

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**CORRELACIÓN ENTRE DISPONIBILIDAD DE AGUA DE RIEGO Y  
MORFOLOGÍA ESTOMÁTICA EN NOGAL PECANERO (*Carya  
illinoensis koch*).**

**POR**

**MARCIANO SOTO ADAME**

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

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**MAYO 2010**

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

**CORRELACIÓN ENTRE DISPONIBILIDAD DE AGUA DE RIEGO, Y MORFOLOGÍA ESTOMÁTICA EN NOGAL PECANERO (*Carya illinoensis koch*).**

TESIS DEL C. **MARCIANO SOTO ADAME**, ELABORADA BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

COMITÉ PARTICULAR

ASESOR PRINCIPAL

  
Ph. D. **Vicente De Paul Alvarez Reyna**


COASESOR

  
Dr. **Guillermo González Cervantes**

ASESOR

  
M.C. **Jorge Armando Chávez Simental**

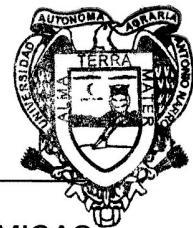
ASESOR

  
Ing. Ma. **de Lourdes Ortiz Pérez**



**M.E. Víctor Martínez Cueto**

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
Coordinación de la División de Carreras Agronómicas



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

**CORRELACIÓN ENTRE DISPONIBILIDAD DE AGUA DE RIEGO Y MORFOLOGÍA ESTOMÁTICA EN NOGAL PECANERO (*Carya illinoensis koch*).**

TESIS DEL C. **MARCIANO SOTO ADAME** QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:


PRESIDENTE

  
\_\_\_\_\_  
**Ph.D. Vicente De Paul Alvarez Reyna**

VOCAL

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Guillermo González Cervantes**

VOCAL

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. Federico Vega Sotelo**

VOCAL SUPLENTE

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. J. Isabel Marquez Mendoza**

  
\_\_\_\_\_  
**M.E. Víctor Martínez Cueto**

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas**

Torreón, Coahuila, México

Mayo del 2010

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios:**

Gracias por todo lo que has hecho por mí, gracias por mi familia y amigos. Indiscutiblemente gracias por que todos los días nos llenas de bendiciones a mí seres queridos y a mí.

### **A mis Padres:**

Gracias por, que me dieron la oportunidad de seguir estudiando, y por todos los sacrificios que hicieron, que hacen y seguirán haciendo por mí. Por que se perfectamente que ustedes solo desean lo mejor para mí y mis hermanos.

### **A mi Alma Mater:**

Gracias por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de concluir satisfactoriamente una etapa importante de mi vida.

### **Al Dr. Guillermo González Cervantes:**

Gracias por la amistad y apoyo brindado en la realización de esta investigación, así como la dedicación en el asesoramiento de la misma.

### **Al Ph.D. Vicente de Paúl Álvarez Reyna:**

Gracias por su asesoramiento para cumplir satisfactoriamente con esta investigación y por su apoyo, enseñanzas y amistad durante mi estancia en la escuela.

### **Al M.C. Jorge Armando Chávez:**

Por sus consejos, amistad y apoyo en la elaboración de esta investigación gracias.

**A mis profesores de la carrera de Ingeniero agrónomo en Irrigación:**

A todos y cada uno de ellos, pues gracias a sus enseñanzas y sus conocimientos transmitidos se logro cumplir con el objetivo.

**A mis amigos y compañeros de Ingeniería de Riego:**

Liliana Díaz, Mario Armijo, Diego Domínguez, Gilberto Hernández, Gebroham López, Jetzahel Lucas, Rafael Marín, Osbaldo Saldivar, Ramiro Zarate y Armando Hernández. Gracias por su apoyo incondicional y por todos los momentos buenos y malos que juntos vivimos.

## **DEDICATORIAS**

### **A Dios**

Por todas las cosas, buenas y malas, que día con día me regala y por darme la oportunidad de vivir esta vida y lograr todos los propósitos que juntos planeamos, como el termino satisfactorio de esta carrera.

### **A mis Padres:**

Tomás Soto y Cipriana Adame, por que les debo todo lo que soy y nunca, ni con nada podré pagarles lo que han hecho por mí. Mis logros y mis deseos de superarme son por ustedes. Son mi fuente de inspiración y motivación de seguir todos los días hacia delante.

### **A mis Hermanos:**

Manuel, Marcos, Tomás y José, por todas las cosas que hemos pasado juntos y que nos faltan por vivir, por que de ustedes he tomado sus experiencias y sus consejos que en el camino me hacen seguir.

### **A mis Abuelos:**

Jesús, Julia, Juan y María, por que ellos me enseñaron lo hermoso que es vivir en el campo, gracias por todas sus enseñanzas y su cariño.

### **A mis Tíos:**

A todos muy en especial les dedico el esfuerzo puesto en la realización de este trabajo, pero principalmente a mis tíos, Esteban Soto Hernández y Francisco Adame Gaona, que dios los tenga en su santa gloria. A ellos que en vida ya no lograron compartir esta satisfacción conmigo, pero que siempre me apoyaron y se que donde se encuentren, estarán orgullosos de mi.

**A mis Amigos:**

De primaria, secundaria y preparatoria, por que ellos sin darse cuenta, también influyeron en mi formación académica y como persona. Gracias a esos momentos tristes y alegres que juntos pasamos, pero que hoy solo recuerdos son.

## RESUMEN

Uno de los principales factores en el desarrollo de los cultivos es el agua, por ello la importancia de realizar investigación que permita una mayor eficiencia en el manejo y uso de la misma. El agua interviene en diferentes funciones fisiológicas de las plantas, una muy importante es la fotosíntesis, donde los estomas se abren y cierran para permitir el intercambio de gases ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ). La presente investigación tuvo como objetivo correlacionar la disponibilidad del agua de riego y la morfología estomática en nogal pecanero a partir de muestras de suelo e imágenes de folíolos analizadas en laboratorio. Los análisis que se determinaron en el suelo, fueron: densidad aparente, clase textural y curva de retención de humedad, la cual se obtuvo a cuatro tensiones diferentes, 0.3 bar (capacidad de campo), 3, 9 y 15 bar (punto de marchitez permanente). Las imágenes de los folíolos se analizaron con el fin de cuantificar los estomas presentes en las hojas del nogal. Se seleccionaron nogales de la huerta del campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde se utilizaron los sistemas de riego por aspersión, microaspersión, goteo y gravedad para irrigarlos.

En esta investigación se concluye que la morfología estomática en los nogales con riego por gravedad y goteo fueron estadísticamente iguales en cantidad con 157 estomas cada uno, seguidos con microaspersión y aspersión con 132 y 125 estomas respectivamente. Además el contenido de humedad en las muestras colectadas permitió comprender el consumo de agua del nogal en las diferentes etapas fenológicas y determinar cuales fueron los estratos de suelo más demandantes de agua.

Palabras claves: funciones fisiológicas, fotosíntesis, estomas, suelo, humedad.



## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>V</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>VI</b>
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVO</b> .....	<b>2</b>
<b>III. HIPOTESIS</b> .....	<b>2</b>
<b>IV. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>V. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
5.1 ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO DEL NOGAL PECANERO .....	3
5.1.1. ORIGEN .....	3
5.1.2 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA .....	3
5.1.3 EL CULTIVO DEL NOGAL EN MÉXICO .....	3
5.1.4 EL CULTIVO DEL NOGAL EN LA COMARCA LAGUNERA. ....	3
5.2. TEMPERATURA .....	5
5.3. ETAPAS FENOLÓGICAS .....	5
5.4.1. HUMEDAD EN EL SUELO .....	6
5.4.2. SATURACIÓN .....	7
5.4.3. CAPACIDAD DE CAMPO .....	7
5.4.4. PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE .....	8
5.4.5. CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD .....	8
5.5. EL RIEGO .....	9
5.5.1. RIEGO SUPERFICIAL .....	10
5.5.2. FACTORES QUE FAVORECEN AL RIEGO SUPERFICIAL .....	10
5.5.3 SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN .....	11
5.5.4. USO DEL RIEGO POR ASPERSIÓN .....	11
5.5.5. SISTEMA DE RIEGO POR MICROIRRIGACIÓN (GOTEO Y MICROASPERSIÓN) .....	11
5.5.6. ADAPTABILIDAD DEL SISTEMA DE RIEGO POR MICROIRRIGACIÓN .....	11
5.6. MORFOLOGÍA DE LA HOJA .....	12
<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>13</b>
6.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	13
6.2. MANEJO DEL AGUA .....	14
6.2.1. RIEGO POR GRAVEDAD .....	15
6.2.2. RIEGO POR ASPERSIÓN .....	15
6.2.4. RIEGO POR GOTEO .....	16

6.3. MONITOREO DE HUMEDAD DEL SUELO .....	17
6.5.1 ÁREA FOLIAR Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTOMAS .....	18
6.7. TÉCNICA DEL ANÁLISIS DE IMAGEN .....	18
6.8. ANÁLISIS DE SUELO .....	19
<b>VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>21</b>
7.1. ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DE LOS HORIZONTES DEL SUELO .....	21
7.1.1. CAMPO EXPERIMENTAL DE LA UAAAN-UL .....	22
7.1.2. GRAVEDAD .....	22
7.1.3. ASPERSIÓN .....	30
7.1.4. MICROASPERSIÓN .....	39
7.1.5. GOTEIO .....	47
7.2. MORFOLOGÍA ESTOMÁTICA .....	55
7.2.1. DENSIDAD ESTOMÁTICA.....	55
<b>VIII. CONCLUSIONES. ....</b>	<b>57</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>58</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Superficie de nogal en producción en la Comarca Lagunera (Anuario 2008). .....	4
<b>Cuadro 2.</b> Metodología para cuantificar las características físicas y químicas del suelo UAAAN-UL.2009.....	20
<b>Cuadro 3.</b> Clase textural y densidad aparente en superficie de gravedad, Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	29
<b>Cuadro 4.</b> Clase textural y densidad aparente en superficie de aspersion, Campo Experimental, de la UAAAN.UL 2009.....	38
<b>Cuadro 5.</b> Clase textural y densidad aparente en superficie de microaspersion. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	46
<b>Cuadro 6.</b> Clase textural y densidad aparente en superficie de goteo, Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	54

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Contenido de humedad en el suelo: Saturación, Capacidad de campo y Punto de Marchitez permanente.....	8
<b>Figura 2.</b> Imagen digitalizada de la Huerta de Nogal en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 2009. ....	14
<b>Figura 3.</b> Riego por gravedad.....	15
<b>Figura 4.</b> Riego por Aspersión.....	16
<b>Figura 5.</b> Riego por Microaspersión.....	16
<b>Figura 6.</b> Muestra de suelo para el Método Gravimétrico.....	18
<b>Figura 7.</b> Muestras de Suelo para analisis fisico-quimico.....	19
<b>Figura 8.</b> Sistema para determinar la curva de retención de agua en el Suelo. ...	21
<b>Figura 9.</b> Curva de retención de humedad en la superficie de gravedad. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	23
<b>Figura 10.</b> Contenido de humedad en gravedad 1 <sup>er</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	24
<b>Figura 11.</b> Contenido de humedad en gravedad 2 <sup>o</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	25
<b>Figura 12.</b> Contenido de humedad en gravedad 3 <sup>er</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	26
<b>Figura 13.</b> Contenido de humedad en gravedad 4 <sup>o</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	27
<b>Figura 14.</b> Contenido de humedad en gravedad 5 <sup>o</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	28
<b>Figura 15.</b> Contenido de Humedad en Gravedad 6 <sup>o</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	29
<b>Figura 16.</b> Curva de retención de humedad en la superficie por aspersión, Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	30
<b>Figura 17.</b> Contenido de humedad en aspersión 1 <sup>er</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	32
<b>Figura 18.</b> Contenido de humedad en aspersión 2 <sup>o</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.....	33
<b>Figura 19.</b> Contenido de humedad aspersión 3 <sup>er</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	34
<b>Figura 20.</b> Contenido de humedad aspersión 4 <sup>o</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	35

<b>Figura 21.</b> Contenido de humedad aspersión 5° Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	36
<b>Figura 22.</b> Contenido de humedad aspersión 6° Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	37
<b>Figura 23.</b> Contenido de humedad aspersión 7° Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	38
<b>Figura 24.</b> Curva de Retención de Humedad en superficie de microaspersión, Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	39
<b>Figura 25.</b> Contenido de humedad en microaspersión 1 <sup>er</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	40
<b>Figura 26.</b> Contenido de humedad en microaspersión 2° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	41
<b>Figura 27.</b> Contenido de humedad en microaspersión 3 <sup>er</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	42
<b>Figura 28.</b> Contenido de humedad en microaspersión 4° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	43
<b>Figura 29.</b> Contenido de humedad en microaspersión 5° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	44
<b>Figura 30.</b> Contenido de humedad en microaspersión 6° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	45
<b>Figura 31.</b> Contenido de humedad en microaspersión 7° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	46
<b>Figura 32.</b> Curva de Retención de Humedad en superficie de goteo, Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	47
<b>Figura 33.</b> Contenido de Humedad en goteo 1 <sup>er</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	48
<b>Figura 34.</b> Contenido de humedad en goteo 2° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	49
<b>Figura 35.</b> Contenido de humedad en goteo 3 <sup>er</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	50
<b>Figura 36.</b> Contenido de humedad en goteo 4° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	51
<b>Figura 37.</b> Contenido de humedad en goteo 5° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	52
<b>Figura 38.</b> Contenido de humedad en goteo 6° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	53
<b>Figura 39.</b> Contenido de humedad en goteo 7° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009. ....	54

**Figura 40.** Comparación de medias entre cantidad de estomas en función al sistema de riego. UAAAN-UL. 2009. .... 55

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del Nogal Pecanero, es un cultivo importante en el norte del país, Los Estados de Chihuahua, Nuevo León, Sonora, Coahuila y Durango son los principales productores de la nuez pecanera. En el estado de Coahuila y Durango, en la región llamada la Comarca Lagunera, la importancia de la producción de este cultivo, data a partir del año 1948, cuando se establecieron las primeras plantaciones, predominando las variedades Western y Wichita.

Una limitante en la producción de Nuez Pecanera en el norte del país, es el agua y su forma de aplicación. Existen varios sistemas de riego, capaces de cumplir las necesidades del productor. Esto los ha impulsado a utilizar cada vez más el agua del subsuelo para irrigarlas y eficientizar la distribución y aplicación de este recurso (González, 1995). Los sistemas de riego se pueden clasificar en riego superficial y presurizado. El primero de los sistemas es más utilizado sin importar su baja eficiencia, mientras que el segundo puede alcanzar una eficiencia bastante aceptable y su utilización en el riego del nogal pecanero es menor.

El sistema de riego superficial o gravedad, consiste en la aplicación de gran volumen de agua, de tal forma que avance libremente sobre la superficie del suelo. En el sistema de riego presurizado, se encuentran los sistemas de Aspersión, Microaspersión y Goteo o cintilla. Sistemas que cumplen con el objetivo de aplicar el agua en volumen más pequeño con respecto al riego superficial, además de que lo hacen de manera eficiente.

El deficiente manejo en la aplicación del agua de riego en nogal, trae consecuencias, afectando sus funciones fisiológicas. Una de ellas es la fotosíntesis, donde los folíolos captan y utilizan la energía de la luz para transformar la materia inorgánica de su medio externo en materia orgánica que utiliza para su crecimiento y desarrollo (Ponomarev, 2008).

## **II. OBJETIVO**

Determinar la correlación existente entre el sistema de riego (gravedad, aspersión, microaspersión y goteo) a través de la disponibilidad de agua en el suelo, para el cultivo y la caracterización estomática según cantidad en hojas de Nogal Pecanero (*Carya illinoensis Koch*).

## **III. HIPOTESIS**

Existe correlación entre el sistema de riego utilizado y la caracterización estomática, cantidad de estomas en hoja de Nogal Pecanero.

## **IV. JUSTIFICACIÓN**

El agua de riego como factor limitante en la producción de los cultivos y como recurso natural no renovable, requiere que se realice investigación para su manejo eficiente sin afectar la productividad de los cultivos.



## **V. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **5.1 Aspectos generales del cultivo del Nogal pecanero**

#### **5.1.1. Origen**

El cultivo del nogal pecanero es originario del sureste de los Estados Unidos de América y norte de México, En Estados unidos se encuentra principalmente en los estados de Kansas, Lousiana, Missouri, Oklahoma, Texas. En el Norte de México se encuentra en Chihuahua, Nuevo León y Coahuila (Ruiz, 2005). El nombre pecana o pecanera es derivado del vocablo indígena Algoquín, que le da el nombre “Pakan” que significa nuez dura que requiere una piedra para quebrarla (Brison, 1976).

#### **5.1.2 Clasificación botánica**

El nogal pertenece a la familia jungladaceae y su nombre científico es *Carya illinoensis Koch* (Sagarpa-Inifap, 2002)

#### **5.1.3 El cultivo del nogal en México**

Los principales productores de nuez en México se encuentran en el norte del país y son los estados de Chihuahua, Nuevo león, Sonora, Coahuila y Durango. El estado de Chihuahua es el mayor productor, en el año 2008 la superficie sembrada fue de 49 mil hectáreas y su producción oscilo en 55 mil toneladas aproximadamente.

#### **5.1.4 El cultivo del nogal en la Comarca Lagunera.**

La importancia dentro de la producción de este fruto se remonta a partir del año 1948, cuando se establecieron las primeras plantaciones. Las variedades introducidas fueron Western, Wichita, Burkett, San Saba improved , Stuart, Barton, Mahan, predominando la Western y Wichita.

Actualmente es el segundo cultivo de importancia en la comarca lagunera (Cerde, 2003). En el estado de Coahuila la producción en 2007 fue alrededor de 13 mil toneladas aproximadamente generando con esto una derrama económica de más de 400 mil pesos. En el estado de Durango en el 2007 la producción de nuez fue superior a 5 toneladas, con una derrama económica de más de 150 mil pesos (INEGI).

El cultivo en la región Lagunera, se destaca por ser el principal cultivo frutícola por el valor de su producción y generación de empleo, tanto en la producción como industrialización. Además el nogal ofrece una imagen grata a los sentidos y mejora las condiciones del medio ambiente con la retención CO<sub>2</sub> y liberación de oxígeno.

Cuadro 1. Superficie de nogal en producción en la Comarca Lagunera (Anuario 2008).

Municipio	<b>Superficie Total has p. Ejidal y p. Privada</b>
San Pedro	1938
Parras	1997
Saltillo	654
Zaragoza	1956
Ramos Arizpe	380
Matamoros	612
Allende	852
General Cepeda	442
Torreón	453
Suma Coahuila	9284
Gómez Palacio	682
Nazas	940
Lerdo	572
Durango	613
Rodeo	267
Tlahualilo	234
Súchil	100
Peñón Blanco	87
Suma Durango	3495
Comarca Lagunera	12779

## **5.2. Temperatura**

El cultivo del nogal se comporta adecuadamente donde la temperatura media en verano es de 25 a 35 °C, sin variación amplia durante el día y noche con un promedio de 26.7 °C. Además en los meses más fríos requiere una temperatura media de 7.2 a 12.3 °C. Los meses más calientes en la comarca lagunera son mayo, junio, julio y agosto con una temperatura mensual que fluctúa entre 25.3 y 26.7 °C y los más fríos enero y febrero con fluctuaciones de 13 a 15.5 °C razón por la cual el cultivo del nogal tiene buenas condiciones para su desarrollo y producción (Santiago, 2005).

El nogal tiene un requerimiento de frío mínimo de 400 horas y punto crítico de 7.2 °C. Sin embargo, requiere de 400 a 800 horas frío para que inicie su brotación dependiendo de la variedad.

## **5.3. Etapas fenológicas**

El nogal requiere de 150 a 230 días libres de heladas para producir cosecha. Sus requerimientos fluctúan entre 400 a 800 horas frío dependiendo de la variedad, además de necesitar un clima caliente durante el verano (Medina, 1979). En el cultivo del nogal pecanero como en otros cultivos, es importante conocer cuando inician sus diferentes etapas fenológicas y periodo en el cual son completadas. Es necesario mantener una buena humedad durante todas las etapas fenológicas, y conocer que existen algunas etapas donde es más crítico el contar con buena humedad en el suelo como, crecimiento de la hoja (que se termina a fines de junio aproximadamente); crecimiento de la nuez a fines de junio y parte de julio, la nuez se encuentra llena de líquido; para evitar la caída de agosto (principios del mes) es necesario contar con un óptimo nivel de humedad en el suelo. Un buen contenido de humedad en el suelo a fines de temporada (mediados de septiembre a mediados de octubre) evita el riezno pegado y disminuye la germinación de la nuez.

## **5.4. El suelo**

El suelo es un sistema de tres fases, sólida, líquida, y gaseosa. Los diferentes suelos presentan distintas proporciones de estos componentes, que dependen de las condiciones de su formación. Estos componentes se encuentran interrelacionados, de manera que la organización de los componentes sólidos entre sí, determina la cantidad de espacio poroso destinado al aire y agua (Honorato, 2000). La porosidad del suelo depende de la textura, estructura, actividad biológica y sistema de labranza utilizado (Chávez, 2004). El acomodo u organización de las partículas en el suelo determina las características del espacio poroso, en el cual el agua y aire son transportados o retenidos. Cuando el suelo está seco, los poros están ocupados por aire, si se agrega suficiente agua, el aire se desaloja y los poros se llenan con el agua, hasta que el excedente de agua escurre hacia capas más profundas.

El tamaño y continuidad del espacio poroso son importantes para el movimiento del agua y retención de humedad. Los poros grandes (mayores a 10  $\mu$ ) transportan el agua; los poros de tamaño mediano (entre 10 y 0.2  $\mu$ ) retienen el agua disponible para las plantas; los poros chicos (menores de 0.2  $\mu$ ), retienen el agua no disponible (Fitzpatrick, 1996).

La nuez pecana crece comúnmente en suelo arcillo-arenoso bien drenado no sujeto a inundaciones prolongadas. Sin embargo, aparece en textura pesada, suelo aluvial de origen reciente (Santiago, 2005).

### **5.4.1. Humedad en el suelo**

El contenido de humedad en el suelo esta relacionado con las funciones que el suelo desempeña en beneficio de las plantas. La capacidad de retención de humedad del suelo esta relacionada con la porosidad y diámetro de los poros (Narro, 1994), La capacidad de retención varía según el tamaño de sus constituyentes (textura) y grado de compactación del suelo (Chávez, 2004).

La característica del suelo, de poder almacenar el agua, se denomina capacidad de retención, varía según al tamaño de sus constituyentes (textura) y el grado de compactación del suelo. El agua disponible en el suelo para la raíz de la planta está comprendida entre capacidad de campo (0.3 bar) y punto de marchitez permanente (15 bar) (Caracas, 1993).

La capacidad de campo y punto de marchitamiento son dos parámetros importantes de la humedad del suelo (Fitzpatrick, 1996).

#### **5.4.2. Saturación**

Ocurre cuando todo el espacio poroso es ocupado por agua (figura 1). La tensión es inferior a 0.3 bar y el agua está sujeta por la fuerza de gravedad. Esta situación no es óptima desde el punto de vista biológico, debido a la falta de oxígeno. Esta situación se produce después del riego o lluvia (Honorato, 2000).

#### **5.4.3. Capacidad de Campo**

Se define como la cantidad de agua que un suelo retiene en contra de la fuerza de gravedad cuando se deja drenar libremente (figura 1). La tensión de humedad de un suelo que ha alcanzado la capacidad de campo en el suelo está comprendida entre 1/10 y 1/3 de bar. En un suelo bien drenado, por lo general se llega a este punto aproximadamente 48 horas después del riego (Chávez, 2004).

Debido al sistema del agua en el suelo, la capacidad de campo no es un valor único del suelo. No puede determinarse con precisión debido a que no existe en el tiempo discontinuidad en la curva de humedad, sin embargo, este concepto es de gran utilidad para la estimación de la cantidad de agua contenida en el suelo, de la que pueden disponer las plantas (Rodríguez, 2002).

#### 5.4.4. Punto de Marchitez Permanente

El punto de marchitez permanente se puede definir como el límite más bajo de almacenamiento de agua del suelo para el crecimiento de las plantas (figura 1), que está en función de las mismas plantas. El punto de marchitez permanente (PMP) se presenta entre 10 y 20 bar; cuando el intervalo en cuanto a la fuerza de tensión es grande, la diferencia de humedad es mínima (Aguilera 1980., Ojeda, 1999).

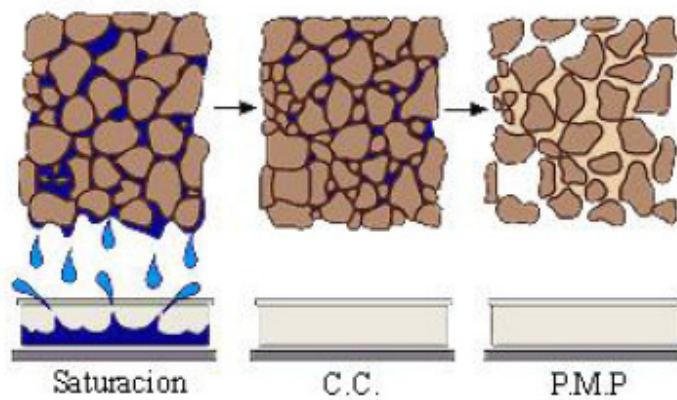


Figura 1. Contenido de humedad en el suelo: Saturación, Capacidad de campo y Punto de Marchitez permanente.

#### 5.4.5. Curva de retención de humedad

La capacidad del suelo para retener el agua, difiere considerablemente. Los suelos de textura fina retienen mayor cantidad de agua que los de textura gruesa. A mayor agregación, mayor será la cantidad de agua retenida; y pueden hacerse curvas de tensión de humedad que relacionan la tensión con el contenido de humedad del suelo. La humedad que se retiene a diferente tensión es mayor, si aumenta el número de partículas finas (Thamane, et al, 1983).

La curva de retención de humedad del suelo es útil para obtener el potencial mátrico del agua en el suelo, una vez determinado el contenido de humedad. En base a estos valores es posible definir el momento oportuno de riego y calcular la lámina de agua que debe aplicarse (Gurovich, 1999). Además con la curva de retención de humedad del suelo se puede calcular la cantidad de agua existente entre capacidad de campo y valor del potencial mátrico seleccionado como indicador del momento de riego, lo cual puede permitir máxima eficiencia en el suelo del agua de riego (Narro, 1994).

## **5.5. El riego**

Las plantas para desarrollarse necesitan agua en cantidad considerable. En algunos lugares esta agua puede provenir solamente de la lluvia, y en otros es necesario complementar las necesidades de las plantas mediante el riego. Los sistemas de riego son técnicas para aplicar el agua a la superficie del suelo. La decisión sobre el sistema de riego por utilizar depende de varios factores, como tipo de cultivo, aspectos económicos, tipo de suelo y financieros, así como el factor relacionado con el clima. Los sistemas de riego que más se utilizan actualmente son, gravedad, aspersión, microaspersión y goteo. Los métodos de aspersión, microaspersión y goteo también se denominan riego presurizado, ya que el agua se conduce a presión hasta las salidas por donde se distribuye a las plantas (Palacios 2002).

En zonas productoras de nuez, el factor más importante para la producción de este cultivo es el agua, recurso que no solo influye en las fases de crecimiento y desarrollo si no en todo su ciclo, incluyendo la dormancia (Godoy, 1996).

En general, se considera que el agua de riego debe penetrar alrededor de un metro en el suelo de la huerta nogalera, esto se conoce como el área radicular efectiva. En huertas con problemas de acumulación de sales se riega con más cantidad de agua para asegurarse que esta penetra más de un metro para que las

sales sean lavadas fuera de la zona radicular. En realidad 80 % de la zona radicular de un nogal se encuentra en los primeros 60 cm., (considerando un suelo arcillo arenoso).

En la mayoría de los estudios realizados con respecto a la eficiencia en uso de agua de riego, se reportan problemas de exceso y déficit de agua, cuantificados por índices de eficiencia que difícilmente superan el 60 por ciento, a pesar de que, según evidencias experimentales, es posible lograr niveles de eficiencia superiores a 90 por ciento mediante un buen diseño y manejo del riego (García, 1999).

#### **5.5.1. Riego Superficial**

La distribución del agua sobre la superficie del suelo es por gravedad. Normalmente se requiere un emparejamiento de la superficie del suelo para que el agua fluya suavemente y lograr buena uniformidad en su aplicación. La distribución del agua se hace mediante canales que pueden ser revestidos o no y por tubería. El gasto que se aplica está determinado por la tasa de filtración del suelo y su contenido de humedad presente en el momento de la aplicación del riego.

#### **5.5.2. Factores que favorecen al Riego Superficial**

Los factores que usualmente ayudan a la selección de un sistema de riego superficial son, no disponer de capital para hacer una inversión inicial en otros tipos de sistemas más sofisticados, la mano de obra es relativamente barata para operar un sistema de superficie, la topografía de la superficie es tal que solo requiere muy poca preparación adicional, para la preparación de un riego por superficie, el gasto es relativamente grande.



### **5.5.3 Sistema de Riego por Aspersión**

Un sistema de riego por aspersión distribuye el agua mediante el proceso de convertir la energía en forma de presión a energía de velocidad en la forma de chorro a la salida de la boquilla del aspersor. En la mayoría de los sistemas de aspersión convencionales, el diseño de la taza de aplicación es menor que la taza de infiltración básica del suelo. Así toda el agua que alcanza a caer en la superficie del suelo se infiltra directamente dentro del suelo, evitando el movimiento de agua sobre la superficie. Una falla en la taza límite de aplicación, o un diseño del sistema que permita el movimiento del agua en la superficie, puede resultar en aplicación no uniforme del agua o en serio problema de erosión.

### **5.5.4. Uso del Riego por Aspersión**

En suelo con alta capacidad de infiltración (suelo arenoso), suelo poco profundo cuya topografía impide la nivelación requerida por los métodos de superficie, suelo con mucha pendiente y fácilmente erosionables, cuando el gasto disponible es muy pequeño, cuando el terreno es muy ondulado y los costos de nivelación son demasiado altos, cultivos altamente rentables.

### **5.5.5. Sistema de Riego por Microirrigación (Goteo y Microaspersión)**

El termino microirrigación es aplicado para todo sistema de riego de baja presión entre los más comunes el goteo y microaspersión. En los sistemas de riego de microirrigación el agua se aplica frecuentemente con láminas muy pequeñas, el agua es aplicada en forma de gota o en forma de lluvia en radios relativamente pequeños a través de aspersores diminutos.

### **5.5.6. Adaptabilidad del sistema de riego por Microirrigación**

Los sistemas de riego por microirrigación se adaptan a gran número de cultivos, sin embargo, debido a los relativos altos costos iniciales deben ser usados principalmente: El agua es escasa o cara, los suelos son arenosos,

rocosos o difíciles de nivelar ó en la siembra de cultivos altamente rentables que requieren de un control más preciso de la cantidad de agua que se aplica para obtener un producto de alta calidad.

## **5.6. Morfología de la hoja**

En botánica, se llama pinna o foliolo a cada una de las piezas separadas en que a veces se encuentra dividido el limbo de una hoja. Cuando el limbo foliar está formado por un solo foliolo, es decir no está dividido, se dice que la hoja es una hoja simple. Cuando el limbo foliar está dividido en foliolos se dice que la hoja es hoja compuesta. Según el número de foliolos o pinnas de una hoja compuesta podemos diferenciar: *hojas paripinnadas*, aquellas con un número par de pinnas y *hojas imparipinnadas*, aquellas con un número impar de pinnas. Una hoja pinnada puede tener a su vez las pinnas divididas en pínulas, hojas frecuentes por ejemplo en muchos helechos, se denominan bipinnadas.

La hoja del Nogal pecanero es alterna, compuesta pinnada; presentan de 11 a 17 foliolos con pedicelos cortos, oblongo-lanceolados, acuminados, algunas veces falcados, miden de 10 a 17.5 cm., de largo, son aserrados y generalmente glabros en la madurez. Una de las principales funciones de la hoja es interceptar la radiación solar, factor climático determinante para el crecimiento y desarrollo de las plantas por su efecto en la fotosíntesis (Chávez et al., 2009).

El agua es el principal factor de manejo que permite alcanzar una alta eficiencia fotosintética de las hojas, y en consecuencia, una mayor calidad de nuez. La disponibilidad del agua para este cultivo esta en función de la cantidad y oportunidad con la que se suministre al suelo (Godoy et al., 2000, Godoy et al., 2005).

## **VI. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1. Área de Estudio**

La presente Investigación se realizó en el ciclo de marzo a septiembre del 2009, en la huerta de nogal pecanero ubicada en el campo experimental de la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (Figura 2) en el municipio de Torreón del Estado de Coahuila, México. Región conocida como la comarca Lagunera, localizada entre los meridianos 102° 22' y 104° 47' longitud oeste, y paralelos 24° 22' y 26° 23' latitud norte con una altura sobre el nivel del mar de 1,139 m.

El experimento se realizó en el modulo de riego instalado en el año 2005, en la huerta de nogal de la UAAAN-UL y representa a los sistemas de riego por gravedad y presurizados.

El módulo de riego está conformado por 11 hileras de 5 árboles cada una, logrando un total de 55 árboles en el sistema de riego por gravedad. En el sistema de riego presurizado 12 hileras de 8 árboles cada una para un total de 96 árboles. El área de estudio seleccionada tiene una superficie de 0.25 has en riego por gravedad, (5 hileras de 5 árboles) y en riego presurizado se tomaron 12 hileras de 4 árboles para un total de 0.4 has. En esta última, la superficie de cada sistema de riego (aspersión, micro-aspersión y goteo) tiene 0.6 has cada una conformada por 44 hileras de 4 árboles cada sistema. Se seleccionaron árboles sanos de variedades western donde la edad supera los 20 años en el sistema de riego por gravedad y 16 años en los sistemas de riego presurizado.

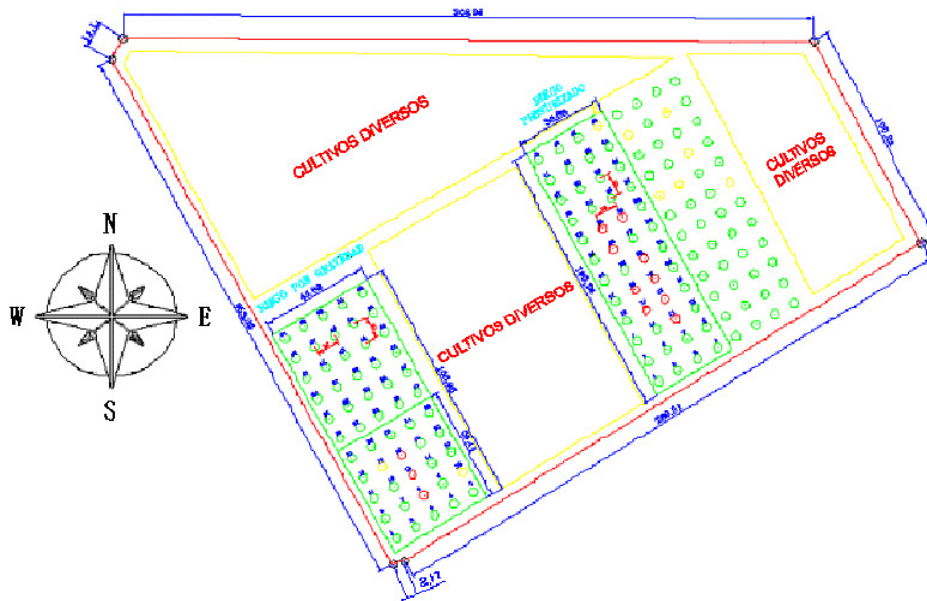


Figura 2. Imagen digitalizada de la Huerta de Nogal en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 2009.

## 6.2. Manejo del Agua

En la presente investigación, se aplicó diferente riego durante el ciclo del cultivo del nogal pecanero, tanto en la superficie donde se riega por gravedad, como en la donde operan los sistemas de aspersión, microaspersión y goteo. En el área de gravedad se aplicaron seis riegos, mientras que en el área de los sistemas presurizados, se aplicaron siete riegos, es importante mencionar que el tiempo de riego fue diferente. Mientras que para el riego por gravedad fueron horas, para los riegos presurizados fueron días.

### **6.2.1. Riego por gravedad**

Este sistema de riego (figura 3) es un sistema simple, comúnmente utilizado para el riego del nogal, su eficiencia es baja, menor de 55 por ciento. En este experimento los nogales irrigados bajo este sistema fueron 55, correspondiendo a 11 hileras de 5 árboles cada una. El gasto manejado para este sistema fue de 20 lps aproximadamente.



Figura 3. Riego por gravedad

### **6.2.2. Riego por aspersión**

En el sistema de riego por aspersión (figura 4) la aplicación del agua en el nogal, es de manera más eficiente, superior al 70 por ciento, además el volumen de agua aportado es menor que en el riego por gravedad. En la realización de esta investigación los nogales que se regaron con este sistema fueron 16 árboles, constituidos por 4 hileras con 4 árboles cada uno. Los aspersores se instalaron en el centro de dos líneas de árboles, de tal manera que el radio de alcance de humectación por el aspersor (9.5 metros), cubrió aproximadamente el 90 por ciento del suelo por las dos líneas de árboles de nogal.



Figura 4. Riego por Aspersión

### 6.2.3. Riego por microaspersión

El sistema por microaspersión (figura 5) es poco utilizado para el riego del nogal, pero con una eficiencia aceptable, superior al 80 por ciento. En el presente experimento se utilizaron 2 microaspersores por árbol, uno de cada lado separados a un metro de distancia aproximadamente con respecto al tronco. Los árboles regados con este sistema también fueron 16.



Figura 5. Riego por Microaspersión

### 6.2.4. Riego por goteo

Sistema menos utilizado en el riego del nogal, menor a 1 por ciento, a pesar de que su eficiencia es bastante aceptable, superior al 90 por ciento. El diseño utilizado para el experimento fue: dos líneas de cintilla enterrada a 40 centímetros de profundidad para cada costado de una línea de árboles. La primera

línea de cintilla separada 1.2 metros del tronco del nogal, mientras la segunda línea separada 1 metro de la primera. 16 árboles regados con este sistema.

### 6.3. Monitoreo de Humedad del Suelo

En la determinación de la humedad presente en el suelo donde se encuentran plantados los nogales, se utilizó el método gravimétrico, el cual se realizaba antes y después de cada riego. Método de los más utilizados para la determinación de la humedad presente en el suelo. Consiste en tomar muestras de suelo (figura 6) con una barrena. Estas muestras deben de ser a diferentes profundidades, según sea necesario.

En el trabajo se muestrearon tres profundidades a 0-30, 30-60 y 60-90 cm. Teniendo todas las muestras necesarias se llevan a pesar, este peso corresponderá al peso del suelo húmedo (psh), el dato se anota para posteriores cálculos. Una vez pesadas las muestras se introducen a una estufa, a temperatura de 105 -110 °C, donde se dejarán 24 horas. Pasadas las 24 horas se sacan y se vuelven a pesar, valor que corresponderá a peso del suelo seco (pss). El contenido de humedad se expresa en porcentaje referido a peso del suelo seco:

$$\frac{psh - pss}{pss} \times 100 = \text{Contenido de Humedad (\%)}$$

En la determinación del contenido de humedad en unidad volumétrica se involucró la densidad aparente (Da) en la ecuación anterior de la siguiente forma.

$$\left( \frac{psh - pss}{pss} \times 100 \right) \times Da = \text{Contenido de humedad (cm}^3/\text{cm}^3)$$

En la superficie regada con agua por gravedad, se realizaron 16 muestreos a tres profundidades 0-30, 30-60, 60-90 cm. En el área donde se encuentran los

sistemas presurizados los muestreos fueron también 16 y a las mismas tres profundidades. Es importante mencionar que la fecha del muestreo en algunos casos es diferente, debido a los riegos que al igual, no se aplicaron en las mismas fechas.



Figura 6. Muestra de suelo para el Método Gravimétrico

## **6.5. Morfología Estomática**

### **6.5.1 Área foliar y características de los estomas**

El área de los folíolos fue determinada en base a imágenes capturadas donde se visualiza el folíolo completo con la finalidad de conocer el área total en  $\text{mm}^2$ . La caracterización de estomas se realizó a partir de un parámetro morfológico, tamaño de los poros, expresado por el área de su sección sobre la imagen descrita por la ecuación 1 (Coster y Cherman, 1985) y que agrupa tres clases de tamaño: pequeños, medianos y grandes.

### **6.7. Técnica del Análisis de imagen**

La obtención y tratamiento de imágenes sobre la superficie de los folíolos se realizó con ayuda de una cámara digital Olympus CCD de 4 megapíxeles. Se colocó papel milimétrico bajo la lente del microscopio para usarlo como guía de medición y tomarla de referencia o cuadro base. Todas Las imágenes se capturaron a la misma distancia para obtener un igual número de píxeles y área



del papel milimétrico bajo la forma de una matriz rectangular de 2.5 x 2 mm, es decir 5 mm<sup>2</sup>, con una resolución espacial de 1µm por píxel, iluminando los folíolos con luz visible para la descripción de los estomas. El tratamiento de imagen se realizó con la ayuda del analizador Image Pro Plus versión 4.5 (Media Cibernética Marylan, USA) bajo micro computadora personal. Este software está específicamente diseñado para cualquier investigador que utilice los sistemas de adquisición de imagen para capturar, estudiar y almacenar imágenes y datos.

### 6.8. Análisis de Suelo

Un análisis de suelo siempre es importante para conocer las condiciones físico-químicas en las que se encuentra. En este experimento se tomaron muestras representativas de las dos diferentes superficies (figura 7), donde se riega por gravedad y donde se utilizan los sistemas de riego por aspersión, microaspersión y goteo. Estas muestras se tomaron con una barrena de caja, la cual está diseñada para obtener suficiente cantidad de suelo para hacer el análisis necesario. Las muestras se llevaron al laboratorio de agua y suelo del CENID-RASPA Inifap, localizado en Gomes Palacio Durango para cuantificar las características físicas y químicas (cuadro 2).



Figura 7. Muestras de Suelo para analisis fisico-quimico

Cuadro 2. Metodología para cuantificar las características físicas y químicas del suelo UAAAN-UL.2009.

Características del suelo	Metodología
Densidad aparente	Volumen conocido
Textura	Hidrómetro de bouyoucos
Capacidad de retención de humedad	Olla y membrana de presión

### 6.8.1 Olla y membrana de presión

El método se compone de una olla o cámara que, cerrada herméticamente, recibe presión de aire o un gas inerte (N) desde un compresor (figura 8). Aplicando una presión se simula la condición de succión a la cual se ve sometida el agua en el suelo. Se utilizan platos de presión, los cuales están compuestos por un plato de cerámica poroso, cuya cara inferior está cubierta por un delgado diafragma de neopreno, con una red interna entre el plato y el diafragma que permite el flujo de agua. Un tubo interno comunica este conducto con un tubo de flujo externo que conecta la olla con la atmósfera.

Los poros del plato permiten que se forme una continuidad líquida con los poros del suelo analizado, para así poder evacuar el agua que es desplazada desde el suelo por la presión ejercida por el aire comprimido. El agua desplazada, corresponde a la fracción de agua de suelo que no es capaz de retener una presión dada. De igual forma, a determinada tensión el agua que se queda retenida por el suelo. Una vez equilibradas las muestras a una presión determinada se secan y se determinan su contenido de agua. Las muestras antes de ser ubicadas dentro de la olla, deben ser secadas al aire, molidas y tamizadas a 2 mm.

El método contempla ubicar una o más muestras de suelo con tres repeticiones en la superficie del plato cerámico. Dentro de los puntos típicos

utilizados para definir la curva de succión se tiene el de saturación, capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

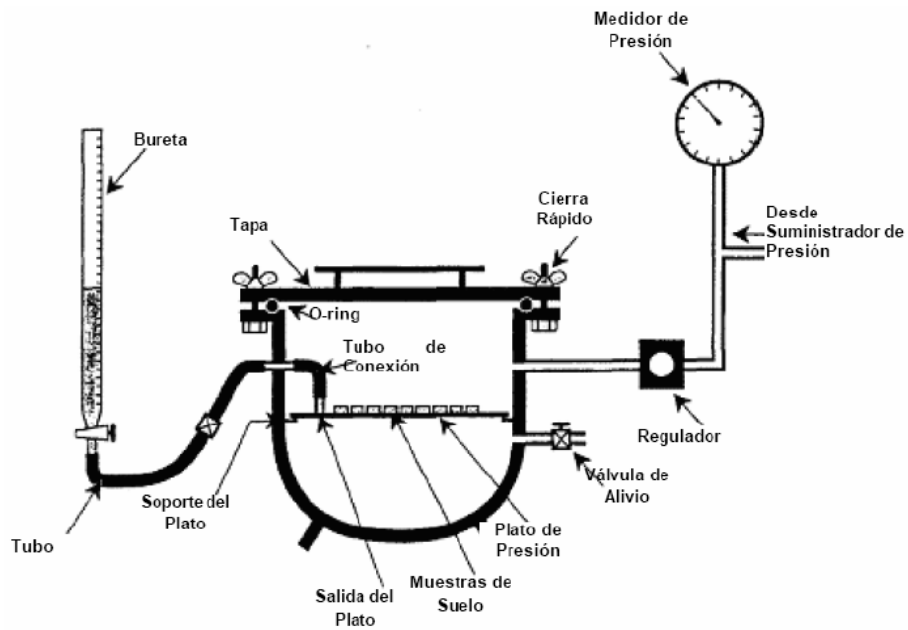


Figura 8. Sistema para determinar la curva de retención de agua en el Suelo.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Análisis físico y químico de los horizontes del suelo

### **7.1.1. Campo Experimental de la UAAAN-UL**

El análisis se realizó en cuatro superficies, clasificadas por el sistema de riego utilizado para irrigarlas, gravedad, aspersión, microaspersión y cintilla. Se obtuvieron muestras que se analizaron en el laboratorio de agua y suelo del CENID-RASPA Inifap, localizado en Gomes Palacio Durango. La densidad aparente se realizó con el método de Volumen conocido, mientras que la clase textural se determinó con el método del Hidrómetro de Bouyoucos.

### **7.1.2. Gravedad**

La figura 9 muestra los horizontes del perfil del suelo y su curva de retención de humedad para la superficie regada con agua por gravedad, en ella se observan los parámetros de potencial hídrico de Capacidad de Campo 0.3 bar (CC), Punto de Marchitez permanente 15 bar (PMP), así como de 3 y 9 bar. Los datos fueron obtenidos con el Método de Olla y Membrana de presión, en los horizontes de 30, 60 y 90 cm. del perfil del suelo. En dicha figura se puede observar que el valor del contenido volumétrico para PMP, varía de 22 a 28  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para 30 y 90 cm., de profundidad respectivamente, a diferencia de los valores de CC que oscilan entre los 41 a 34  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas profundidades, estos valores de PMP y CC, representan, el umbral mínimo y máximo de almacenamiento de agua para este suelo. En las tensiones intermedias como 3 y 9 bar, los rangos de contenido volumétrico varían de 29 a 23 y de 24 a 19  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  respectivamente.

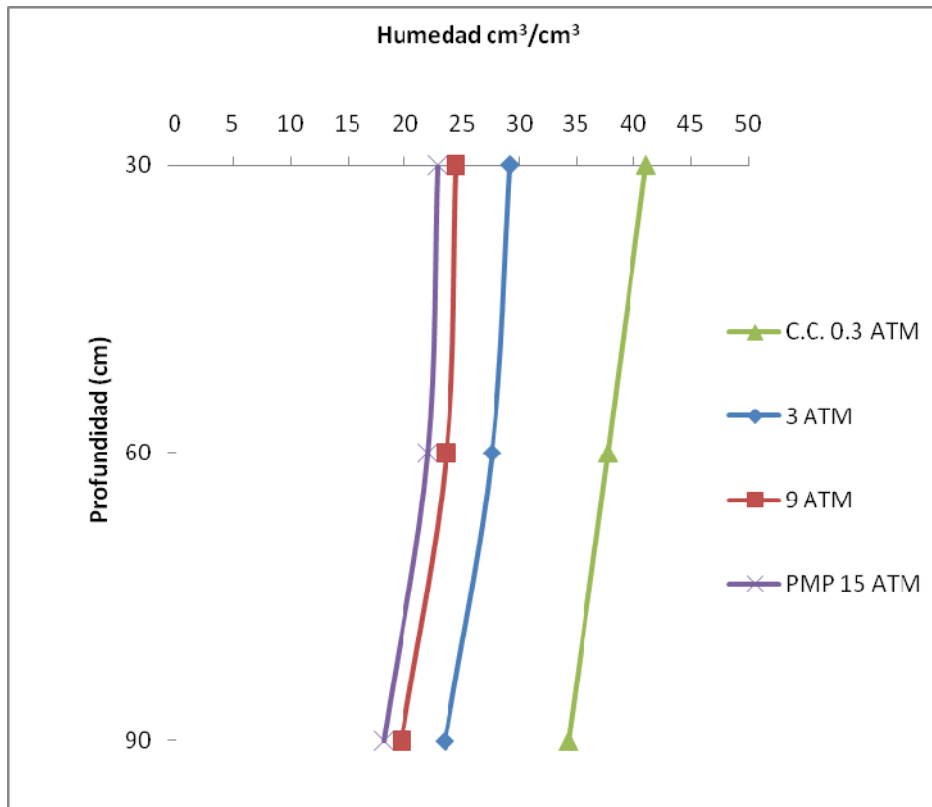


Figura 9. Curva de retención de humedad en la superficie de gravedad. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 10 se presentan los tres primeros muestreos de humedad en el suelo, posteriores al primer riego (23 de febrero), los cuales se encuentran dentro de los parámetros de humedad de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente. Al parecer no hay gran diferencia en el consumo de agua en las diferentes profundidades.

Los valores de contenido de humedad del primer muestreo (11 de marzo), oscilaron entre 27 y 26  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , a las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. Los valores del segundo muestreo (18 de marzo) variaron de 26 a 27  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , a las mismas profundidades y los valores del tercer (26 de

marzo) se encuentran en los rangos de 24 y 25  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , para las mismas profundidades.

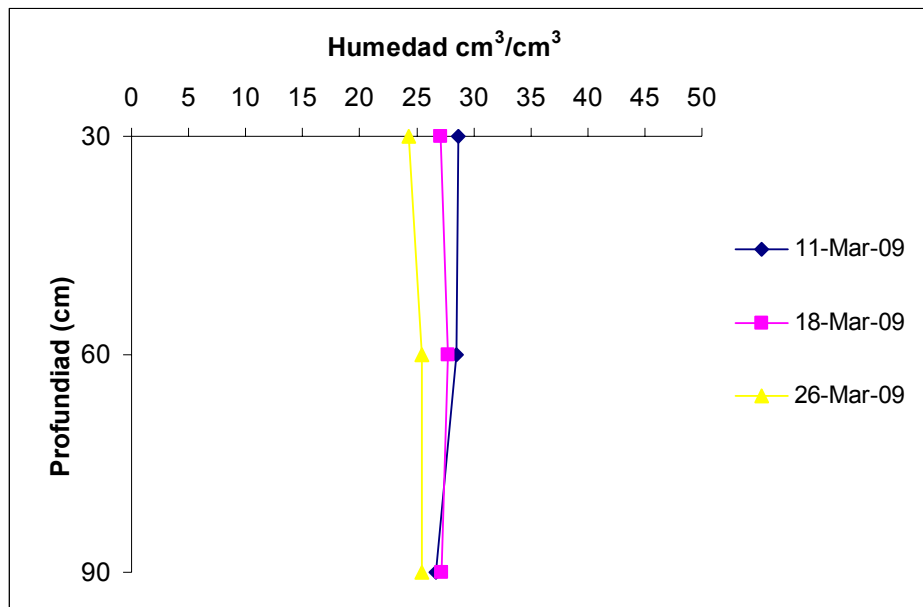


Figura 10. Contenido de humedad en gravedad 1<sup>er</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 11 se puede observar la variación del contenido volumétrico en el suelo a diferentes profundidades y posterior al segundo riego (31 de marzo). Enseguida se colectaron muestras de suelo en diferente fecha para determinar la humedad, el primer muestreo (3 de abril), con valores de contenido volumétrico que oscilaron entre 33 y 27  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  a las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente y esta humedad en el suelo se considera disponible para la raíz del nogal, ya que se ubican entre CC (0.3) y 3 bar según la curva de retención (Figura 10). En el segundo muestreo (22 de abril), se observa un contenido de humedad que disminuye y presenta valores que varían de 23 a 20  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas profundidades, con un abatimiento de la humedad correspondiente a una disponibilidad de 9 bar de tensión y que se consideran como el límite mínimo permisible para aplicar el agua de riego para el cultivo del nogal. Sin embargo para

el tercer muestreo (11 de mayo) la humedad en el suelo disminuyó considerablemente con valores de 18 a 17  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las mismas profundidades, humedad en el suelo que se considera como no disponible a una tensión de 15 bar y ocasionando un estrés hídrico en el nogal.

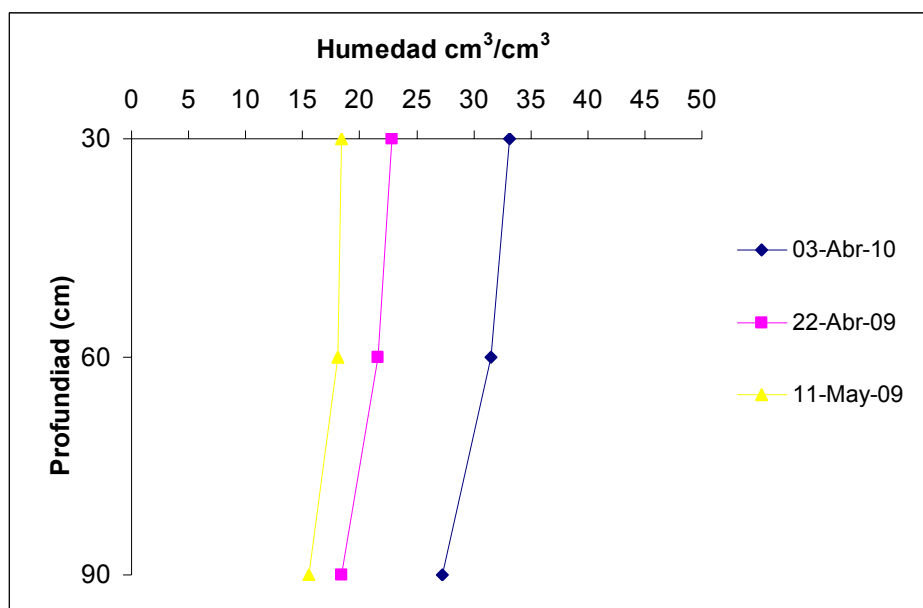


Figura 11. Contenido de humedad en gravedad 2º riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

Después del tercer riego (16 de mayo) se realizaron cuatro muestreos (figura 12). En el primer muestreo (22 de mayo), se pudo constatar que los valores varían de 39 a 16  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente, aquí podemos observar que la humedad a la profundidad de 30 cm., se encuentra dentro de los valores de tensión de 0.3 y 3 bar (figura 10), es decir humedad disponible. Mientras que la humedad a 90 cm., se localiza por debajo de PMP (15 bar) donde la humedad ya no es disponible. Esto nos indica un abatimiento de humedad a la profundidad de 90 cm., por lo tanto mayor consumo de agua por la raíz del nogal en dicha profundidad. En el segundo muestreo (29 de mayo), los

valores oscilaron entre 26 y 15  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , en las mismas profundidades. En esta ocasión el abatimiento se presentó en la profundidad de 30 cm., y el contenido de humedad se encuentra ahora en los valores de 3 y 9 bar, humedad que sigue siendo disponible, Por otro lado la humedad presentada a 90 cm., sigue estando por debajo de PMP (15 bar). Los valores para el tercer muestreo (4 de junio) oscilaron en 25 y 15  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas dos profundidades. Aquí no hubo gran diferencia con respecto a los valores del segundo muestreo. En el cuarto muestreo (14 de junio), se puede observar que los valores varían de 20 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las mismas profundidades. No hubo gran diferencia en el contenido de humedad a la profundidad de 90 cm., pero si se observa un abatimiento de esta a 30 cm., con respecto al tercer muestreo.

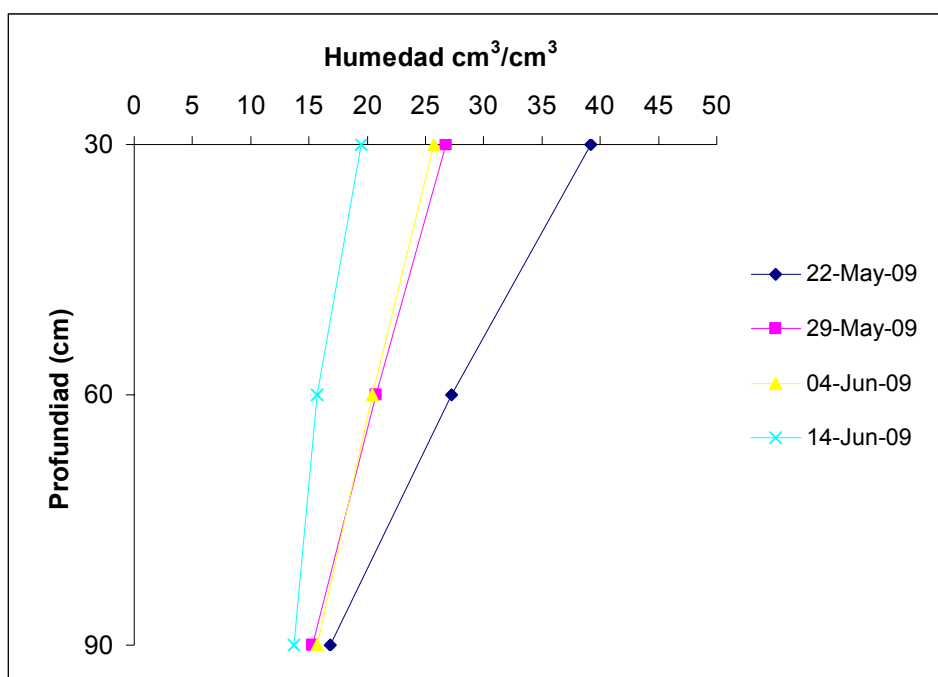


Figura 12. Contenido de humedad en gravedad 3<sup>er</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 13 se observa la variación de contenido de humedad, en los muestreos que se realizaron después del cuarto riego (17 de junio). El primer muestreo (27 de junio) indica que los valores varían de 28 a 15  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las



profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. La humedad disponible se presenta a la profundidad de 30 cm., por que se encuentra dentro de los valores correspondientes a las tensiones de 3 y 9 bar (figura 9). Mientras que en la profundidad de 90 cm., la humedad no es disponible, porque su valor se encuentra por debajo del valor correspondiente a la tensión de PMP (15 bar). En el segundo muestreo (8 de julio), los valores oscilaron de 23 a 24  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las mismas profundidades. Estos valores nos indican que la humedad se encuentra disponible en las dos profundidades, apenas por arriba de 9 bar, disponibilidad de humedad que se considera como mínima permisible. Mientras que en el tercer muestreo (20 de julio), se puede constatar que los valores oscilaron de 15 a 11  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas profundidades. Valores que se presentan fuera del rango de PMP (15 bar), y por lo tal se considera como humedad no disponible. Teniendo como consecuencia un estrés hídrico del nogal.

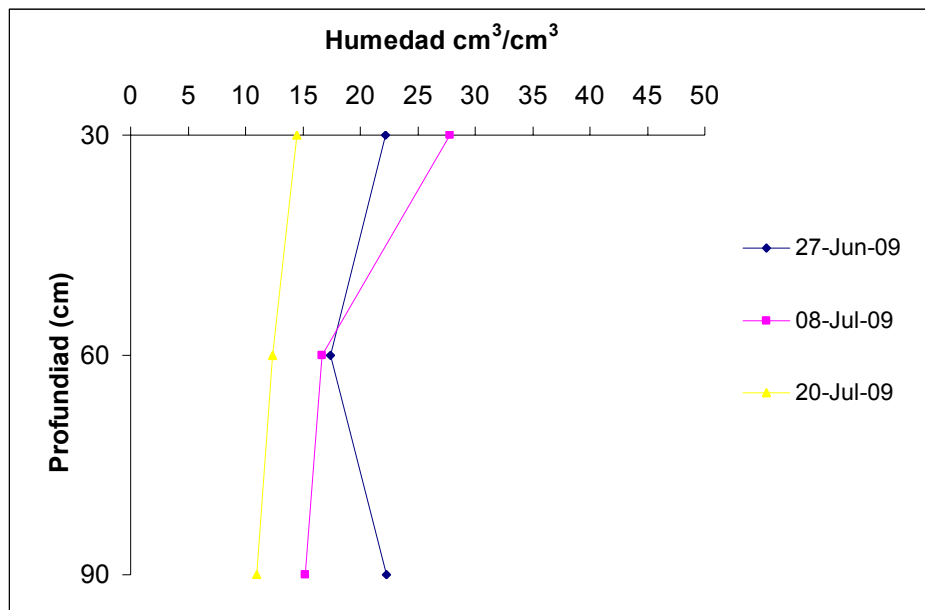


Figura 13. Contenido de humedad en gravedad 4<sup>o</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En el quinto riego se realizó solo un muestreo (Figura 14). El muestreo se realizó el 10 de agosto y los valores obtenidos varían de 20 a 19  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las

profundidades de 30 y 90 cm. Estos valores se localizaron por debajo de los valores correspondientes a la tensión de 9 bar (figura 10), lo que indica una humedad no disponible para la raíz del nogal.

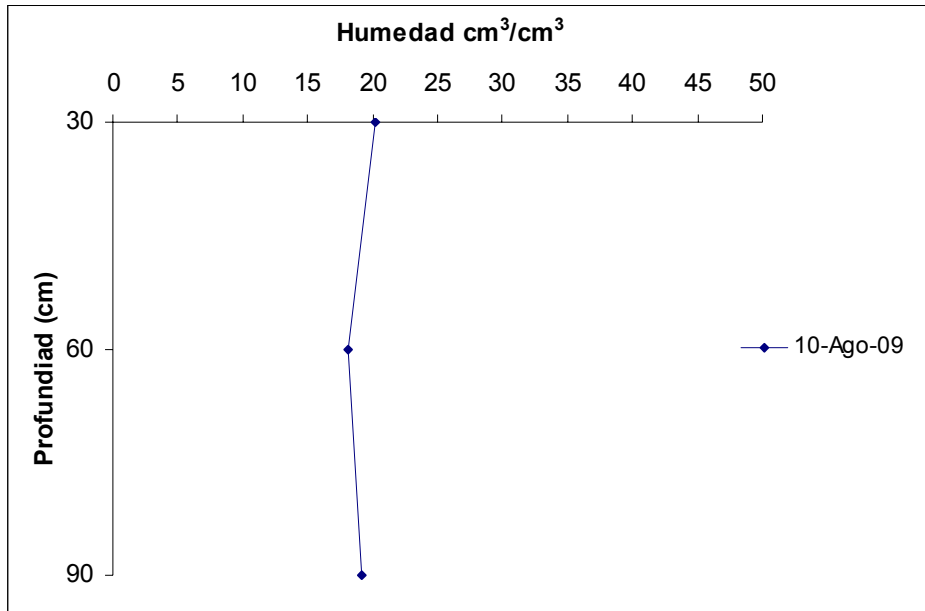


Figura 14. Contenido de humedad en gravedad 5º riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

La figura 15 corresponde a los muestreos realizados después del sexto riego (18 de agosto). El valor de contenido de humedad del primer muestreo (27 de agosto), indica que los valores varían de 47 a 39  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , para las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. Estos valores se encuentran arriba de los valores correspondientes a la tensión de CC (0.3 bar), en este caso la humedad no es disponible. Para el segundo muestreo (11 de septiembre), se pueden observar que los valores oscilan de 23 a 19  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las mismas profundidades, aquí la humedad se encuentra retenida a la tensión de 9 bar, y es considerada como la disponibilidad de humedad mínima permisible.

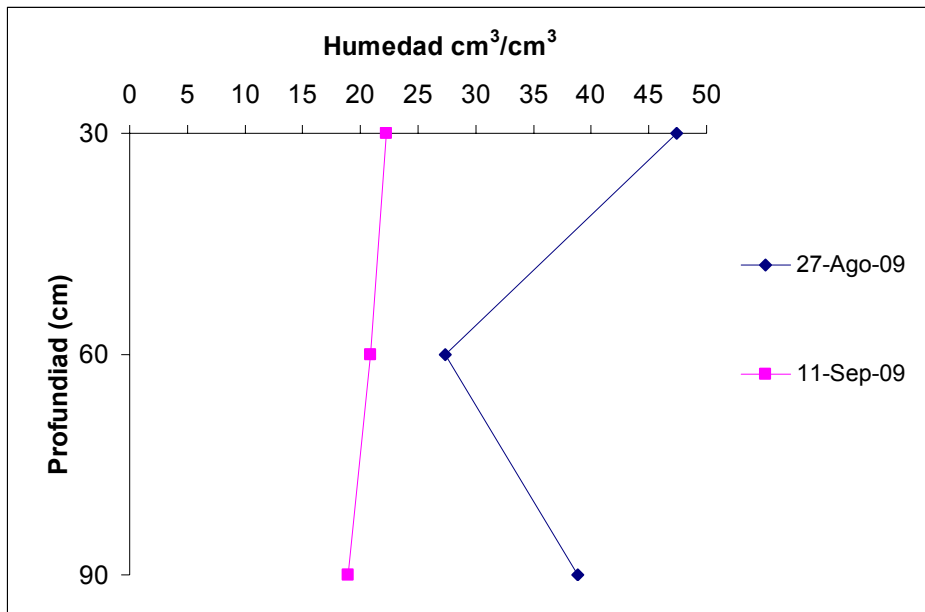


Figura 15. Contenido de Humedad en Gravedad 6<sup>o</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En el cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos del análisis de textura y densidad aparente, de las muestras que se tomaron en la superficie regada por gravedad, las cuales fueron a tres profundidades.

Cuadro 3. Clase textural y densidad aparente en superficie de gravedad, Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

Profundidad (cm.)	Textura	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )
0-30	Franco Arcilloso limoso	1.21
30-60	Franco Arcilloso limoso	1.14
60-90	Franco limoso	1.17

### 7.1.3. Aspersión

La figura 16 muestra los horizontes del perfil del suelo y su curva de retención de humedad para la superficie de suelo, regada con aspersión, en ella se observan los potenciales hídricos de Capacidad de Campo 0.3 bar (CC), Punto de Marchitez permanente 15 bar (PMP), así como de 3 y 9 bar. Los datos fueron obtenidos con el Método de Olla y Membrana de presión, en tres profundidades 30, 60 y 90 cm. del perfil del suelo. En la figura 16 se puede observar que el valor del contenido volumétrico para PMP, es de  $19 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  y homogéneo para 30, 60 y 90 cm., de profundidad, a diferencia de los valores de CC que oscilan entre los 39, 41 y  $40 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas profundidades, estos valores de PMP y CC, representan, el umbral mínimo y máximo de almacenamiento de agua para este suelo, además se representan dos tensiones intermedias como 3 y 9 bar, con rangos del contenido volumétrico de 25 a 26 y de 21 a 20  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  respectivamente.

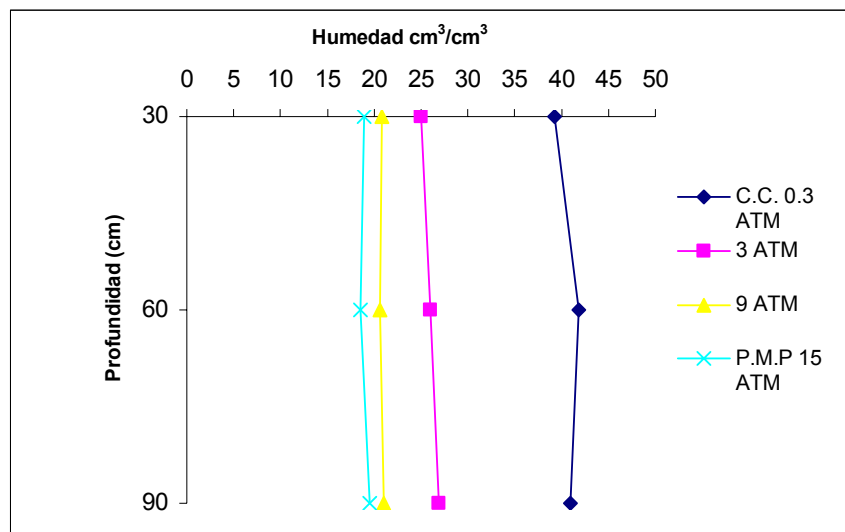


Figura 16. Curva de retención de humedad en la superficie por aspersión, Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 17 se presentan los dos muestreos de humedad en el suelo, posterior al primer riego (12 al 25 de marzo), los cuales se encuentran dentro de los parámetros de humedad de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente. Al parecer se presenta un abatimiento de la humedad con respecto a la profundidad del suelo particularmente a 90 cm.

El contenido de humedad en el suelo para el primer muestreo (26 de marzo), varía entre 35 a 33  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , a las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente, al compararlos con la figura 16 estos valores están dentro del rango de tensiones de 0.3 y 3 bar. En el segundo muestreo (4 de abril) el contenido de humedad disminuyó hasta 25 a 20  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , a las mismas profundidades, aun en esta fecha este contenido se ubica a una tensión de 3 bar, es decir una alta disponibilidad del agua para las raíces del cultivo, resalta la profundidad a 90 cm., donde se presenta una disminución en el contenido de humedad en el suelo hasta 20  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ .

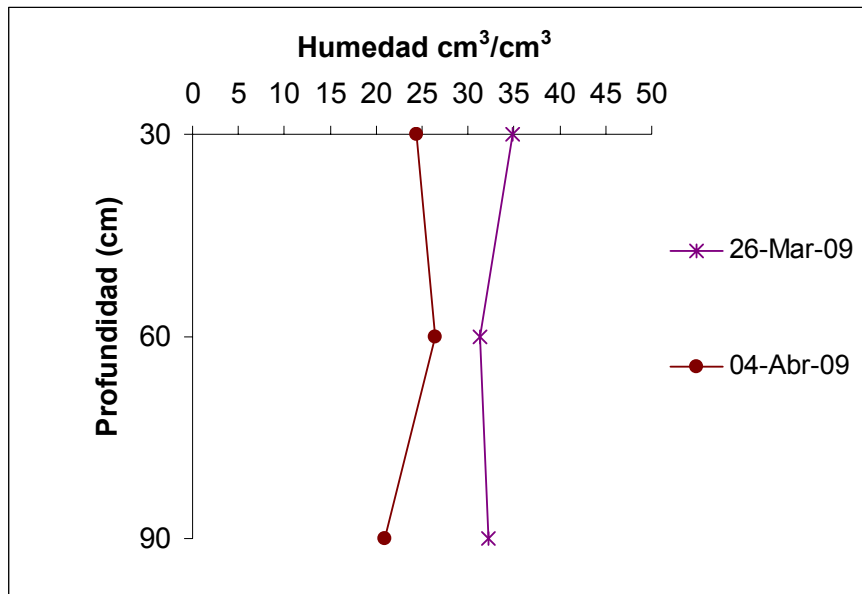


Figura 17. Contenido de humedad en aspersión 1<sup>er</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

Después del segundo riego (6 al 14 de abril) se colectaron dos muestreos (Figura 18). El primero el 15 de abril, con valores de contenido de humedad que oscilaron en 26 y 21  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  a las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. Estos valores indican humedad disponible en el suelo, ya que se encuentran dentro de los valores correspondientes a las tensiones de CC (0.3) y 3 bar. Mientras que en el segundo muestreo (22 de abril) se puede observar que los valores no varían y se encuentran en 21  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las dos mismas profundidades. Dicho contenido de humedad se encuentra en el límite de los valores a 9 bar de tensión, pero se considera como humedad disponible para el cultivo.

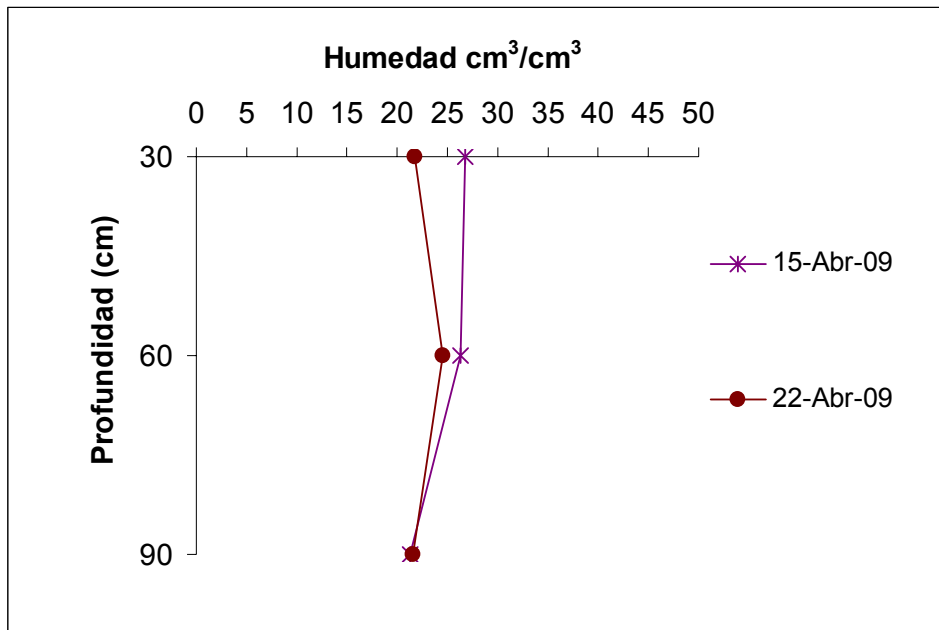


Figura 18. Contenido de humedad en aspersión 2º Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En el tercer riego (27 de abril al 10 de mayo) se realizaron dos muestreos y los valores se observan en la figura 19. En el primer muestreo (11 de mayo), se puede constatar que los valores de contenido de humedad varían de 23 a 20  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las profundidades de 30 y 90 cm. Mientras que para el segundo muestreo obtenido el 22 de mayo, los valores fluctúan de 19 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , en las mismas profundidades.

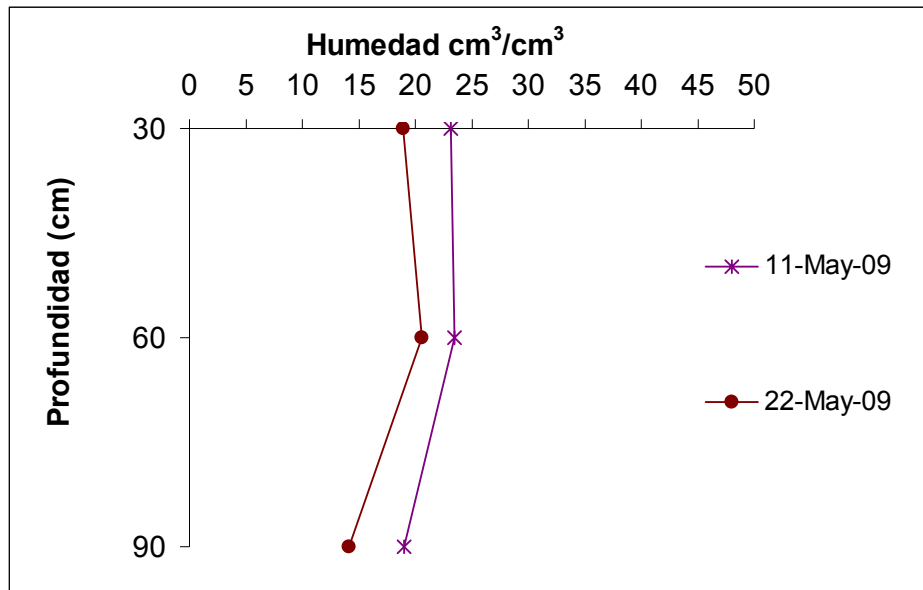


Figura 19. Contenido de humedad aspersion 3<sup>er</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 20 se observan los muestreos que se realizaron después del cuarto riego (23 al 28 de mayo), así como la variación de contenido de humedad existente entre ellos. El primer muestreo (29 de mayo) indica que los valores de contenido de humedad varían de 34 a 26  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. Estos valores representan humedad disponible en el suelo, por que están dentro de los valores correspondientes a las tensiones de CC (0.3) y 3 bar. En el segundo muestreo (4 de junio), los valores varían de 30 a 24  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las mismas profundidades, valores que también corresponden a humedad disponible para la raíz. Mientras que en el tercer muestreo (14 de junio), se puede constatar que los valores oscilaron de 20 a 18  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas profundidades, aquí se observa un abatimiento de humedad en ambas profundidades, y ahora los valores se localizan por debajo de los valores correspondientes a 9 bar, donde el contenido de humedad ya no es disponible.



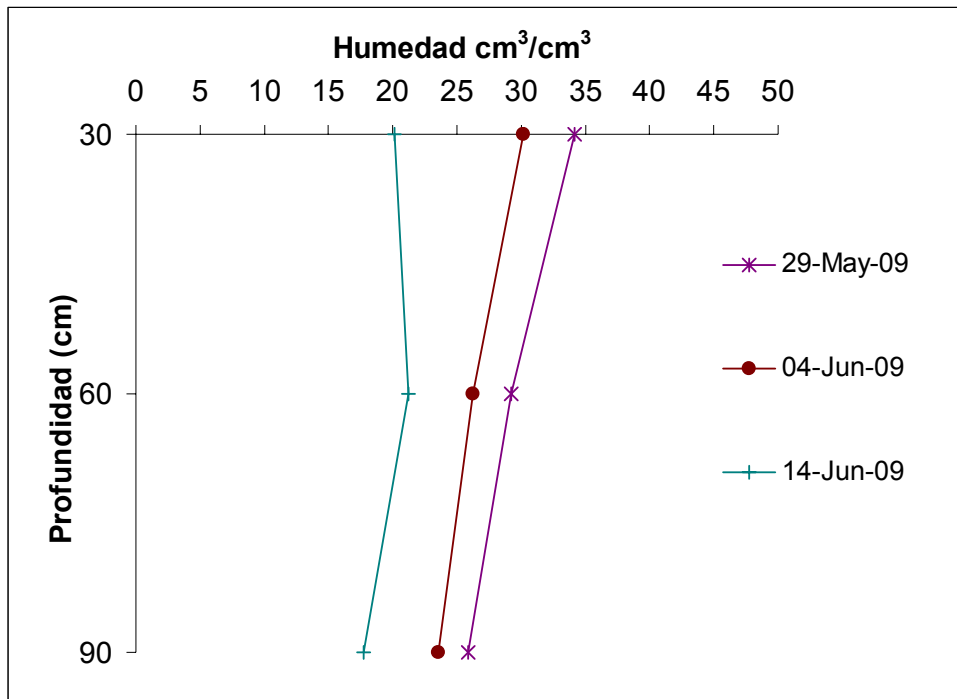


Figura 20. Contenido de humedad aspersion 4º Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

La variación de contenido de humedad en los muestreos posteriores al quinto riego (18 al 26 de junio) se presenta en la figura 21. Para el primer muestreo (27 de junio), los valores de contenido de humedad oscilaron en 65 y 45  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  a las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. Estos valores se encuentran arriba de los valores a la tensión de CC (0.3 bar), esta humedad no es disponible para la raíz, esto puede pasar por presentarse una lluvia o un hecho extraordinario. En el segundo muestreo (8 de julio), se observa que los valores varían de 30 a 21  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas profundidades. Aquí hubo un abatimiento a la profundidad de 90 cm., quedando en el rango apenas la humedad es disponible (9 bar), mientras que el valor a 30 cm., esta dentro de rango de CC (0.3) y 3 bar, donde la humedad se encuentra aún más disponible. El tercer muestreo (20 de julio) indica que los valores de contenido de humedad fueron de 18 a 17  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las mismas profundidades, valores que se encuentran por

debajo de los valores correspondientes a PMP (15 bar) donde la humedad no es disponible y teniendo como consecuencia el estrés hídrico del cultivo.

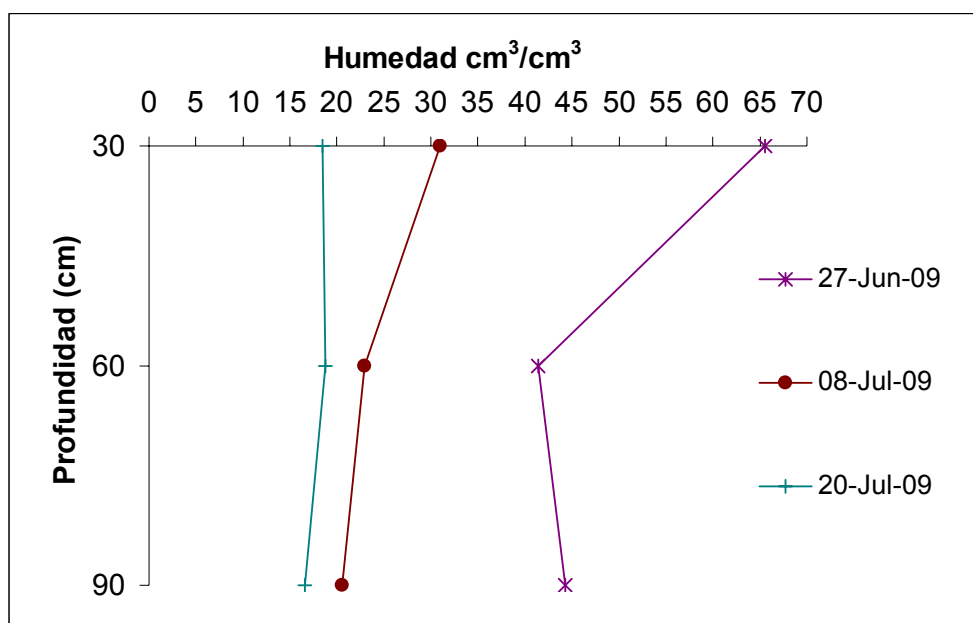


Figura 21. Contenido de humedad aspersión 5º Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

Posterior al sexto riego se realizo un muestreo (10 de agosto) en el cual se observo que los valores oscilaron de 20 a 15 cm³/cm³ para las profundidades de 30 y 90 cm., (figura 22).. Estos valores nos indican humedad en el suelo no disponible para la raíz del nogal, ya que se encuentran por debajo de los valores correspondientes a 9 bar.

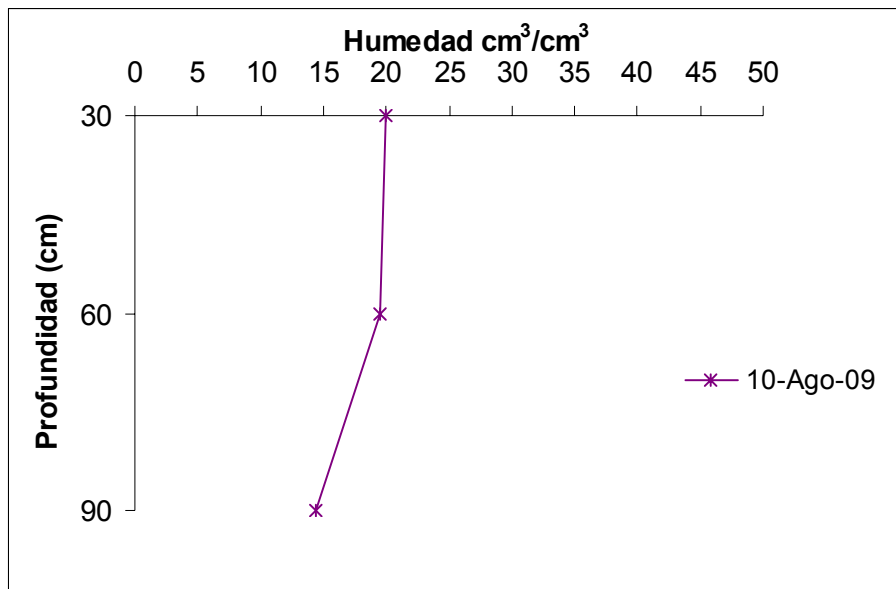


Figura 22. Contenido de humedad aspersión 6° Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 23 se observan la variación de contenido de humedad a diferentes perfiles de suelo, por medio de muestras que se colectaron después del séptimo riego (17 al 21 de agosto). El primer muestreo (27 de agosto) indica que los valores de contenido de humedad, varían de 22 a 24  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. Estos valores representan humedad disponible a la tensión de 9 y 3 bar. Mientras que los valores obtenidos en el segundo muestreo (11 de septiembre) oscilaron de 19 a 15  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , en las mismas profundidades, valores que representan humedad no disponible a la tensión de PMP (15 bar), y por lo tanto estrés en el cultivo.

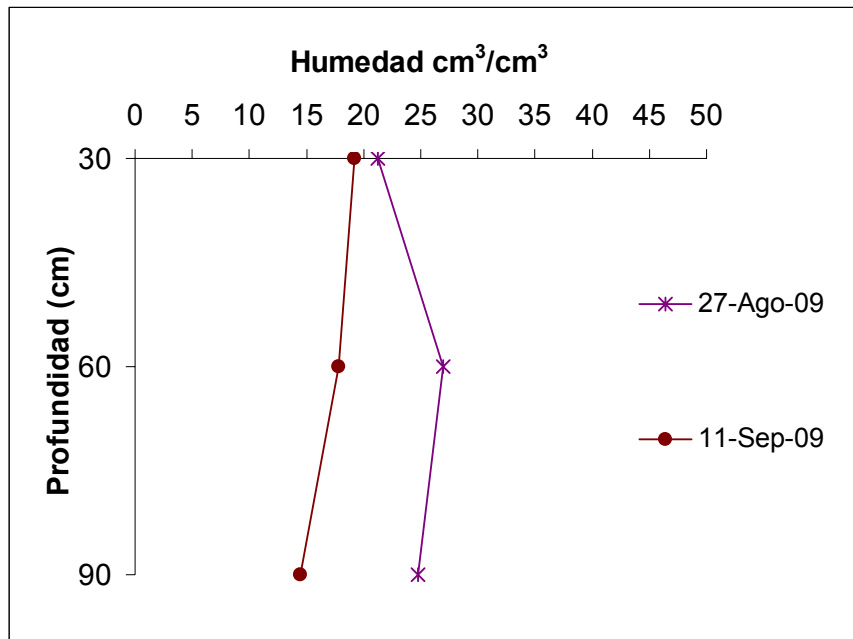


Figura 23. Contenido de humedad aspersión 7° Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

El cuadro 4 presenta los resultados de la clase textural y densidad aparente correspondientes a la superficie regada por Aspersión, donde se tomaron tres muestras a profundidades de, 30, 60 y 90 cm.

Cuadro 4. Clase textural y densidad aparente en superficie de aspersión, Campo Experimental, de la UAAAN.UL 2009.

Profundidad (cm.)	Textura	Densidad Aparente (gr/cm3)
0-30	Franco Arcilloso limoso	1.19
30-60	Franco limoso	1.16
60-90	Franco limoso	1.17

#### 7.1.4. Microaspersión

La figura 24 muestra los horizontes del perfil del suelo, al igual que la curva de retención de humedad para la superficie regada con microaspersión, en ella se observa los parámetros de potenciales hídricos de Capacidad de Campo 0.3 bar (CC), Punto de Marchitez permanente 15 bar (PMP), así como de 3 y 9 bar. Los datos fueron obtenidos con el Método de Olla y Membrana de presión, en los horizontes de 30, 60 y 90 cm. del perfil del suelo. En dicha figura se puede observar que el valor del contenido volumétrico para PMP, es de 18 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para 30 y 90 cm., de profundidad respectivamente, a diferencia de los valores de CC que oscilan entre los 41 a 37  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas profundidades, estos valores de PMP y CC., representan, el umbral mínimo y máximo de almacenamiento de agua para este suelo, y para las tensiones intermedias como 3 y 9 bar, los rangos de contenido volumétrico variaron de 26 a 24 y de 18 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  respectivamente.

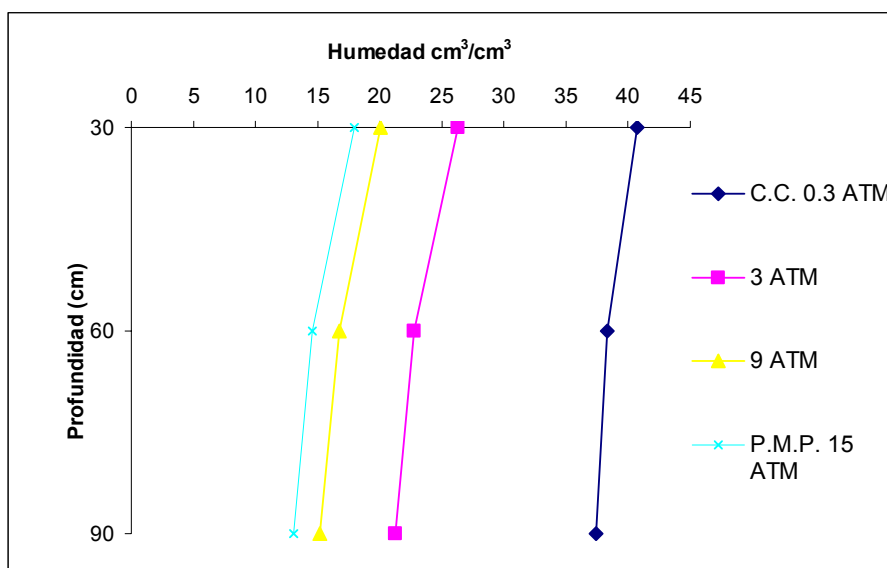


Figura 24. Curva de Retención de Humedad en superficie de microaspersión, Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 25 se observa la variación de contenido de humedad en los muestreos realizados después del primer riego (12 al 25 de marzo). Los valores del primer muestreo (26 de marzo) oscilaron en 36 y 30  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , a las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. En el segundo muestreo (4 de abril), el valor fue de 25 a 20  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , a las mismas profundidades. Los valores de ambos muestreos se encuentran dentro de los rangos mínimo y máximo de contenido de humedad (CC y PMP), por lo tanto la humedad presente en el suelo es disponible para la raíz del nogal.

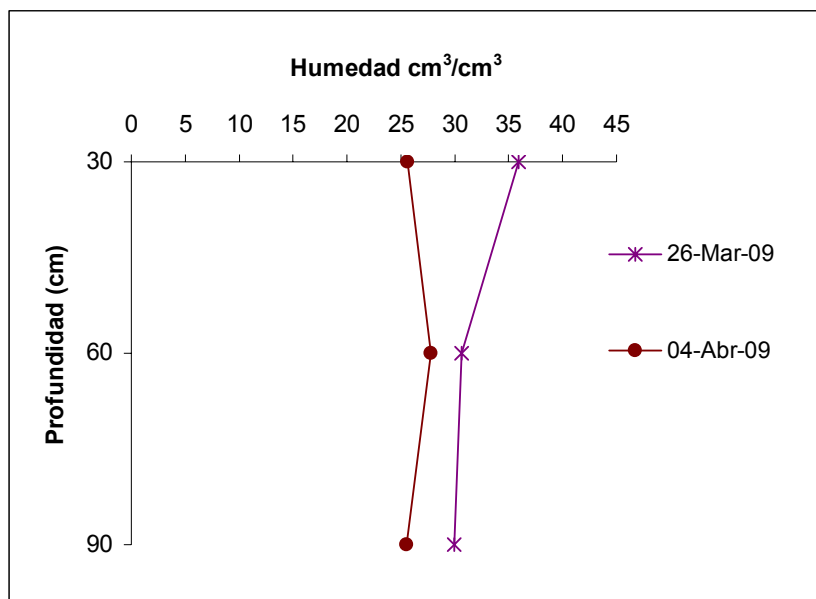


Figura 25. Contenido de humedad en microaspersión 1<sup>er</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 26 se pueden observar los valores de los muestreos que se realizaron después del segundo riego (6 al 14 de abril). Para el primer muestreo (15 de abril), el valor de contenido de humedad fue de 26  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  a las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. En el segundo muestreo (22 de abril), se puede observar que los valores varían de 23 a 22  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las dos mismas profundidades. Al igual que en el primer riego, los valores de los

muestreos siguen estando dentro de la humedad considerada como disponible para el cultivo.

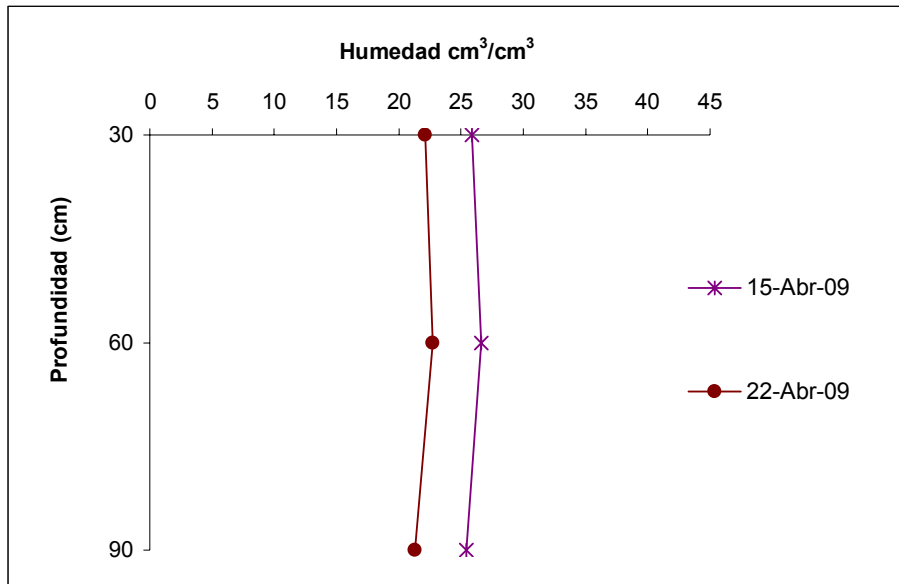


Figura 26. Contenido de humedad en microaspersión 2º riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

Después del tercer riego (27 de abril al 10 de mayo) se obtuvieron dos muestreos y los valores se observan en la figura 27. En el primer muestreo (11 de mayo), se puede constatar que los valores de contenido de humedad varían de 24 a 20  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. Estos valores están dentro de los rangos de CC y PMP (figura 24) y la humedad se encuentra disponible en el suelo. En el segundo muestreo (22 de mayo), los valores fluctúan de 20 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , en las mismas profundidades. El valor a la profundidad de 90 cm., esta por debajo del valor de humedad correspondiente a la tensión de 9 bar, zona donde la humedad ya no es disponible para el cultivo. Mientras que el valor a la profundidad de 30 cm., se encuentra en el rango de la humedad mínima permisible a la tensión de 9 bar.

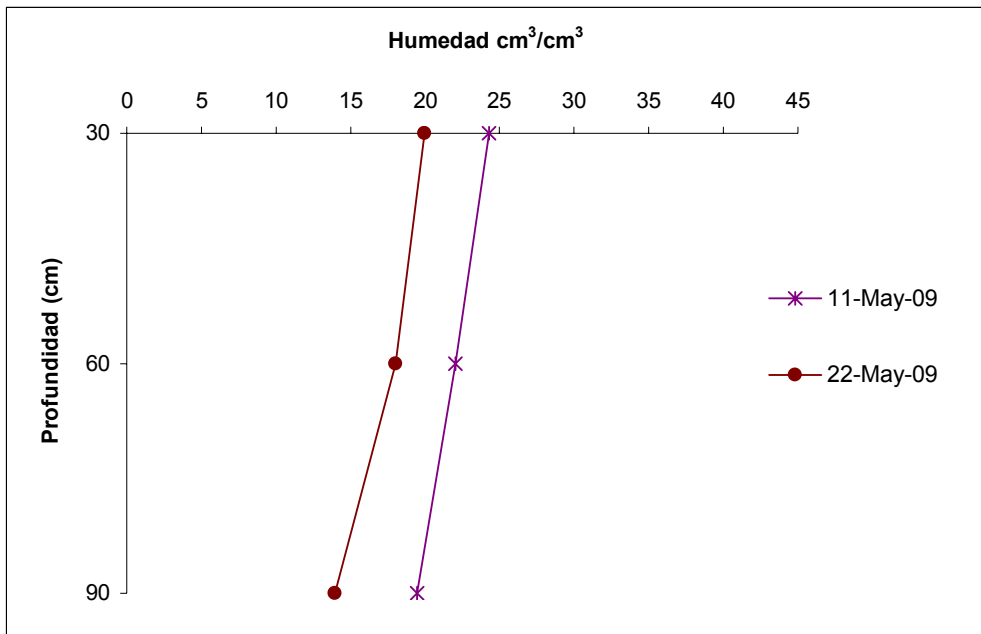


Figura 27. Contenido de humedad en microaspersión 3<sup>er</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 28 se observar la variación en cuanto a contenido de humedad de los muestreos que se realizaron después de del cuarto riego (23 al 28 de mayo). El primer muestreo (29 de mayo) indica que los valores de contenido de humedad varían de 36 a 26  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las profundidades de 30 y 90 cm. respectivamente. En el segundo muestreo (4 de junio), los valores varían de 30 a 24  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las mismas profundidades. Mientras que en el muestreo que se realizó el 14 de junio, se puede constatar que los valores oscilaron de 18 a 13  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas profundidades. En los primeros dos muestreos se observa que la humedad presente en el suelo se encuentra disponible para la raíz del nogal, los valores de dichos muestreos, se localizan dentro de los valores correspondientes a las tensiones de 3 y 0.3 bar (CC). Mientras que los valores obtenidos del tercer muestreo se encuentran dentro de los rangos de 9 y 15 bar (PMP), donde la humedad no esta disponible para la raíz del cultivo. Esto nos indica consumo de agua por parte de la raíz en ambas profundidades.



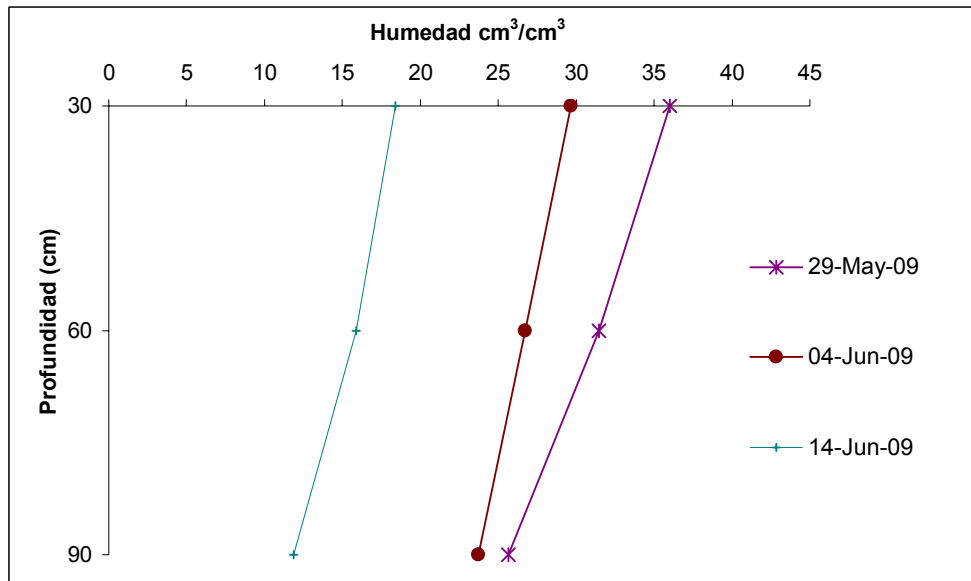


Figura 28. Contenido de humedad en microaspersión 4° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En el quinto riego (18 al 26 de mayo) se realizaron tres muestreos, los cuales se observan en la figura 29, así como la varianza que existe entre ellos en cuanto a contenido de humedad. En el primer muestreo (27 de junio), los valores de contenido de humedad oscilaron en 61 y 15  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  a las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. El valor a la profundidad de 90 cm., se encuentra en el límite de la humedad mínima permisible, es decir a la tensión de 9 bar. Mientras que el valor obtenido a la profundidad de 30 cm., sobrepasa los valores correspondientes a la tensión de CC (0.3 bar), esta humedad no es disponible para la raíz del cultivo, esto pudo haber sucedido por una lluvia o por un hecho extraordinario. En el segundo muestreo (8 de julio), se puede observar que los valores varían de 30 a 16  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas profundidades. Estos valores se encuentran dentro de los valores correspondientes a las tensiones de 0.3 (CC) y 9 bar de la curva de retención de humedad (figura 24), donde la humedad esta disponible para la raíz del nogal. El tercer muestreo (20 de julio) los valores de contenido de humedad fueron de 15 a 11  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las mismas profundidades.

Estos valores corresponden en la curva de retención de humedad, a una humedad no disponible en el suelo, teniendo como consecuencia el estrés hídrico del cultivo.

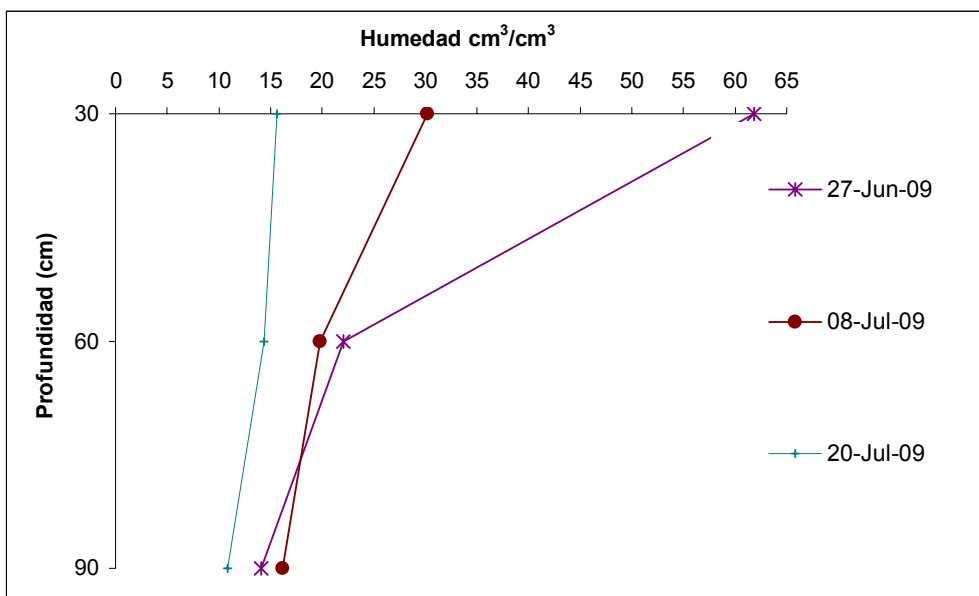


Figura 29. Contenido de humedad en microaspersión 5<sup>o</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 30 se observa el único muestreo realizado después del sexto riego. El muestreo se realizó el 10 de agosto y los valores obtenidos varían de 16 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las profundidades de 30 y 90 cm. En esta fecha la humedad presente en el suelo no se encuentra disponible para el cultivo.

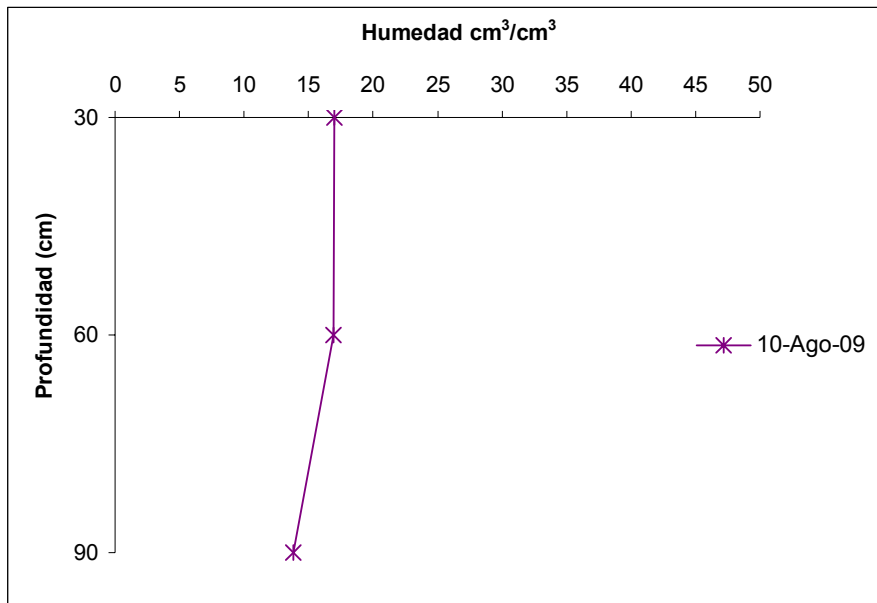


Figura 30. Contenido de humedad en microaspersión 6° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 31 se observan la variación de contenido de humedad los muestreos que se realizaron después del séptimo riego (17 al 21 de agosto). En el primer muestreo (27 de agosto) los valores de contenido de humedad, varían de 20 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. El valor obtenido a la profundidad de 30 cm., se encuentra en el límite de la humedad mínima permisible, a la tensión de 9 bar. Mientras que el valor obtenido a la profundidad de 90 cm., se encuentra en zona de humedad no disponible, es decir por de bajo de los valores a la tensión de 9 bar. Los valores en el segundo muestreo (11 de septiembre) oscilaron de 17 a 12  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , en las mismas profundidades. Estos valores nos indican que la humedad presente en el suelo no es disponible, cuya consecuencia trae un estrés hídrico en el nogal. Los valores se encuentran en la curva de retención de humedad (figura 24), por debajo de los valores correspondientes a la tensión de 9 bar, rango que es considerado como, contenido de humedad mínimo permisible.

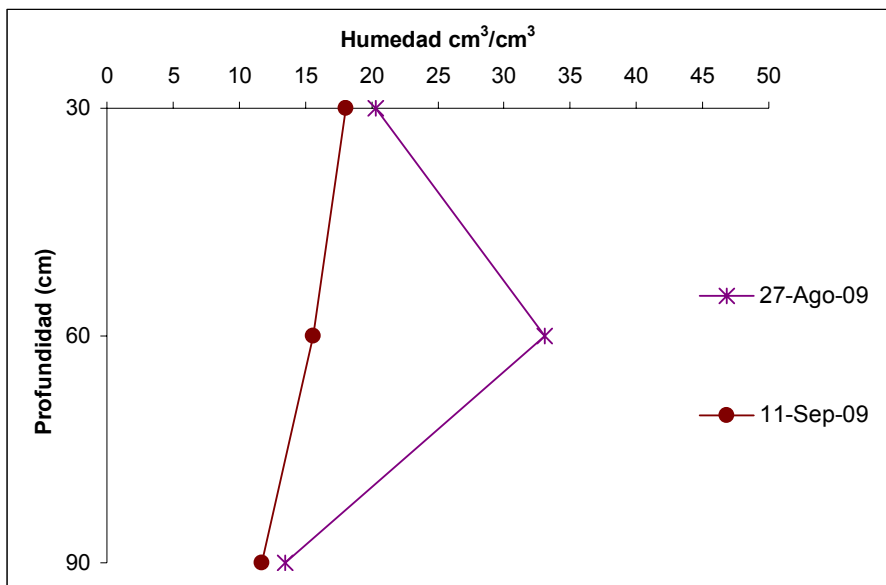


Figura 31. Contenido de humedad en microaspersión 7<sup>o</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

La clase textural, así como la densidad aparente correspondientes a la superficie irrigada por Microaspersión se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 5. Clase textural y densidad aparente en superficie de microaspersión. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

Profundidad (cm.)	Textura	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )
0-30	Franco limoso	1.18
30-60	Franco limoso	1.14
60-90	Franco limoso	1.17

### 7.1.5. Goteo

La figura 32 muestra los horizontes del perfil del suelo y su curva de retención de humedad para la superficie regada con goteo, en ella se observa los parámetros de potenciales hídricos de Capacidad de Campo 0.3 bar (CC), Punto de Marchitez permanente 15 bar (PMP), así como de 3 y 9 bar. Los datos fueron obtenidos con el Método de Olla y Membrana de presión, en los horizontes de 30, 60 y 90 cm. del perfil del suelo. En dicha figura se puede observar que el valor del contenido volumétrico para PMP, es de 19 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para 30 y 90 cm., de profundidad respectivamente. Mientras que los valores de CC fue de 40  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para ambas profundidades, estos valores de PMP y CC, representan el umbral mínimo y máximo de almacenamiento de agua para este suelo, y para las tensiones intermedias como 3 y 9 bar, los rangos de contenido volumétrico varían de 26 a 22 y de 21 a 16  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  respectivamente.

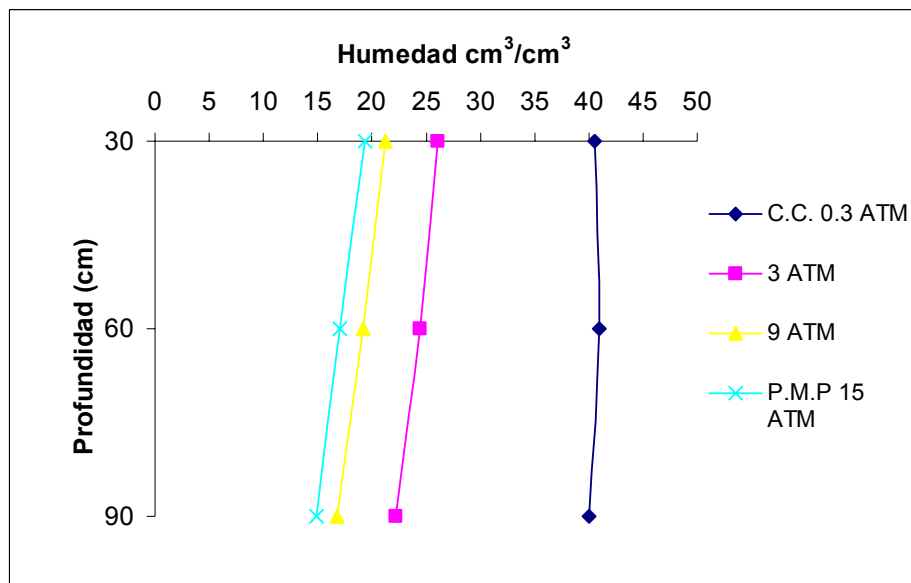


Figura 32. Curva de Retención de Humedad en superficie de goteo, Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 33 se presentan los muestreos y su varianza de contenido de humedad en el suelo, posterior al primer riego (12 al 25 de marzo). En el primer muestreo (26 de marzo) los valores oscilaron entre 26 y 30  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , a las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. Valores que se encuentran dentro del rango de humedad disponible en el suelo, es decir entre las tensiones de CC (0.3) y 3 bar (figura 32). En el segundo muestreo que se realizó el 4 de abril, el valor fue de 15 a 16  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , a las mismas profundidades. El valor obtenido a la profundidad de 30 cm., nos indica que no existe humedad disponible en el suelo, ya que este valor se encuentra por debajo del valor correspondiente a la tensión de PMP (15 bar).

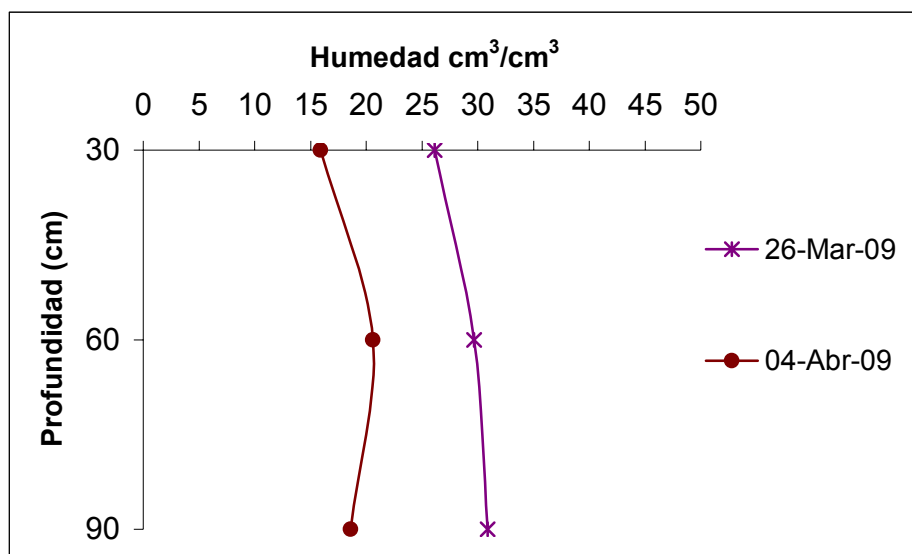


Figura 33. Contenido de Humedad en goteo 1<sup>er</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

Después del segundo riego (6 al 14 de abril) se colectaron dos muestreos (figura 34). En el primer muestreo (15 de abril) los valores variaron de 15 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , a las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. Estos valores se encuentran por debajo de los valores correspondientes a la tensión de 9 bar, rango que se considera como de humedad mínima permisible. Por lo tanto la

humedad presente en el suelo para esa fecha no es disponible, teniendo como consecuencia el estrés hídrico del nogal. En el segundo muestreo (22 de abril), se puede observar que los valores oscilaron de 20 a 21  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas profundidades. El valor obtenido a la profundidad de 30 cm., se encuentra por debajo del valor mínimo permisible de humedad que es a la tensión de 9 bar (figura 32). Mientras que el valor obtenido a la profundidad de 90 cm., se encuentra entre los valores correspondientes a las tensiones de 9 y 3 bar, y es considerada como humedad disponible para la raíz del nogal.

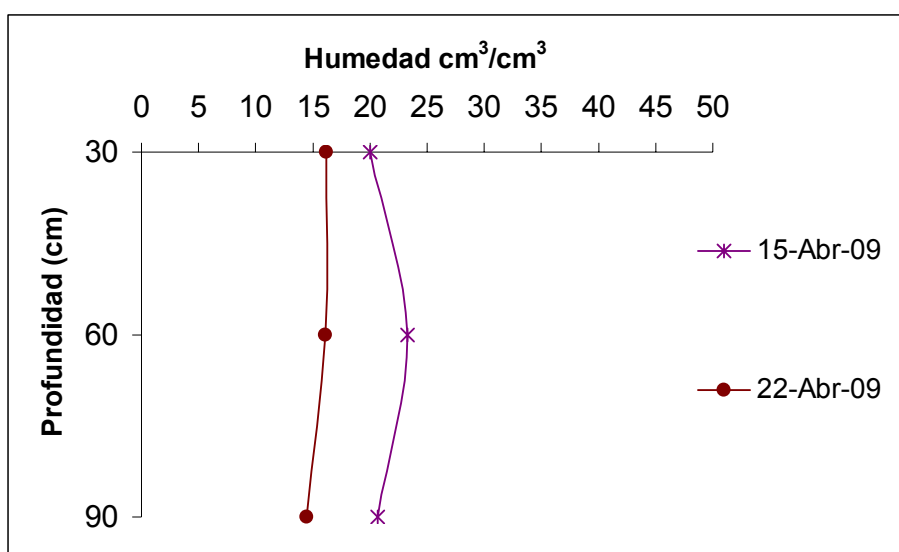


Figura 34. Contenido de humedad en goteo 2º riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En el tercer riego (27 de abril al 10 de mayo) se obtuvieron dos muestreos (figura 27). En el primer muestreo (11 de mayo), se puede observar que los valores de contenido de humedad varían de 17 a 15  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. En el segundo muestreo (22 de mayo), los valores oscilaron de 16 a 13  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , en las mismas profundidades. En ambos muestreos la humedad no es disponible, ya que los valores se encuentran por debajo de los valores correspondientes a la tensión de PMP (15 bar). La principal

consecuencia de esto es un estrés hídrico del nogal, afectando en su desarrollo y productividad.

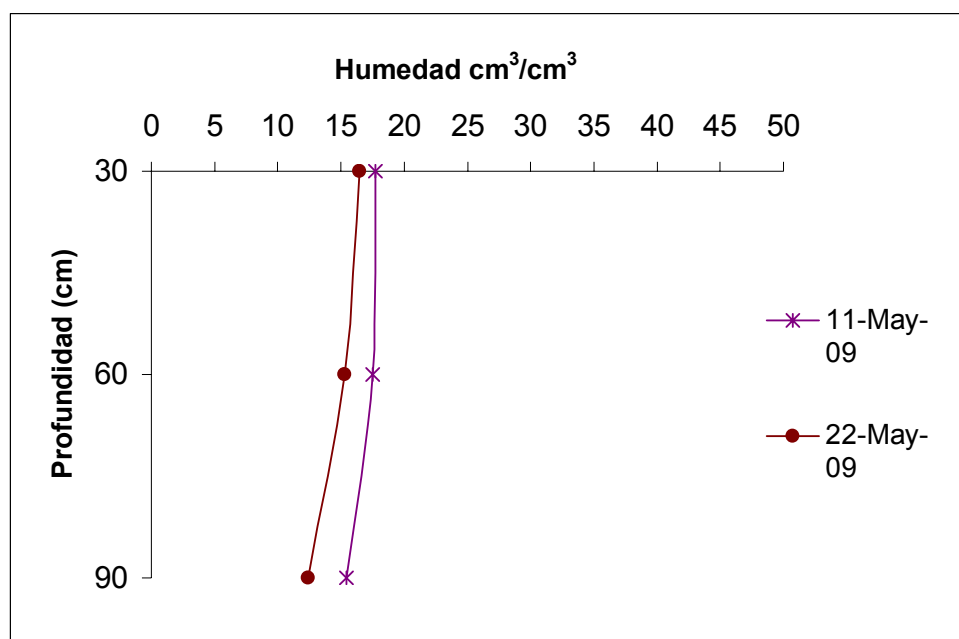


Figura 35. Contenido de humedad en goteo 3<sup>er</sup> Riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 36 se observan los muestreos que se realizaron después de del cuarto riego (23 al 28 de mayo), al igual que la varianza de contenido de humedad que existe entre ellos. En el primer muestreo (29 de mayo) los valores de contenido de humedad varían de 15 a 14 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> en las profundidades de 30 y 90 respectivamente. En el segundo muestreo (4 de junio), los valores varían de 17 a 16 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> en las mismas profundidades. Mientras que en el muestreo que se realizó el 14 de junio, los valores oscilan de 20 a 13 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> para las mismas profundidades. Los valores de los tres muestreos que se colectaron indican que la humedad presente en el suelo no es disponible, estos valores se encuentran por debajo de los valores correspondientes a las tensiones de 15 (PMP) y 9 bar (figura 32). El estrés hídrico se vuelve a presentar al igual que en el segundo riego.



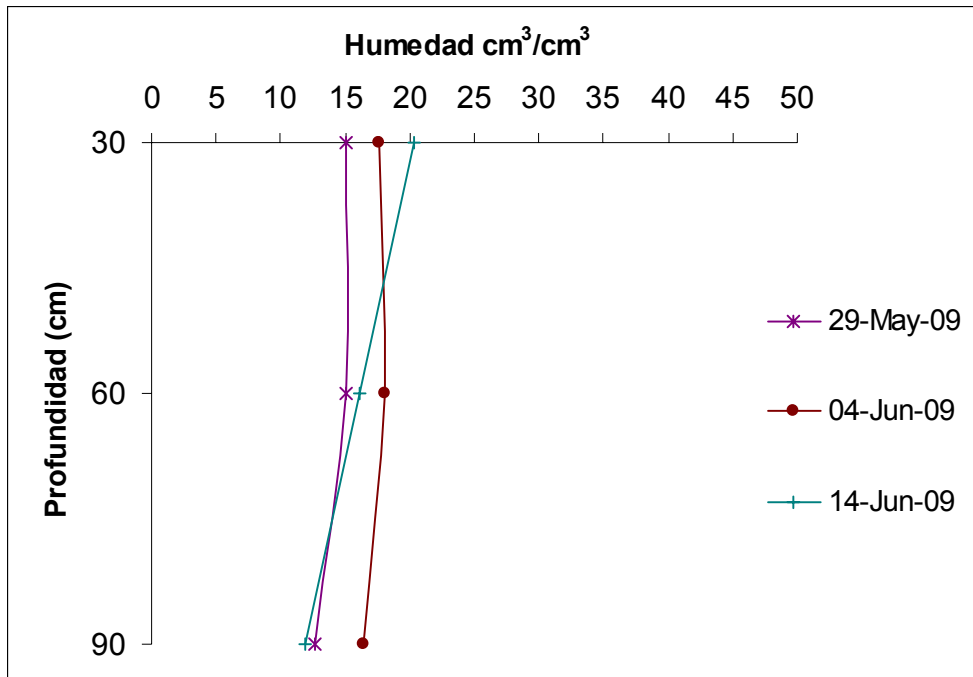


Figura 36. Contenido de humedad en goteo 4º riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 37 se pueden observar los muestreos realizados después del quinto riego (18 al 26 de junio), así como sus valores y su varianza en cuanto al contenido de humedad se refiere. En el primer muestreo (27 de junio) los valores de contenido de humedad oscilaron en 25 y 55  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  a las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. El valor obtenido a la profundidad de 30 cm., se encuentra dentro de los valores correspondientes a las tensiones de 9 y 3 bar, es decir que la humedad es disponible. Mientras que el valor obtenido a la profundidad de 90 cm., sobrepasa el valor correspondiente a la tensión de CC (0.3 bar), esta humedad se considera no disponible, y pudo pasar por una lluvia o un hecho extraordinario al igual que el muestreo en el área de Aspersión y Microaspersión para la misma fecha. En el segundo muestreo (8 de julio), se observó que los valores varían de 24 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las mismas profundidades. El valor obtenido a la profundidad de 30 cm., se encuentra dentro

de los valores correspondientes a las tensiones de 9 y 3 bar (figura 32), por lo tanto se considerado que en el suelo existe humedad disponible. En el tercer muestreo (20 de julio) se observa que los valores de contenido de humedad son de 15 a 10  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las mismas profundidades. Ambos valores se encuentran por debajo del rango de los valores a tensión PMP (15 bar). Indicando así que la humedad en el suelo no es disponible y por lo tanto un estrés hídrico se presenta en el cultivo.

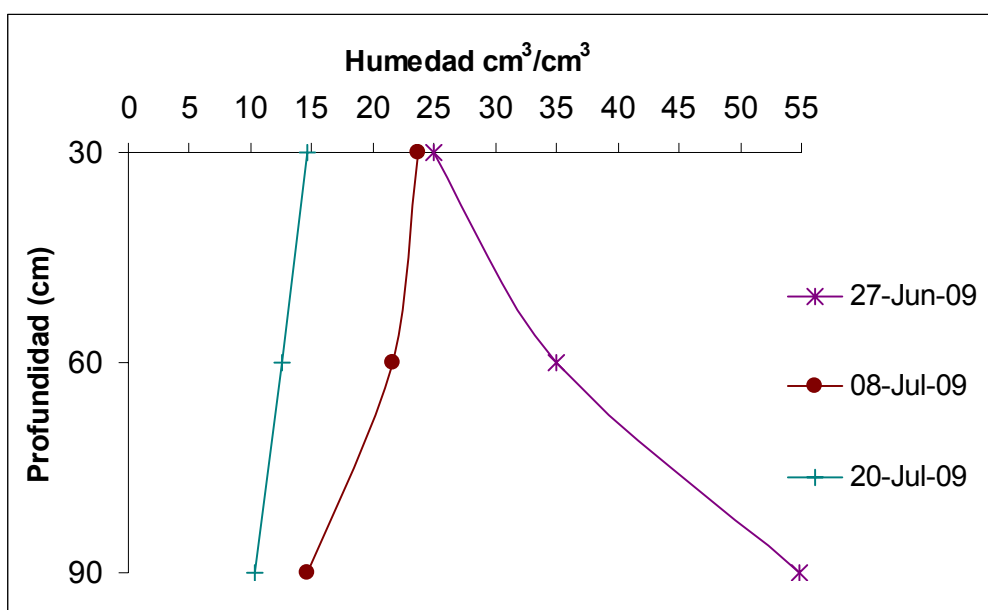


Figura 37. Contenido de humedad en goteo 5<sup>o</sup> riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 38 se presenta el muestreo de contenido de humedad después del sexto riego. El muestreo se realizó el 10 de agosto y los valores obtenidos varían de 17 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  para las profundidades de 30 y 90 cm. Continúa el estrés hídrico en el nogal, ya que los valores obtenidos en este muestreo, se localizan por de bajo de los valores correspondientes a PMP (15 bar).

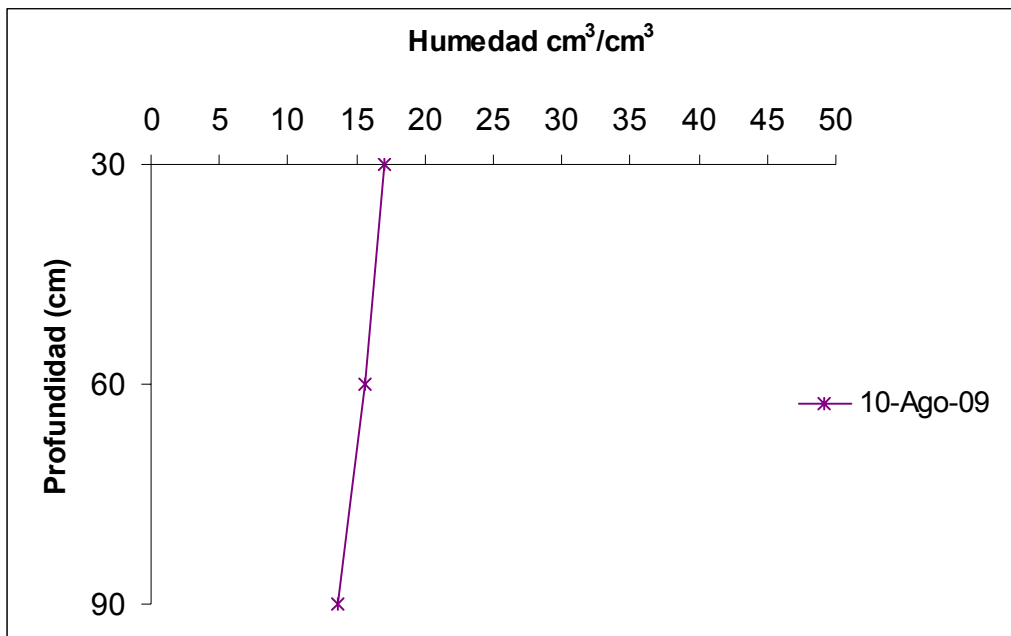


Figura 38. Contenido de humedad en goteo 6° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En la figura 39 se observan los muestreos que se realizaron después del séptimo riego (17 al 21 de agosto), así como la variación que hay entre ellos de contenido de humedad. En el primer muestreo (27 de agosto) los valores de contenido de humedad, varían de 19 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  en las profundidades de 30 y 90 cm., respectivamente. Valores que indican humedad en suelo no disponible y que se encuentran por debajo de los valores a la tensión de 9 bar (figura 32), incluso por debajo de los valores de PMP (15 bar). Los valores del segundo muestreo (11 de septiembre) oscilaron también en las mismas cantidades, es decir de 19 a 14  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ , en las mismas profundidades. Continúa el estrés hídrico ya que la humedad no está disponible. El motivo por el cual se presenta el estrés hídrico consecutivamente en los muestreos realizados, puede ser por mal funcionamiento o taponamiento de goteros de las líneas de cintilla.

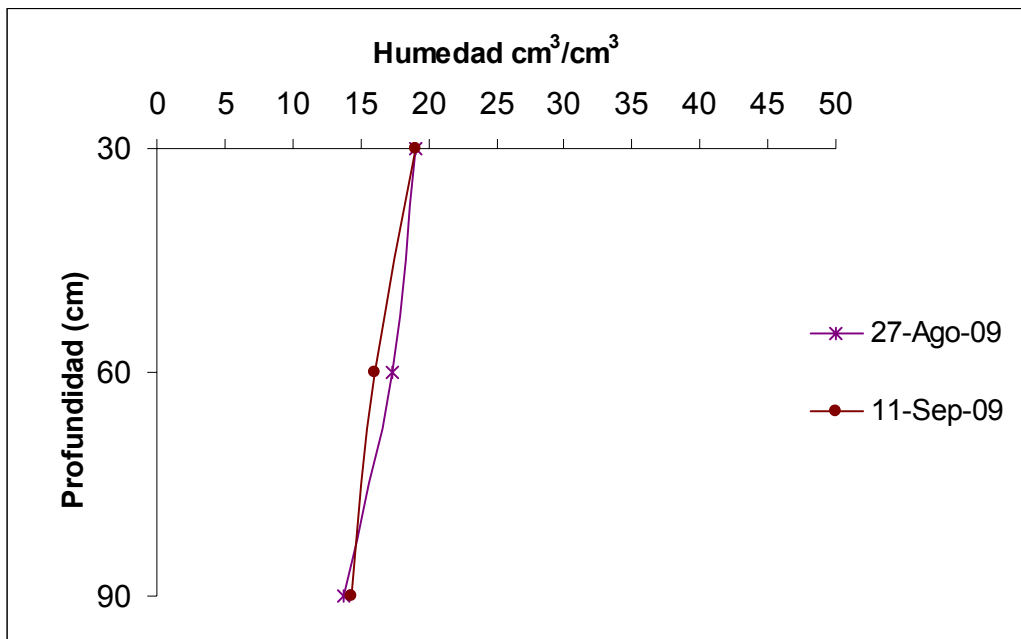


Figura 39. Contenido de humedad en goteo 7° riego. Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

En el cuadro 6 se presentan los resultados del análisis a las muestras de suelo tomadas en la superficie irrigada con goteo, las cuales fueron a tres profundidades, 30, 60 y 90 cm.

Cuadro 6. Clase textural y densidad aparente en superficie de goteo, Campo Experimental de la UAAAN-UL. 2009.

Profundidad (cm.)	Textura	Densidad Aparente (gr/cm3)
0-30	Franco Arcilloso	1.2
30-60	Franco Arcilloso	1.17
60-90	Franco limoso	1.18

## 7.2. Morfología estomática

En ésta variable se realizaron dos tipos de análisis tratando de correlacionar el cambio morfológico de estomas en función al sistema de riego. El primer análisis corresponde a la clasificación de estomas basado en tres tamaños (pequeño, mediano y grande) y su distribución en cada sistema de riego.

### 7.2.1. Densidad estomática

La figura 40 representa la cantidad de estomas en el área de estudio (15 mm<sup>2</sup>), sus valores medios y su desviación estándar contra los sistemas de riego.

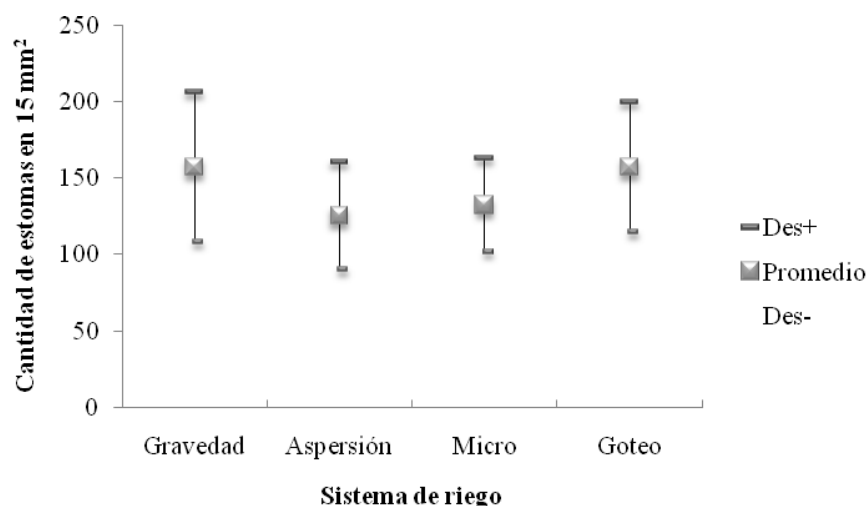


Figura 40. Comparación de medias entre cantidad de estomas en función al sistema de riego. UAAAN-UL. 2009.

El análisis encontró diferencia significativa entre tratamientos, siendo los sistemas de riego por gravedad y goteo estadísticamente iguales con mayor densidad en el foliolo, aspersión y microaspersión con densidad estomática menor al resto de los sistemas resultan estadísticamente iguales entre ellos. Sin embargo, el rango de dispersión muestra amplia variabilidad con respecto a la

medida de los sistemas de riego por gravedad y goteo, lo que indica que puede haber entre 50 estomas más o 50 estomas menos aproximadamente en el área de estudio. El grado de variabilidad de los sistemas de aspersión y microaspersión es más compacta, esto significa que hay una distribución más homogénea de la cantidad de estomas en el área de estudio.

## **VIII. CONCLUSIONES.**

En función de las condiciones en las que se realizó el presente trabajo se concluye: Los nogales con riego por gravedad y goteo presentaron una morfología estomática estadísticamente igual en cantidad con 157 estomas cada uno, seguidos de microaspersión y aspersión con 132 y 125 respectivamente.

El análisis de contenido de humedad realizado en los muestreos, permitió comprender el consumo de agua por el nogal en sus diferentes etapas fenológicas, así como determinar los horizontes o estratos de suelo más demandantes de agua.

El mayor consumo de agua por el nogal fue a la profundidad de 60 cm., en los meses de mayo, junio, julio y agosto, en las etapas fenológicas de Desarrollo del fruto y llenado de la nuez (desarrollo de la almendra).

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera. C. y Martínez. E. 1980. Relaciones agua, suelo, planta, atmósfera, 2ª Edición., Patronato de la Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Brisson R. F. 1976. Cultivo del nogal pecanero. Conafrut, México: P.P 79-99.
- Caras M.P.M. 1993. Riego por aspersión, Universidad Autónoma de Chapingo, departamento de irrigación. Chapingo México. 1ª Edición, Ed. México. Pp. 50-52.
- Cerda Garza José Ángel. (2003) Monografía el Cultivo del Nogal Pecanero (*Carya illinoensis*) en el Norte de México. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. Pp. 8.
- Chávez R, E. 2004. El flujo permanente y la evolución del diseño de riego en Huertos de nogal pecanero (*Carya illinoensis, koch*) bajo sistemas de diferente. Tesis, México.
- Chávez R, E. 2007. Aproximación del riego en tiempo real a partir de variables agroclimáticas (caso de estudio nogal pecanero). Tesis Maestría. México. Pp. 30-31.
- Chávez R. E. González B.J.L. Valenzuela. N.L.M. Potisek T.M.C. Y González C.G. 2009. Morfología, índice, y densidad estomática en plántulas de nogal pecanero cultivadas bajo tres niveles de radiación solar. Agrofaz, Vol.9 Num.3 Pp.86.
- Coster M y J.L. 1985. Précis d´analyse d´image. Centre National de Scientifique. Paris, France.



- Fitzpatrick K, E, A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. 1ª Edición. México Pp. 52.
- García A.D. 1999. IX Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 1. Culiacán, Sinaloa, México.
- Godoy A, C. 1996. Crecimiento y desarrollo del fruto del pecanero (*Carya illinoensis* K.) cv. Western y su relación con unidades calor, evapotranspiración y días. ITEA 92. Pp. 49-54.
- González C.G. 1995. La compactación en huertas de nogal pecanero. Tercer simposium internacional Nogalero (NOGATEC). Torreón Coahuila, México. Pp. 55-56.
- Gurovich R, L. 1999. Riego superficial tecnificado. 2ª Edición. Alfaomega. México. Pp. 32-90.
- Honorato R, P. 2000. Manual de Edafología. 4ª edición. Universitaria S.A. Chile. Pp. 18-209.
- INIFAP.1999. 500 Tecnologías Llave en Mano.SAGAR-INIFAP. México, D.F. 159,160 p.
- Medina M., Ma del C. 1998. Marco de referencia regional del cultivo del nogal en la comarca lagunera. Informe de investigación del Nogal. CIFAP-Comarca Lagunera. INIFAP:
- Narro F.E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. 1ª Edición. México. Pp. 71-126.
- Ojeda B, W. 1999. Pronostico de riego en tiempo real. 1ª Edición. México. Pp. 17-35.

Palacios V, E. 2002. ¿Por qué cuándo y cuánto regar? 1ª Edición .México. Pp. 9-65.

Ponomarev Y. 2008. Climate Change increases need for studies of gas Exchange between plants and the air. (<http://spie.org/B1#B1>).

Rodríguez F.H. y Rodríguez A.J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas criterios de interpretación, 1ª Edición, Ed. Trillas S.A. de C.V., México D.F., Pp. 132-137

Ruiz M.F.A. 2005. El Movimiento del agua en condiciones de flujo transitorio en huertos del nogal pecanero. Tesis. México. Pp. 3.

Santiago. A, G. 2005. Variación espacial del consumo de agua del cultivo del nogal pecanero (*Carya illinoensis koch*) en el distrito de riego 017 de la comarca lagunera. Tesis. México. Pp. 12-13.

Sagarpa-Inifap. 2002. Tecnología de Producción en Nogal Pecanero, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo experimental la Laguna). Matamoros, Coahuila, México. Libro Técnico No 3, 1ª edición, Noviembre del 2002. Pp. 2.

Thamane G.V. y Luxmoore R. J. (1988). Suelos: Su química y fertilidad en zonas tropicales, Ed. Diana, México. Pp. 34-38.