

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA**

**“ANTONIO NARRO”**

**DIVISION DE INGENIERIA**



**Influencia de Cuatro Sistemas de Riego presurizado en el Consumo  
de Agua en el Cultivo de Papa**

**Por:**

**HUMBERTO RODRIGUEZ GONZALEZ**

***TESIS***

**Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:**

***Ingeniero Agrónomo en Irrigación***

***Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.***

***Abril del 2000.***

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISION DE INGENIERIA**

**Influencia de Cuatro Sistemas de Riego presurizado en el Consumo  
de Agua en el Cultivo de Papa**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**HUMBERTO RODRÍGUEZ GONZÁLEZ**

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como**

**Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION**

**PRESIDENTE**

---

**M. C. Gregorio Briones Sánchez  
Asesor Principal Interno**

---

**M.C. Juan M. Covarrubias Ramírez  
Asesor Principal Externo**

---

**M.C. Lindolfo Rojas Peña  
Asesor**

---

**Ing. Fernando Pérez Sato  
Asesor**

**Coordinador de la División de Ingeniería**

---

**Ing. Jesús R. Valenzuela García**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

## **DEDICATORIAS**

### **A DIOS NUESTRO SEÑOR:**

Por la gracia, la capacidad intelectual y el entusiasmo que me ha proporcionado para llegar a obtener lo que hoy he logrado, haciéndome superar todos los obstáculos que la vida nos otorga y otorgándome todas las herramientas necesarias para realizarme y lograr mis metas planteadas.

### **CON PROFUNDO AMOR Y RESPETO A MIS PADRES:**

**Sr. Joel Rodríguez Lugo**

**Sra. Ma. Bernardita González Silva**

Por haberme dado la vida y porque me han formado a través de toda la gama de consejos inapreciables, los cuales me han guiado por el camino de la constancia y dedicación, aún a pesar de los obstáculos, por todos los esfuerzos, sufrimientos y sobre todo confianza que depositaron en mí, y por quienes he puesto todo mi entusiasmo para lograr esta meta.

### **A MIS HERMANOS:**

**Ing. José Guadalupe**

**Ahída**

**Ma. Lourdes**

**Alejandro**

**Joel**

**Esteban**

**Ma. Teresa**

**José Miguel**

Con mucho cariño, por ser mis mejores amigos y compañeros, por mantenerse conmigo en todos los momentos, por su valioso e incondicional apoyo moral y con quienes comparto hoy este importante logro en mi vida.

**A MIS ABUELOS:**

**Sr. Porfirio Rodríguez (q.e.p.d.)**

**Sra. Antonia Lugo Hernández (q.e.p.d.)**

**Sr. Teodoro González (q.e.p.d.)**

A la memoria de su recuerdo, de sus valiosos consejos, los cuales conservaré toda la vida y que fueron un valuarte fundamental para el desarrollo y culminación de mi carrera.

Y para mi abuelita, la **Sra. Fidencia Silva Hernández**, con mucho cariño por sus amorosos consejos y bendiciones que me han guiado por el mejor camino.

**CON CARIÑO PARA MIS SOBRINAS Y SOBRINOS :**

**Ma. Leonor Rodríguez Rodríguez**

**Ahída Rodríguez Rodríguez**

**Luis Fernando Rodríguez Romero**

**Luis Eduardo Rodríguez Rodríguez**

Por manifestar en mi toda la alegría e inocencia que siempre me demuestran, y por ser unos chiquillos adorables.

**A MI NOVIA:**

Con mucho amor y respeto para la Srita. **Marina Sosa Hernández**; por la infinidad de palabras de aliento y muestras de cariño que me ha brindado y por ser la persona más linda y comprensiva, la cual se ha mantenido siempre en mi pensamiento, representando en mí un apoyo fortuito durante la mayor parte de mi carrera.

**A MIS TIOS Y PRIMOS:**

**Especialmente para mi tío, el Sr. Jorge Rodríguez Lugo:**

Por manifestarme siempre su apoyo moral y desinteresado, y por darme todos sus consejos, los cuales agradeceré por siempre.

**A MIS CUÑADOS:**

**Arturo Rodríguez Sosa**

**José Luis Rodríguez Tapia**

Por mostrarme su total e incondicional apoyo, en especial para mi cuñado Arturo, quien ha influido mucho en mi carrera aún a pesar de los obstáculos; y por enseñarme que las cosas de la vida diaria son más importantes de lo que uno piensa.

**PARA LA FAMILIA ORTÍZ GUEVARA:**

Por manifestarme su total apoyo durante todo el transcurso de mi carrera y por ser mi segunda familia.

## AGRADECIMIENTOS

A **La UAAAN** por permitirme adquirir los conocimientos que en ella se encuentran.

Al **CONACYT-SIREYES** por permitirme realizar este trabajo dentro de uno de sus proyectos.

Al **INIFAP-Campo Experimental "Saltillo"** por su apoyo para la realización de esta investigación.

Al **M.C. Gregorio Briones Sánchez** por la paciencia y dedicación desinteresada que me otorgó en el desarrollo y culminación del presente trabajo.

Al **M.C. Juan Manuel Covarrubias Ramírez** por la enorme oportunidad que me brindó para realizar mi trabajo profesional en un área por demás importante dentro de la agronomía; y por sus consejos y conocimientos otorgados para la mejor culminación de este trabajo.

Al **Ing. Lindolfo Rojas Peña** gracias por las acertadas indicaciones de corrección y apoyo en la culminación de este trabajo.

**Al Ing. Fernando Pérez Sato** por su valiosa colaboración y apoyo para la revisión de este trabajo; además de la gran amistad que me ha brindado.

### **Al departamento de Riego y Drenaje:**

Por su participación constante en la formación profesional mía y de mis compañeros; así mismo, agradecer a todos y cada uno de los integrantes del plan académico del mismo, por sus esfuerzos dirigidos a lograr en cada uno de los estudiantes la mejor consecución de la carrera de ***Irrigación***.

**A la generación LXXXIII de la Especialidad de Irrigación:**

Roberto, Enoc, Gilberto, J de Jesús, L. Rodolfo, Miguel Angel, Mario, Jorge Martín y Jaime.

Por los grandes momentos que compartimos durante el desarrollo de nuestra carrera y, sobre todo, por la gran amistad y convivencia que generamos .

**A mis grandes amigos:** J. Aurelio, Alfredo, David, Manuel, Francisco Grimaldo, para Alejandro, Victor Hugo, Jorge A, Uriel. Y para el compañero de trabajo, Julio Aguilar Claudez.

## ÍNDICE GENERAL

	Págs.
<b>I INTRODUCCIÓN.....</b>	1
<b>Objetivo.....</b>	3
<b>Hipótesis.....</b>	3
<b>II REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	5
Importancia nacional bajo riego y temporal.....	5
Importancia estatal Coahuila.....	5
Requerimientos de agua.....	6
Requerimientos de suelo.....	9
Respuesta del cultivo al contenido de humedad.....	10
Etapas del cultivo.....	10
Relación entre la tensión y la humedad del suelo.....	12
Efecto del agua en el contenido de materia seca.....	12
<b>Uso consuntivo.....</b>	13
Antecedentes.....	13
Definición.....	13
Importancia del uso consuntivo.....	14
Componentes principales.....	15
Factores por los cuales depende el uso consuntivo.....	15
<b>El agua en el suelo.....</b>	16
Términos relacionados al contenido de agua.....	18
Saturación.....	18
Capacidad de campo.....	18
Punto de marchitez permanente.....	18
Capacidad de retención de agua.....	19
<b>Medición de la humedad del suelo.....</b>	19
Por qué Y cómo medir la humedad del suelo.....	20
<b>Métodos de programación de los riegos.....</b>	22
<b>Importancia de la programación de los riegos.....</b>	24

Ventajas de la programación de los riegos.....	27
Factores que Afectan la programación de los riegos.....	27
<b>Evapotranspiración.....</b>	<b>28</b>
Definiciones de los tipos de evapotranspiración.....	28
Evapotranspiración.....	28
Evapotranspiración potencial.....	28
Evapotranspiración máxima.....	28
Evapotranspiración real.....	29
Componentes de la evapotranspiración.....	29
Evaporación del agua del suelo.....	29
Transpiración.....	30
<b>Características del tensiómetro.....</b>	<b>30</b>
Instalación.....	31
Toma de lecturas.....	32
Interpretación de lecturas.....	32
<b>Uso del tensiómetro para programar los riegos.....</b>	<b>34</b>
<b>Descripción y definiciones de los sistemas de riego.....</b>	<b>36</b>
Aspersión.....	36
Ventajas.....	36
Desventajas.....	37
Clasificación de los sistemas de riego por aspersión.....	37
Sistema completamente portátil .....	37
Sistema semi-portátil.....	37
Sistemas permanentes.....	37
Aspersión por movimiento continuo.....	38
Sistemas de movimiento alto.....	38
Goteo o microirrigación.....	39
Ventajas.....	39
Desventajas.....	40
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>41</b>
<b>Localización geográfica de los sitios experimentales.....</b>	<b>41</b>

<b>Densidad aparente de los suelos .....</b>	<b>42</b>
<b>Características de los suelos.....</b>	<b>43</b>
<b>Puntos a considerar para la determinación de la textura por el método de Bouyucus.....</b>	<b>43</b>
<b>Parámetros observados.....</b>	<b>44</b>
<b>Monitoreo de la humedad del suelo.....</b>	<b>45</b>
<b>Curvas de retención de humedad.....</b>	<b>45</b>
Métodos de las ollas de presión.....	46
<b>Humedad aprovechable.....</b>	<b>49</b>
<b>Determinación de la lámina de riego.....</b>	<b>50</b>
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>51</b>
<b>Curvas de retención de humedad para cada uno de los sitios.....</b>	<b>51</b>
Localidad Emiliano Zapata (Cesia).....	51
Localidad San Francisco.....	53
Localidad El Tunal.....	55
Localidad El Ranchito(Jame).....	56
<b>Niveles de humedad del suelo.....</b>	<b>57</b>
Localidad Emiliano zapata(CESIA).....	57
Localidad San Francisco.....	58
Localidad El Tunal.....	61
Localidad El Ranchito.....	62
<b>Gráficas del consumo acumulado durante el ciclo.....</b>	<b>64</b>
Localidad Emiliano zapata(CESIA).....	64
Localidad San Francisco.....	65
Localidad El Tunal.....	66
Localidad El Ranchito.....	68
<b>Gráficas de los consumos diarios.....</b>	<b>69</b>
Localidad Emiliano zapata.....	69
Localidad San Francisco.....	70
Localidad Estación El Tunal.....	71

Localidad El Ranchito.....	72
<b>Láminas e intervalos de riego.....</b>	<b>73</b>
Localidad Emiliano zapata(CESIA).....	73
Localidad Estación San Francisco.....	73
Localidad Estación El Tunal.....	75
Localidad El Ranchito.....	76
<b>V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>VI RESUMEN.....</b>	<b>80</b>
<b>VII BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

		Pags
2.1	Guía para determinar por medio del tacto que porcentaje de humedad aprovechable se ha abatido y la lámina de riego en cm/m requerida para llevar ese suelo a capacidad de campo...	21
2.2	Comparación entre diferentes técnicas para medir el contenido de humedad y potencial de agua en el suelo.....	23
2.3	Interpretación de los rangos de tensión en el suelo para los cultivos en general.....	33
3.4	Localización de cada una de las estaciones agroclimáticas utilizadas en el experimento.....	41
3.5	Datos de densidad aparente obtenidos para cada una de las estaciones.....	42
3.6	Datos de textura para cada una de las localidades.....	44
3.7	Ecuaciones de ajuste para Pw, obtenidas a partir de los datos de las ollas de presión para la estaciones del proyecto.....	49
4.8	Representación del número de riegos realizados durante el ciclo del cultivo de papa en la Localidad Emiliano zapata(CESIA).....	73
4.9	Representación del número de riegos realizados durante el ciclo del cultivo de papa en la Localidad San Francisco.....	74
4.10	Representación del número de riegos realizados durante el ciclo del cultivo de papa en la Localidad El Tunal.....	75
4.11	Representación del número de riegos realizados durante el ciclo del cultivo de papa en la Localidad El Ranchito.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pags
4.1	Curva de retención de humedad en la Localidad Emiliano zapata (CESIA), de los datos obtenidos mediante las ollas de presión y los valores ajustados.....	53
4.2	Curva de retención de humedad en la Localidad San Francisco, de los datos obtenidos mediante las ollas de presión y los valores ajustados.....	54
4.3	Curva de retención de humedad en la Localidad El Tunal, de los datos obtenidos mediante las ollas de presión y los valores ajustados.....	55
4.4	Curva de retención de humedad en la Localidad El Ranchito, de los datos obtenidos mediante las ollas de presión y los valores ajustados.....	56
4.5	Comportamiento de los niveles de humedad en la Localidad Emiliano zapata (CESIA) bajo el sistema de riego por aspersión (semiportátil).....	58
4.6	Comportamiento de los niveles de humedad en la Localidad San Francisco bajo el sistema de riego por aspersión (side-roll).....	60
4.7	Comportamiento de los niveles de humedad en la Localidad El Tunal, bajo el sistema de riego por aspersión (semiportátil).....	62
4.8	Comportamiento de los niveles de humedad en la Localidad El Ranchito, bajo el sistema de riego por goteo.....	63
4.9	Consumo de agua total para el cultivo de papa en la Localidad de Emiliano zapata (CESIA), municipio de Arteaga Coah.....	65
4.10	Consumo de agua total para el cultivo de papa en la Localidad de San Francisco, municipio de Arteaga Coah.....	66

4.11	Consumo de agua total para el cultivo de papa en la Localidad de El Tunal, municipio de Arteaga Coah.....	67
4.12	Consumo de agua total para el cultivo de papa en la Localidad de El Ranchito, municipio de Arteaga Coah.....	68
4.13	Comportamiento de los consumos diarios de agua en el cultivo de papa en la Localidad Emiliano zapata (CESIA).....	69
4.14	Comportamiento de los consumos diarios de agua en el cultivo de papa en la Localidad San Francisco.....	70
4.15	Comportamiento de los consumos diarios de agua en el cultivo de papa en la Localidad El Tunal.....	71
4.16	Comportamiento de los consumos diarios de agua en el cultivo de papa en la Localidad El Ranchito.....	72

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

El riego es un componente indispensable en la producción agrícola y el medio por el cual las plantas satisfacen sus necesidades de agua para producir. La planta consume agua del suelo desde que se establece y este proceso continua hasta que el ciclo del cultivo concluye. El agua es tan importante para las plantas que más del 90 por ciento de su peso fresco es precisamente agua.

El propósito fundamental del riego es reponer en el suelo el agua consumida por los cultivos y la evaporada desde la superficie del suelo y del follaje, para crear condiciones de humedad favorables en el suelo donde las raíces de las plantas la alcancen. Un riego eficiente no es aquel que se realiza con el mayor volumen de agua sino el que se lleva a cabo de acuerdo a la capacidad de almacenamiento de los suelos, además de considerar las condiciones de clima del lugar y la etapa del cultivo, sin importar el tipo de sistema de riego.

En la actualidad, es necesario regar en forma más eficiente porque el agua es cada vez más escasa. Por ejemplo en el estado de Sinaloa, las siembras que dependen del agua de las presas fueron reducidas debido a una baja captación (**González y Arosemena, 1999**). En otras áreas de riego del país como Baja California, Coahuila y Guanajuato el nivel del agua en los acuíferos ha bajado 80 cm anuales, lo que significa una explotación acelerada del recurso agua.

El agricultor sabe la importancia de aplicar la cantidad de agua adecuada al suelo en el momento oportuno, ya que reconoce el papel de ésta en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Toma decisiones de **cuánto y cuándo** regar, la mayoría de las veces basadas en la experiencia, y es ésta una razón por la que es importante entender el estado del agua en

el suelo. Conocer el contenido de humedad o potencial del agua en el suelo ayuda a entender qué tan bien se está realizando el riego.

La escasez de alimentos debido al desmesurado aumento de la población en el país en los últimos años, ha provocado que la alimentación de esta sea uno de los retos más grandes para los productores agrícolas.

El agua que se aplica en el riego entra en el suelo y las plantas a su vez la extraen de este, para su crecimiento. El suelo viene a ser un depósito en el cual se almacena el agua para el uso de las plantas en el tiempo que transcurre entre cada riego (**Linley y Franzini, 1976**). La producción de papa bajo el régimen de riego se localiza principalmente en los estados de Sinaloa, Chihuahua, Sonora, Coahuila, Nuevo León, Guanajuato, Michoacán, Puebla, Tlaxcala, Baja California, Querétaro y Zacatecas; aunque también existen en condiciones de temporal y en pequeñas superficies de los estados mencionados. Bajo este último régimen, la papa es cultivada en el Estado de México (**SARH,1987**). Dentro del área de influencia de la UAAAN, se encuentran algunas regiones productoras de papa, mismas que están comprendidas en diversos municipios de los estados de Coahuila y Nuevo León, donde aproximadamente 5000 hectáreas se cultivan bajo riego y en el 70 por ciento de esta superficie se cultiva la variedad Alpha; además, aunque en menor superficie, se cultiva bajo condiciones de temporal. En gran parte donde se cultiva la papa bajo el régimen de riego, y a consecuencia de los períodos de sequía tan intensos que se han presentando en los últimos años(97,98,99), se ha observado un abatimiento alarmante en los niveles de los mantos acuíferos, lo que ha traído como consecuencia que los volúmenes de agua extraídos en estas regiones sean cada vez menores y a una profundidad mayor, lo cual repercute en los gastos de energía (**Contreras,1988**). Con lo anterior coinciden (**Parga et al.,1990**), quienes consideran que dichos abatimientos en los mantos acuíferos son de aproximadamente 80 cm anuales. En consideración a lo anterior y aunado a los problemas técnicos que se presentan en este cultivo, a la gran cantidad de agua que demanda, a los altos costos de inversión por producción, a la

falta de créditos oportunos, y al intermediarismo en la comercialización, es necesario minimizar los costos de aplicación del agua de riego, formulando planes o programas eficaces que nos permitan una mejor utilización de este recurso y eficientar su aplicación en el cultivo para lograr los máximos beneficios.

## **OBJETIVOS**

- Evaluar los consumos de agua requeridos por el cultivo de papa en su ciclo vegetativo, usando tensiómetros para programar los riegos y operar oportunamente los sistemas de riego en cuatro localidades.

- Lograr la determinación de un programa de riego adecuado a la zona de estudio y a las demandas de agua en el cultivo de papa, para que éstas sean satisfechas de manera oportuna, sobre todo en sus etapas más críticas.

## **HIPÓTESIS**

Ha: El uso de los tensiómetros como herramientas de calendarización monitorea el consumo real de agua para el cultivo de papa.

Ho: El tensiómetro no es una herramienta que ayude en la calendarización de los riegos.

Este proyecto integra los avances de investigación encontrados en anteriores estudios de campo relacionados con: La respuesta de la papa a la irrigación a diferentes tensiones de humedad en el suelo, utilización de

tensiometros con el riego, patrones de extracción de humedad a la profundidad de raíces de la papa y comparación de los sistemas de riego, cuyos resultados relevantes se mencionan en el Capítulo II correspondiente a revisión de literatura.

También, da continuidad a la línea de investigación de Uso Eficiente del Agua y en sus resultados, se espera: orienten a los productores de papa en la región, en la operación de los sistemas de riego, a fin de que apliquen el agua conforme el cultivo así lo necesite durante la temporada de riegos.

Además, esta globalizado dentro del programa de papa del INIFAP-COAHUILA y financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología dentro de los proyectos es marcha del Sistema de investigación Regional “Alfonso Reyes”; con objetivos, estrategias y acciones afines a los de la Academia de Ingeniería de Riego de la UAAAN.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### **Importancia Nacional de la papa Bajo Riego y temporal**

Actualmente en México se cultivan alrededor de 78,000 hectáreas de papa, estando el 50 por ciento de esta superficie bajo el régimen de riego y con volumen de producción de aproximadamente un millón de toneladas anuales; lo que conduce a un rendimiento promedio nacional de aproximadamente 13.26 ton/ha.(Parga *et al.*, 1990). Otra referencia menciona una media Nacional comercial de 28 ton/ha (Valadez, 1992).

En la república mexicana el estado de Sinaloa es uno de los que tienen anualmente mayor superficie de papa bajo riego y sus áreas de cultivo se encuentran casi en su totalidad en la parte norte del Valle del Fuerte (SAGAR,1994)

#### **Importancia estatal Coahuila**

La región de Navidad que incluye parte de los Estados de Coahuila y Nuevo León destina una superficie aproximada de 4000 has al cultivo de Papa el cual ha adquirido gran importancia socioeconómica. El rendimiento medio de este cultivo en la región, es alrededor de 20 ton/ha. Esta producción se considera baja, de acuerdo con las investigaciones realizadas por Burton (1948) que afirma que se puede obtener hasta 90 ton/ha. Citado por Cepeda y Narro (1986).

Los reportes más recientes reportan un promedio regional de 30.2 y 31.4 ton/ha para Nuevo León y Coahuila respectivamente (**Valadez, 1992**).

### **Requerimientos de Agua**

**Gurbachan y Struchtemeyer (1976)**, probaron que el cultivo de papa es muy sensible a las deficiencias de agua, afectando su crecimiento; observándose que el porcentaje de área ocupada por el xilema en la sección transversal del tallo disminuye significativamente con el incremento del estrés hídrico del suelo.

**Doorembos y Kassam (1979)**, indican que los requerimientos de agua por el cultivo de la papa, con un ciclo de 120 a 150 días varían de 500 a 700 mm (evapotranspiración máxima, ET<sub>m</sub>) lo cual depende casi exclusivamente del clima. Las variaciones del coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>), el cual indica la relación entre la ET<sub>m</sub> y ET<sub>o</sub> (Evapotranspiración de referencia), durante las diferentes etapas del cultivo de la papa, son para la etapa inicial de un período de 20 a 30 días, la variación es de 0.4 a 0.5; para la etapa de desarrollo de un período de 30 a 40 días la variación es de 0.7 a 0.8; durante la etapa media del ciclo en el período de 30 a 60 días, los valores son de 1.05 a 1.2; durante la etapa de formación y crecimiento del tubérculo los valores van de 0.85 a 0.95 en un período de 20 a 35 días y finalmente la maduración de 0.7 a 0.75.

**Delis et al, (1964)** en trabajos que se realizaron sobre el cultivo de la papa, encontraron que los períodos más sensibles a las deficiencias de agua fueron las etapas de estolonización y el inicio de la tuberización, disminuyéndose considerablemente los rendimientos.

**Curwen (1989)**, menciona que la planta de papa bajo condiciones óptimas de crecimiento y humedad, puede reemplazar hasta cuatro veces al

día su contenido de humedad por medio de la transpiración. Este cultivo es más sensible al déficit hídrico del suelo que el cultivo de trigo, soya o frijol, siendo sus etapas fenológicas más sensibles la formación de estolones y tubérculos, concordando con la cita anterior

**Jones y Johnson (1958)**, encontraron que riegos a 0.3 atmósferas de tensión en Alabama, se obtuvieron rendimientos más altos en papa que en aquéllos donde la tensión fue mayor. Para mantener la tensión debajo de las 0.3 atmósferas, fue necesario regar cada 3.4 días, sequías durante las etapas iniciales de desarrollo de la planta de papa antes de estolonización no son tan determinantes en la producción como lo serían en las siguientes etapas de desarrollo.

**Doorembos y Pruitt (1976)** mencionan también sobre los períodos críticos, con respecto a la tensión de humedad del suelo sobre el cultivo de la papa, recomendando niveles altos de humedad después de la formación del tubérculo.

**Covarrubias et al (1996)** encontraron en estudios realizados en el estado de Nuevo León y Coahuila ( Sierra de Arteaga), que el consumo de agua total en el cultivo de papa a tres diferentes niveles de humedad del suelo tomados como valores alto, medio y bajo (0.3, 1.0 y 5.0 bar de tensión en el suelo, respectivamente); varía aproximadamente entre 800 a 1000 mm en un ciclo y se determinó que a mayor consumo de humedad del suelo se obtienen mayores rendimientos.

**Horton (1987)**, reporta que un período seco que ocurra en una etapa final del desarrollo de la papa puede causar una reducción considerable en el rendimiento, más que durante estados más tempranos, una excesiva humedad del suelo también reduce el rendimiento ya que existe un limitado

suministro de oxígeno en la zona radicular al estar el suelo saturado, los tubérculos abren las lenticelas permitiendo la entrada de bacterias.

**Zaag (1981)**, reporta que después de la siembra de papa, los tubérculos deben estar en un suelo ligeramente húmedo. La aportación de agua al comienzo de la tuberización influye sobre el número de tubérculos de tamaño comercial por plantas en el momento de la recolección. Durante el período de llenado, es necesario un gran suministro de agua y no dejar que el terreno se seque demasiado, ya que el rendimiento disminuye. También menciona que una distribución irregular del agua induce a deformaciones en los tubérculos.

**Stockton (1962)**, reporta que en el cultivo de papa, los riegos deben de ser continuos lo más cercano posible al tiempo de cosecha; debido a que sus experimentos reportaron que regando 21 días antes de la cosecha, se obtiene una diferencia en rendimiento del 20 por ciento menor en comparación con el riego a siete días anteriores a la cosecha.

**Fulton y Murwin (1955)**, reporta que en los incrementos de rendimientos en la producción de papa, el agua juega un papel de gran importancia; misma que actúa incrementando el tamaño de los tubérculos, y por ende al peso de los mismos más que un incremento en el número de tubérculos.

**Bradley y Pratt (1954)**, en estudios realizados en el cultivo de papa, encontraron que cuando la humedad disponible en los primeros 12 cm del suelo no se reduce del 50 por ciento, la producción de papa es generalmente mayor que cuando el nivel desciende hasta el 25 por ciento de la humedad disponible, o sea una reducción del 75 por ciento.

## Requerimientos de Suelo

**Parsons (1983)** indica que en casi todos los suelos, la papa puede crecer y señala las siguientes condiciones que el suelo debe poseer:

- La profundidad de la capa de la tierra cultivable debe ser de por lo menos 35 cm para lograr un buen desarrollo de raíces y tubérculos.
- La Agregación del terreno debe de ser relativamente friable.
- La humedad debe de ser adecuada, la papa requiere de un suelo húmedo y a la vez una buena aireación.
- El pH del suelo debe de ser de 4.5 – 7.0
- El contenido de sales debe ser bajo.
- La cantidad de materia orgánica debe ser superior al 12 por ciento como un mínimo para evitar que se formen costras, en la superficie.

**Edmonson (1949)**, señala que el rendimiento de tubérculos de papa así como su forma y aspecto general pueden ser modificados por la textura y naturaleza física del suelo. Además, **Harris (1977)**, afirma que las plantas de papa requieren de un buen drenaje y aireación, por lo que se le debe sembrar en un suelo con dichas características.

**Fabiani (1976)**, dice que todo suelo que sea laborable con buena aireación, que no provoque asfixia por estancamiento de agua se puede utilizar para cultivar la papa, siempre y cuando las condiciones climáticas lo permitan, aunque son preferentes los suelos ligeros, pero eso no significa que en un suelo pesado, oportunamente labrado y estercolado no se puedan dar los resultados. En ambientes cálidos con precipitaciones escasas o irregulares pueden ser preferidos por su mayor aereación, los suelos de textura pesada.

## **Respuesta del cultivo de papa al contenido de humedad**

### **Etapas del cultivo**

El crecimiento, desarrollo y requerimientos de agua de la planta de papa pueden ser divididos en las siguientes cuatro etapas:

#### **Vegetativa**

Después de la plantación, la etapa de crecimiento vegetativo comienza cuando los “ojos “ rompen la dormancia y producen brotes. Esta etapa tiene una duración de 15 a 30 días y termina con el inicio de la tuberización. La humedad del suelo almacenada y las lluvias de primavera son usualmente suficientes durante este período para proporcionar una adecuada humedad para buen desarrollo. Sin embargo, el control o monitoreo de la humedad del suelo debe empezar al inicio de la emergencia. Para control de enfermedades, se debe evitar el riego entre la siembra y la emergencia. Si el suelo esta seco anteriormente a la plantación, es preferible regar antes que después de la plantación, o sea la siembra se realiza a “tierra venida” inmediatamente se riega para reponer la humedad del suelo, perdida por el movimiento del suelo en la siembra, con este riego se llega hasta emergencia.

#### **Inicio de la tuberización**

Esta etapa de crecimiento comienza cuando los tubérculos desarrollan en las puntas de los estolones. La duración aproximada de esta etapa es de 10 a 14 días. Los suministros de humedad almacenada en el suelo y durante la primavera son usualmente adecuados durante este período, sin embargo los niveles de humedad del suelo deben ser observados periódicamente

porque la tensión de agua mayor a 50 centibares durante este período puede reducir el número de tubérculos producidos por planta. El agua no influye en la división celular, pero sí en la elongación celular por lo que la falta de agua disminuye el crecimiento.

### **Llenado de tuberculo**

Un cambio constante de incremento en el tamaño y peso del tubérculo ocurre durante esta etapa, a menos que un factor limitante en el crecimiento este presente. Esta etapa puede durar de 60 a más de 90 días, dependiendo del ciclo del cultivo que puede ser precoz, intermedio o tardío de la duración de la etapa de crecimiento y la presencia de patógenos. ***El tamaño y calidad del tubérculo esta estrechamente relacionado con el suministro de humedad en este período.*** Los resultados de investigación han demostrado que el rendimiento de papa es más sensible al estrés de agua durante la etapa media de llenado de tubérculo. Esta ocurre de 3 a 6 semanas después de la iniciación del tubérculo, sin embargo, la tensión o estrés de agua en cualquier tiempo durante este período tendrá un efecto sobre el rendimiento total. El crecimiento del tubérculo es retrasado por el estrés de agua y se reanuda constantemente cuando la humedad vuelve a estar disponible. Nuevo crecimiento y ampliación tomarán lugar en la parte final mientras las otras partes del tubérculo permanecerán atrofiadas. Por consiguiente, especialmente en algunas variedades de tubérculos elongados, el desarrollo de áreas estrechas que están relacionadas con la etapa de crecimiento del tubérculo al tiempo en que la tensión o estrés de humedad ocurre a los tubérculos con esta deformación se le conoce como “papas mono”. Otra deficiencia, tal como el rompimiento en el crecimiento, está también relacionada con la tensión de humedad seguida por períodos de adecuada o excedente humedad, a los tubérculos sujetos a este estrés se les llama “rajeteados”.

## **Maduración**

Esta etapa de crecimiento comienza con la senescencia de la superficie del cultivo (canopia). Las hojas más viejas gradualmente se tornan cafés y mueren. Resultando en una pérdida eventual de superficie foliar. Los rangos de crecimiento del tubérculo son más bajos respecto al periodo del llenado de tubérculo. Las plantas de papa requieren menos agua en esta etapa que para el llenado de tubérculo porque es reducida la transpiración de las hojas moribundas.

### **Relación entre la Tensión y la Humedad del Suelo**

**Rojas y Ramírez (1998)**, señalan que la relación que existe entre estos dos términos permite determinar la fuerza con que el agua es retenida en el suelo por las diferentes texturas y la humedad contenida en el suelo, la tensión de la humedad del suelo se presenta una vez que el suelo se ha equilibrado, es decir cuando el suelo ha llegado a la capacidad de campo o cuando el agua gravitacional ha cesado.

### **Efecto del Agua en el Contenido de Materia Seca**

El almidón constituye el 65-85 por ciento de la materia seca total de los tubérculos de papa, se forma alrededor de los plastidios de las células del parénquima (**Montaldo, 1984**). Si las raíces tuviesen muy poca agua disponible, todos los estomas se cerrarán y como resultado no se produciría materia seca. La falta de agua tiene tres efectos sobre el rendimiento:

- a) Reduce la producción de materia seca en forma directa al rebajar la tasa de fotosíntesis.
- b) Limita el desarrollo del cultivo (tamaño del follaje) y en consecuencia la producción de materia seca.
- c) Acelera el envejecimiento del cultivo.

## **Uso Consuntivo**

### **Antecedentes**

Desde hace varios años que se introdujo en la terminología el concepto de “uso consuntivo” del agua, de empleo general e indispensable utilización. Al definirlo, se da a entender como “ la cantidad de agua absorbida por un cultivo durante su ciclo vegetativo para ser transpirada o empleada por las plantas en la construcción de los tejidos vegetales, más el agua evaporada desde el suelo donde se localiza el mismo”.

De lo anterior se deduce que, el uso consuntivo del agua es aproximadamente igual a la evapotranspiración; por otro lado, el porcentaje de error experimental inherente al método de medición o de estimación (predictiva) muchas veces supera el uno por ciento del total de agua empleada. Asumiendo que la evapotranspiración es la pérdida de agua en estado de vapor de un suelo cultivado hacia la atmósfera.

Esta pérdida de agua incluye la vaporización desde las capas superiores del suelo (evaporación) y la vaporización del agua tomada del suelo por las plantas (transpiración).

Para la vaporización de la precipitación interceptada (ó agua de aspersión) y rocío de las superficies de las plantas, el término evaporación también se aplica, así como para la vaporización del agua de superficies libres acuosas.

### **Definición**

El uso consuntivo es la cantidad de agua que usan las plantas para nacer, desarrollarse y producir económicamente.

Al hablar de uso consuntivo del agua se refiere a “ la cantidad de agua consumida sin posible recuperación, para que las plantas cultivadas se desarrollen completamente y maduren su cosecha; agua empleada por las mismas para transpirarla o acumularla en sus tejidos en diversas combinaciones, suspensiones o soluciones; o el agua que es evaporada a la atmósfera directamente desde el suelo y que no puede conservarse o recuperarse”, así el uso consuntivo del agua para un período de tiempo considerado, será la cantidad empleada por un cultivo entre riegos normales.

Mediante experimentos mecánicos se determina la lámina total de agua que un cultivo necesita en todo su ciclo vegetativo, esa lámina se denomina “Uso Consuntivo” y varía de un cultivo a otro. También varía de una región a otra para un mismo cultivo, dependiendo de la radiación solar de la región, de la temperatura y de la humedad relativa del aire y de la velocidad del viento (**Tamez, 1979**).

### **Importancia del uso consuntivo**

El riego se practica primordialmente para corregir las deficiencias en la distribución y cantidad de la precipitación natural del clima de un área determinada. Dado que la necesidad del riego depende del clima, es natural que la respuesta a muchos problemas derivados con la planeación del riego debe de ser encontrada a través de un estudio de los datos climatológicos, teniendo en cuenta que, el empleo de estos datos en relación con el riego, requiere de la aceptación de ciertos conceptos fundamentales en conexión con la entrada y pérdida de humedad por el suelo.

Por otra parte, puesto que diferentes cultivos desarrollan su sistema radicular a diferentes profundidades, es obvio que la cantidad total de humedad disponible del suelo para un cultivo, dependerá además de la profundidad efectiva del sistema radicular, del tipo de suelo que limita el espesor e influye en las características de retención de agua del mismo.

### **Componentes principales del uso consuntivo**

Los componentes principales del uso consuntivo son: el agua que transpiran las plantas a través de las hojas, el agua que se evapora directamente del suelo y del agua que constituye los tejidos de las plantas. En virtud de que los dos primeros componentes constituyen casi el 99 por ciento de uso consuntivo, es común y, correcto mencionar el término evapotranspiración real (Etr) al hacer referencia al uso consuntivo (**García, 1986**).

### **Factores por los cuales depende el uso consuntivo**

La variabilidad del uso consuntivo del agua depende de diversos factores, en su mayoría determinantes del desarrollo vegetativo de las plantas y del consumo de agua; ellos son:

Suelo.- (Estructura, textura, fertilidad, salinidad, capacidad de retención de agua, profundidad, nivel freático.)

Cultivo.- (Especie, variedad, ciclo vegetativo, fase de desarrollo, fisiología intrínseca.)

Agua.- (Disponibilidad, prácticas de riego, eficiencia de aplicación de riego.)

Clima.- (Temperatura, fotoperíodo, calor aprovechable, precipitación, vientos, nubosidad.)

Los factores enumerados anteriormente, tienen influencia entre si y nunca actúan independientemente.

Diversos factores operan solos o en combinación, para influenciar las cantidades de agua consumidas por las plantas. Sus efectos no son necesariamente constantes, pero pueden diferir con la localidad y fluctuar año con año. Algunos involucran el factor humano, otros están relacionados con las influencias naturales del medio ambiente y las características de crecimiento de las plantas.

De las influencias naturales las más importantes son: el clima, la provisión de agua, los suelos y la topografía. Los factores climáticos que afectan en especial al uso consuntivo del agua son: la precipitación, la temperatura, la radiación solar, la humedad, el movimiento del viento, duración de la etapa de crecimiento, latitud y luz solar.

### **El Agua en el Suelo**

Después de un riego, el agua en el suelo puede seguir varios caminos. Uno de ellos y el más importante para la agricultura es el de almacenarse en el suelo. Aquí, el suelo funciona como un depósito o recipiente. La cantidad de agua almacenada en el espacio de suelo de donde puede ser tomada por los cultivos para su producción se llama “humedad aprovechable” (**González y Arosemena, 1999**). La humedad aprovechable es el agua en el suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente y que un cultivo puede tomar para sus funciones. Esto quiere decir que la humedad aprovechable es igual a la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

(**Gavande, 1982; Buckman y Brady, 1977**) Citado por **Agricultura de las Américas (1982)** mencionan que la cantidad de agua retenida por el suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, es el porcentaje de agua del suelo que puede ser extraído por las plantas. Esta es el agua disponible y el 75 por ciento de la misma se denomina humedad fácilmente disponible, valor que cambia en los diferentes tipos de suelo.

El espacio poroso está constituido por todo el volumen aparente no ocupado por los sólidos. Los suelos de textura fina, como las arcillas, tienen más espacio poroso total que los gruesos. Aunque los poros individuales son, generalmente más pequeños, hay mucho más poros y el resultado neto es una porosidad total mayor en los suelos finos. Por lo tanto, en el estado de saturación, los suelos de textura fina contienen mayor cantidad de agua que los de textura gruesa (**Gavande, 1982**).

Otra característica de los suelos que determina la humedad aprovechable o disponible es la profundidad. Suelos más profundos son mejores reservorios para almacenar agua, que suelos menos o poco profundos (**González y Arosemena, 1999**). Si los suelos tienen materia orgánica como hojarasca, estiércol de vaca, pollo, o cerdo, almacenarán casi el doble que los suelos comunes.

No habiendo pérdidas considerables en la superficie del suelo por escurrimientos, como en el interior del suelo por percolación, después del riego o de la lluvia, la humedad del suelo se reducirá fundamentalmente debido a la evapotranspiración. Al secarse el suelo, se reducirá la proporción de agua transmitida por él a las raíces y, por consiguiente, esto repercutirá en menor tasa de absorción de agua por la planta (**Doorembos y Pruitt, 1976**).

## **Términos Relacionados al Contenido de Agua en el Suelo**

Los términos relacionados con la parte cuantitativa del agua presente en el suelo, son los siguientes:

### **Saturación**

Se define como el punto al cual el agua en el suelo permanece libre en la superficie del suelo. La superficie brilla e incluso puede estar encharcada. Hay escurrimientos en todo suelo que no este bien nivelado.

### **Capacidad De Campo**

Se define como la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando deja de drenar libremente. En un suelo bien drenado, por lo general se llega a este punto, de 1 a 3 días después de que el suelo haya sido totalmente mojado por la lluvia o por el riego. Es el nivel más elevado de la humedad disponible para las plantas. Los laboratorios de suelos la expresan generalmente como una medición efectuada a 1/3 de bar de presión ó 33 centibares.

La capacidad de campo también se le ha llamado capacidad de conducción de campo, capacidad de humedad normal.

### **Punto de marchitez permanente**

Se conoce como tal al porcentaje o punto del agua del suelo al cual las plantas se marchitan permanentemente. Ocurre cuando el nivel de humedad del suelo baja tanto que no suministra a las plantas el agua necesaria para mantener su turgencia. Es el nivel más bajo de humedad aprovechable, y generalmente se determina a 15 bares de presión.

El término “Punto de Marchites Permanente” es una característica del perfil, que incluye no solamente la cantidad de agua a varias profundidades, sino también la velocidad con que el agua se moviliza a las raíces de la planta. Considera no sólo la superficie del suelo, sino todo el suelo en el que crecen raíces de plantas.

### **Capacidad de retención de agua**

Un perfil de suelo tiene la aptitud de retener cantidades variables de agua dependiendo de características como la textura, estructura, contenido de materia orgánica, porosidad, etc. Sin embargo, no toda el agua está a disposición de las plantas; los conceptos de capacidad de capo y punto de marchitez permanente así lo demuestran. Por lo tanto, la capacidad de retención de agua es la cantidad de agua que el perfil puede retener cuando esta seco.

### **Medición de la Humedad del Suelo**

Hay dos objetivos principales en la medición del agua en el suelo (Gavande, 1982).

- a) Determinar el contenido de humedad en el suelo. Esta información es necesaria para calcular el agua que se necesita para restaurar la humedad del suelo y llevarlo a capacidad de campo.
- b) Determinar la magnitud del potencial del agua del suelo, que es la cantidad de trabajo necesaria para remover una cantidad equivalente a una unidad de agua retenida más flojamente.

## Porque y Como Medir la Humedad del Suelo

El método más simple para estimar la humedad del suelo es el “tacto”(González y Arosemena, 1999); sin embargo, la aplicación de este método requiere experiencia y no es muy preciso. Al usarlo, es importante primero identificar la textura del suelo y después guiarse por la información que se muestra en el Cuadro 2.1 (Adoptada de Jensen, 1983; Israelson y Hanson, 1972); necesario para conocer el contenido de humedad en el suelo y la lámina de riego requerida para llevar ese suelo a capacidad de campo.

Otro método más tradicional y preciso es el gravimétrico, el cual representa uno de los modos de describir el estado del agua en el suelo. El método gravimétrico consiste en la medición directa de la humedad en el suelo, e inicia tomando una muestra de suelo que se le llama suelo húmedo al contenido de humedad que tenga la profundidad que se desea con una barrena, después la muestra se pesa en una balanza y se coloca en una estufa para secarla a 105°C de temperatura por lo menos 24 horas (González y Arosemena, 1999).

Cuadro 2.1. Guía para determinar por medio del tacto que porcentaje de humedad aprovechable en el suelo se ha abatido y la lámina de riego(cm/m) requerida para llevar ese suelo a capacidad de campo, de acuerdo con la textura.

Porcentaje de abatimiento en la humedad aprovechable	Textura		
	Arenosa	Franca	Arcillosa
<b>0</b> (Capacidad de campo)	Al apretar un montón de suelo no escurre agua, pero se deja una huella de humedad en la palma de mano		
<b>15</b>	Se forma una bola ligeramente pegajosa que algunas veces se desintegra bajo presión	Se forma una bola suave y flexible	Escurren listones suaves entre los dedos
	2	3.5	5
<b>30-80</b>	La apariencia es seca, no formará una bola consistente	Forma una bola bajo presión de la mano, aunque difícilmente permanece junta.	Forma una bola y un listón entre el pulgar y el índice.
	4	8	10
<b>80-100</b>	Seco, partículas sueltas y suaves que pasarán entre los dedos de las manos.	Medio polvoso, seco, algunas veces forma costras pero se vuelven polvo al romperse con la mano.	Duro, fracturado y algunas veces con fragmentos en la superficie.
	7	14	18

Una vez seca la muestra, ésta se debe pesar nuevamente para obtener el peso de suelo seco. Con los valores del peso de suelo seco y del suelo húmedo, el porcentaje de la humedad en el suelo se obtiene restando el peso del suelo seco, del peso de suelo húmedo, y dividiendo este valor entre el peso de suelo seco. El resultado se multiplica por cien(100) para obtener el contenido de humedad en porcentaje.

El método gravimétrico es sencillo, además, permite calibrar la mayoría de los métodos indirectos; sin embargo, disturba el suelo y sus lecturas no expresan nada sobre la disponibilidad de agua en la planta.

### **Métodos de Programación de los Riegos**

Todos los métodos de programación de los riegos consisten de un criterio de riego que lo activa y una estrategia de riego que determina cuanta agua aplicar. Los métodos de programación de los riegos se distinguen por el criterio de riego o por el método usado para estimar o medir este criterio. Un común y ampliamente usado criterio de riego es el estado de la humedad del suelo. En el Cuadro 2.2 se muestran las comparaciones entre los diferentes métodos para programar los riegos o que se utilizan para medir el contenido de humedad y el potencial del agua en el suelo(**Pearcy et al., 1991**).

Cuadro 2.2. Comparación entre diferentes técnicas para medir el contenido de humedad y potencial del agua en el suelo.

<b>Método</b>	<b>Rango</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Gravimétrico</b>	Rango completo de contenido de agua.	Requiere de equipo mínimo Interpretación directa. Base para el resto de los métodos	Muestreos destructivos. Requiere cuidado al coleccionar y transportar las muestras. Sensitivo a la variación especial en pequeña escala.
<b>Tensiómetro</b>	0-80 cb	Lectura directa del potencial mátrico del suelo. Barato. Factible de automatizar Relativamente confiable.	Requiere de conocer la curva de retención de humedad en el suelo para determinar el contenido de humedad. Monitorea solo el volumen del suelo alrededor de la cápsula porosa.
<b>Bloques de resistencia</b>	-0.10 a 7 bares	Confiable. Barato y fácil de fabricar. Puede automatizarse.	Requiere de conocer la curva de retención de humedad en el suelo para determinar el contenido de humedad.
<b>Dispensor de neutrones</b>	0.02 a 0.50 kg de agua/kg de suelo	Lecturas directas del contenido de humedad en el suelo. Lecturas representativas de grandes volúmenes de suelo. Un dispositivo puede usarse en muchos puntos. Relativamente preciso.	Se necesita una calibración para cada tipo de suelo. Algunas dificultades al intentar automatizarse. Incorrecto en profundidades cercanas a la superficie del suelo. Inversión inicial significativa
<b>Sicrómetro</b>	-0.20 a -10 bares	Mide el potencial total del agua en suelo. Posible de automatizar para monitoreo continuo. Útil en un rango amplio de potenciales, especialmente en suelos muy secos.	Muestra una pequeña fracción del volumen total del suelo. Sensible a cambios en la temperatura del suelo. Inversión inicial significativa
<b>Reflectómetro</b>	0.07 a 0.50 kg de agua/kg de suelo	Mide el contenido de agua. Muestra grandes volúmenes de suelo y reduce interferencias por heterogeneidad. Estable en función del tiempo.	Inversión inicial alta. De más uso en la investigación que para situaciones prácticas.

## **Importancia de la Programación de los Riegos**

La irrigación requiere de una alta inversión inicial en equipo, combustible, mantenimiento y mano de obra, pero ofrece un potencial significativo para el incremento de ingresos agrícolas netos. La frecuencia y oportunidad de aplicación del agua tienen un mayor impacto sobre los rendimientos y los costos de operación.

**Harrison y Tyson (1993)** mencionan que la programación de los riegos para uso más eficiente del agua de riego y para optimizar la producción, es conveniente para determinar frecuentemente las condiciones de agua en el suelo a lo largo de la zona de raíces en el crecimiento del cultivo.

Mencionan también que para la realización de la programación han sido desarrollados y usados varios métodos con la variación de grado de éxito; pero dos de los cuales han sido probados como más prácticos para su uso en campo, son el uso de tensiómetros y los medidores de resistencia eléctrica, los cuales en comparación con la inversión en equipo de riego, estos instrumentos son relativamente baratos.

**Kramer (1969)**, menciona que el crecimiento y rendimiento de los cultivos está determinado directamente por la tensión de agua en la planta y sólo indirecta y parcialmente por el estado de agua en el suelo; y sugiere que la programación de los riegos debería estar basada en la tensión o estrés de agua en la planta, la cual incorpora el déficit de agua del suelo, la demanda evaporativa atmosférica, densidad y distribución de raíces, susceptibilidad del cultivo etc. más bien que sólo el estado de agua en el suelo.

**Rhoads y Yonts (1992)**, indican que la programación de los riegos significa hacer una planeación o proceso de decisiones, estas decisiones primarias son: *Cuánta agua aplicar y Cuándo aplicarla.*

Cuánta agua se debe aplicar depende de: (1) la capacidad del suelo en el almacenamiento de la humedad disponible y (2) la cantidad de agua disponible del suelo agotada del perfil del mismo y por el uso de agua del cultivo. La capacidad del suelo en el almacenamiento de la humedad esta determinada por la capacidad de retención del agua disponible en el suelo y la profundidad de raíces del cultivo; y el cuándo aplicar el riego depende de la velocidad en el uso del agua por el cultivo y el total de la humedad disponible en el suelo.

Además, mencionan que el objetivo principal de la programación de los riegos es el manejo de estos, para una gran efectividad, e indican que una propia programación minimizará las pérdidas en el rendimiento debido a la tensión de agua en el cultivo, llevará hasta la máxima respuesta en el rendimiento hacia otras prácticas de manejo y optimizará el rendimiento por unidad de agua aplicada (eficiencia en el riego) todo lo cual contribuye con la rentabilidad.

Uno de los pasos fundamentales de la horticultura ambiental es el manejo de los sistemas de riego para mantener el estado de humedad del suelo en balance con la planta y pastos además de suministrar la “necesidad de agua” sobre una base oportuna. Las decisiones en la programación de los riegos basada básicamente en suposiciones nunca serán posibles. Un exceso de riego, así como un déficit producen más daño para las plantas, pastos y ambiente (**Irrrometer Co., 1999**).

La simplicidad en el uso de las mediciones del suelo para controlar los riegos son similares al termostato en una calefacción, o al sistema de aire acondicionado. El costo inicial es modesto con una ganancia en ahorro de agua pagando este costo en un período corto de tiempo. Para largo plazo los beneficios son muchos, además las plantas y pastos más saludables esta tecnología ayuda a prevenir:

- Desperdicio de agua
- Muerte prematura de plantas

- Suelos inundados y pendientes
- Problemas de plagas y enfermedades
- Errores humanos en la programación de los riegos

**Shock (1996)**, menciona que la programación de los riegos consiste en la aplicación correcta de cantidad de agua en un tiempo exacto. Con la papa, los agricultores tienen incentivos para hacer una programación de riegos que funcione bien. El cultivo de papa tiene una baja tolerancia al estrés de agua. La calidad del tubérculo en el mercado, su gravedad específica, y la calidad en el tratamiento del tubérculo para papas francesas esta estrechamente relacionada para bajos niveles constantes de estrés de agua durante la etapa de abultamiento o llenado de tubérculo.

También menciona que todas estas características de la papa están estrechamente relacionadas con el mantenimiento del potencial de agua en el suelo dentro un reducido rango de valores.

**García y Briones (1997)**, mencionan que la programación de los riegos es un procedimiento usado para predecir las necesidades de agua de las plantas a futuro, basándose en mediciones del estado de la humedad actual en el suelo y en los datos climatológicos registrados históricamente. También indican que esta programación tiene como objetivo el de mejorar el manejo del agua de tal manera que sólo sea aplicada en el tiempo y en la cantidad necesaria, en el que la evapotranspiración es el factor básico para determinar los requerimientos de agua por el cultivo.

**Scherer et al (1999)** Indican que la programación de los riegos es la práctica del uso del algún método para decidir cuando se inicia un sistema de riego y cuanta agua aplicará; no importa que método sea usado, todos ellos se inician con el conocimiento de cuando y cuanta lluvia ha sido recibida sobre el campo y el uso de algún mecanismo para decidir cuando regar.

## **Ventajas de la programación de los riegos**

La programación eficiente de los riegos ofrece varias ventajas **(Broner, 1993)**:

- Habilita al agricultor la rotación del tiempo de riego entre varios campos para minimizar la tensión de agua en el cultivo y maximizar los rendimientos.
- Reduce los costos de agua y mano de obra para los agricultores por medio la aplicación de menos riegos.
- Produce los más bajos costos de fertilizantes por retención y minimiza el escurrimiento superficial y percolación profunda.
- Aumenta los ingresos netos por el incremento en el rendimiento y calidad de los cultivos.
- Minimiza los problemas de registro de agua por la reducción de los requerimientos de drenaje.
- Asiste en controlar los problemas de salinidad en la zona de raíces por medio de lixiviación controlada debido a una adecuada cantidad de agua aplicada.

## **Factores que afectan la programación de los riegos**

El conocimiento de cuanto y cuando se debe aplicar el riego, esta determinado principalmente por cuatro factores **(Rhoads y Yonts, 1992)**; estos son:

- Disponibilidad de agua en el suelo
- Agua necesaria para el cultivo
- Valor de cualquier precipitación
- El rendimiento real del sistema de riego

## Evapotranspiración

### Definiciones de tipos de evapotranspiración

#### Evapotranspiración (Et)

Es la suma de la evaporación del agua en el suelo y la transpiración del agua de la superficie de las hojas de las plantas (**Gavande, 1982**).

#### Evapotranspiración potencial (Et)

Es la cantidad de agua que se evapotranspira en una cantidad de tiempo en un cultivo verde, bajo, de altura uniforme, que sombrea por completo el suelo al que en ningún momento le falta agua (**Gavande, 1982**).

#### Evapotranspiración máxima (Etm.)

Algunos autores la consideran como evapotranspiración de cultivo. Indica la tasa de evapotranspiración de un cultivo exento de enfermedades, que crece en un campo extenso en condiciones óptimas de suelos, incluida una fertilidad y agua suficientes, en el que se llega al potencial de plena producción con arreglo al medio vegetativo dado y que varía según la demanda del clima (**Doorembos y Pruitt, 1976**).

## **Evapotranspiración real (Etr)**

La Etr es la cantidad de agua que un cultivo ha evapotranspirado realmente, en condiciones de campo, con condiciones limitantes del cultivo comercial bajo riego (**Torres, 1983**).

También se le llama evapotranspiración actual o evapotranspiración real del cultivo. Es la tasa de evapotranspiración igual o menor que la evapotranspiración máxima, depende en gran medida de la disponibilidad de agua en el suelo, la variación del clima, el tamaño de los campos y las características de su medio circundante, la advección, la latitud, la humedad del suelo, la salinidad, el método de riego, los métodos de cultivo y a su vez algunos de estos factores dependen en parte de las prácticas agrícolas y de riego que se utilicen (**Black, 1968; Doorembos y Pruitt, 1976; Vink, 1978**).

### **Componentes de la evapotranspiración**

Los componentes de la evapotranspiración que dan lugar a las pérdidas de agua hacia la atmósfera son: 1) evaporación del agua del suelo y, 2) transpiración de la superficie de las hojas del cultivo.

#### **Evaporación del agua del suelo**

La evaporación es un proceso de intercambio de energía y se puede decir que el factor más importante que influye sobre ella es la radiación solar. La intensidad de evaporación en una superficie de suelo saturado es aproximadamente la misma que la de un tanque de agua a la misma temperatura que la del suelo.

## Transpiración

La transpiración es la evaporación del agua de la superficie de la planta hacia la atmósfera, dentro de los espacios intercelulares y/o después por difusión a través de los estomas hacia la atmósfera (**García, 1986**).

Durante un período de desarrollo de un cultivo, hay un continuo movimiento del agua de riego que pasa desde el suelo al interior de las raíces, sube por los tallos y sale por las hojas de las plantas. La velocidad del movimiento del agua a través de la planta varía ampliamente de 0.3 a 0.8 m/hora, pero en condiciones de temperatura excepcionalmente altas, de atmósfera seca y de tiempo ventoso, esta velocidad puede aumentar enormemente (**Israelsen y Hansen, 1981**).

Los requerimientos de agua y la época de mayor demanda varían para diferentes cultivos, aunque las plantas en crecimiento están utilizando agua continuamente. La tasa de transpiración depende del tipo de cultivo, grado de madurez, y principalmente de las condiciones ambientales como son: radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento (**Ventskevich, 1961; De la Peña, 1979**).

### Características del tensiómetro

La necesidad de conocer el potencial mátrico del suelo ha dado por resultado el uso intensivo del tensiómetro en los campos de riego. Este aparato es un dispositivo para realizar medidas directas en campo del potencial mátrico o capilar del agua del suelo. Los tensiómetros son simples y baratos y se han convertido en herramientas de uso práctico en investigación y en áreas comerciales.

Un tensiómetro consiste en una cápsula porosa de cerámica, de un tubo, de un vacuómetro y de un tapón. La cápsula de cerámica porosa se

encuentra en el extremo inferior y está unida a un tubo, normalmente de plástico transparente, el cuál a su vez está conectado a un vacuómetro que mide el vacío que se genera cuando el agua se mueve del interior del tensiómetro hacia el suelo, a través de la cápsula de cerámica. El tapón en el extremo superior tiene la función de cerrar herméticamente para que se cree un vacío interno.

### **Instalación**

El tensiómetro es un aparato que mide la fuerza con que es retenida el agua en el suelo. Su comportamiento se puede comparar a la de una raíz mecánica, indicando en una escala graduada de cero a cien centibares, el esfuerzo que les cuesta a las plantas extraer el agua (**Del Amor et al., 1984**). Aunque el límite útil de este aparato se encuentra a aproximadamente 80 centibares de tensión máxima (**García, 1999**).

Estos aparatos se colocan de 2 o más elementos a diferentes profundidades y distancias de las líneas de aplicación del agua de riego, con el fin de conocer la humedad en distintos puntos de la zona de raíces. Existen tensiómetros de distintas longitudes, adoptando unas u otras en función del sistema radicular de las plantas. Para cítricos y frutales, los más usuales son los de 12”(30 cm) y 24”(60 cm). Para hortalizas generalmente se utilizan los de 6” y 12” (**Del Amor et al., 1989**).

Al momento de colocarse el tensiómetro, debe asegurarse que la cápsula de cerámica haga un buen contacto con el suelo, ya que un vacío o un hueco impedirá el movimiento continuo del agua entre el tensiómetro y suelo circundante.

### **Toma de lecturas**

La frecuencia con que se deben realizar las lecturas de los tensiómetros está relacionada con el sistema de riego. En goteo es conveniente tomarlas diario, y siempre en el momento anterior al riego. Se debe hacer anotación de las lecturas para observar su tendencia **(Del Amor., et al 1986)**.

Cuando los suelos pierden humedad de tal forma que las lecturas están alrededor de 80 centibares, la columna de agua dentro del tensiómetro se romperá por la entrada de aire a través de la cápsula porosa. En este momento las lecturas dejan de ser confiables **(González y Arosemena, 1999)**

### **Interpretación de lecturas**

El siguiente cuadro presenta los rangos de tensión en el suelo para los cultivos en general **(Hargreaves y Merkle, 1998)**.

Cuadro 2.3. Interpretación de los rangos de tensión en el suelo para los cultivos en general.

Tensión cb	Interpretación
0-5	El suelo esta cerca de saturación para la mayoría de los cultivos excepto para el arroz.
10-25	Balance ideal entre el contenido de agua y el aire en el suelo, el riego no es necesario, suelo cercano a capacidad de campo.
25-40	Contenido de agua adecuado para los cultivos establecidos en suelos semiprofundos y profundos. El riego puede requerirse en suelos someros arenosos
40-50	Contenido de agua adecuado para los cultivos en suelos profundos. El riego es necesario en riegos francos.
50-70	El riego se requiere aún para suelos arcillosos
> 70	Se inicia un período de estrés que de prolongarse puede afectar el rendimiento al abatirse la poca humedad disponible en el suelo. A lecturas mayores de 85 cb, el tensiómetro dejará de funcionar.

Según González y Arosemena (1999), el límite superior de las lecturas en los lugares elevados hasta 343 metros sobre el nivel del mar(msnm) es entre 80 y 85 cb. En elevaciones mayores, este límite se reducirá en 3 cb por cada 343 m de altura sobre el nivel del mar. Por ejemplo, a 1000 msnm el límite superior de las lecturas será de entre 72 y 78 cb. Así, para nuestro caso, se realizó una adecuación de estos rangos y se obtuvo una ecuación que se muestra a continuación, así como su coeficiente  $r^2$ , para obtener

estos valores: Rango menor:  $Y = 80.508 X e^{-0.0001x}$ ;  $R^2 = 0.9981$

Rango mayor:  $Y = 85.47 X e^{-0.0001x}$ ;  $R^2 = 0.9984$

Ecuación promedio:  $Y = 82.989 X e^{-0.0001x}$

Donde:

x es la altura sobre el nivel del mar(msnm)

## Uso del Tensiómetro para Programar los Riegos

**Bryan y Olczyk (1986)**, mostraron que los tensiómetros pueden ser usados exitosamente como herramientas para la programación de los riegos en suelos rocosos en el cultivo de tomate con propia calibración, instalación y mantenimiento. El estudio incluyó 4 tratamientos de riego (5, 10, 15 y 20 cb) como principales parcelas y tres fuentes y rangos de fertilizante, obteniendo que un riego a 10 cb incrementó el rendimiento y mejoró la calidad del fruto y redujo la lixiviación de nutrientes; además, mencionan que un déficit de riego causa estrés de agua en los cultivos y reduce rendimiento y calidad.

**Foord y Hills (1993)**, realizaron estudios en banano para determinar la importancia que tiene la programación de los riegos en este cultivo para mantener un buen suministro de agua para las plantas. Los estudios muestran que para producir el máximo rendimiento (60 a 80 ton/ha), los bananos deben ser regados para mantener el agua disponible del suelo al nivel óptimo. La técnica fue desarrollada mediante el uso de los tensiómetros, uno de los métodos más fáciles y económicos para monitorear la humedad del suelo, los cuales fueron instalados a 30 y 60 cm de profundidad. Algunos agricultores reportaron un ahorro del agua de 30 por ciento a lo largo del año y otros, informaron un incremento en el rendimiento de 15 por ciento además del ahorro en el uso del agua. De manera global, informaron el incremento en el rendimiento como un resultado del uso de los tensiómetros, con un incremento medio de 19 por ciento.

**Shock et al (1997)**, mencionan que el cultivo de papa debe de ser regado cuando la tensión del suelo alcance un valor de 60 Kpa o 0.6 bares en cantidad suficiente para suministrar el agua perdida por evapotranspiración del cultivo desde el último riego, con tensiómetros a una profundidad de 30 cm.

**Del Amor et al (1986)**, indican que en un sistema de alta frecuencia, como es el riego localizado para cítricos y frutales, las variaciones en el clima o en el suelo, suponen la necesidad de realizar modificaciones sobre la marcha respecto al programa de riego previamente establecido; e indican también, que estos ajustes se deben llevar a cabo con un conocimiento puntual del estado de humedad del suelo mediante el uso de tensiómetros convenientemente situados en la plantación, esto nos da una idea bastante clara del contenido y el flujo del agua en el terreno, con el fin de mantenerlo en condiciones óptimas para el buen funcionamiento de las raíces.

## Descripción y Definiciones de los Sistemas de Riego

### 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. A medida que el chorro pasa sobre el campo, este queda esparcido en forma de gotas de agua las cuales al reunirse con la resistencia del aire caen a la superficie del suelo. En la mayoría de los sistemas de aspersión convencionales, el diseño de la tasa de aplicación es menor que la tasa de infiltración básica del suelo. De esta forma, toda el agua que cae sobre la superficie del suelo se infiltra directamente dentro del mismo, evitando encharcamientos sobre la superficie **(García y Briones; 1997)**.

Debido a que el agua distribuida por este sistema es aplicada en forma de chorro, resultan algunas ventajas y desventajas:

### **Ventajas**

1. - Control efectivo sobre la cantidad y tasa de aplicación, debido a un diseño menor de esta en comparación con la tasa de infiltración básica del suelo. Por lo tanto, estos sistemas son adaptables a:
  - a) Suelos variables.
  - b) Cultivos que requieren ligeras pero frecuentes aplicaciones.
  - c) Suelos con bajas capacidades de retención de agua.
- 2.- La superficie del suelo no necesita ser nivelada de manera uniforme, de tal manera que:
  - a) La nivelación de la superficie es eliminada o reducida.

b) Es adaptable a suelos poco profundos que no pueden ser nivelados.

3.- Se adapta a gastos pequeños de manera eficiente.

4.- Poca mano de obra necesaria y reducidos riesgos de erosión.

### **Desventajas**

1.- Inversión inicial elevada

2.- El viento resta eficiencia en el patrón de esparcimiento del agua del aspersor y ocasiona grandes pérdidas por evaporación.

3.- Requieren de un uso intensivo de energía.

4.- Los insecticidas pueden ser lavados del follaje de las plantas.

5.- Aguas de salinidad alta pueden causar problemas.

6.- Algunos sistemas móviles presentan problemas de tracción, debido a suelos pegajosos.

### **Clasificación de los Sistemas de Riego por Aspersión**

De acuerdo a su portabilidad (**Fry y Gray, 1971**), este tipo de sistemas pueden ser clasificados de la siguiente manera:

**1.- Sistema completamente portátil:** emplea líneas de conducción principales y líneas laterales además de aspersores que son portátiles.

**2.- Sistema semi-portátil :** Emplea líneas de conducción laterales que son portátiles pero las líneas de conducción principales son estacionarias.

**3.- Sistemas permanentes:** son aquellos que permanecen en una sola posición en el campo durante toda la estación de cultivo.

También se clasifican estos sistemas de acuerdo a la naturaleza de su movimiento ( continuo, movimiento-alto, en línea, por pivote).

## **Aspersión por Movimiento Continuo**

El sistema más común de este tipo es el de Pivote Central, en el cual una sola línea lateral de aspersores, se mueve en círculo alrededor de un punto final (pivote) a través del cual el agua llega al sistema. La tasa de descarga por unidad de longitud en la línea lateral varía en proporción directa con la distancia desde el punto pivote con el fin de dar una distribución uniforme a través del campo de cultivo.

Los sistemas de movimiento continuo tienen el potencial de proveer una mayor uniformidad en la distribución del agua que aquellos sistemas de movimiento-alto, debido al movimiento que barre el campo en los sistemas de movimiento continuo.

## **Sistemas de Movimiento-alto**

En los sistemas de movimiento-alto, uno o más aspersores son operados a un punto fijo en el campo. Después que una deseada cantidad de agua ha sido aplicada, el sistema es dejado de operar y el aspersor o aspersores son desplazados hacia otra posición en el campo. En donde el sistema es nuevamente puesto en operación. Usualmente cada vez que se desplaza el sistema a cada una de las diferentes posiciones dentro del campo es para un período de riego igual. Este tipo de sistemas son usualmente diseñados para proveer el máximo posible de aplicación total en cada sección de campo que se riega a la vez (dependiendo de las características de drenaje del suelo, y la tasa de evapotranspiración del cultivo), de manera que los movimientos requeridos durante la estación del cultivo sean minimizados. Un ejemplo de este sistema es el llamado side-roll, el cual consta de un pequeño motor y engranes impulsores que hacen que este sistema se movilice de manera mecánica (**García y Briones;1997**).

## **Goteo o Microirrigación**

Un sistema de riego por goteo es aquel en donde se aplica agua filtrada (y fertilizante) dentro o sobre el suelo directamente a cada planta en forma individual. Con este tipo de sistema de riego, el agua puede ser suministrada al cultivo con una baja tensión y alta frecuencia, con lo cuál se crea un ambiente óptimo de humedad en el suelo, particularmente donde la planta lo pueda aprovechar. Debido a la alta frecuencia del riego, se pueden obtener eficiencias muy altas. Esta eficiencia se define como el rendimiento del cultivo por unidad de agua aplicada; la cual en este tipo de riego se puede incrementar hasta en un 50 por ciento o más en lugar de un riego por superficie (**García y Briones; 1997**)

Debido a que solamente la zona radicular de la planta es suplida con agua, bajo un adecuado manejo, se pierde muy poca agua por percolación profunda, consumo por plantas no benéficas, o evaporación desde la superficie del suelo.

En un sistema de riego por goteo se desprenden algunas ventajas y desventajas, que se mencionan a continuación:

### **Ventajas**

1. Ahorro en gran cantidad de agua aplicada.
2. Respuesta rápida del cultivo a los adecuados niveles de humedad generados por el sistema.
3. Ahorro considerable de mano de obra.
4. Uso óptimo y ahorro en los fertilizantes aplicados.
5. Poco o nulo crecimiento de malas hierbas.
6. Mejora la penetración de raíces.
7. Minimiza la formación de costras en la superficie del suelo.
8. Es posible el uso de aguas salinas.

### **Desventajas**

1. Los emisores o goteros presentan mucha sensibilidad a taparse.
2. El manejo de aguas de cierta salinidad, puede ocasionar que las sales se depositen dentro de la zona radicular si existe cambio en la dirección de flujo.
3. Problemas con la distribución de la humedad.
4. Alto costo comparado con los sistemas de superficie o los portátiles de aspersión.
5. Suelo seco y formación de polvo durante las operaciones mecánicas.
6. Se requiere de especialización para el mantenimiento.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### Localización geográfica de los sitios experimentales

Se cuenta con un total de 4 estaciones agroclimáticas instaladas cada una de ellas en los sitios de estudio, las cuales registran datos de precipitación, presión, humedad relativa, velocidad y dirección del viento a intervalos de 30 minutos.

Las localidades donde se encuentran instaladas las estaciones donde se realizó el proyecto se mencionan a continuación:

Cuadro 3.4. Localización de cada una de las estaciones agroclimáticas utilizadas en el experimento

<b>LOCALIDAD</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>ALTITUD (msnm)</b>
<b>El Ranchito, Arteaga, Coahuila</b>	25° 21' 45 N	100° 38' 37 W	2213
<b>El Tunal, Arteaga, Coahuila</b>	25° 25' 11 N	100° 37' 43 W	2245
<b>San Francisco, Arteaga, Coahuila</b>	25° 23' 20 N	100° 36' 40 W	2246
<b>CESIA Arteaga, Coahuila</b>	25° 16' 00 N	100° 46' 24 W	2020

### Densidad aparente de los suelos

Esta se define como la relación que existe entre el peso del suelo seco y el volumen total del suelo poroso; la densidad aparente presenta valores comprendidos entre 1.0 y 1.9 para suelos minerales, así mismo la densidad es expresada en gr/cm. Estos análisis se llevaron a cabo en los Laboratorios de la Fundación Produce, Coahuila. Y una vez muestreado el suelo y todos los pesos correspondientes, se calcula con el siguiente modelo:

$$Da = \frac{Pss}{Vt} \text{ o } \frac{Ms \times g}{Vt}$$

Donde:

Da = Densidad aparente grcm<sup>-3</sup>

Pss = Peso de suelo seco, gr.

Vt = Volumen total cm<sup>3</sup>

Ms = Masa de sólidos, gr.

g= gravedad, 980 gr/cm<sup>2</sup>

Los datos de textura obtenidos se presentan en el Cuadro 3.5:

Cuadro 3.5. Datos de densidad aparente obtenidos para cada una de las localidades.

<b>LOCALIDAD</b>	<b>DENSIDAD APARENTE (grcm<sup>-3</sup>)</b>
<b>CESIA</b>	1.22
<b>San Francisco</b>	1.37
<b>El Tunal</b>	1.30
<b>El Ranchito</b>	1.32

## **Características de los Suelos**

El análisis de los suelos para la determinación de la textura del suelo se realizó mediante el método del hidrómetro de Bouyucus. Los suelos de las regiones de estudio van de migajón a migajón arcilloso según los datos de textura (Cuadro 3.6) obtenidos en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

### **Puntos importantes a considerar para la determinación de la textura del suelo por el método de Bouyucus**

En este método la cantidad de sólidos se determina dividiendo la densidad de suspensión por medio de un Hidrómetro especial en intervalos adecuados. La densidad disminuye a medida que las partículas sólidas se van sedimentando, este método se ha calibrado cuidadosamente con el método de la pipeta el cual es rápido pero menos exacto

Para llevar a cabo la determinación por este método es necesario tomar en cuenta los siguientes principios:

- Este método se basa en que las partículas más grandes presentan menos superficie en proporción a su peso y así mismo que las partículas pequeñas, por tal motivo cuando las partículas de diferentes tamaños se encuentran en suspensión en el líquido, las partículas se asientan primero.
- Si lo anterior se cumple, entonces la arena se asentará primero, siguiendo el limo y finalmente la arcilla.
- El hidrómetro proporciona una indicación importante, esto quiere decir que mientras más material de la suspensión se asienta, la densidad de la suspensión será menor. El hidrómetro está

calibrado para dar lecturas directas en gramos del material en suspensión por litro de la misma.

- Las partículas del suelo tienden a juntarse, debido al efecto de los materiales sementados inorgánicos. Para mayor precisión en cualquier análisis mecánico, las partículas deberán dispersarse, como ejemplo de estas se tienen al hexametáfosfato de sodio, oxalato de sodio, ácido clorhídrico dependiente del agente que agrega el material.
- La temperatura influye a la densidad del agua, de la misma manera que para tener mayor precisión en los resultados deberían corregirse por temperatura.

Cuadro 3.6. Datos de textura obtenidos para cada una de las localidades de estudio.

<b>ESTACIÓN</b>	<b>% ARCILLA</b>	<b>% LIMO</b>	<b>% ARENA</b>	<b>TIPO DE SUELO</b>
<b>CESIA, Arteaga</b>	29.2	34	36.8	Migajón arcilloso
<b>San Francisco, Arteaga</b>	31.2	32	36.8	Migajón arcilloso
<b>El Tunal, Arteaga</b>	23.2	36	40.8	Migajón
<b>El Ranchito, Arteaga</b>	23.2	36	40.8	Migajón

### **Monitoreo de la humedad del suelo**

El estado de la humedad del suelo se llevó a cabo mediante la instalación de tensiómetros, los cuales se instalaron para medir tensión de humedad del suelo en los sitios de muestreo a profundidades de 15 y 30 cm, de los cuales se tomaron lecturas diariamente por el encargado del sistema de riego, para mantener una adecuada humedad en el suelo con el fin de determinar de manera adecuada y oportuna el momento en el cual se debería aplicar el riego. En el caso en que la lectura del aparato colocado fuera menor a 75 cb, estos sensores se calibraban cada viernes durante el desarrollo del cultivo.

### **Curvas de retención de humedad**

La relación entre el potencial mátrico del suelo y su contenido de humedad puede realizarse por medio de una curva característica de humedad, o también denominada curva de retención de humedad. Conforme el agua en el suelo se remueve, el potencial mátrico decrece (se hace más negativo), y caso contrario ocurre si cierta cantidad de agua se agrega al suelo, lo cual puede explicarse por medio de esta curva.

Uno de los principios de la curva de retención es explicar la cantidad de humedad que un suelo tiene a determinado potencial. Por ejemplo, pueden tomarse las lecturas de un tensiómetro y por medio de la curva característica de humedad conocer el contenido de humedad y determinar cuando regar.

Se obtuvieron muestras de suelo de las áreas comprendidas dentro del estudio a una profundidad de 0-30 cm; se analizaron en el Laboratorio de Relación Agua Suelo Planta Atmósfera del Departamento de Riego y Drenaje de la misma Universidad, para obtener la curva de retención de humedad por el método de las ollas de presión de cada una de las áreas comprendidas dentro de las estaciones.

### Método de las ollas de presión

Es el método más desarrollado, pues permite hacer la determinación del valor de la Capacidad de Campo de un gran número de muestras en corto tiempo. Este método consiste en obtener datos de humedad a diferentes tensiones partiendo de 0.1 bar, que es cuando se considera que el suelo esta a su máxima capacidad de retención de agua, hasta 15 bar, tensión a la que se alcanza aproximadamente el punto de marchitez permanente; El material utilizado fue: olla de presión, platos de cerámica, anillos de hule de un cm de alto y seis de diámetro para contener muestras de 25 gr cuando menos, balanza para pesado de muestras tanto secas como húmedas, estufa para secado de las mismas y botes.

Las muestras se colocaron en los anillos sobre el plato poroso, el cuál previamente se saturó por un período de 18-24 horas. Las muestras de suelo se saturaron con agua en el plato poroso durante aproximadamente 24 horas; después se retiró el exceso de agua, se colocó el plato en la olla y se aplicó la presión a la que se deseó obtener el punto. Después de que transcurrió un período de 48 horas se quitó la presión aplicada, se colocaron las muestras en botes herméticos tapados, se pesaron en la balanza y se pusieron a secar en la estufa a una temperatura de 105-110 °C durante 24 horas aproximadamente y después se sacaron y se pesaron para obtener el peso de suelo seco. Con estos datos se procedió a determinar el porcentaje de humedad sobre la base de peso, mediante la siguiente ecuación:

$$P_w = \frac{(PSH - PSS)}{PSS} \times 100$$

Donde :

$P_w$  = Porcentaje de humedad en base peso

$PSH$  = Peso de suelo humedo

$PSS$  = Peso de suelo seco

Como resultado se obtiene una curva de forma hiperbólica, la que puede ajustarse por medio de una regresión lineal simple.

**Palacios (1963)** citado por **Aguilera y Martínez (1996)** propuso una ecuación de tipo exponencial que se puede utilizar cuando se dispone de pocos datos o se desean ajustar. Aún cuando solamente se conozcan los puntos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, ya que estos valores de porcentaje de humedad, correspondientes a la tensión del suelo son aproximadamente constantes; expresó dicha ecuación de la manera siguiente:

$$T = K(P_w)^n + C$$

Donde:

T= Tensión del suelo (bar)

P<sub>w</sub> = Porcentaje de humedad del suelo(%)

n = Exponente que depende de las características físicas del suelo (adimensional)

K= Constante que también depende de la textura, estructura y compactación del suelo(adimensional)

C= Constante que también es función de las características físicas del suelo(adimensional).

El parámetro C se adiciona debido a que, al probar con curvas de texturas de suelo diferentes se encontró que tan sólo para algunos suelos era aceptable la ecuación. El mismo Palacios, analizando varias curvas de tensión de humedad de suelos cuya textura varía de franco arenoso hasta la arcilla, encontró una ecuación de regresión entre la CC y la constante C;

$$C = -0.000014 (CC)^{2.7} + 0.3$$

Al conocer dos puntos de las curvas es posible despejar los valores de los parámetros  $n$  y  $K$ .

Ya conocidos los parámetros de la ecuación se calculan con cierta aproximación las tensiones del suelo para valores conocidos de  $P_w$ , o viceversa.

Para mayor facilidad en el cálculo, la ecuación que relaciona la tensión del suelo con el porcentaje de humedad se puede expresar de la forma siguiente:

$$\text{Log } (T - C) = \text{Log } K + n \text{ Log } P_w$$

$$\text{Log } (T_{cc} - C) = \text{Log } K + n \text{ Log } P_{w_{cc}}$$

$$\text{Log } (T_{pmp} - C) = \text{Log } K + n \text{ Log } P_{w_{pmp}}$$

$$\text{Log } (T_{cc} - C) - \text{Log } (T_{pmp} - C) = n \left( \text{Log } P_{w_{cc}} - \text{Log } P_{w_{pmp}} \right)$$

Donde:

$$n = \frac{\text{Log } (T_{cc} - C) - \text{Log } (T_{pmp} - C)}{\text{Log } (P_{w_{cc}}) - \text{Log } (P_{w_{pmp}})}$$

Y para conocer el parámetro  $K$  se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Log } K = \text{Log } (T_{pmp} - C) - n \text{ Log } P_{w_{pmp}}$$

En el Cuadro 3.7 se presentan las ecuaciones obtenidas al realizar el ajuste de datos obtenidos por las ollas de presión.

Cuadro3.7. Ecuaciones de ajuste para Pw obtenidas a partir de los datos de las ollas de presión para las estaciones del proyecto.

Estación	Ecuación
Emiliano zapata	$P_w = ((2192804.94)/(T+0.1072))^{4.072^{-1}}$
San Francisco	$P_w = ((47870094.3)/(T-.0918))^{5.411^{-1}}$
El Tunal	$P_w = ((71802.53)/(T-0.21868))^{4.265^{-1}}$
El Ranchito	$P_w = ((1982975.38)/(T+0.00781))^{4.234^{-1}}$

### Humedad Aprovechable y Lámina de riego

Se conoce con este nombre a la humedad comprendida entre la capacidad de campo(CC) y el punto de marchitez permanente (PMP), es decir, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo el contenido de humedad corresponde a un 100 porciento, así mismo, el contenido de humedad será de un cero porciento cuando se encuentre a punto de marchitez permanente. Generalmente esta humedad es utilizada comúnmente por las plantas que tradicionalmente se desarrollan bajo condiciones de riego.

Cuando la humedad aprovechable comienza a ser consumida por las plantas o evaporada directamente del suelo, empieza a disminuir paulatinamente la cantidad de humedad, a esta pérdida de agua se le conoce como abatimiento de la humedad aprovechable; tanto la humedad aprovechable como el abatimiento de ésta, consideran características de suelo y planta como son: capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente y la profundidad de raíces como se indica en la siguiente expresión utilizada para determinar la humedad aprovechable de un suelo.

$$HA = \frac{(CC - PMP) \times Da \times Pr}{100}$$

Donde:

HA= Humedad aprovechable, cm

CC= Capacidad de campo, % a 0.2 bar

PMP= Punto de marchitez permanente, % a 15 bar

Da= Densidad aparente,  $\text{gr}/\text{cm}^{-3}$

Pr= Profundidad de raíces, cm

### **Determinación de lámina de agua consumida**

Para la obtención de lámina de agua retenida en cada uno de los suelos, se utilizó la ecuación siguiente:

$$L_r = \frac{(P_w - P_{wi}) \times D_a \times P_r}{100}$$

Donde:

$L_r$  = Lámina de riego, cm

$P_w$  = Porcentaje de humedad base peso, en correlato con la lectura del tensiómetro después del riego, %

$P_{wi}$  = Porcentaje de humedad base peso, en correlato con la lectura del tensiómetro antes del riego, %

$D_a$  = Densidad aparente,  $\text{gr}/\text{cm}^{-3}$

$P_r$  = Profundidad de raíces, cm

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Curvas de retención de humedad para cada uno de los sitios

##### **Localidad Emiliano Zapata(Cesia)**

En la Figura 4.1 se presentan los datos que se obtuvieron al realizar la obtención de los porcentajes de humedad por el método de las ollas de presión para cada valor de tensión dado; así mismo, se presentan los datos ajustados por medio de las ecuaciones para determinar dicha curva por el método descrito por **Palacios (1963)** citado por **Aguilera y Martínez (1996)** descrito anteriormente, el cual involucra los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente obtenidos por las ollas de presión. También se presentan los valores del equivalente en lámina de los porcentajes de humedad ajustados.

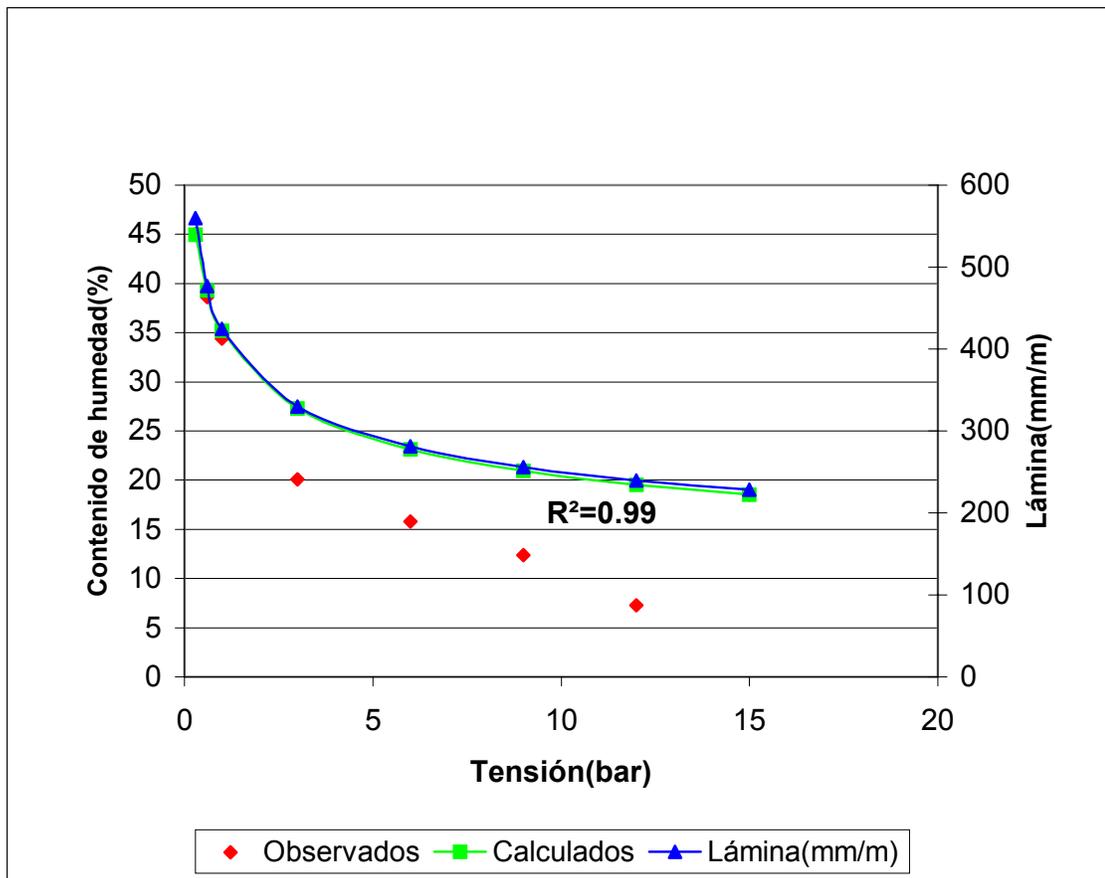
En la Figura 4.1 podemos observar que los valores obtenidos por las ollas de presión presentan una distribución descendente de acuerdo a los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente obtenidos. Según el principio del tensiómetro que fue el aparato por medio del cual fue monitoreada la humedad del suelo, entre mayor sea la lectura en el tensiómetro menor será el porcentaje de humedad encontrado a esa lectura en el suelo y viceversa; para este caso si se presenta esta tendencia. Pero para dar una tendencia mucho más confiable, estos datos se ajustaron para

que presentaran una distribución de acuerdo al principio del tensiómetro y de esta forma, poder determinar con mayor exactitud los valores del contenido de humedad.

También se presentan los valores equivalentes en lámina de los porcentajes de humedad ya ajustados, en los cuales podemos observar que existe muy poca diferencia en cuanto a la tendencia seguida por las dos curvas presentadas; obteniendo con ello un coeficiente  $R^2 = 0.999$  según la tendencia de las curvas. La ecuación obtenida fue:  
 **$P_w = ((2192804.94)/(T+0.1072))^{(1/4.072)}$**

En la Figura podemos observar que el porcentaje de humedad disponible para este caso es de 26.46 por ciento, y su valor equivalente en lámina es de 9.68 cm/m el cual como se puede observar es considerablemente amplio considerando que el cultivo sé esta desarrollando en un suelo arcilloso y de acuerdo a esta gráfica es bastante considerable el nivel de humedad en el suelo aún en lecturas del tensiómetro adecuadas para esta zona.

Figura 1.. Comportamiento del contenido de humedad en el CESIA de los datos obtenidos mediante las ollas de presión y los valores ajustados.



### Localidad San Francisco

En la Figura 4.2, se presentan los valores de contenido de humedad de la Localidad San Francisco obtenidos por el método de las ollas de presión, los valores ajustados por la fórmula de **Palacios (1963)** y el valor en lámina (mm/m) equivalente a estos valores de contenido de humedad del suelo ajustados. Para esta localidad se observa en la Figura, que los valores de contenido de humedad obtenidos por las ollas de presión, presentados en ella, no presentan una tendencia confiable de acuerdo al principio del tensiómetro mencionado en el caso anterior. Debido a ello, se realizó el ajuste por medio de la ecuación presentada por **Palacios (1963)**, para la

obtención de los datos ajustados los cuales presentan un coeficiente  $R^2 = 0.99$ . La ecuación obtenida fue:  $P_w = ((47870094.3)/(T-0.0918))^{(1/5.411)}$

Con estos mismos datos ajustados se determinó su equivalente en lámina en mm/m, presentada en la misma Figura, en la cual se observa que existe poca variación de tendencia con respecto a los datos de contenido de humedad ajustados.

El porcentaje de humedad disponible o aprovechable para esta localidad es considerablemente alto de acuerdo a los datos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente y su valor es de 19.16 por ciento, y su valor en lámina es de 7.87 cm/m lo cual indica que el cultivo dispone de un porcentaje de humedad con ciertas restricciones para los valores altos de lectura en el tensiómetro.

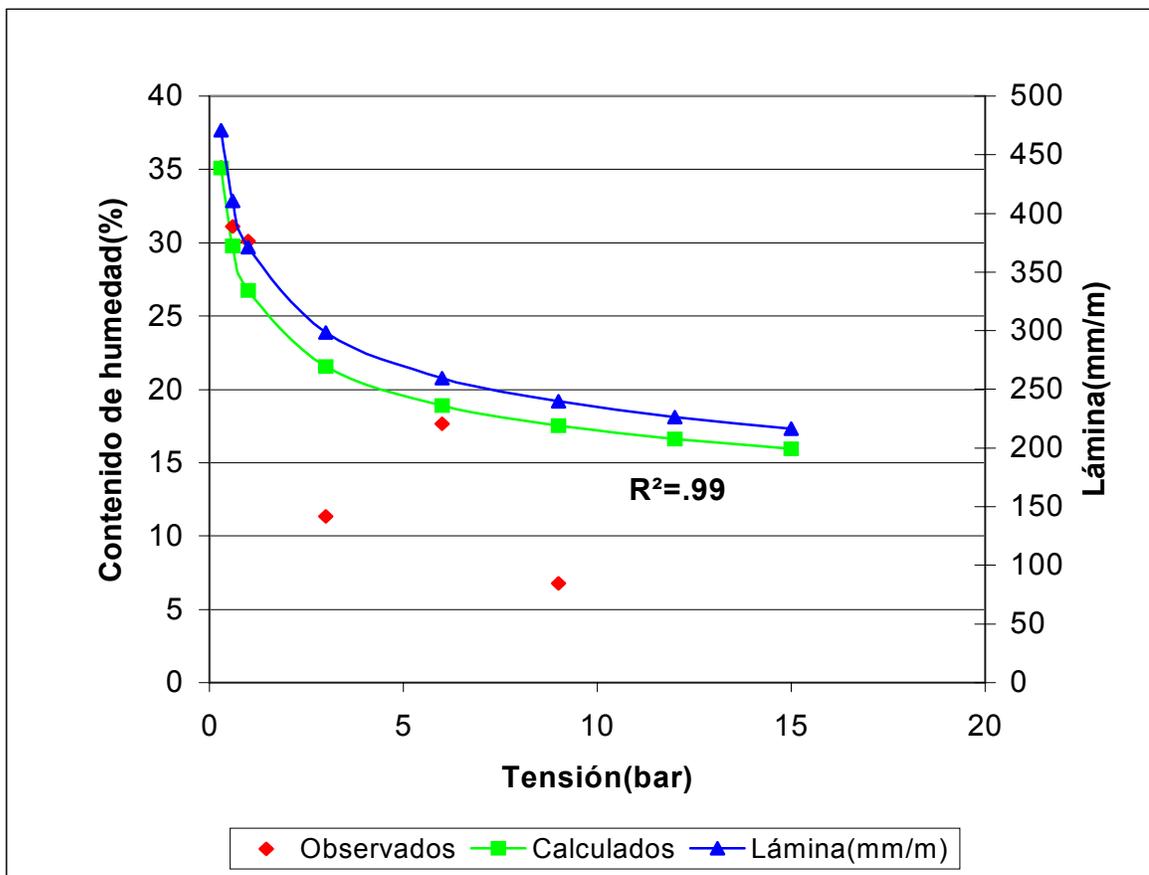


Figura 4.2. Curva de retención de humedad en San Francisco de los datos obtenidos mediante las ollas de presión y los valores ajustados.

### Localidad El Tunal

Para esta localidad se presenta la gráfica obtenida en el laboratorio mediante el método de las ollas de presión, la gráfica de estos valores ajustados y la gráfica del equivalente en lámina en mm/m de estos valores ajustados. En ella podemos observar que los valores obtenidos no presentan una tendencia descendente conforme al principio del tensiómetro, el cual presenta valores altos de contenido de humedad a valores de tensión pequeños y viceversa, es por ello que se debieron ajustar para proporcionarles una distribución de este tipo; así mismo, se presenta la gráfica de los valores ajustados con su equivalente en lámina. Para los valores ajustados, se obtuvo un coeficiente  $R^2 = 0.98$ , lo cual indica que los valores de ajuste son aceptables. Para este caso, el valor de la humedad aprovechable es de 6.81 cm/m, según los datos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente de esta zona.

La ecuación obtenida fue:  $P_w = ((71802.53)/(T+0.2187))^{(1/4.265)}$

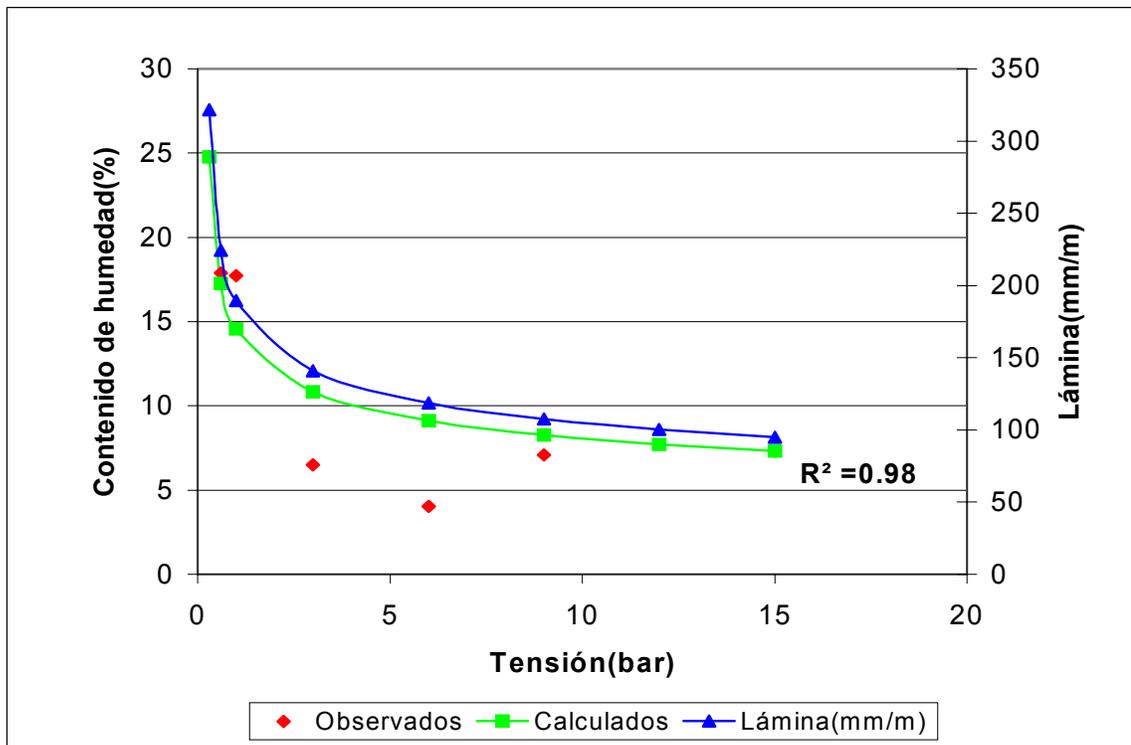


Figura 4.3. Curva de retención de humedad Estación El Tunal, de los datos obtenidos mediante las ollas de presión y los valores ajustados.

### Localidad El Ranchito

Las Figura 4.4 presenta el comportamiento de los valores de contenido de humedad obtenidos en el laboratorio por el método de las ollas de presión, también se presentan los valores para este contenido de humedad ajustados de tal manera que presenten una tendencia favorable para saber con mayor precisión el contenido de humedad a diferentes tensiones.

Para los valores ajustados se presenta el coeficiente  $R^2 = 0.99$ , el cual nos indica que los valores son aceptables. La ecuación fue:

$$Pw = ((1982975.38)/(T + 0.00781))^{(1/4.234)}$$

Para esta localidad el porcentaje de humedad aprovechable es de 24.37 por ciento y su equivalente en lámina es de 9.65 cm/m según los valores obtenidos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

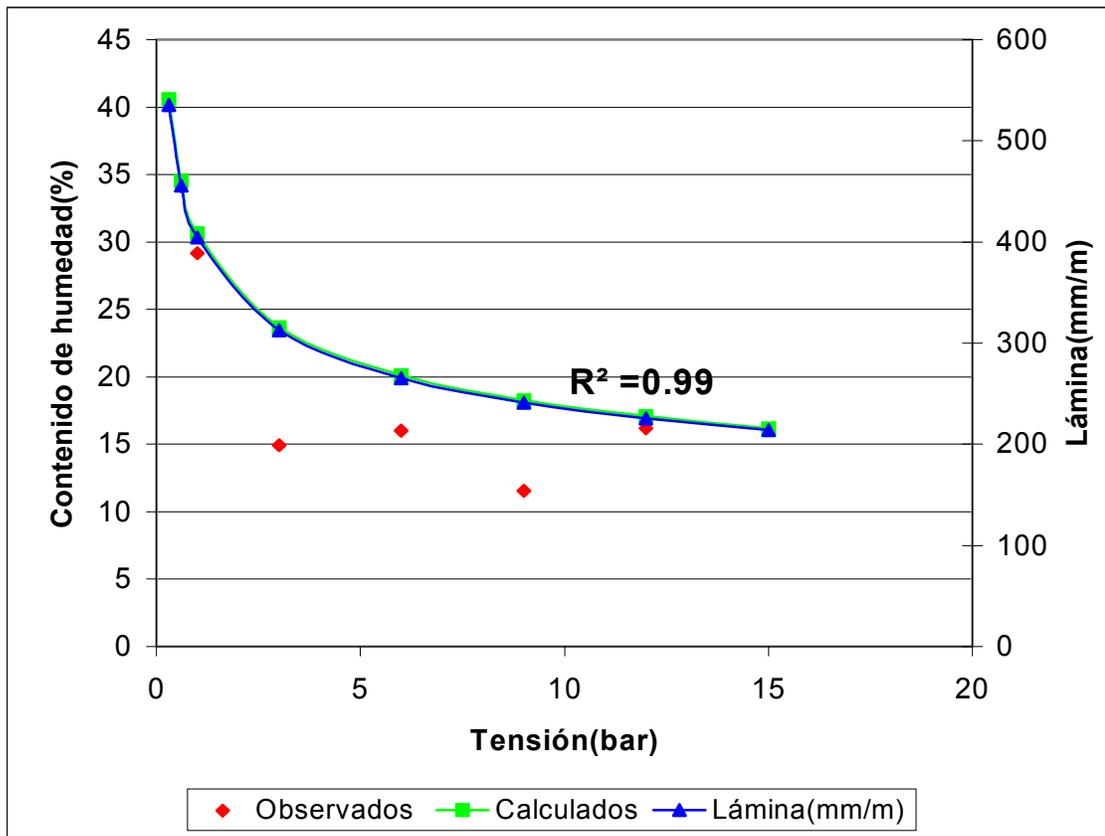


Figura 4.4. Curva de retención de humedad en El Ranchito, de los datos obtenidos mediante las ollas de presión y los valores ajustados.

## **Niveles de humedad del suelo**

### **Localidad Cesia**

La siembra para esta localidad se realizó el día 26 de mayo y los monitoreos de la humedad del suelo mediante el uso de tensiómetros instalados a profundidades de 15 y 30 cm, aunque para el manejo de las láminas a estimar, se tomó en cuenta solamente el que se encontraba a 30 cm, debido a que es el más representativo de la profundidad de raíces en el cultivo; esta operación se inició el día 15 de Junio que fue la fecha de emergencia del cultivo.

Los niveles de humedad del suelo registrados para este sitio del proyecto se muestran en la Figura 4.5, en la cual se puede observar que en los primeros días de crecimiento del cultivo, los valores de tensión de humedad del suelo mostraron una lectura alta, alcanzando un valor de 57 cb para el tensiómetro colocado a 30 cm (el cual fue el que se tomó en cuenta para realizar los cálculos de las láminas consumidas); momento en el cual se aplicó un riego, el cual se realizó el día 13 de Julio, haciendo llegar la lectura del tensiómetro a 30 cm hasta un valor de 10 cb con una lámina repuesta de 7.11 cm. Los datos completos de los riegos se presentan en el Cuadro 4.7.

Después del primer riego el nivel de humedad del suelo se mantuvo de manera similar, teniendo como lectura igual 48 cb para el tensiómetro a 30 cm al momento de aplicar el segundo riego, el cual se realizó el día 19 de Julio. Los siguientes riegos se realizaron los días 31 de Julio, 09 y 17 de Agosto, Cabe mencionar que después del segundo y quinto riego se presentó una disminución en las lecturas que corresponden a precipitaciones registradas bastante considerables, estas se registraron para los días 27 de Julio y 24 de Agosto, lo cual no se consideró como riego aplicado. Los

niveles de humedad para la parte final del ciclo no sobrepasó de los 20 cb según se observa en la figura, hasta el momento en el cual se levantaron los tensiómetros, cuya fecha fue el inicio del desvare.

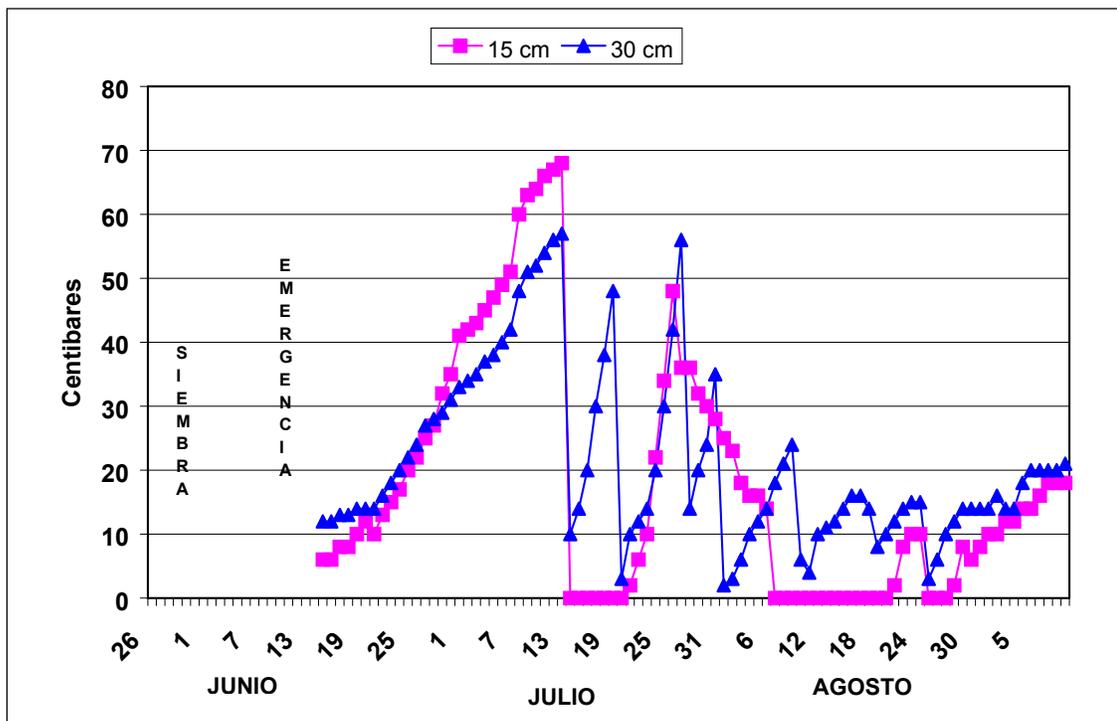


Figura 4.5. Comportamiento de los niveles de humedad en la Localidad Emiliano Zapata(CESIA), bajo sistema de riego por aspersión (semiportátil).

### Localidad San Francisco

La siembra para esta localidad se realizó el día 21 de Abril y los monitoreos de la humedad del suelo se iniciaron el día tres de mayo al inicio de la emergencia del cultivo mediante el uso de tensiómetros a profundidades de 15 y 30 cm.

En la Figura 4.6 se muestra la gráfica del comportamiento de los niveles de humedad del suelo presentados durante el ciclo del cultivo para esta localidad y podemos observar en ella que durante los primeros 12 días a partir de la instalación de los tensiómetros, los valores de humedad se

mantuvieron a un valor promedio de 30 cb, para el tensiómetro instalado a 30 cm y a partir de esta fecha se empieza a incrementar este valor hasta el día 16 de Mayo, fecha en la cual se aplica el primer riego, con una lectura en el tensiómetro de 69 cb.

Es importante mencionar que para el día 22 y 23 de Mayo, se presentó una lluvia bastante considerable de 23 y 6 mm respectivamente, lo cual ocasionó que el siguiente riego se espaciara mucho más, y se aplicara con fecha 30 de Mayo. En una manera muy similar se mantuvieron los niveles de humedad en el suelo, resultando para este caso solamente la aplicación de 2 riegos, debido a que en el período de los días 5-12 de Junio se presentaron lluvias espaciadas cada tercer día aproximadamente; y del día 12-29 con lluvias diarias, lo cual ocasionó que el mes de Junio resultará como el mes más lluvioso con 105.6 mm totales, lo cual ocasionó que los niveles de humedad se mantuvieran altos hasta el final del monitoreo, momento en el cual se realizó el desvare del cultivo; por lo tanto sólo se aplicaron dos riegos. El número total de riegos y su respectiva lámina se presentan en el Cuadro 4.8.

Días después del último registro de humedad, sobrevino un período de lecturas altas que se presentaron en un período muy rápido que no corresponde a la variación gradual de lecturas que los aparatos habían estado registrando cuando los riegos o lluvia fueron registrados con mayor frecuencia, por consiguiente, esta variación repentina en los valores de las lecturas se le atribuyó al intervalo mayormente espaciado de los riegos aplicados en últimas fechas y a las lluvias presentadas durante los últimos períodos.



### **Localidad El Tunal**

Para esta localidad la siembra se realizó el día 17 de junio y los monitoreos de la humedad del suelo mediante el uso de tensiómetros instalados a 15 y 30 cm de profundidad se iniciaron el día cinco de julio fecha de emergencia del cultivo.

De acuerdo con la Figura 4.7, se puede observar que para los primeros días a partir de la instalación de los tensiómetros se mantuvieron niveles bajos de humedad, lo cual se ve registrado al momento de realizar el primer riego, al cual la lectura del tensiómetro registró un valor de 64 cb lo cual permitió que la humedad del suelo se aumentará bastante, registrando en el tensiómetro una lectura de cero cb después del riego, manteniéndose así durante un período de cinco días aproximadamente.

El segundo y tercer riego se realizaron los días 13 de Agosto y 17 de Septiembre respectivamente, en ambos casos se puede observar que conforme avanzaban los días después de cada riego, el valor de las lecturas aumentaba rápidamente. Para los días 24 y 25 del mes de Julio y Agosto respectivamente, se presentaron lluvias bastantes considerables, lo cual propició la disminución en la lectura del tensiómetro para estas fechas, lo cual influyó también en el espaciamiento de los riegos aplicados. Para el último riego aplicado el día 17 de Septiembre, la respuesta del tensiómetro fue mucho más lenta ya que la lectura más baja en él, se presentó tres días después del riego. El número total de riegos y sus respectivas láminas se presentan en el Cuadro 4.9.



total de riegos aplicados para esta localidad fue de 10 mediante el sistema de riego por goteo, los cuales se presentan en el Cuadro 4.10 con sus respectivas láminas. Cabe mencionar que para el día 23 de agosto se presentó una lluvia que provocó una disminución en la lectura, esto provocó que el siguiente riego, el cual fue aplicado el día dos de Septiembre se espaciará más; en el séptimo y décimo riego se presentaron lluvias, pero debido a que no fue tan considerable la lluvia y a que el nivel de humedad en el suelo se mantenía alto, no repercutió en el valor de las lecturas.

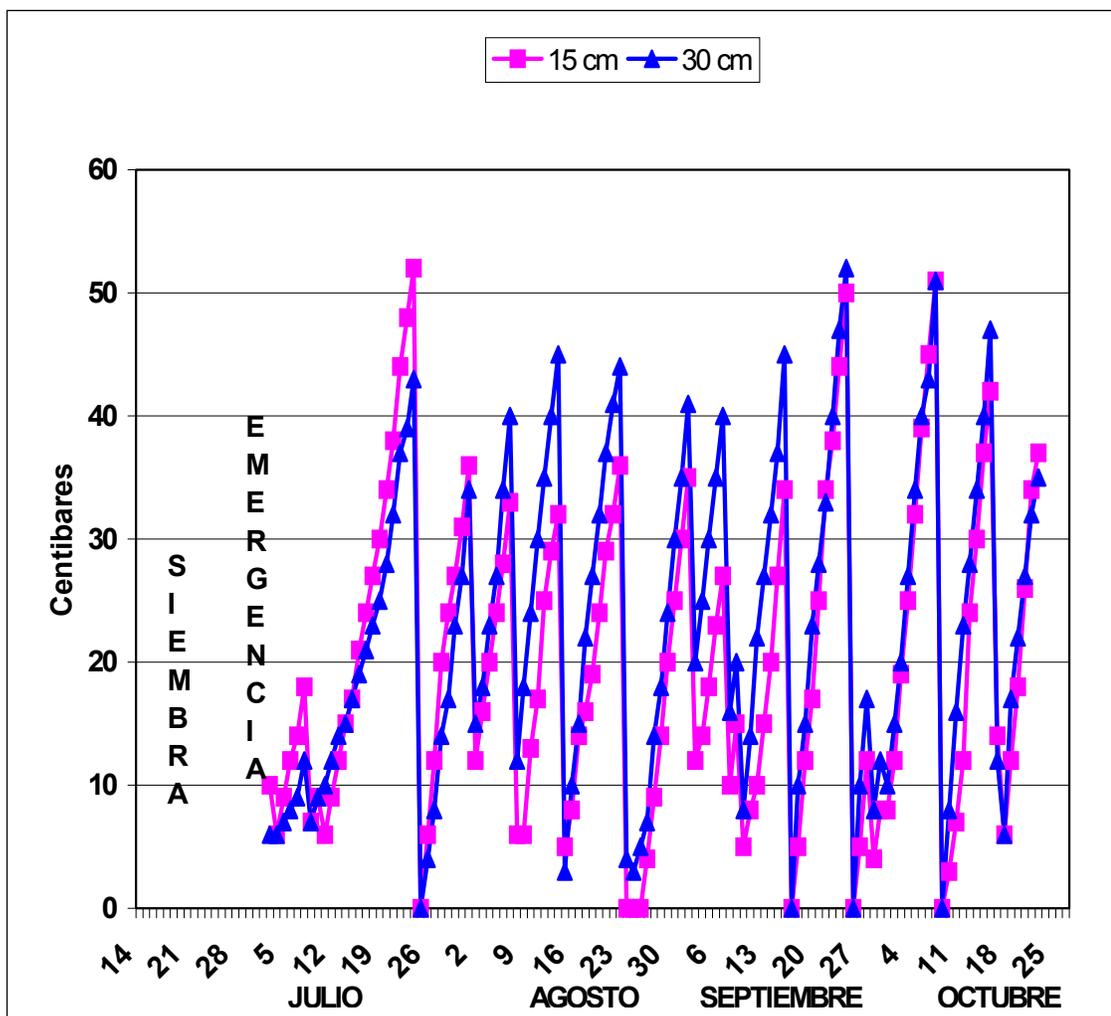


Figura 4.8. Comportamiento de los niveles de humedad del suelo en la Localidad El Ranchito, bajo sistema de riego por goteo.

## Gráficas de Consumo Acumulado durante el Ciclo

### Localidad CESIA

En la Figura 4.9 se muestra el comportamiento total del consumo de agua presentado durante el ciclo del cultivo para esta localidad, tanto los observados, como los valores ajustados en los cuales se obtuvo un coeficiente  $R^2 = 0.97$ . El modelo de ecuación obtenido fue:

$$Y = 14.82 + 1.8829X + 0.1948X^2 - 0.0017X^3$$

En esta Figura podemos observar que al inicio del monitoreo de la humedad en el suelo los consumos de agua acumulados fueron bajos y conforme el ciclo avanzaba se fueron aumentando gradualmente. Podemos observar que durante el período comprendido entre los días 40-90 se presentó en la curva el mayor incremento relacionado al consumo y a partir de esta fecha se comenzó a disminuir el valor llegando como se observa en la gráfica a un valor mínimo hasta el último día del monitoreo alcanzando un valor máximo de 576.57 mm para los valores observados y de 526.96 mm para los valores ajustados.

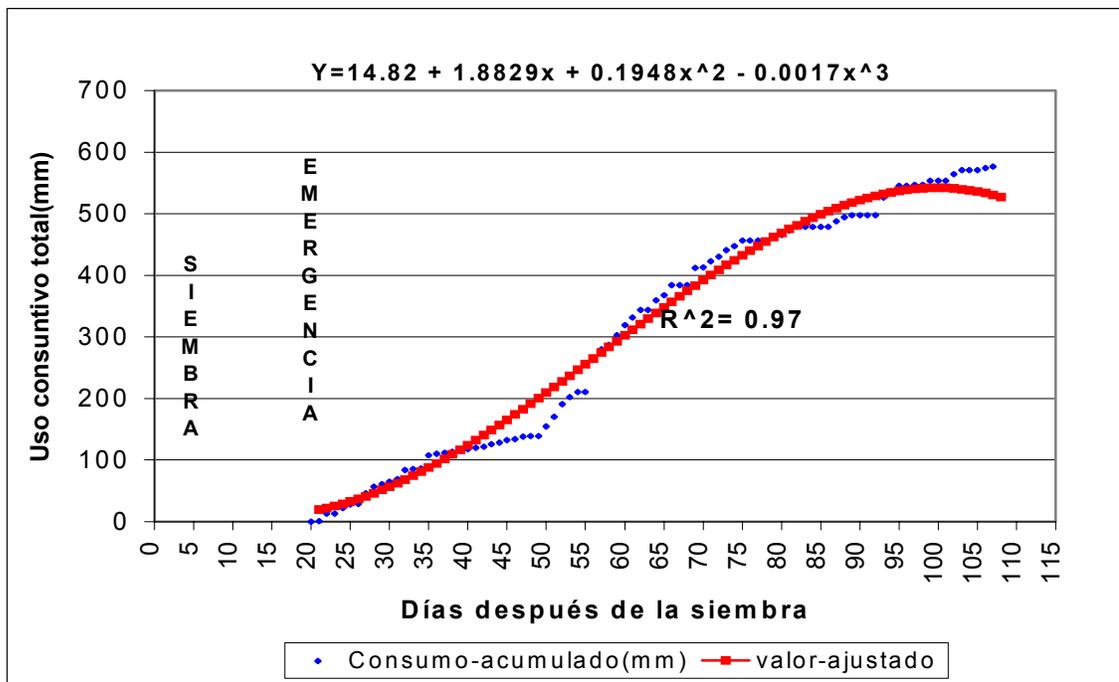


Figura 4.9. Consumo de agua total para el cultivo de papa en la Localidad de Emiliano Zapata(CESIA), municipio de Arteaga, Coah.

### Localidad San Francisco

En la Figura 4.10 se presenta el consumo total acumulado de agua para el cultivo de papa en esta localidad, tanto los observados como los valores ajustados, en los cuales se obtuvo un coeficiente  $R^2 = 0.99$ . El modelo obtenido fue:  $Y = -49.979 + 8.0138X + 0.0141X^2 - 0.0003X^3$

En la Figura podemos observar que el consumo para esta localidad mantuvo un incremento bastante uniforme durante la mayor parte del ciclo presentando un mayor incremento en el valor consumido entre el período comprendido de los días 50-90 días del inicio del ciclo, presentando una pequeña disminución al final del monitoreo de la humedad del suelo; en esta

Localidad se presentó un valor de 584.72 mm para los valores observados y 589.37 mm para los valores ajustados.

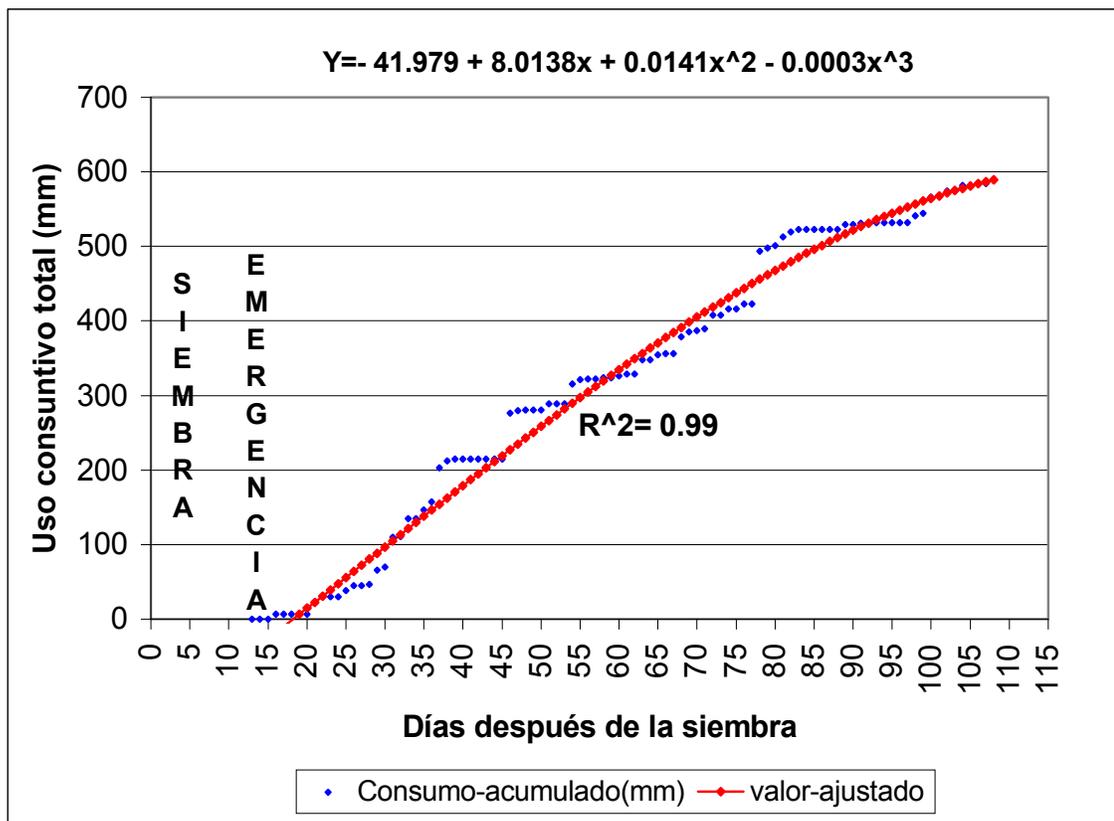


Figura 4.10. Consumo de agua total para el cultivo de papa en la Localidad de San Francisco, municipio de Arteaga, Coah.

### Localidad El Tunal

En la Figura 4.11 se presenta el consumo total acumulado de agua para esta localidad, en la cual se presentan los datos observados, así como los datos de estos valores ajustados, con un coeficiente  $R^2 = 0.99$  de estos valores. El modelo obtenido fue:  $Y = 16.713 + 6.4414X + 0.08X^2 - 0.0011X^3$

En ella podemos observar que el mayor incremento en los valores (aunque no muy considerables si se diferencian) se presentó en el

período 40-75 días del inicio del monitoreo de la humedad; y a partir de esta fecha comienza a disminuir este valor hasta el final del monitoreo, llegando a un valor de 516.73 mm para los valores observados y 482.52 mm para los valores ajustados como máximo.

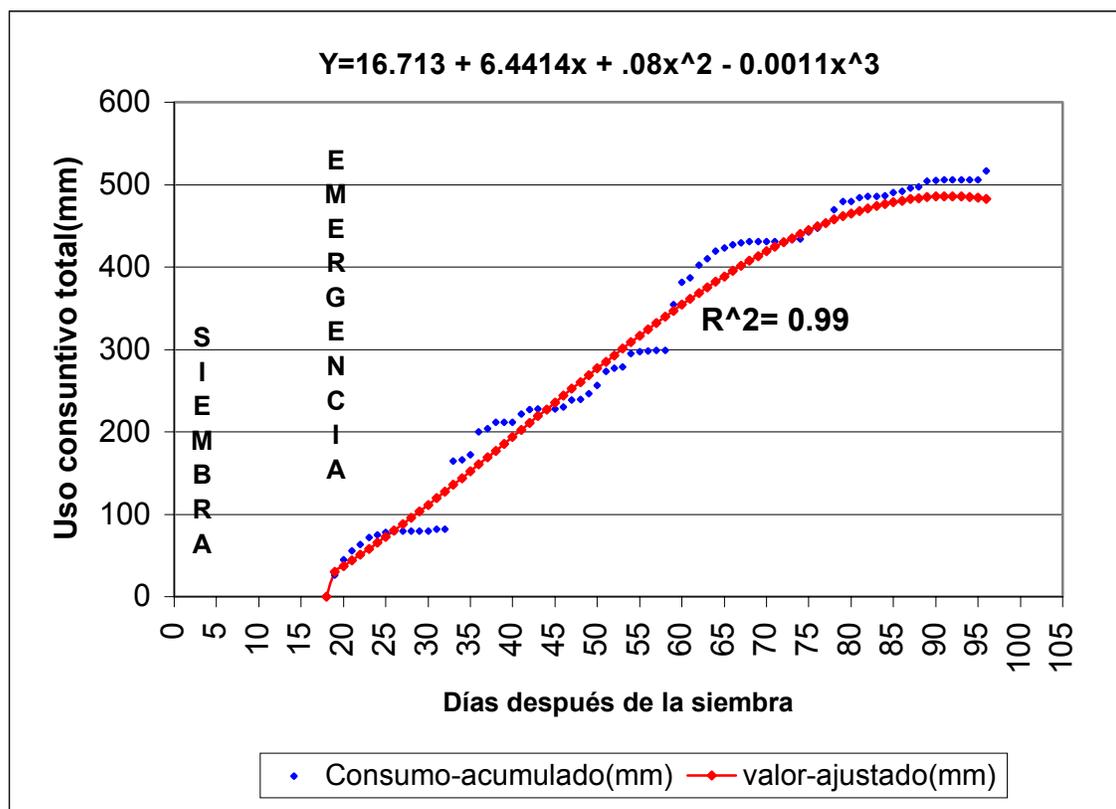


Figura 4.11. Consumo de agua total para el cultivo de papa en la Localidad del Tunal, municipio de Arteaga, Coah

### Localidad El Ranchito

En la Figura 4.12 se presentan los valores de consumo total acumulado para esta localidad, tanto de los valores observados como de los datos ajustados, obteniendo para los valores ajustados un coeficiente  $R^2 = 0.99$ . El modelo obtenido fue:  $Y=4.7381 + 5.4232X + 0.067X^2 - 0.0002X^3$

En la Figura se puede observar que los valores observados para esta localidad presentan una distribución uniforme en la tendencia presentada; el mismo caso se da para los valores ajustados, los cuales no presentan mayor variación en cuanto al consumo durante la mayor parte del ciclo presentando un crecimiento constante. Para esta localidad los valores obtenidos en el consumo son de 1139 mm para los valores observados y 1185.78 mm para los valores ajustados obtenidos como valores máximos para los dos casos.

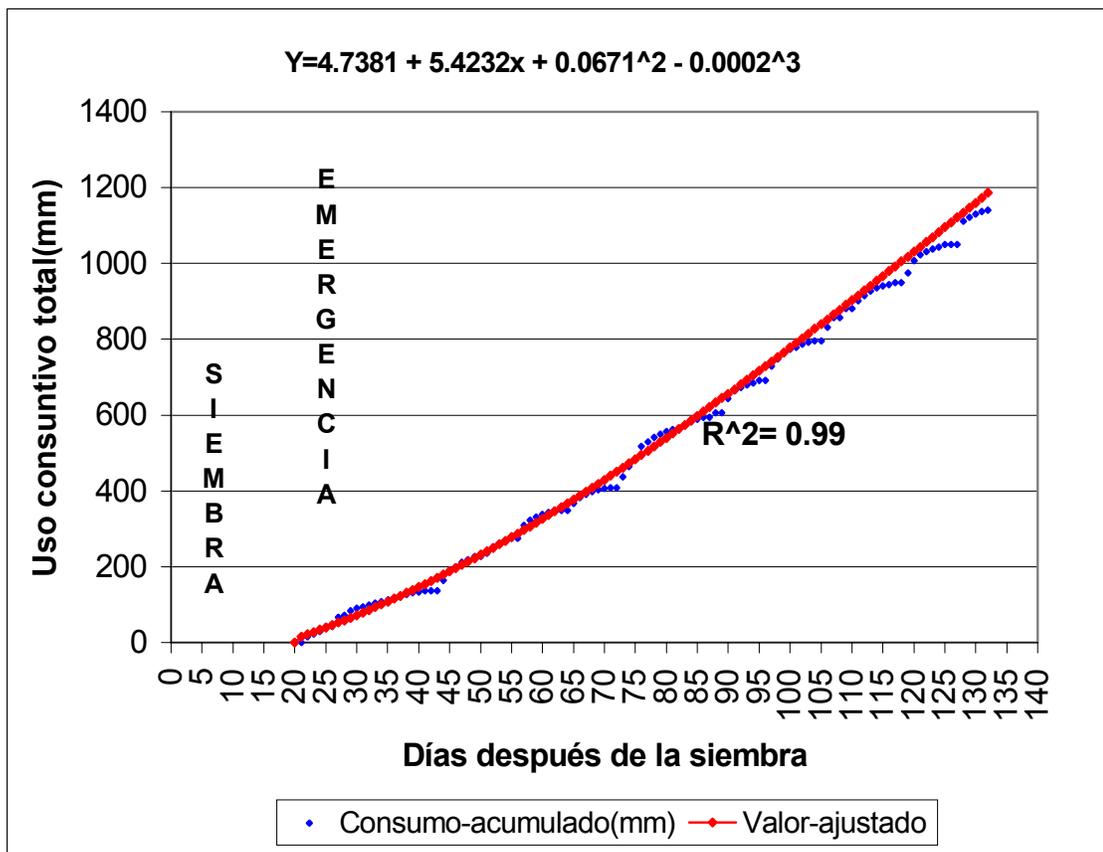


Figura 4.12. Consumo de agua total para el cultivo de papa en la Localidad del Ranchito en el municipio de Arteaga, Coah.

## Gráficas de Consumo Diario

### Localidad CESIA

En la Figura 4.13 se muestra el consumo en  $\text{mmdía}^{-1}$  para esta localidad, en la cual se observa que al inicio del monitoreo comienza con un valor bajo; este valor va en aumento constante hasta aproximadamente 75 días después de la siembra en donde alcanza su máximo valor diario, a partir de esta fecha el valor en el consumo comienza a disminuir hasta alcanzar su valor mínimo que alcanza aproximadamente a los 105 días después de esta fecha. El consumo promedio diario para esta localidad fue de 6.88 mm/día, y el valor mayor alcanzado durante el ciclo fue de 9.43 mm/día alcanzándolo aproximadamente a los 75 días después de la siembra. El modelo obtenido fue:  $Y = -8.5614 + 0.6528X - 0.0062X^2 - 5E-6X^3$ ;  $R^2 = 0.99$

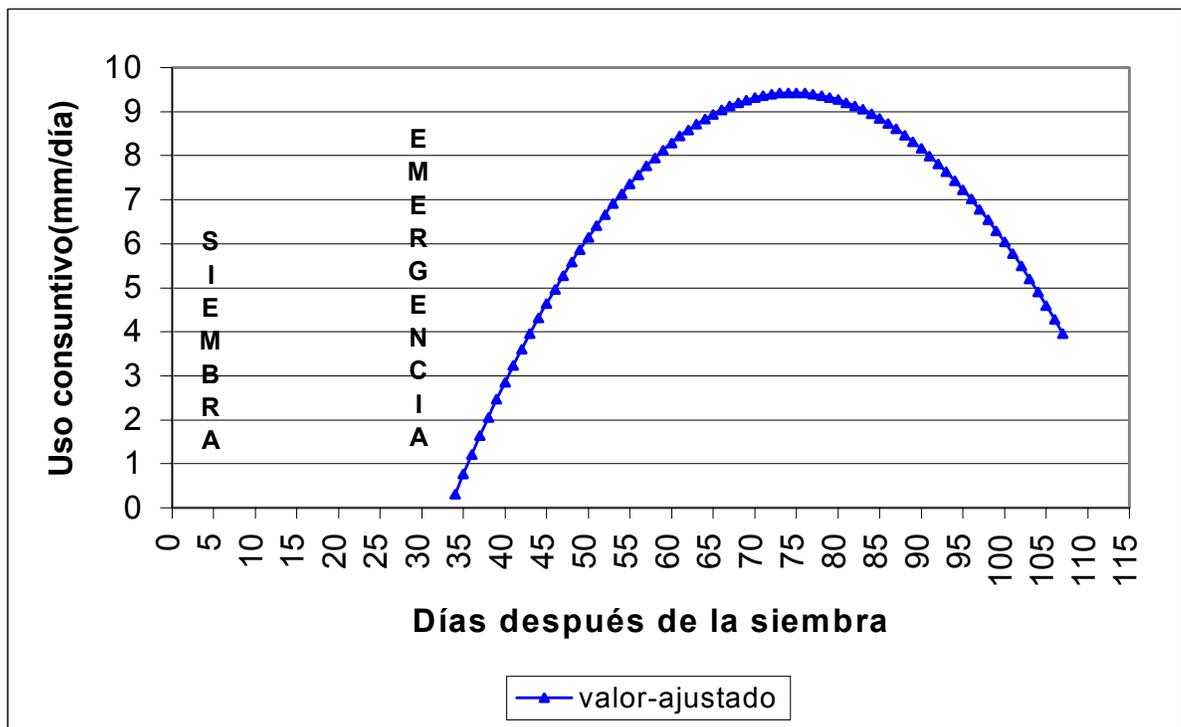


Figura 4.13. Comportamiento de los consumos diarios de agua en el cultivo de papa en la Localidad CESIA.

### Localidad San Francisco

Para esta localidad se muestran los consumos diarios en la Figura 4.14, en la cual se observa una tendencia bastante diferente en comparación de la localidad anterior. Al inicio del monitoreo inicia con un valor alto y conforme se avanza el ciclo los valores en los consumos van disminuyendo gradualmente a lo largo del ciclo, lo cual nos indica que en los primeros días después de la siembra el consumo diario inició con un valor menor y conforme el ciclo va aumentando hasta el día 45 después de la siembra, en el cual alcanza su máximo valor, en comparación de los días en los cuales se indica que el cultivo necesita una mayor cantidad de la aplicación de agua. La lámina promedio diaria de consumo para esta localidad fue de 7.3 mm/día y el valor más alto fue de 8.23 mm/día, el cual se alcanzó aproximadamente a los 45 días del inicio de la siembra. El modelo obtenido fue:  $Y = 7.5187 + 0.0509X - 0.0009X^2 + 2E-8X^3$ ;  $R^2=1$

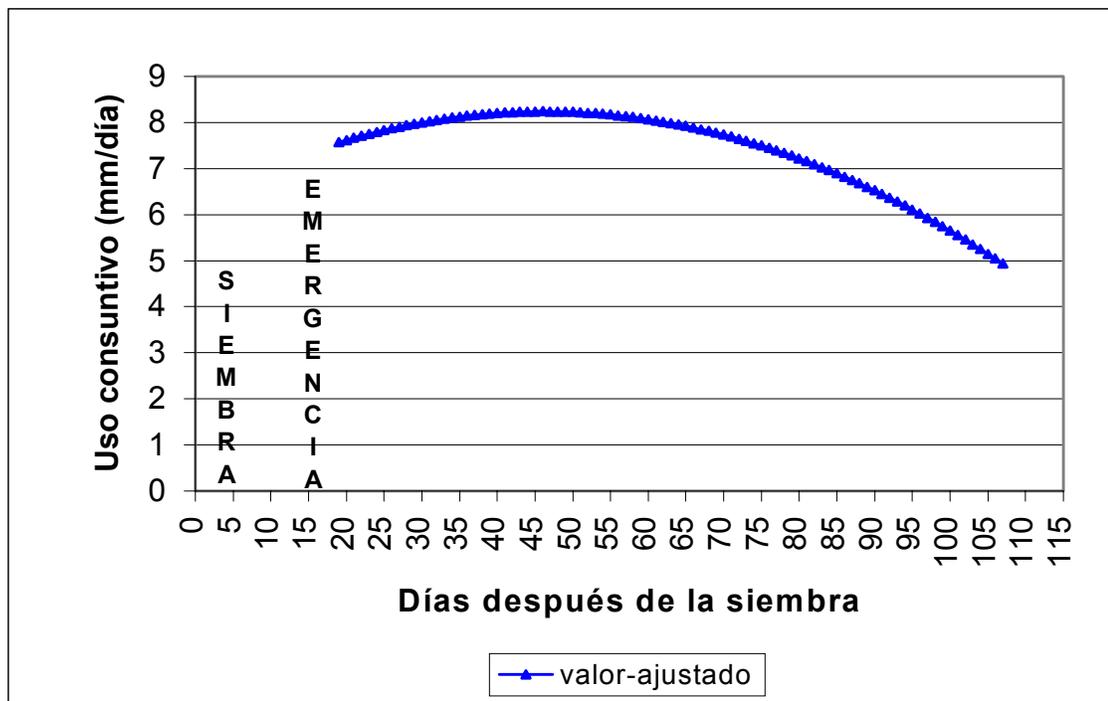


Figura 4.14. Comportamiento de los consumos diarios de agua en el cultivo de papa en la Localidad San Francisco.

### Localidad El Tunal

En la Figura 4.15 se observa el comportamiento de los consumos diarios para dicha localidad, en la cual se observa que al inicio de los monitoreos de la humedad, los consumos presentaron un valor bajo entre todo el ciclo; el máximo valor presentado en el ciclo fue a aproximadamente los 60 días del ciclo el cultivo alcanzando su valor máximo de consumo y de esta fecha en adelante comenzaron a disminuir estos valores según la figura. Para esta localidad se presentó un valor de consumo diario promedio de 6.82 mm/día y el valor máximo presentado durante el ciclo fue de 8.38 mm/día el cual se registro entre los 60 y 61 días después de la siembra. El modelo obtenido fue:

$$Y = 2.3504 + 0.2822X - 0.0033X^2 + 1E-8X^3; R^2=1$$

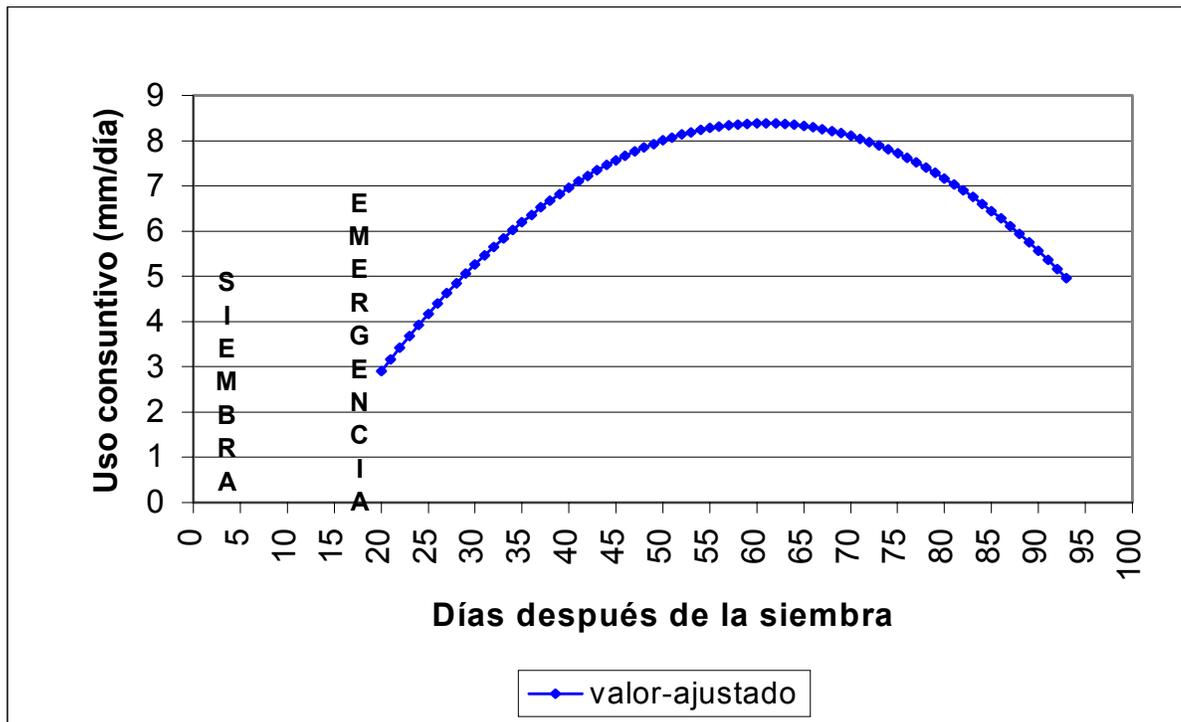


Figura 4.15. Comportamiento de los consumos de agua diarios en el cultivo de papa en la Localidad El Tunal.

### Localidad El Ranchito

En la Figura 4.16 se muestran los consumos diarios para esta localidad, en la cual se observa que los consumos se fueron elevando gradualmente conforme el ciclo, siempre manteniendo un nivel constante. Para esta localidad se presentó un mayor consumo diario promedio en comparación con las otras estaciones del proyecto, el cual también se manifiesta en los niveles de humedad mostrados en las figuras respectivas. El valor de consumo promedio diario obtenido fue de 10.91 mm/día lo cual es bastante obvio, y los consumos mayores se presentaron al final del ciclo, teniendo como valor máximo 12.75 mm/día. El modelo obtenido fue:

$$Y = 2.7349 + 0.1564X - 0.0006X^2 + 1E-9X^3; R^2 = 1$$

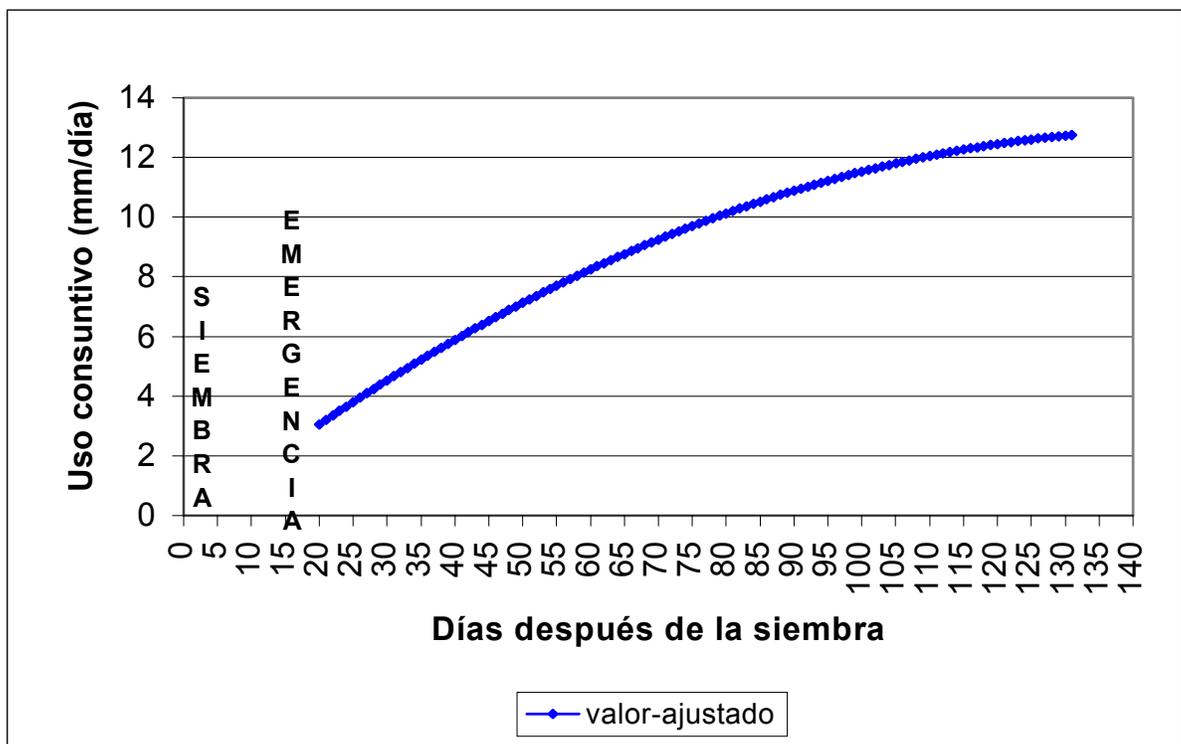


Figura 4.16. Comportamiento de los consumos diarios en el cultivo de papa para la Localidad El Ranchito.

## Láminas e intervalos de riego

### Localidad CESIA

El Cuadro 4.8 muestra la cantidad de riegos aplicados para la Localidad del CESIA, en la cual el número de riegos aplicados fue de cinco con una lámina promedio de 10.09 cm incluyendo el riego de pre-siembra.

Para esta localidad el intervalo entre riegos fue de 8.4 días, y la lámina de riego total aplicada al cultivo durante el ciclo fue de 60.54 cm.

Cuadro 4.8. Representación del número de riegos realizados durante el ciclo del cultivo de papa en la Localidad de Emiliano zapata (CESIA).

# DE RIEGO	DÍA	LÁMINA(CM)	LÁMINA (MM/M)
<b>Presiembra</b>	---	15.04*	501.33
<b>1</b>	13 Julio	7.11	237
<b>2</b>	19 “	13.40	446.67
<b>3</b>	31 “	15.04	501.33
<b>4</b>	09 Agosto	6.61	220.33
<b>5</b>	18 “	3.34	111.33
<b>Total</b>		<b>60.54</b>	

- Para el riego de presiembra se tomó la lectura más alta en el tensiómetro, para todos los casos.

### Localidad San Francisco

En el Cuadro 4.9 se muestra el número de riegos realizados para esta localidad el total de los cuales se realizaron fue de dos riegos con una lámina promedio incluyendo el riego de presembrado fue de 20.01 cm.

Para esta localidad se presentaron bastantes lluvias, las cuales sucedieron en el mes de Junio en el período del día 5-12 del mes, estas se presentaron cada tercer día y del día 12 hasta el día 29 del mes, lo cual se reflejó en los altos niveles de humedad registrados; incluso el día dos de Julio volvió a llover. Para esta estación el intervalo entre riegos de 9.4 días, y la lámina de riego total aplicada fue de 60.04 cm.

Cuadro 4.9. Representación del número de riegos realizados durante el ciclo del cultivo de papa en la Localidad de San Francisco.

# DE RIEGO	DÍA	LÁMINA(CM)	LÁMINA (MM/M)
<b>Presembrado</b>	16 Mayo	20.31	677
<b>1</b>	23 “	20.31	667
<b>2</b>	30 “	19.42	647.33
<b>Total</b>		<b>60.04</b>	

### Localidad El Tunal

En el Cuadro 4.10. se presenta el número total de riegos y su equivalente en láminas; la lámina promedio para esta localidad fue de tres riegos y el riego de presembrado, el cual se realizó con la lectura más alta en el tensiómetro o la lámina mayor aplicada. Para esta localidad la lámina promedio fue de 12.93 cm, con un intervalo entre riegos de 16 días debido a las lluvias registradas entre estos riegos. La lámina total aplicada fue de 51.7 cm, y el intervalo entre riegos fue de 21.67 días debido a los períodos de lluvia presentados entre ellos.

Cuadro 4.10. Representación del número de riegos realizados durante el ciclo del cultivo de papa en la Localidad de El Tunal.

# DE RIEGO	DÍA	LÁMINA(CM)	LÁMINA (MM/M)
<b>Presembrado</b>	---	15.77	525.67
<b>1</b>	14 Julio	13.12	437.33
<b>2</b>	13 Agosto	15.77	525.67
<b>3</b>	17 Sept.	7.04	234.67
<b>Total</b>		<b>51.7</b>	

### Localidad El Ranchito

Para la presente localidad se presenta el número de riegos realizados durante el ciclo en el Cuadro número 4.11; se realizaron diez riegos en total con una lámina promedio de 6.81 cm y una lámina total aplicada de 85.22 cm. En este caso el intervalo entre los riegos fue de 8.3 días. Entre los riegos cuatro y seis se presentó una lluvia que fue considerable provocando un alto nivel de humedad en el suelo.

Cuadro 4.11. Representación del número de riegos realizados durante el ciclo del cultivo de papa en la Localidad del Ranchito.

# DE RIEGO	DÍA	LÁMINA(CM)	LÁMINA (MM/M)
<b>Presiembra</b>	---	10.38	346
<b>1</b>	24 Julio	9.73	324.33
<b>2</b>	1 Agosto	3.32	110.67
<b>3</b>	7 “	4.92	164
<b>4</b>	14 “	9.89	329.67
<b>5</b>	2 Sept.	2.75	91.67
<b>6</b>	8 “	3.61	120.33
<b>7</b>	16 Sept.	9.89	329.67
<b>8</b>	25 Sept.	10.38	346
<b>9</b>	08 Oct.	10.31	343.67
<b>10</b>	16 “	10.04	334.67
<b>Total</b>		<b>85.22</b>	

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los objetivos planteados en el presente trabajo, se concluye lo siguiente:

#### **Localidad Cesia**

- Los consumos de agua obtenidos para esta localidad fueron de 576.8 mm durante los períodos de monitoreo de la humedad del suelo, con un consumo promedio diario de  $6.4 \text{ mmdía}^{-1}$  durante el ciclo; los valores más bajos en el consumo se presentaron al final de la etapa de monitoreo y los más altos en la etapa media; los niveles de humedad registrados durante el ciclo para esta localidad muestran el comportamiento idóneo del nivel de humedad que se debe mantener en el cultivo de papa a lo largo de su ciclo; este mismo comportamiento se registra en los consumos totales obtenidos para esta estación los cuales muestran que los tensiómetros funcionaron bien durante el ciclo.

#### **Localidad San Francisco**

- El consumo total obtenido para esta localidad fue de 584.7 mm durante la etapa de monitoreo de la humedad del suelo, con un promedio diario de  $6.55 \text{ mmdía}^{-1}$ . Para ese lugar, los valores más altos y bajos se presentaron en los primeros días del inicio del monitoreo y al final de este respectivamente y existió también, mucha variación en las lecturas de los tensiómetros debido a las precipitaciones registradas durante el período del monitoreo, lo cual también influyó en el intervalo mayormente espaciado de los riegos.

### **Localidad El Tunal**

- ☛ Para la presente localidad los consumos registrados fueron del orden de 516.7 mm totales con un promedio diario de  $6.2 \text{ mmdía}^{-1}$ ; los valores más altos de consumo se presentaron en los primeros días del monitoreo mientras que los más bajos al final de este. En esta localidad también existió variación en los niveles de humedad registrados en las lecturas del tensiómetro, lo cual propició igualmente un intervalo de riegos espaciado.

### **Localidad El Ranchito**

- ☛ Para esta localidad se presentó el mayor consumo en el proyecto, registrando un valor de 1139.9 mm con un valor promedio diario de  $10.5 \text{ mmdía}^{-1}$ . Los consumos más altos se registraron al final del monitoreo mientras que los más bajos se presentaron al inicio de este, presentando un incremento uniforme conforme se desarrollaba el ciclo. Cabe mencionar que en esta localidad los valores de humedad se mantuvieron mucho más altos en comparación a las demás estaciones, lo cual se manifiesta también en los consumos obtenidos.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de los tensiómetros para programar los riegos en cada una de las estaciones del proyecto, con un mantenimiento adecuado, calibración e inspección continua de su funcionamiento para evitar posibles rupturas en la columna de agua y lograr el mayor funcionamiento de este.
- Debido a que los suelos de las presentes regiones presentan restricciones en cuanto a la capacidad de retención de agua, se debe mantener en constante inspección la operación de los tensiómetros.
- Se recomienda seguir con el registro de las precipitaciones para que los riegos sean realizados en la forma oportuna y el tiempo en que mayor lo requiera el cultivo durante su ciclo.
- Se recomienda también, el manejo del tensiómetro a lecturas relacionadas a la altura de la región, lo cual puede ser un factor importante en el funcionamiento del aparato. Para estas alturas se recomiendan lecturas en el tensiómetro entre valores de 63-67 cb de tensión aproximadamente como máximos.

## **CAPITULO VI**

### **RESUMEN**

La irrigación requiere de una relativamente alta inversión equipo, combustible, mantenimiento y mano de obra, pero ofrece un potencial significativo para el incremento de ingresos agrícolas netos.

La frecuencia y oportunidad de aplicación del agua de riego tienen un mayor impacto sobre los rendimientos y los costos de operación.

La importancia de la programación de los riegos mediante el monitoreo directo del estado de humedad en los suelos mediante el uso de los tensiómetros, ha sido de gran relevancia en investigaciones de campo en los últimos años.

El principio de este aparato se basa en la medición directa del potencial mátrico o capilar del agua del suelo. Además de ser simple en uso resulta barato en comparación con el costo general de un sistema de riego y sus componentes. Su comportamiento se puede comparar al de una raíz mecánica, indicando en una escala graduada de cero a cien centibares, el esfuerzo que las plantas realizan para extraer el agua.

La importancia que representa el conocer en que momento y en que cantidad se realiza la aplicación del agua a los cultivos trae consigo grandes beneficios al agricultor; tales beneficios son: ahorro en la aplicación de agua debido al tiempo y cantidad oportuna, conforme el cultivo así lo requiera en la etapa de desarrollo; minimización de pérdidas en el rendimiento debido a la tensión de agua en el cultivo; además de optimizar el rendimiento por unidad de agua aplicada durante el desarrollo de este.

El grado de éxito por el uso de estos aparatos ha sido probado como más práctico y barato para su uso en campo junto con los bloques de resistencia eléctrica, los cuales en comparación con el equipo de riego son relativamente baratos.

En el presente trabajo se evalúan los consumos de agua requeridos por el cultivo de papa en su ciclo vegetativo mediante el uso de estos aparatos para programar los riegos y operar oportunamente los sistemas de riego en cuatro localidades. También, integra los avances de investigación encontrados en estudios de campo anteriores, relacionados con el Uso Eficiente del Agua en la región papera de los estados de Coahuila y Nuevo León. En los resultados se espera orienten a los productores de papa en la operación de sus sistemas a fin de que apliquen el agua conforme el cultivo así lo requiera, durante la temporada de riegos de la región mencionada.

## CAPITULO VII

### BIBLIOGRAFIA

- Agricultura de la Américas. 1982. Suelo y Riego. Revista mensual publicada por: Implement & Tractor International Corp. Agosto. USA.
- Aguilera, C ..., y Elizondo, M Rm 1996. Relaciones Agua –Suelo-Planta-Atmosfera. Departamento de Irrigación, UACH. México. Pp 110-111.
- ABlack, C.A. 1968. Soil Plant Relation. John Wiley and Sons, Inc. USA.
- Broner, I. 1993. Irrigation Scheduling . Colorado State University Cooperative Extensión.  
Sitio de Internet:  
<http://www.colostate.edu/Depts/CoopExt/PUBS/CROPS/04708.html>
- Buckman, O. H., y Brady, N. C. 1977. The nature and Properties of Soils. Sava Edition, Mcmillan Publishing Co, Inc. New York. Pags 169-218.
- Cepeda, D. J. M. y Narro, F. E. A. 1986. Uso de isotermas de adsorción de fósforo para estimular los rendimientos de fertilizantes fosfatados en el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* L) en suelo calcáreo. Agraria. 7: pp 138-154.
- Contreras, R. F. 1988. Evaluación del Sistema de riego por aspersion en la zona papera de la sierra de Arteaga. Primera reunión científica forestal y agropecuaria. Centro de Investigaciones Forestales agrícolas y Pecuarias de Coahuila.
- Covarrubias R, J.M; Contreras, J. F y García, G. S. J. 1996. Estimación de las necesidades hídricas del cultivo de papa en la Sierra de Arteaga. Resultados de Investigación del programa de papa. Inifap, Saltillo, Coahuila. Pp 27-32.
- Curwen, D. 1989. Water management. In potato Health management. Edited by R. Rowe. The american phytopathological Society. Pp. 67-75.
- De la Peña, I. 1979. Elementos para el uso y manejo eficiente del agua de riego. Memorándum técnico No. 387. SARH, México.
- Del Amor F.; León A.; Torrecillas, A.; 1986. El riego en la región de Murcia. Apuntes para una historia reciente. Ed. Consejería de

Agricultura, Ganadería y Pesca de Murcia. Consejo superior de Investigaciones Científicas.  
 Sitio de internet: <http://par.cebas.csic.es>

Del Amor F. 1989. Ensayo sobre el naranjo. Variedad Navalae. Memoria para el patronato Angel García Rogel. Caja de ahorros del Mediterráneo.  
 Sitio de internet: <http://par.cebas.csic.es>

Delis, B.R., I. Ponce and R. Tirzo. 1964. Studies on water requirement of horticultural crops. Influence of drought at different growth stages of potato on the tuber's yield. Agron. J. 56: 377-381.

Doorembos, J. And A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. F.A.O. Irrigation and Drainage paper . 33. Roma.

Doorembos, J. Y.W.O. Pruitt. 1976. Las necesidades de agua en los cultivos. F.A.O. Riego y Drenaje. 24. Roma.  
 Edición. Editorial Limusa. México. Pags 131-244.

Edmonson, V. C. 1949. Potato Production in Western States. USDA, Bulletin 1843. 3-4 pp.

Fabiani, L. 1976. La patata, AEDOS. Barcelona, España. pág 145.

Foord, G. And Hills, T. 1993. Using Tensiometers for Effective Banana Irrigation in Carnarvon.  
 Sitio de Internet:  
<http://www.agric.wa.gov.au/AGENCY/PUBNS/FARMNOTE/1993/F00993.HTM>

Fry, A. W. And Alfred S. Gray. 1971. Sprinkler Irrigation handbook. Rain bird Sprinkler Manufacturing Corporation, Glendora, California. 91740. 10<sup>th</sup> edition.

García, C. I. y Briones, S. G. 1997. Sistemas de Riego por aspersión y goteo. Trillas. Pp 64-87, 172-183.

García, R. 1999. Notes on Tensiometer. Irrigation Scheduling Guide. Sitio Internet: <http://taipan.nmsu.edu/mvpfpp/tensiome.htm>

Gavande, S.A. 1982. Física de Suelos, Principios y Aplicaciones. Segunda

- Gurbachan, S. And R. A. Struchtemeyer. 1976. Anatomical response of potato stems and roots to soil moisture and rates of fertilizer. Agron. J. 68: 634-638.
- Hargreaves, G. H., y Merkley, G. P. 1998. Irrigation Fundamentals. Water Resources Publications, LLC. Highlands, Colorado. 80163
- Harris, P. M. 1977. Anhydrous amonia for potatoes. Anhydrous amonia, Ed. Business Press LTD. Pág 102.
- Harrison, K. Y Tyson, A. 1993. Irrigation Scheduling Methods. Cooperative Extension Service. College of Agricultural & Environmental Sciences. University of Georgia. Sitio de internet: <http://hermes.ecn.purdue.edu.8001/cgi/converwq?8155>
- González, M. A., y Arosemena D. M. 1999. Medición del contenido y potencial del agua en los suelos bajo riego. Centro de Investigación Regional Del Noroeste, Campo Experimental Valle de Culiacán; Folleto Informativo No. 1;
- Irrrometer, Company. 1999. Glendora, California. Irrrometer landscape Catalog. Sitio de Internet: <http://www.Irrrometer.com>
- Israelsen, W.O. y Hansen, E. V. 1981. Principios y aplicaciones del Riego. 2ª. Edición. Reverte, S.A. Barcelona España. Pp. 39-47, 319,320.
- Jensen, M. E. 1983. Design and operation of farm irrigation Systems. ASAE. Monografía No. 3. St Joseph Michigan 49085.
- Jones, S. T. And W.A. Johnson. 1958. Effects of irrigation at different levels of soil moisture and of imposed droghts on yields of onions and potatoes. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 71: 440-445.
- Montaldo, A. 1984. Cultivo Y Mejoramiento De La Papa. IICA. San José, Costa Rica.
- Palacios. V. E. 1963. Fórmula para obtener la curva de retención de humedad del suelo en función de la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente. Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. Memorias del 1<sup>er</sup> Congreso. México D.F.
- Parga, T, V, M; Valdés, O, A; González B, J. 1990. Propuesta de Investigación para mejorar la producción de papa en la región de Coahuila y Nuevo León. CESIA-INIFAP.
- Parsons, D. 1983. Manual para educación Agropecuaria 1ª Edición. Editorial Trillas, México, 54 pág.

- Pearcy, R. W., Ehleringer, J. Mooney, H. A. Rundel, P. W. 1991. Plant Physiological Ecology. Field Methods and Instrumentation. Chapman y Hall.
- Rhoads, F.M., and Yonts, C.D. 1992. Water Management Irrigation. National Corn Hand Book. Irrigation Scheduling for Corn Why and How.
- Sitio de internet:  
[http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/nddd/agronomy/WATER MANAGEMENT/IRRIGATION](http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/nddd/agronomy/WATER%20MANAGEMENT/IRRIGATION).
- Rojas P. L. y Ramírez R. L.E. 1998. Uso y Manejo del Agua. Editorial UAAAN. Buenavista Saltillo, Coahuila México.
- S.A.G.A.R. 1994. Hortalizas y Ornamentales. Datos básicos. Número 5.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1987. Hoja estadística desplegable de la coordinación de delegaciones estatales y distritos de desarrollo rural. Septiembre de 1987.
- Sherer, F. T. ; Franzen, D.; Lorenzen, J.; Lamey, A.; Aakre, D.; Preston, D. A. 1999. Growing Irrigated Potatoes. North Dakota State University. Extensión Sevice. Sitio de internet:  
<http://ndsuxext.nodak.edu/extpubs/plantsci/rowcrops/ae1040w.htm>
- Shock, C.C; E. B. G. Feibert ; L. D. Saunder.1997. Precision Sheduling with granular matrix sensors. In Proceedings of the International conference about evapotranspiration and irrigation Scheduling. Nov. 3-6, San Antonio Tx. EEUU. ASAE.
- Tamez, G. E., y J. L. A. R. 1979. El Riego Mecanizado Y La Productividad, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Agricultura y Operación. Dirección General de Unidades y Distritos de riego. México D.F. Memorándum Técnico No. 389.
- Torres, R. E. 1983. Agrometeorología. Editorial Diana. 2<sup>a</sup> reimpresión, México D. F. 151 pág. Pp 113-120.
- Valadez, L. A. 1992. Producción de hortalizas. Capítulo II: *Solanáceas* (Papa). Editorial Limusa S.A. de C.V. Noriega Editores. Balderas 95. C.P. 06040, México, D.F. 212-222.
- Ventskevich, G.Z. 1961. Agrometeorology. Israel Program for Scientific Translative Ltd. Pags. 71-74.

Vink, N.H. 1978. Supplementary Irrigation. Preliminary Edition Holland.