707 a 0.830 kg m<sup>-3</sup> en los diferentes niveles de abatimiento de la humedad aprovechable. La EUA más grande se presentó en el tratamiento 80-80 con un valor de 0.945 kg m<sup>-3</sup>, seguido del tratamiento 60-60 con 0.897 kg m<sup>-3</sup>. La mayor EUA se presentó al aplicar 41 cm de lámina en la etapa vegetativa y 37 cm de lámina en la etapa reproductiva, Cuadro 5. La EUA en los tratamientos 40-80 y 60-100 resultaron igual estadísticamente, siendo los valores más bajos de acuerdo al análisis de comparación de medias que se muestra en el Cuadro 5 para esta variable respuesta. En ambos tratamientos se obtuvieron los rendimientos más bajos con un consumo de agua total de 101 y 87 cm, respectivamente. Como consecuencia se obtuvo una respuesta no lineal y por ende un efecto negativo sobre la EUA en los tratamientos.

#### 4.4. Relación entre rendimiento de algodón en hueso y régimen de humedad del suelo

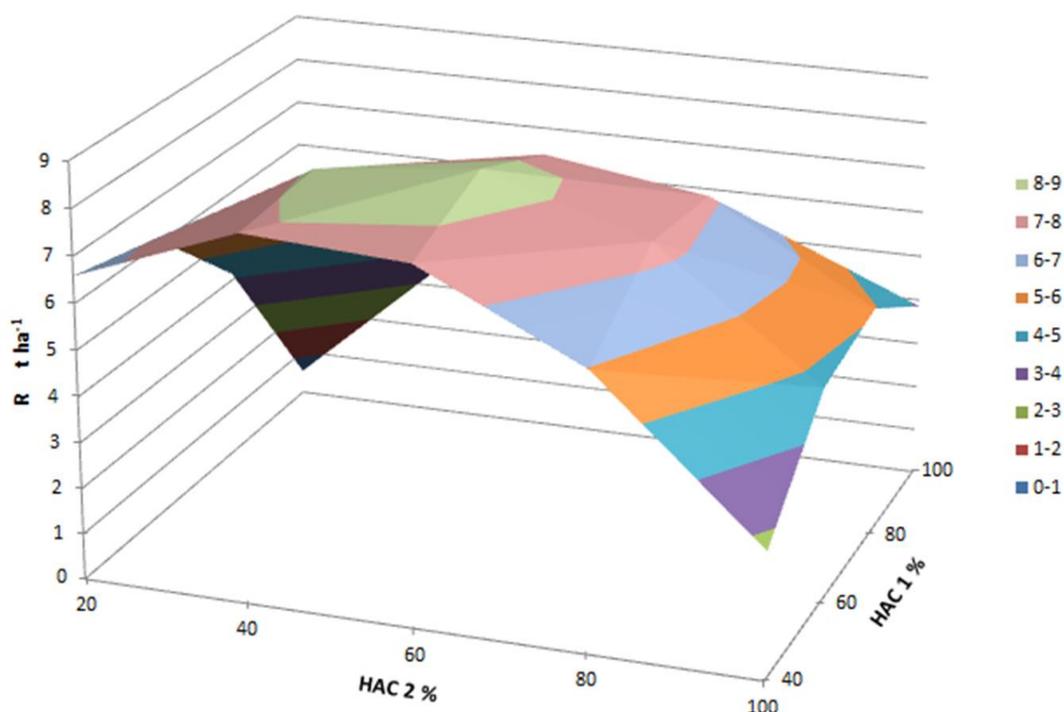
A través de análisis de regresión, se ajustaron los datos observados de rendimiento(R) como variable dependiente y la humedad aprovechable consumida al momento de riego (HAC) como variable independiente, se obtuvo la ecuación (8).

$$R=1.0017+0.1489*HAC_1+0.1197*HAC_2-0.0020*HAC_1^2-0.0019*HAC_2^2+0.0015*HAC_1HAC_2$$

(8)

Un coeficiente de determinación de 0.94 y un coeficiente de variación de 4.5%.

Donde los coeficientes de regresión de cada uno de los efectos lineal, cuadrático y de interacción, fueron altamente significativos por lo que contribuyen en el modelo a explicar la respuesta del algodón. De acuerdo a los parámetros estadísticos del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y coeficiente de variación (CV), el modelo obtenido explica en forma satisfactoria el fenómeno representado. La producción de algodón en hueso en función del nivel de abatimiento en las dos etapas del cultivo se presenta en la Figura 3.



Dónde: HAC<sub>1</sub> % y HAC<sub>2</sub> % = Humedad aprovechable consumida en las 2 etapas del cultivo (%)

**Figura 3: Producción de algodón en hueso en función del nivel de abatimiento de la humedad aprovechable consumida 1 y 2.**

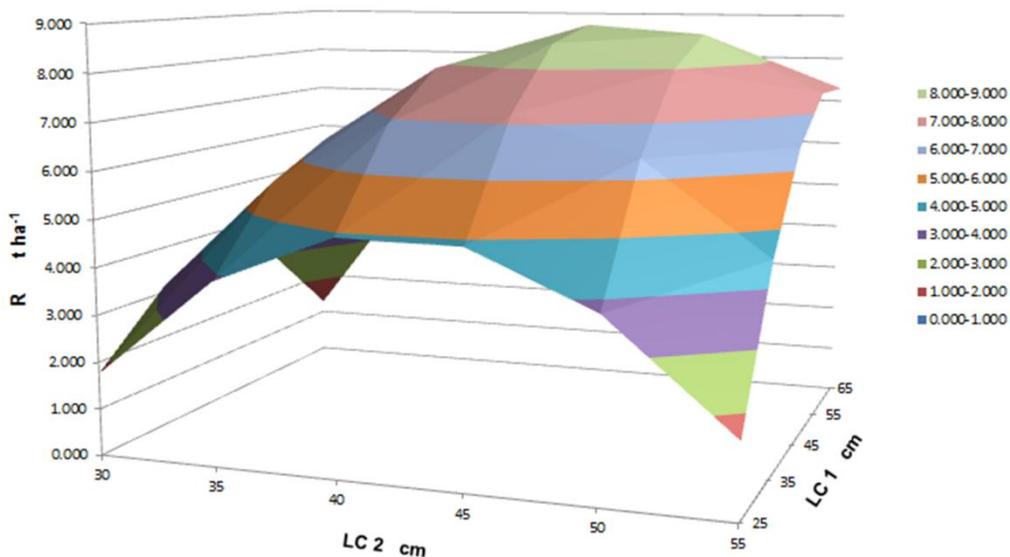
#### 4.5. Relación entre rendimiento de algodón en hueso y consumo de agua

La relación encontrada entre estas variables fue de tipo cuadrática, obtenida a través de un análisis de regresión entre la producción de algodón en hueso (ton ha<sup>-1</sup>) y la lámina consumida (cm), resultando la siguiente ecuación.

$$R = -36.8385 + 0.2521 \cdot LC_1 + 1.6736 \cdot LC_2 - 0.0050 \cdot LC_1^2 - 0.0216 \cdot LC_2^2 + 0.0062 \cdot LC_1 \cdot LC_2 \quad (9)$$

Un coeficiente de determinación de 0.896 y un coeficiente de variación de 6.2%. Donde los coeficientes de regresión estimados, fueron significativos y contribuyen a explicar la relación de las variables bajo estudio. De acuerdo a sus parámetros estadísticos encontrados el modelo ajustado en este estudio tiene una capacidad de predicción que resulta satisfactoria para este tipo de relaciones biológicas complejas donde intervienen diversos factores de la planta, del suelo y

ambientales. La producción de algodón en hueso en función del agua consumida en las dos etapas del cultivo se presenta en la Figura 4.



Dónde: LC1 y LC2 = Lámina de agua consumida en sus dos etapas del cultivo (cm)

**Figura 4: Producción de algodón en hueso en función de la Lámina Consumida**

## 5. CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos, se concluye que la relación entre el rendimiento de algodón en hueso ( $t\ ha^{-1}$ ) y eficiencia en uso de agua ( $kg\ m^{-3}$ ) del cultivo bajo los diferentes tratamientos, fueron afectadas significativamente por el abatimiento de humedad aprovechable. El modelo generado para el rendimiento de algodón en hueso permitió maximizar la producción de  $8.74\ t\ ha^{-1}$ , cuando se desarrolla a niveles de abatimiento de humedad aprovechable de 59 % en la etapa vegetativa y 56 % en la etapa reproductiva, al consumir 54.3 cm y 46.2 cm en las etapas referidas. En cuanto al modelo generado, que relacionó el rendimiento de algodón en hueso y el consumo de agua, permitió maximizar la producción de algodón de  $9\ ton\ ha^{-1}$  al consumir 56 y 44 cm de agua en la primera y segunda etapa, de acuerdo a la optimización de este modelo. La mayor Eficiencia en Uso de Agua fue  $0.945\ kg\ m^{-3}$ , al consumir 41 y 37 cm de agua en las etapas referidas

respectivamente. Existe una buena relación entre el rendimiento y el agua consumida la cual se explica satisfactoriamente por el modelo obtenido.

## 6. LITERATURA CITADA

Anac, S., Ul, M.A., Tuzel, I.H., Anac, D., Okur, B., Hakerler, H., 1999. Optimum irrigation scheduling for cotton under deficit irrigation conditions. In: Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C., Nielsen, D.R. (Eds.), *Crop Yield Response to Deficit Irrigation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

Blaise, D. 2006. Yield, Boll Distribution and fibre quality of hybrid cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as influenced by Organic and Modern Methods of Cultivation. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 192:248-256.

Brubaker C.L. and Wendel J.F. 1994. Reevaluating the origin of domesticated cotton (*Gossypium hirsutum*; Malvaceae) using nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). *American journal of botany*. 81(10) p. 1309-1326.

Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. *Science*, vol. 218 no. 4571, p. 443-448.

Cetin, O., 1997. The effects of furrow, sprinkler and drip irrigation methods on the yield and water use efficiency of cotton grown under Harran Plain conditions. In: *Proceedings of the 6<sup>th</sup> Scientific Congress of National Society of Agricultural Engineering, Bursa, Turkey, 5 – 8 June*.

Cetin, O., Bilgel, L., 2002. Effects of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. *Agric. Water Manag.* 54,1–15.

- Cetin, O., Ozyurt, E., Sener, S., 1994. The effects of different irrigation methods on the yield and water use efficiency of cotton in Harran Plain. ICID In: Proceedings of the 17<sup>th</sup> European Regional Conference on Efficient and Ecologically Sound Use of Irrigation Water with Special Reference to European Countries, Varna, Bulgaria, May 16–22.
- Chaves, M.M., J.P. and Pereira, J.S. 2003. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, vol. 30, no. 3, p. 239-264.
- Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press, New York. 1202 p.
- Dağdelen, N., H. Başal, E. Yılmaz, T. Gurbuz, and S. Akcay. 2009. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. *Agric. Water Manage.* 96:111–120.
- Dağdelen, N., Ersel, Y., Sezgin, F., Gurbuz, T., 2006. Water–yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. *Agric. Water Manage.* 82, 63–85.
- Delattre, R. 1992. The company of cotton /insect relationships: a few examples. *Comptes Rendus de l'Academie d'Agriculture de France* 78: 3-24.
- Du, T., S. Kang, J. Zhang and F. Li. 2008. Water use and yield responses of cotton to alternate partial root-zone drip irrigation in the arid area of north-west China. *Irrig. Sci.* 26: 147–159.
- Freeland Jr., T.B., B. Pettigrew, P. Thaxton and G.L. Andrews. 2006. Agrometeorology and cotton production. Chapter 13A in *Guide to Agricultural Meteorological Practices*, 3rd ed. (en preparación).

- Fritschi, F.B., Roberts, B.A., Travis, R.L., Rains, D.W., Hutmacher, R.B. 2003. Response of Irrigated Acala and Pima Cotton to Nitrogen Fertilization: Growth, Dry, Matter Partitioning, and Yield. *Agronomy Journal* 95:133-146.
- Fryxell P.A. 1993. Malvaceae A.L. Juss. En: *Flora de Veracruz*. Fascículo 68 Instituto de Ecología A.C. y Universidad de California, Riverside.Xalapa, Ver.
- Iqbal M.J., Reddy O.U.K., El-Zik K.M. and Pepper A.E. 2001. A genetic bottleneck in the 'evolution under domestication' of upland cotton *Gossypium hirsutum* L. examined using DNA fingerprinting. *Theoretical and Applied Genetics*. 103:547–554
- Jenkins, J.N., W.L. Parrott, and J.C. McCarty, Jr. 1990. Effectiveness of fruiting sites in cotton. *Yield. Crop Sci.* 30:365–369.
- Kanber, R., Onder, S., Unlu, M., Koksai, H., Ozekici, B., Sezen, S.M., Yazar, A., Koc, K., 1997. Optimization of surfaceirrigation methods for cotton and comparison with alternate furrow siprinkler irrigation. Research Report No. 18, GAP ResearchProjects. Faculty of Agriculture Publication No. 155,Cukurova University, Adana, Turkey. 148 pp.
- Martínez G. A. y D. M. Martínez 1996. Diseño de experimentos con fertilizantes. Publicación especial 5, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Colegio de Postgraduados. 155 p.
- Mateos, L., Berengena, J., Orgaz, F., Diz, J., Fereres, E., 1991. AComparison between drip and furrow irrigation in cotton attwo levels of water supply. 19,313–324.
- McGregor, S.E. 1976. Chapter 9: Crop Plants and Exotic Plants Insect Pollination of Cultivated Crop Plants.

- McWilliams, D. 2003. Drought Strategies for Cotton. New Mexico State University Cooperative Extension Service Circular 582. 6 pp.
- Muñoz, O. A. 1974. Tamaño de la parcela, diseño y uso de factoriales en la experimentación agrícola. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, SAG. Folleto misceláneo N° 25, Diciembre 1974. 38 p.
- Myers, D. y Stolton, S. 1999. Organic Cotton, From Field to Final Product Intermediate Technology Publications.
- Palomo G.A., S. Godoy A. 1994b. Efecto del número de riegos en el rendimiento, componentes de rendimiento y calidad de fibra de 16 genotipos de algodón. Ciencia Agropecuaria FAUANL 7:3-8.
- Pettigrew, W.T. 2004. Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution. Agron. J. 96:377–383.
- Polak, Marcelo G.A., Prause, J., Contreras, G., Caram, G. E. 2005. Plagas en el cultivo de algodón *Gossypium hirsutum* (L.) (Malvales: malvaceae) en relación a condiciones ambientales y a sus estados fenológicos. [www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2001/5-Agrarias/A-016.pdf](http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2001/5-Agrarias/A-016.pdf)
- Ritchie, G.L., J.R. Whitaker, C.W. Bednarz, and J.E. Hook. 2009. Subsurface drip and overhead irrigation: A comparison of plant boll distribution in upland cotton. Agron. J. 101:1336–1344. SAS Institute. 2011. Base SAS 9.3 Utilities: Reference. SAS Inst., Cary, NC.
- Rojas B. A. 1962. The San Cristobal design for fertilizer experiments. Proc. Of the int. Soc. Of Sugarcane Technologist 11:197-203.

- Rojas B. A., 1981. Planeación y análisis de experimentos de fertilizantes. INIA, SARH. Mexico, D.F. 45 p.
- Rosenow, D.T.; Quisenberry, J.E.; Wendt, C.W. and Clark, L.E. 1983. Drought tolerant sorghum and cotton germplasm. *Agricultural Water Management*, vol. 7, no. 1-3, p. 207-222.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario estadísticos de la Producción Agropecuaria Región Lagunera Durango Coahuila. Años 2005 y 2006.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, INIFAP, Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del estado de Chihuahua, Campo Experimental Delicias, 1991.
- Sezgin, F., Yılmaz, E., Dağdelen, N., Bas, S., 2001. Effect of different irrigation methods and water supply level application on water-yield relations in cotton growing. Third National Hydrology Congress, Univ. of September 9, Izmir, Turkey, June 27-9.
- SIAP, Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. 2012. Anuario Estadístico 2012. SAGARPA. Disponible en: <http://siap.gob.mx> (Marzo 2014).
- Singh, Y., S. S. Rao and P. L. Regar. 2010. Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment *Agric.* 97: 965-970.
- Wanjura, D.F., D.R. Upchurch, J.R. Mahan and J.J. Burke. 2002. Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation. 55: 217-237.

Whitaker, J.R., G. L. Ritchie, C. W. Bednarz and C. I. Mills. 2008. Cotton subsurface drip and overhead irrigation efficiency, maturity, yield, and quality. *Agron. J.* 100:1763–1768.

Wood, A. W., Drum, F., Shaw, L., Asthon, D. 2007. Natural fibres – Outlook for wool and cotton to 2011-12. *Australian commodities* 14:52-61.

Yazar, A., Sezen, S.M., Sesveren, S., 2002. LEPA and trickle irrigation of cotton in the southeast Anatolia project (GAP) area in Turkey. 54, 189–203.

Zwart, S.J., Bastiaanssen, W.G.M., 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. 69 (2), 115–133.

## **7. PÁGINAS WEB CITADAS**

AGBIOS, 2013.

<http://www.agbios.com/dbase.php>

SIAP-SAGARPA

<http://www.algodon.gob.mx/index.php?portal=algodon>

<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>

[www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2001/5-Agrarias/A-016.pdf](http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2001/5-Agrarias/A-016.pdf)

InfoAgro: Algodón

<http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/algodon.asp>

Monografías: Algodón

<http://www.monografias.com/trabajos14/algodon/algodon.shtml>

La viruela del algodnero

<http://www.escire.mx:8080/inifap/handle/123456789/2256>

## 1. ANEXO

**Cuadro 8: Rendimiento y Eficiencia en uso de agua de algodón en hueso en los tratamientos.**

Tratamiento	Repetición	R (t ha <sup>-1</sup> )	EUA (kg m <sup>-3</sup> )	LC1 (cm)	LC 2 (cm)	HAC 1 (%)	HAC 2 (%)
1	1	8.19	0.71	64	52	42	44
	2	8.12	0.7	64	52	42	44
	3	8.35	0.72	64	52	42	44
	4	8.17	0.7	64	52	42	44
2	1	6.13	0.61	64	37	42	82
	2	6.2	0.61	64	37	42	82
	3	6.24	0.62	64	37	42	82
	4	6.2	0.61	64	37	42	82
3	1	8.59	0.89	53	44	63	62
	2	8.72	0.9	53	44	63	62
	3	8.78	0.91	53	44	63	62
	4	8.59	0.89	53	44	63	62
4	1	4.41	0.51	53	34	63	100
	2	5.65	0.65	53	34	63	100
	3	5.77	0.66	53	34	63	100
	4	5.36	0.62	53	34	63	100
5	1	7.15	0.77	41	52	81	44
	2	7.04	0.76	41	52	81	44
	3	7.02	0.75	41	52	81	44
	4	7.35	0.79	41	52	81	44
6	1	7.49	0.96	41	37	81	82
	2	7.18	0.92	41	37	81	82
	3	7.71	0.99	41	37	81	82
	4	7.11	0.91	41	37	81	82
7	1	5.61	0.79	29	42	99	62
	2	5.39	0.76	29	42	99	62
	3	6.35	0.89	29	42	99	62
	4	6.22	0.88	29	42	99	62

**Cuadro 9. Análisis de varianza y pruebas de F, para rendimiento de algodón en hueso**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F
Bloques	3	0.5452	0.1817	2.03
Tratamientos	6	36.7001	6.1167	68.45**

---

Error	18	1.6084	0.0893
CV (%)			4.29

---

\*\* Altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.01. G.L. = Grados de libertad; CV = coeficiente de variación.