

GENERACION DE UN PROGRAMA DE RIEGO PARA
EL CULTIVO DE LA PAPA EN LA REGION
DE ARTEAGA, COAHUILA

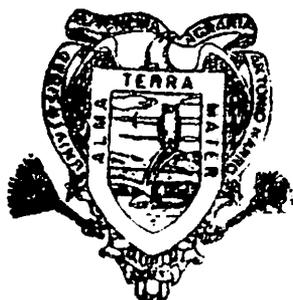
FERNANDO PEREZ SATO

T E S I S

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN RIEGO Y DRENAJE



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.



Universidad Autónoma Agraria

"Antonio Narro"

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenvista, Saltillo, Coah.

NOVIEMBRE DEL 2000

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCION DE POSGRADO

GENERACION DE UN PROGRAMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE LA
PAPA EN LA REGION DE ARTEAGA, COAHUILA

TESIS

POR

FERNANDO PEREZ SATO

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada
como requisito parcial para optar al grado de:

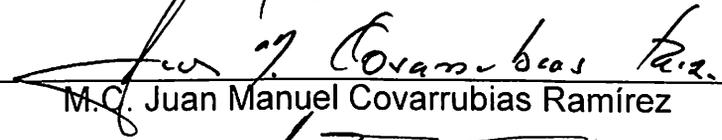
MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE

COMITÉ PARTICULAR

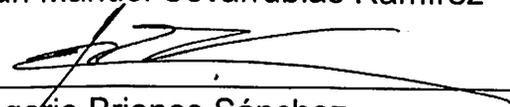
Asesor Principal


M.C. Lindolfo Rojas Peña

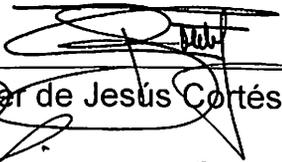
Asesor:

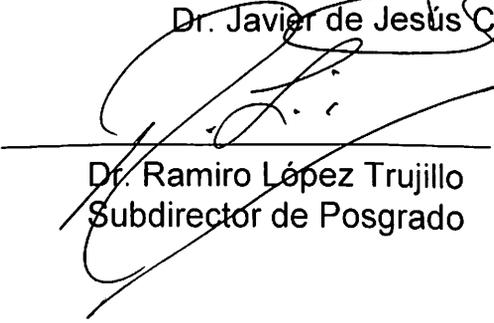

M.C. Juan Manuel Covarrubias Ramírez

Asesor:


M.C. Gregorio Briones Sánchez

Asesor:


Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho


Dr. Ramiro López Trujillo
Subdirector de Posgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Noviembre de 2000

AGRADECIMIENTOS

A Dios en el nombre de Jesucristo por haberme permitido alcanzar una etapa más en mi formación profesional.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por darme la oportunidad de escalar un peldaño más en mi preparación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para realizar mis estudios de Maestría.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por todo el apoyo en la realización de esta investigación.

Al M.C. Juan Manuel Covarrubias Ramírez por su invaluable apoyo en la realización de esta investigación sin el cual no hubiese sido posible.

A mi comité particular de asesoría por todo el apoyo brindado en la revisión de este documento.

A los productores de papa de región de Arteaga Coahuila por permitir realizar esta investigación en sus parcelas.

A los maestros del Departamento de Riego y Drenaje que con sus conocimientos y asesorías contribuyeron a mi formación académica.

A mis compañeros y Amigos Jaramillo, Quero y Miguel por su valiosa amistad.

DEDICATORIAS

Con cariño y profundo respeto a mis padres Teresa Sato Jiménez y Alvaro Pérez Espinoza por su apoyo, amor y enseñanzas de los valores morales los cuales han sido un pilar firme en el desarrollo de mi vida.

Con Amor a mi esposa Verónica por todo el apoyo y amor recibido.

Con ternura y Amor a mis hijos Fernando y Yuriko que son todo en mi vida.

Con afecto y cariño a mis hermanos Juan Antonio, Marcos, Sary, María Teresa, Anita y Claudia.

Con aprecio a mis cuñados Aimé, Chuy y Luis.

COMPENDIO

GENERACION DE UN PROGRAMA DE RIEGOS PARA EL CULTIVO DE LA PAPA EN LA REGION DE ARTEAGA COAHUILA.

POR

FERNANDO PEREZ SATO

MAESTRIA

RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENA VISTA, SALTILLO, COAHUILA, NOVIEMBRE DEL 2000

M.C. Lindolfo Rojas Peña - Asesor.

Palabras claves: Programa de Riego, evapotranspiración real, evapotranspiración potencial, consumo de agua, tensión de humedad, coeficiente de cultivo (kc).

En las regiones áridas y semiáridas el agua representa el primer factor que limita el desarrollo agrícola, el riego sin duda alguna la practica más

importante mediante la cual se satisfacen las necesidades de agua de los cultivos siendo su eficaz utilización una exigencia obligada.

El gobierno federal a través del programa de fertirrigación ha equipado con eficientes sistemas de riego a los productores de la región Sureste del Estado con la finalidad de lograr un incremento significativo en la eficiencia en el uso del agua, lo anterior solo se logrará con un adecuado programa de riego basado en las condiciones climáticas y edáficas de la región.

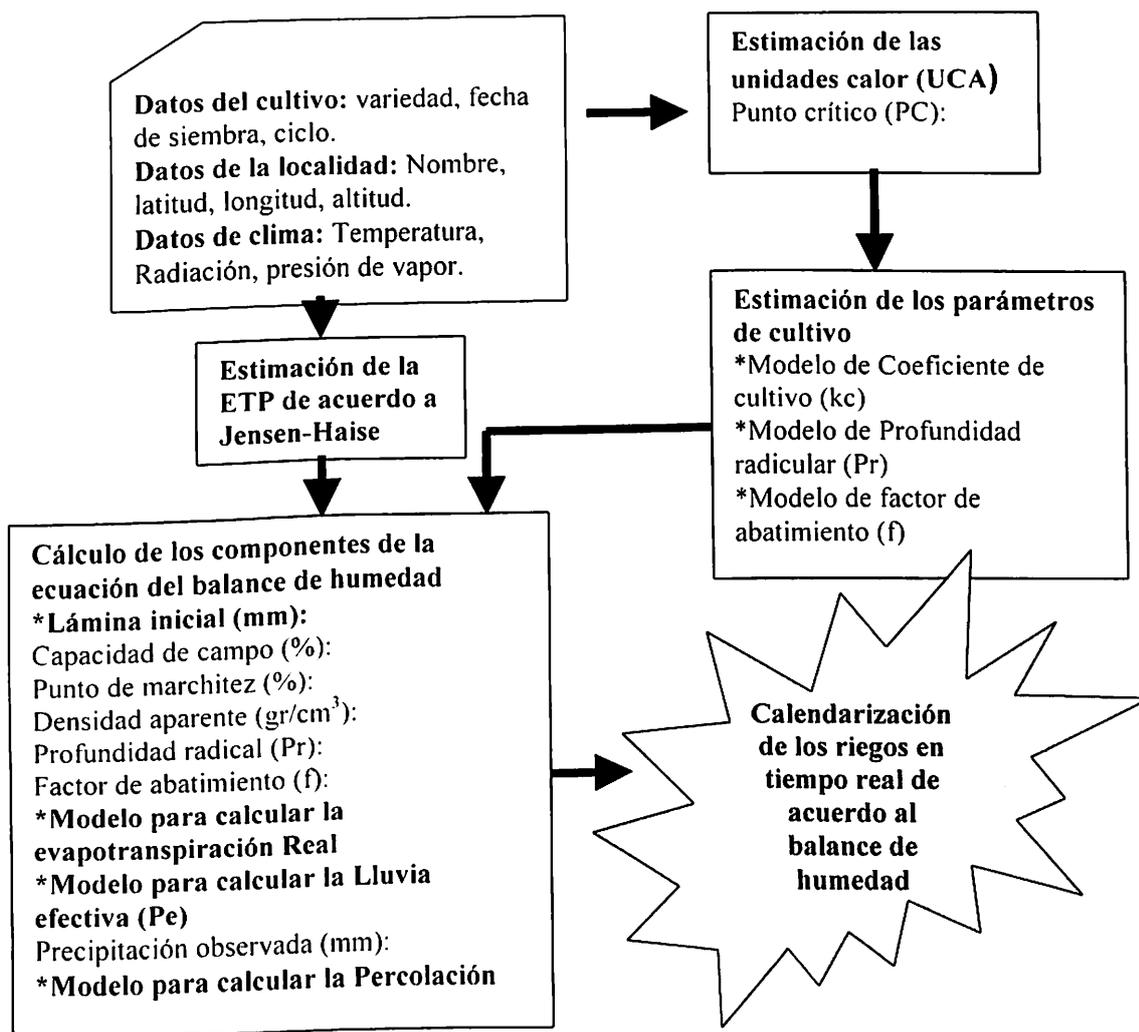
El presente trabajo tiene como objetivo principal generar un programa de riego para el cultivo de la papa, ya que los programas de riego se deben desarrollar para áreas específicas por las variaciones espaciales del clima y suelo.

Para alcanzar este objetivo, se procedió a determinar la evapotranspiración real (ETR) en campo con el cultivo a través del monitoreo de la humedad del suelo mediante tensiómetros, así como la determinación de las curvas de tensión de humedad en cada tipo de suelo para transformar los niveles de humedad de valores de tensión a lámina de agua y así estimar la evapotranspiración real.

Durante el ciclo de cultivo se monitorearon diversos parámetros climáticos para estimar la evapotranspiración potencial (ETP) a través de los métodos de Jensen-Haise, Penman y Blaney-Cridde con la finalidad de determinar la mejor correlación entre la evapotranspiración de campo y la estimada por los métodos mencionados.

Basándose en el análisis de los errores reducidos se encontró que el mejor método para estimar la evapotranspiración potencial es el de Jensen-Haise en la región de Arteaga Coahuila, así con la evapotranspiración potencial (ETP) y el consumo de agua determinado en campo (ETR), se procedió al ajuste de los coeficientes de cultivo (kc) generando así un programa de riego que nos indica el consumo de agua en base a la información agroclimática que se captura en forma continua mediante estaciones automatizadas.

El diagrama de flujo del programa es el siguiente:



ABSTRACT

AN IRRIGATION SCHEDULING DEVELOPED IN POTATO CROP
FOR ARTEAGA, COAHUILA, MEXICO.

By:

FERNANDO PEREZ SATO

MASTER OF SCIENCE

IRRIGATION and DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENA VISTA, SALTILLO, COAHUILA, NOVEMBER, 2000.

MC. Lindolfo Rojas Peña - Adviser.

Key words: Irrigation Scheduling, potential evapotranspiration, reference evapotranspiration, water requirements, moisture tension, crop coefficient (kc).

In the arid and semiarid regions the water constitutes the first restrict factor and the irrigation constitute the most important practice where crop water requirements are satisfied being their effective utilization an obligated demand.

The federal government through fertigation program has equipped with efficient irrigation system to the producers of the South Coahuila region with the objective of achieving an increment in water efficiency, which only it will be achieved climatic and edaphic conditions of the region with an adequate irrigation scheduling according to the conditions.

For that, this investigation has like objective generate an irrigation scheduling for the potato crop according to the climatic and edaphic conditions of the Arteaga Coahuila, since irrigation scheduling must be developed for specific areas because to spatial variability of the soil and climate.

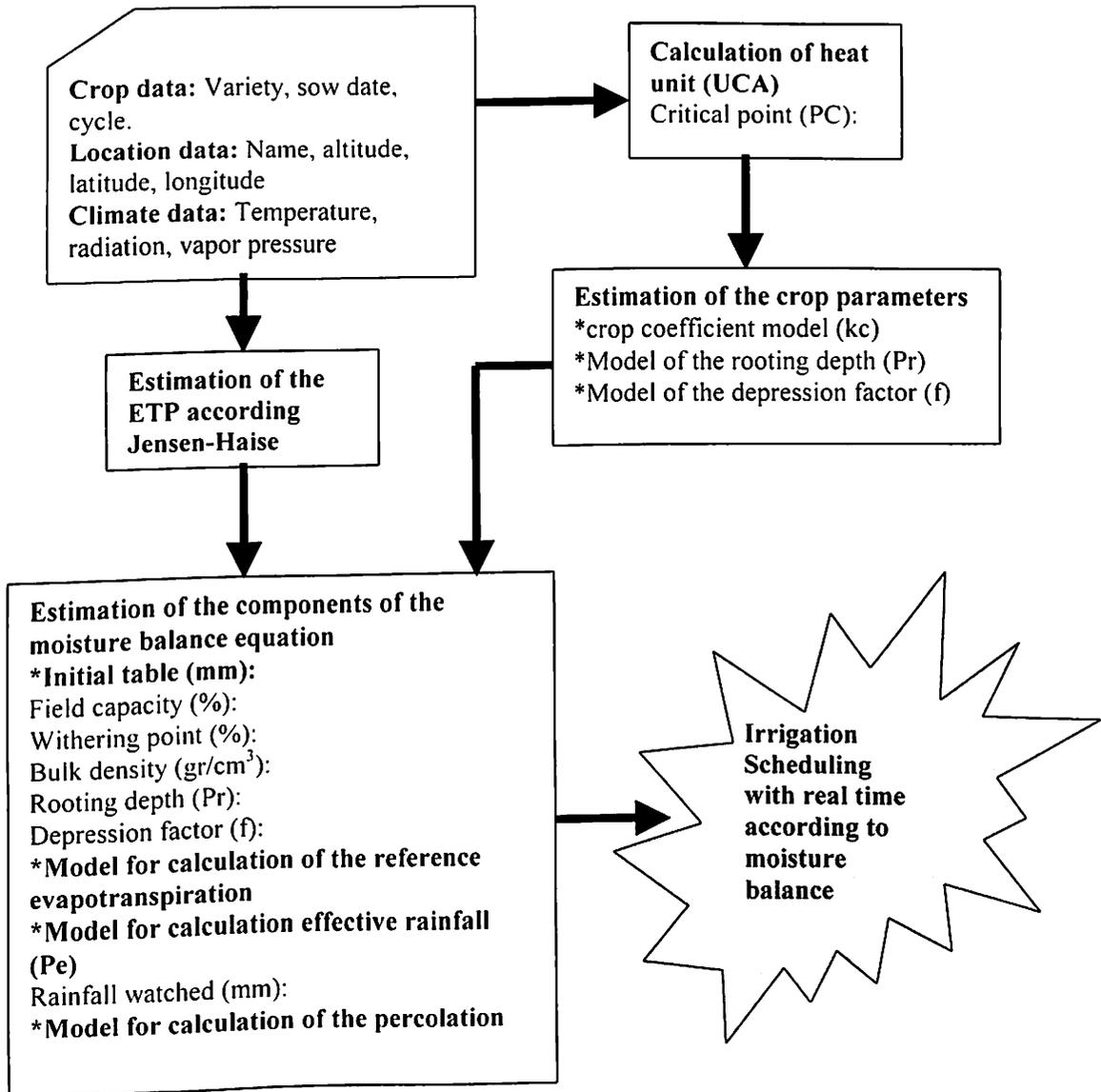
To reach this objective, it was proceeded to determine the reference evapotranspiration (ETR) in the potato crop through to the measurement soil moisture using tensiometers, as well as the determination of the soil moisture retention curves in each soil type, to transformed the soil moisture in water table.

During growth stage it was monitoring climatic parameters in order to estimated the potential evapotranspiration (ETP) by means of Jensen-Haise, Penman and Blaney-Criddle methods with the objective of determining the better correlation between the evapotranspiration in field and the estimated from soil moisture.

In accordance with statistical analysis it found that the Jensen-Haise method is better method of estimate of the potential evapotranspiration for the Arteaga Coahuila region, for that reason with the ETP and one which with this component and by means of the adjustment of the evapotranspiration of field

through the crop coefficients determined it was proceeded to elaborate the irrigation scheduling for the region.

The flow diagram from Irrigation Program is:



INDICE DE CONTENIDO

	Pagina
INDICE DE CUADROS	Xiii
INDICE DE FIGURAS	Xiv
INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	2
REVISION DE LITERATURA.....	4
Generalidades del cultivo de la papa.....	4
Clima y suelo.....	4
Manejo del agua.....	6
Efecto de la humedad del suelo en la calidad del tubérculo	7
Manejo de la fertilidad.....	8
Manejo de enfermedades.....	8
Estrategias de manejo del agua.....	9
Métodos de riego.....	9
Riego por aspersión.....	10
Riego por goteo.....	10
Guía para el manejo del agua de riego en la producción	11
de papa.....	11
Estado de crecimiento I: desarrollo del brote.....	11
Estado de crecimiento II: crecimiento vegetativo.....	12
Estado de crecimiento III: inicio de tuberización.....	12
Estado de crecimiento IV: llenado de tubérculo.....	12
Estado de crecimiento V: Maduración.....	13
Programación de riego.....	13
Evapotranspiración.....	16
Métodos para estimar la evapotranspiración.....	17
Intervalo de la humedad disponible.....	19

El tensiómetro.....	21
Estaciones climáticas automáticas.....	23
MATERIALES Y METODOS.....	26
Ubicación del área de estudio.....	26
Metodología.....	28
Muestro de suelos y determinación de las curvas de tensión de humedad.....	28
Características de los suelos.....	29
Establecimiento y monitoreo del nivel de humedad del suelo por medio de tensiómetros.....	30
Monitoreo de los parámetros climáticos por medio de las estaciones climáticas automáticas.....	31
Determinación del consumo de agua por el cultivo.....	31
Determinación de la evapotranspiración potencial mediante los métodos de Penman, Jensen-Haise y Blaney-Cridle...	32
Correlación y selección estadística del mejor método de estima de evapotranspiración potencial.....	42
Cálculo de los parámetros de cultivo, coeficiente de cultivo(kc), profundidad dinámica de la raíz (pr) y factor de abatimiento (f).....	43
Coeficiente de cultivo (kc).....	43
Cálculo de las unidades calor.....	45
Profundidad dinámica de la raíz (pr).....	46
Factor de abatimiento (f).....	47
Generación del programa de riegos.....	48
Determinación de la lámina inicial.....	51
Precipitación efectiva.....	52
Determinación de la evapotranspiración real (ETR)	52
Determinación de la percolación.....	53
Determinación de la lámina de riego final.....	54
RESULTADOS.....	55
Curvas de tensión de la humedad del suelo.....	55
Establecimiento y monitoreo del nivel de humedad del suelo por medio de tensiómetros.....	62
Monitoreo de los parámetros climáticos por medio de las estaciones climáticas automáticas.....	65
Consumos de agua por el cultivo de papa.....	67

Correlación y selección estadística del mejor método de estimación de la evapotranspiración potencial.....	69
Cálculo de los parámetros de cultivo.....	77
Coeficiente de cultivo (kc)	77
Profundidad dinámica de la raíz (Pr).....	77
Máximo déficit permitido (f).....	77
Localidad San Francisco.....	68
Localidad El Tunal.....	69
Localidad EL Ranchito.....	87
Balance de humedad.....	78
Programa de riegos.....	88
DISCUSION.....	90
Curvas de tensión de humedad del suelo.....	90
Monitoreo de los parámetros climáticos por medio de las estaciones climáticas automáticas.....	91
Consumos de agua por el cultivo.....	91
Determinación de la evapotranspiración potencial (ETP) por los métodos de estimación , Penman, Jensen-Haise y Blaney-Cridle.....	92
Coeficiente de cultivo (kc), Profundidad radicular (pr) y factor de abatimiento (f).....	93
Programa de riego.....	94
CONCLUSIONES.....	95
LITERATURA CITADA.....	96
APENDICE.....	100

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°	Pagina	
2.1	Valores de intervalo de humedad disponible en diferentes suelos por unidad de profundidad y velocidad de infiltración máxima.....	20
3.1	Localización geográfica de los sitios donde se desarrolló el trabajo de investigación.....	25
3.2	Variedad y ciclo vegetativo del cultivo de papa para la región de Arteaga, Coahuila.....	26
3.3	Datos de densidad aparente obtenidos para cada una de las localidades.....	30
3.4	Datos de textura para cada una de las localidades de estudio obtenidos por el método de Boyoucos.....	30
3.5	Radiación solar promedio para cielos despejados, R_{s_0} (calculados de Budyko, 1963). Expresados en calorías $\text{cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$	36
3.6	Coeficientes experimentales para la ecuación de R_b	37
3.7	Presiones de vapor a saturación a diferentes temperaturas...	38
3.8	Porcentaje de horas luz o insolación en el día para cada mes del año en relación al número total en un año (Aguilera y Martínez, 1996).....	40
4.1	Valores de t_c para cada una de las localidades.....	72
4.2	Comparación de $ t_c $ con respecto $t_{\alpha/2(n-1), g.l.}$ para la prueba de hipótesis $H_0: m_R = 0$	73
4.3	Cálculo de los intervalos de confianza.....	74
4.4	Intervalos de confianza para m_R	74

4.5	Cálculo de χ^2_c para la prueba de hipótesis.....	75
4.6	Cálculo de los intervalos de confianza para $H_0: \sigma^2_R$	76
4.7	Intervalos de confianza para $H_0: \sigma^2_R$ con un 95 por ciento de confiabilidad.....	76
4.8	Mínimo déficit permitido (f) en el cultivo de la papa en cada una de las localidades.....	78
4.9	Simulación de un balance de humedad en la localidad CESIA para un periodo de diez días.....	87

INDICE DE FIGURAS

Figura N°		Pagina
3.1	Ubicación geográfica de cada una de las localidades donde se desarrolló el cultivo.....	26
3.2	Diagrama de flujo utilizado en la elaboración del programa de riegos.....	27
4.1	Comportamiento de las curvas de tensión de humedad del suelo en cada una de las localidades.....	56
4.2	Curva de tensión de humedad del suelo Localidad CESIA...	57
4.2	Curva de tensión de humedad del suelo Localidad San Francisco.....	58
4.4	Curva de tensión de humedad del suelo Localidad El Tunal	59
4.5	Curva de tensión de humedad del suelo Localidad El Ranchito.....	60
4.6	Curva de tensión de humedad del suelo Localidad El Cristal.....	61
4.7	Comportamiento de los niveles de humedad del suelo en la localidad CESIA, bajo un sistema de Side-Roll.....	62
4.8	Comportamiento de los niveles de humedad del suelo en la localidad San Francisco, bajo un sistema de Side-Roll.....	63
4.9	Comportamiento de los niveles de humedad del suelo en la localidad El Ranchito, bajo un sistema por goteo.....	64
4.10	Comportamiento de los niveles de humedad del suelo en la localidad El Tunal, bajo un sistema por goteo.....	64
4.11	evapotranspiración potencial estimada por el método de Jensen-Haise en el cultivo de la papa en cada una de la Localidades.....	66

4.12	Comportamiento de los consumos de agua por el cultivo de papa para en cada una de las localidades.....	67
4.13	Consumo acumulado de agua en cada una de las Localidades.....	68
4.14	Consumo acumulado de agua en cada una de las localidades.....	68
4.15	Comportamiento del coeficiente de cultivo (kc) en el cultivo de la papa en cada una de las localidades en diferentes fechas de siembra.....	79
4.16	Coeficiente de cultivo (kc) para el cultivo de la papa en función de las unidades calor acumuladas (UCA) en la localidad CESIA.....	80
4.17	Coeficiente de cultivo (kc) para el cultivo de la papa en función de las unidades calor acumuladas (UCA) en la localidad CESIA.....	80
4.18	Coeficiente de cultivo (kc) para el cultivo de la papa en función de las unidades calor acumuladas (UCA) en la localidad El Tunal.....	81
4.19	Coeficiente de cultivo (kc) para el cultivo de la papa en función de las unidades calor acumuladas (UCA) en la localidad El Ranchito.....	82
4.20	Coeficiente de cultivo (kc) para el cultivo de la papa en función de las unidades calor acumuladas (UCA) en la localidad San Francisco.....	83
4.20	Comportamiento de la profundidad dinámica de la raíz (Pr) estimada a partir de las unidades calor acumuladas (UCA) para el cultivo de la papa en cada una de las localidades...	84
4.21	Comportamiento de la profundidad dinámica de la raíz (Pr) estimada a partir de las unidades calor acumuladas (UCA) para el cultivo de la papa en cada una de las localidades...	84
4.22	Comportamiento del máximo déficit permitido (f) estimado a partir de las unidades calor acumuladas (UCA) para el cultivo de la papa en cada una de las localidades.....	85

4.23 Máximo déficit permitido (f) en función de las unidades calor acumuladas (UCA) para el cultivo de la papa en la región de Arteaga, Coahuila..... 86

4.24 Algoritmo empleado en la generación del programa de riegos para la región de Arteaga, Coahuila..... 89

INTRODUCCIÓN

En las regiones áridas y semiáridas, el agua constituye el primer factor limitante del desarrollo agrícola; el riego representa sin duda alguna la práctica más importante mediante la cual se satisfacen los requerimientos hídricos de los cultivos, siendo su eficaz utilización una exigencia obligada.

Considerando además de los criterios técnicos y agronómicos, el apropiado manejo del agua debe tener una relación con el sistema de riego elegido. En el riego por goteo, el ajuste de las cantidades de agua a aplicar, el tiempo de riego apropiado, las mínimas pérdidas por drenaje y la facilitación de las labores culturales constituyen las características más importantes que deben ser optimizadas.

El gobierno Federal a través del programa de fertirrigación ha equipado con eficientes sistemas de riego a los productores de la región Sureste del Estado de Coahuila con la finalidad de lograr un incremento significativo en la eficiencia en el uso del agua, lo anterior solo se logrará mediante un adecuado programa de riego basado en las condiciones climáticas y edáficas de la región.

En la actualidad el uso de la tensión de humedad del suelo y la evapotranspiración son las formas que más utilizadas para determinar el consumo de agua por las plantas.

Debido a la escasez de agua y a la limitada reserva del recurso, exige una necesidad creciente de regar lo más eficazmente posible los cultivos. Esta situación implica el utilizar métodos científicos probados para decidir cuando regar los cultivos y en qué cantidad. Desafortunadamente, gran parte del riego está basado aún en métodos empíricos y no en el conocimiento de las relaciones hídricas entre suelo, plantas y atmósfera.

Existen tres enfoques generales para determinar el momento más conveniente para irrigar. Uno de los métodos consiste en medir el contenido hídrico del suelo, el segundo en medir el contenido hídrico o la tensión hídrica de la planta, y el tercero consiste en medir la evaporación, para calcular la necesidad de agua de un cultivo (Kramer, 1969).

El presente trabajo pretender colaborar en el profundo vacío de la información relacionada con la programación de los riegos en el cultivo de papa en la región de Arteaga, Coahuila contribuyendo de esta forma a un manejo más eficiente en el uso del agua.

Objetivos

Determinar el cuando y cuanto regar para optimizar recurso hídrico en el cultivo de la papa.

Mediante el uso de estaciones climáticas automáticas y de los tensiómetros se pretende proporcionar una metodología de fácil acceso a los productores de papa en la región de Coahuila para determinar el consumo de agua por el cultivo, de este modo lograr una adecuada utilización del sistema de riego, además de contribuir a prevenir el abatimiento del agua subterránea por el excesivo bombeo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Cultivo de Papa

La papa que se cultiva en México pertenece a la familia de las Solanaceas (*Solanum tuberosum* L.), esta tiene su origen en Sudamérica, donde fue domesticada y cultivada por las civilizaciones incas y preincas, es considerada como un cultivo de alto potencial por su capacidad de producción en tiempo y por unidad de superficie.

Actualmente la papa es un cultivo importante en la nutrición humana, además que ocupa el cuarto lugar en la producción mundial después del trigo, maíz y el arroz (Rowe, 1993).

Clima y Suelo

El cultivo de papa se adapta a una gran variedad de tipos de suelo, pero no todos los tipos producen tubérculos de alta calidad. Las propiedades físicas y químicas del suelo que influyen en la productividad de la papa son pH, sales solubles, textura y la compactación.

La papa requiere de un alto nivel de fertilidad, por lo tanto, es necesario antes de la plantación realizar muestreos de suelo para determinar la variación de los nutrientes y poder definir un adecuado programa de fertilización.

Las papas pueden cultivarse en un amplio rango de texturas de suelo. Esta determina la tasa de infiltración y la habilidad para almacenar agua disponible para el cultivo. La deficiencia de agua durante las etapas críticas del ciclo del cultivo incrementan la severidad de algunos daños, como costras y pudrición temprana, un exceso de agua puede reducir el rendimiento y calidad del tubérculo, además de que facilita el lavado de nutrientes fuera de la zona radicular afectando el crecimiento y desarrollo de la papa.

La cantidad de materia orgánica y la presencia de piedras afectan la disponibilidad de un suelo para la producción de papa. La capacidad de retención y de infiltración de los suelos se incrementa con el contenido de materia orgánica, así mismo los residuos de plantas incrementan la infiltración y reducen la erosión.

La condición física de un suelo debe ser considerada en la selección del sitio para la producción de papa, capas compactadas dentro del perfil de suelo frecuentemente llamadas hard pan son resultado de las prácticas de labranza, estas capas compactadas inhiben la penetración de las raíces. La compactación del suelo incrementa los requerimientos de energía para la extensión y expansión del tubérculo, esta energía debe ser utilizada para el

crecimiento de la planta o en el llenado del tubérculo. Las capas impermeables deben de ser removidas mediante subsoleo después de la cosecha (Thornton et al., 1993).

Manejo del Agua

Debe existir un adecuado suministro de agua durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, se deben evitar grandes fluctuaciones en la humedad del suelo tanto como sea posible. La humedad del suelo debe ser monitoreada mediante indicadores directos, como tensiómetros (Rowe y Secor, 1993).

Un exceso de humedad puede propiciar el desarrollo de infección por *Verticillium*. Por otra parte inadecuados tiempos de riego ocasionan el lavado de nitratos contaminando los mantos acuíferos.

En el cultivo de papa el estatus de humedad en el suelo se vuelve crítico cuando el porcentaje de agua disponible se abate debajo de 60 – 65 por ciento, además cuando el 35 o 45 por ciento de la humedad disponible del suelo ha sido utilizada, se desarrolla un déficit hídrico en la planta de papa en la mayoría de los suelos (Curwen, 1993).

La papa es muy sensible a pequeños cambios en la humedad del suelo, esta sensibilidad se debe probablemente a su sistema radicular poco profundo y a las respuestas fisiológicas para regular el estrés hídrico en la planta. La

primera de estas respuestas es el cierre estomatal como una defensa a la pérdida de vapor de agua, un prolongado estrés ocasiona el marchitamiento y pérdida de presión de turgencia. Mientras los estomas estén cerrados se reduce la pérdida de vapor de agua, esto también reduce la fijación de dióxido de carbono por la planta, disminuyendo la fotosíntesis y la producción de fotosintéticos de las hojas hacia los tubérculos, el rendimiento de un cultivo de papa depende de la acumulación de productos fotosintéticos en los tubérculos.

Efecto de la humedad del suelo en la calidad del tubérculo

Diversos desórdenes del tubérculo que reducen la comercialización de la cosecha están asociados con los excesos, deficiencias o fluctuaciones de la humedad del suelo, la relación entre estos desordenes y las variaciones de las condiciones de humedad no son siempre claras. La presencia de un desorden particular puede deberse al estatus de agua en la planta con juntamente con algún otro factor de crecimiento, más notablemente la temperatura.

Las fluctuaciones en la humedad del suelo frecuentemente interrumpen el crecimiento del tubérculo, ciertos desordenes internos del tubérculo también han sido asociados con la alta o baja humedad del suelo.

El estado de la humedad del suelo es un factor significativo en el daño mecánico ocasionado a los tubérculos durante las operaciones de cosecha. Los tubérculos si están deshidratados son más susceptibles a las manchas

negras al ser aplastados y si están túrgidos suelen estrellarse durante la cosecha al ser aplastados especialmente a bajas temperaturas.

Manejo de la fertilidad

La productividad potencial de un programa de fertilización puede realizarse solamente si el agua no es una limitante, por lo tanto la cantidad de fertilizante aplicado debe estar en función del agua disponible, esto es de gran importancia para el nitrógeno debido a que la respuesta de la planta a este nutriente está directamente relacionada con la disponibilidad de agua. Las plantas con un severo estrés presentan una poca respuesta a la fertilización con nitrógeno; así mismo un exceso de agua es perjudicial debido a que el nitrógeno en forma nítrica es fácilmente lixiviado .

Manejo de enfermedades

El manejo del agua está íntimamente relacionado con las enfermedades, debido a los efectos del agua en los ciclos de vida de los organismos patógenos, la humedad del suelo es propicia que la mayoría de los patógenos ocasionen la pudrición del tubérculo. Excesiva humedad del suelo después del trasplante provoca el decaimiento de la cáscara de la semilla, las lenticelas sobre los tubérculos se hinchan y sirven como zonas blandas de entradas para bacterias de putrefacción.

La lluvia y el riego afectan la epidemiología de las enfermedades foliares ya que alteran el microambiente dentro de la canopy del cultivo, la mayoría de los patógenos requieren de agua libre para reproducirse e infectar a las plantas. El periodo de tiempo durante el cual las hojas son mojadas por rocío, lluvia o riego es uno de los principales factores que afectan la habilidad de los hongos para formar esporas y la capacidad de estas esporas para germinar y causar infección. Por lo tanto, los riegos deben ser programados cuidadosamente, para ser aplicados solamente cuando el cultivo lo necesita.

Estrategias de Manejo del Agua

La meta en el manejo de agua es mantener una adecuada humedad del suelo a través del ciclo vegetativo del cultivo evitando las fluctuaciones extremas y excesivas. El riego es la mejor estrategia para mantener una adecuada humedad del suelo en la mayoría de las áreas productoras de papa.

Métodos de Riego

Los métodos de irrigación utilizados en la producción de papa son el riego por aspersión, riego por surcos, subirrigación y riego por goteo, cada uno de ellos ofrecen ciertas ventajas así como desventajas como se indica en seguida.

Riego por Aspersión

Este método es el más comúnmente utilizado en la producción de papa, este aplica el agua sobre el cultivo simulando a la lluvia y son utilizados diversos tipos: movimiento periódico (manual o sobre ruedas), movimiento continuo (pivote central, movimiento lineal y cañón viajero).

La ventaja principal de los sistema de riego por aspersión es la uniformidad en la distribución del agua ya que la tasa de aplicación puede ser adecuada a las condiciones de infiltración del suelo mediante el ajuste de los rociadores, espaciamiento y tamaño de boquillas, presión de la bomba y velocidad de viaje del sistema. Otra ventaja es el uso de los pivotes en terrenos con pendientes del 10 – 15 por ciento, además el sistema puede ser empleado para aplicar fertilizantes y pesticidas maximizando de esta forma así el uso del equipo.

Una gran desventaja del riego por aspersión es el alto consumo de energía, debido a la presión requerida para distribuir el agua a través del sistema.

Riego por Goteo

En este método se utilizan tuberías especiales de plástico que son colocadas junto a la base de la planta sobre o bajo la superficie del suelo, este sistema se utiliza sobre todo en algunas áreas donde el agua es una limitante.

Las principales ventajas del riego por goteo son la alta eficiencia en el uso del agua, excelente uniformidad de distribución y la posibilidad de regar áreas con un alto grado de pendiente. La energía requerida es muy poca, debido a que el sistema opera a baja presión. El riego por goteo alcanza una gran exactitud en relación al volumen y frecuencia de aplicación del agua, por eso es un vehículo muy preciso para aplicar fertilizantes y pesticidas.

La principal desventaja del riego por goteo cuando se emplea en la producción de papa es el alto capital anual y costo de inversión, además de que requiere de agua filtrada para prevenir el taponamiento de los emisores.

Guía para el Manejo del Agua de riego en la Producción de Papa

Estado de Crecimiento I: Desarrollo del Brote

Es necesario evitar el trasplante en suelos excesivamente húmedos o secos, el perfil del suelo debe contener una cantidad moderada de humedad (70 – 80 por ciento del agua disponible en el suelo), esto proporciona óptimas condiciones para la plantación y agua necesarios para el desarrollo de los brotes, los suelos excesivamente secos deberán ser regados antes de la siembra.

Estado de Crecimiento II: Crecimiento Vegetativo

Para que las plántulas emerjan y crezcan, la mayoría de los suelos deben mantenerse a un 75 – 85 por ciento de la humedad disponible en el suelo.

Estado de Crecimiento III: Inicio de Tuberización

En este periodo el suelo deberá mantenerse de un 80 – 90 por ciento del agua disponible principalmente durante el inicio de tuberización. Esto proporciona la humedad requerida para un óptimo cuajado del tubérculo y reduce el desarrollo de la costra común.

Estado de Crecimiento IV: Llenado de Tubérculo

La mayor demanda de agua en el cultivo de la papa ocurre durante el llenado de tubérculo en esta etapa debe mantenerse el 80 – 90 por ciento del agua disponible en el suelo. El estrés hídrico durante el llenado puede afectar significativamente el rendimiento y calidad del tubérculo, así como incidir en el desarrollo de enfermedades en el cultivo, sin embargo, riegos excesivos deben ser evitados para minimizar el desarrollo de la pudrición temprana y tardía.

Estado de Crecimiento V: Maduración

La demanda de agua en esta etapa se reduce cuando las plantas empiezan su natural senescencia, la humedad del suelo puede ser reducida

hasta en un 60 – 65 por ciento de la humedad disponible para promover el cuajado de la piel (desarrollo de la peridermis del tubérculo).

Programación de Riegos

El Programa de riegos es un procedimiento utilizado para predecir las necesidades de agua de la planta en un futuro basándose en las mediciones del contenido de humedad presente en el suelo y en los datos climatológicos registrados históricamente. Programar los riegos tiene como finalidad mejorar el manejo del agua de tal forma que sólo sea aplicada en el tiempo y en la cantidad necesaria (García y Briones, 1997).

El objetivo principal de la calendarización del riego es el aplicar el agua en la cantidad y frecuencia necesaria para reducir la posibilidad de obtener bajos rendimientos por estrés hídrico. Siendo la papa un cultivo con altos costos de producción y muy sensible al estrés hídrico, un buen manejo del riego debe considerar no sólo su eficiencia y uniformidad, sino su cantidad y oportunidad

Existe una gran resistencia de los agricultores para cambiar la forma tradicional de programar o calendarizar el riego debido a la ausencia de reglas simples y concretas como consecuencia de la complejidad de los factores que modifican los requerimientos hídricos de los cultivos y la disponibilidad del agua en el suelo. sin embargo, ante los resultados evidentes en el cultivo de papa

ocasionados por el mal manejo del riego, cada vez se hace más importante el tecnificar el riego en este cultivo (Ojeda y Sifuentes, 1999).

El uso de la calendarización científica del riego en el cultivo de papa a gran escala ha sido reportada por Salazar *et al.* (1996) para el valle de San Luis, en el Estado de Colorado, EEUU. En México, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la Comisión Nacional del Agua (CNA), la Red del Valle del Fuerte y varios módulos de riego del distrito de riego 075, "Río Fuerte", Sinaloa, tienen en operación el sistema de pronóstico del riego en tiempo real que maneja una base de datos con información relacionada con los parámetros del cultivo como suelo, padrón de usuarios, clima, red de distribución, seguimiento de riego de los cultivos y su manejo (Ojeda, *et al.*, 1998), basándose en la información anterior, el sistema realiza un balance diario sobre el consumo de agua de cada cultivo establecido, este comprende desde su fecha de siembra hasta la cosecha, así mismo pronostica el momento oportuno y la cantidad de riego (Ojeda y Sifuentes, 1999).

Ojeda *et al.* (1999), establecieron cinco parcelas de validación de papa en los módulos de riego Santa Rosa, taxtes y Ruiz Cortinez del Distrito de riego 075, dos de estas parcelas se manejaron bajo el riego por gravedad y el resto por aspersión (pivote central), las superficies fueron de 110 y 184 hectáreas respectivamente. Se lleva a cabo un control de los volúmenes aplicados a la parcela, mediante un balance hídrico a detalle utilizando el sistema de pronóstico del riego en tiempo real (SPRITER), se midieron directamente las

variables suelo-planta-atmosfera a partir del primer riego y hasta finalizar la cosecha. Los valores del coeficiente de cultivo (K_c) para cada una de las etapas se estimaron en base a días grado de crecimiento (DGC) utilizando el modelo lineal (Fox et al., 1992) que se indica en seguida.

$$K_{cb}(x) = \alpha_1 \text{sen}(x) + \alpha_2 \text{sen}(2x) + \alpha_3 \text{sen}(3x) + \alpha_4 \text{sen}(4x) + \alpha_5 \text{sen}(5x) + \alpha_6 \text{sen}(6x)$$

donde las variables $\alpha_1, \dots, \alpha_6$ son coeficientes de regresión obtenidos al aplicar el modelo a los datos experimentales de K_c versus x (DGC), x es una variable auxiliar que depende de los días grados de crecimiento (DGC), se estima mediante la ecuación siguiente:

$$x = \frac{\pi DGC}{\alpha_0} \quad (1)$$

El valor de α_0 es el valor de los días grados de crecimiento (DGC) acumulados al final del ciclo vegetativo ($K_c = 0$), para el cultivo de papa el valor α_0 es 2250 y los valores de los coeficientes regresión fueron los siguientes:
 $\alpha_1 = 1.152$, $\alpha_2 = -0.263$, $\alpha_3 = -0.143$, $\alpha_4 = -0.041$, $\alpha_5 = 0.011$, $\alpha_6 = 0.011$

Según Cadahia (1998), la programación del riego puede basarse en la evolución de la humedad del suelo, en diversos parámetros de planta y/o en el microclima del medio circundante. Para establecer el momento de riego y la

dosis, es necesario controlar el agua existente a nivel radicular sin permitir que el contenido descienda por debajo del límite mínimo.

Los programas de riego generalmente son desarrollados para áreas específicas, debido a las variaciones de las condiciones climáticas, suelo, requerimientos de los diferentes cultivos y la disponibilidad del agua de riego. Las deflecciones diarias de la humedad en el suelo son calculados a partir de los datos de humedad del suelo medidos directamente en el campo y de datos estimados de evapotranspiración (Curwen, 1993).

Evapotranspiración

La mayoría de los métodos empíricos que existen utilizan el concepto de evapotranspiración, el cual se explica brevemente. En un área de cultivo, el agua pasa del suelo a la atmósfera de dos formas diferentes estos son: la evaporación, término que se ha empleado para definir la evaporación directa desde el suelo hacia la atmósfera y la transpiración, que es la evaporación que ocurre desde los estomas de las plantas del agua que éstas han absorbido del suelo. Al conjunto de ambos fenómenos se denomina evapotranspiración y se representa por ET. En este aspecto hay que distinguir entre la ET que realmente se produce en un momento determinado y la máxima que en ese mismo momento produciría un cultivo verde que sombrea totalmente la superficie del terreno y con el suelo provisto de agua. Esta última se denomina evapotranspiración potencial y se representa por ETP (Pizarro, 1990).

Los métodos empíricos determinan la ETP en función de una serie de datos climáticos, posteriormente calculan la ET de los cultivos haciendo uso de los coeficientes obtenidos experimentalmente.

Existen dos conceptos que muchas veces se confunden: Evapotranspiración y Uso Consuntivo. La Evapotranspiración, es la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar sus funciones de transpiración, más el agua que se evapora directamente de la superficie del suelo en el cual se desarrolla. El uso consuntivo esta formado por la Evapotranspiración más el agua que utilizan las plantas en la formación de sus tejidos durante todo el ciclo vegetativo de los cultivos, basándose en esto, aproximadamente el uno por ciento del agua total es utilizada. La diferencia entre los términos es mas bien es de tipo académico porque el error que se comete cae dentro del rango normal de las mediciones (error de medición); actualmente se utiliza más el concepto de Evapotranspiración que el de uso consuntivo (Aguilera y Martínez, 1996).

Métodos para Estimar la Evapotranspiración

Los procedimientos para estimar la Evapotranspiración, se pueden clasificar en métodos directos e indirectos, los primeros proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, para lo cual utilizan para ello aparatos e instrumentos de medición, algunos de estos son el gravimétrico, lisimétrico, evapotranspirómetro de Thornthwaite y atmómetros. Los métodos

indirectos obtienen la estimación de agua a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la aplicación de fórmulas empíricas, es necesario que la mayoría de estas fórmulas utilicen datos meteorológicos, por lo tanto, se basan primero en una estimación de la Evapotranspiración potencial y posteriormente se ajustan mediante ciertos coeficientes previamente obtenidos en la zona, para cada cultivo. Entre los métodos más comunes se encuentran el de Lowry y Jhonson (1942), Thornthwaite (1948), Blaney y Criddle (1962), Jensen y Haise (1963), (Aguilera y Martínez, 1996).

Cadahia (1998), comenta que existen diversos métodos para estimar la evapotranspiración de un cultivo de referencia que se desarrollan con más detalle en publicaciones especializadas (radiación FAO, Penman...); pero presentan el inconveniente que para su empleo en la inmensa mayoría de explotaciones agrícolas, requieren datos climáticos de medición compleja, propios de estaciones meteorológicas sofisticadas. Las áreas de riego cercanas a las estaciones meteorológicas pueden utilizar dichos datos para estimar con confiabilidad la Etp; pero no es aconsejable usar los de estaciones demasiado alejadas dado que el consumo de agua por las plantas depende del microclima de la explotación.

La cuantificación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) o ET máxima del cultivo, implica la máxima producción del cultivo bajo condiciones no limitantes de suministro hídrico, como se indica enseguida:

$$Et_c = Kc \cdot ET_p \quad (2)$$

Donde Kc es el coeficiente del cultivo, cuyo valor depende del (porte y desarrollo, época de plantación o siembra y otros), la ET_p es la evapotranspiración de un cultivo de referencia que se toma como patrón y depende de las condiciones climáticas existentes.

Intervalo de humedad disponible (IHD)

Este parámetro es el componente entre CC y PMP, en este rango no toda la humedad es igualmente accesible para las plantas, por lo tanto, para la programación de riegos se deja abatir únicamente una porción del IHD denominada Déficit Permisible de Manejo (DPM), este normalmente varía entre el 30 y 65 por ciento del IHD. Algunos valores del IHD para los principales tipos de suelo se muestran en el Cuadro 2.1. El DPM varía para cada cultivo y dentro de cada uno de ellos, por los diferentes periodos del ciclo de cultivo. Al contenido de agua del suelo que se tiene cuando se alcanza el DPM, se le llama Nivel de Agotamiento Permisible (NAP).

Por ejemplo, la floración o fecundación suele coincidir con un periodo crítico, donde la falta de agua puede repercutir negativamente en la producción. En esta fase, el DPM es menor que en los periodos de establecimiento del cultivo o de maduración, donde puede abatirse más el agua del suelo sin que repercuta negativamente en la producción final (Tarjuelo, 1999).

Cuadro 2.1. Valores del intervalo de humedad disponible en diferentes suelos por unidad de profundidad y velocidad de infiltración máxima.

Tipo de Suelo	Intervalo de humedad disponible		Velocidad de infiltración máxima (mm/h)
	Limite (mm/cm)	Promedio (mm/cm)	
Arenas de textura muy gruesa	0.33-0.62	0.40	19-25.5
Arenas de textura gruesa, arenas finas y arenas margosas	0.60-0.85	0.70	12.5-19
Franco-arenosos de textura medianamente gruesa y franco-arenosos finos	0.85-1.45	1.15	12.5
Franco-arenosos muy fino, francos, franco-arcillo-arenoso y franco-limosos	1.25-1.90	1.60	10
Franco-arcillosos de textura medianamente fina y franco-arcillo-limosos	1.45-2.10	1.80	7.5
Arcillas arenosas de textura fina, arcillas limosas y arcilla	1.35-2.10	1.95	

El Tensiómetro

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

El principio del tensiómetro está basado en el equilibrio que se logra entre las fuerzas capilares del suelo y el vacío que se forma dentro del tubo de plástico herméticamente cerrado y lleno de agua. El suelo al ejercer cierta tensión fuerza la salida del agua del tensiómetro hacia el exterior, produciéndose un vacío. Este vacío (presión negativa) es posible medirlo con un manómetro de carátula o de mercurio, de estos el primero es más común y económico, debido a que se mide una tensión o presión negativa, por lo tanto, los valores proporcionados por el manómetro son negativos (González y Hernandez, 1999).

Un tensiómetro consiste de una cápsula de cerámica porosa, un tubo, manómetro y de un tapón (Curwen, 1993; Timlin y Pachepsky, 1998; Hubbell y Sisson, 1998) . La cápsula se encuentra en el extremo inferior y está unida a un tubo, este normalmente es de plástico transparente, el tubo se encuentra instalado a un manómetro 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. En el extremo superior del tubo se encuentra un tapón que tiene la función de cerrar herméticamente para que se cree el vacío interno.

Cuando el suelo pierde humedad, el agua contenida en el equipo tiende a salir a través de la extremidad porosa de porcelana, ocasionando que descienda el nivel en el interior y se produce en el un vacío relativo en la parte superior del irrómetro. Por el contrario, cuando el nivel de humedad en el suelo se incrementa, este vacío hace que penetre agua dentro del tubo, a través de la misma porcelana, provocando se establezca un nuevo equilibrio (Irrrometer Co.1998).

Las lecturas del tensiómetro están dadas en unidades llamadas centibares, que son equivalentes a la centésima parte de un bar.

Hay que asegurar el mantenimiento de la humedad del suelo en la zona radicular, note que alrededor de un 70 por ciento de las necesidades de humedad de las plantas recae en la parte superior de la zona de raíces. Una adecuada humedad del suelo en la zona inferior de las raíces ayuda a superar periodos de estrés temporal pero no es suficiente para promover el máximo consumo en el crecimiento. Los tensiómetros instalados a dos o más profundidades registran los estados de humedad del suelo en distintos niveles de las raíces y proporcionan de esta forma una representación exacta del perfil de humedad (Irrrometer Co. 1998).

Estaciones Climáticas Automatizadas

Así como en otros campos de la ciencia y la tecnología, recientes desarrollos en la electrónica han encontrado una aplicación más real en la estimación de los requerimientos de agua de riego, un ejemplo de esto, es el uso de microprocesadores para monitorear el clima como son las estaciones climáticas automatizadas (ECA), estas pueden ser configuradas para realizar mediciones de velocidad y dirección del viento, radiación solar, intensidad y cantidad de precipitación, humedad relativa, temperatura del suelo y aire. Todos estos sensores están contenidos en un solo mástil y protegidos por una cobertura. Los datos que resultan de cada sensor pueden ser inmediatamente grabados en cintas magnéticas o promediados en periodos de tiempo, comúnmente cada hora o diariamente (Burman *et al.*, 1983).

Zermeño (1999) menciona el uso de las estaciones climáticas automatizadas en la agricultura para realizar mediciones de parámetros microclimáticos como temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento en la estimación de la incidencia de enfermedades por hongos y bacterias.

Desde el punto de vista funcional, todas las estaciones climáticas deben tener:

- Sensores meteorológicos que proporcionan una señal electrónica.

- Sensores electrónicos para convertir la señal eléctrica del sensor a un valor digital.
- Memoria electrónica para coleccionar los datos en el sitio o un hardware de telecomunicaciones para transmitir los valores digitales o ambos.

Los componentes más importantes de una estación agroclimática automatizada son: 1. Mástil. 2. Dispositivo de entrada y almacén de datos (datalogger). 3. Una casa de protección para los componentes electrónicos. 4. Una fuente de energía (batería 12 volts).

Las mediciones de las ECA son utilizadas frecuentemente para estimar los flujos o condiciones entre la superficie del suelo y las cubiertas vegetales de una gran área. La escala para que estas mediciones sean representativas, depende de la uniformidad del tipo de superficie, topografía, humedad del suelo y de las características mismas. Por ejemplo, la radiación solar es más uniforme espacialmente que la precipitación (Zermeño, 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Area de Estudio

El presente trabajo se realizó en la región papera de Coahuila y Nuevo León que comprende tres regiones: la zona alta que es la Sierra de Arteaga, la zona de transición que se considera entre Huachichil en Coahuila y El Cuije en Nuevo León, la zona de los valles en Navidad y El Cristal en Nuevo León. Las localidades representativas de las zonas estudiadas se encuentran en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Localización geográfica de los sitios donde se desarrollo el trabajo de investigación.

LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (msnm)
El Ranchito, Arteaga, Coahuila	25° 10'	100° 31'	2200
El Tunal, Arteaga, Coahuila	25° 11'	100° 33'	2125
San Francisco, Arteaga, Coahuila	25° 12'	100° 32'	2120
CESIA, Arteaga, Coahuila	25° 07'	100° 39'	2040
El Cristal, Nuevo León	24° 50'	100° 50'	1883

El ciclo vegetativo, inicio y final del desarrollo y las variedades evaluadas de la papa en cada una en cada una de las localidades se señala en el Cuadro 3.2:

Cuadro 3.2. Variedad y ciclo vegetativo del cultivo de papa para la región de Coahuila y Nuevo León.

Localidad	Siembra	Madurez	Ciclo	Variedad
CESIA	25 de Mayo	10 de Septiembre	106 días	Atlantic
El Cristal	17 de Mayo	4 de Octubre	138 días	Herta
Jame	14 de Junio	23 de Octubre	120 días	Alpha
San Francisco	21 de Abril	5 de Agosto	105 días	Gigant
El Tunal	17 de Junio	21 de Septiembre	95 días	Gigant

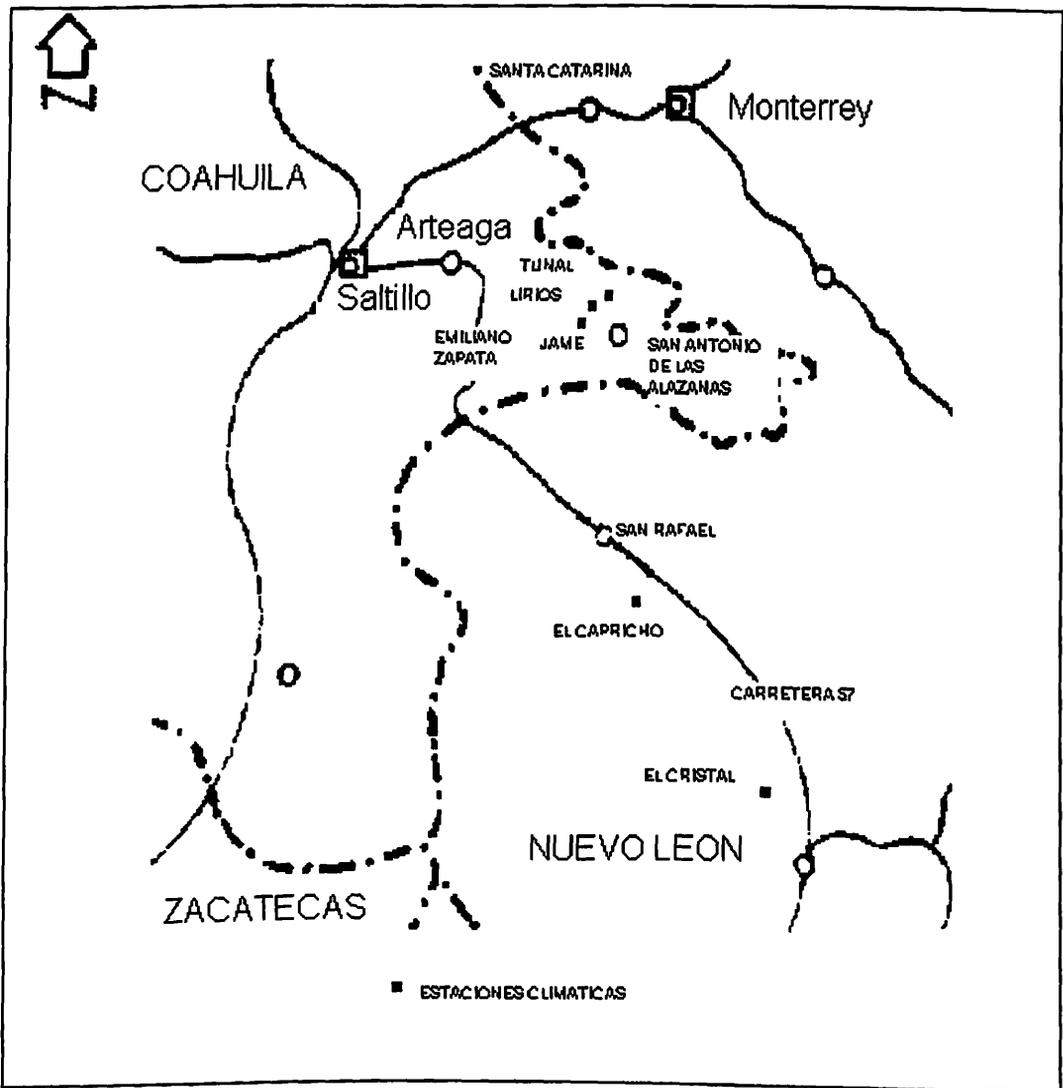


Figura 3.1. Ubicación geográfica de cada una de las localidades donde se desarrolló el cultivo.

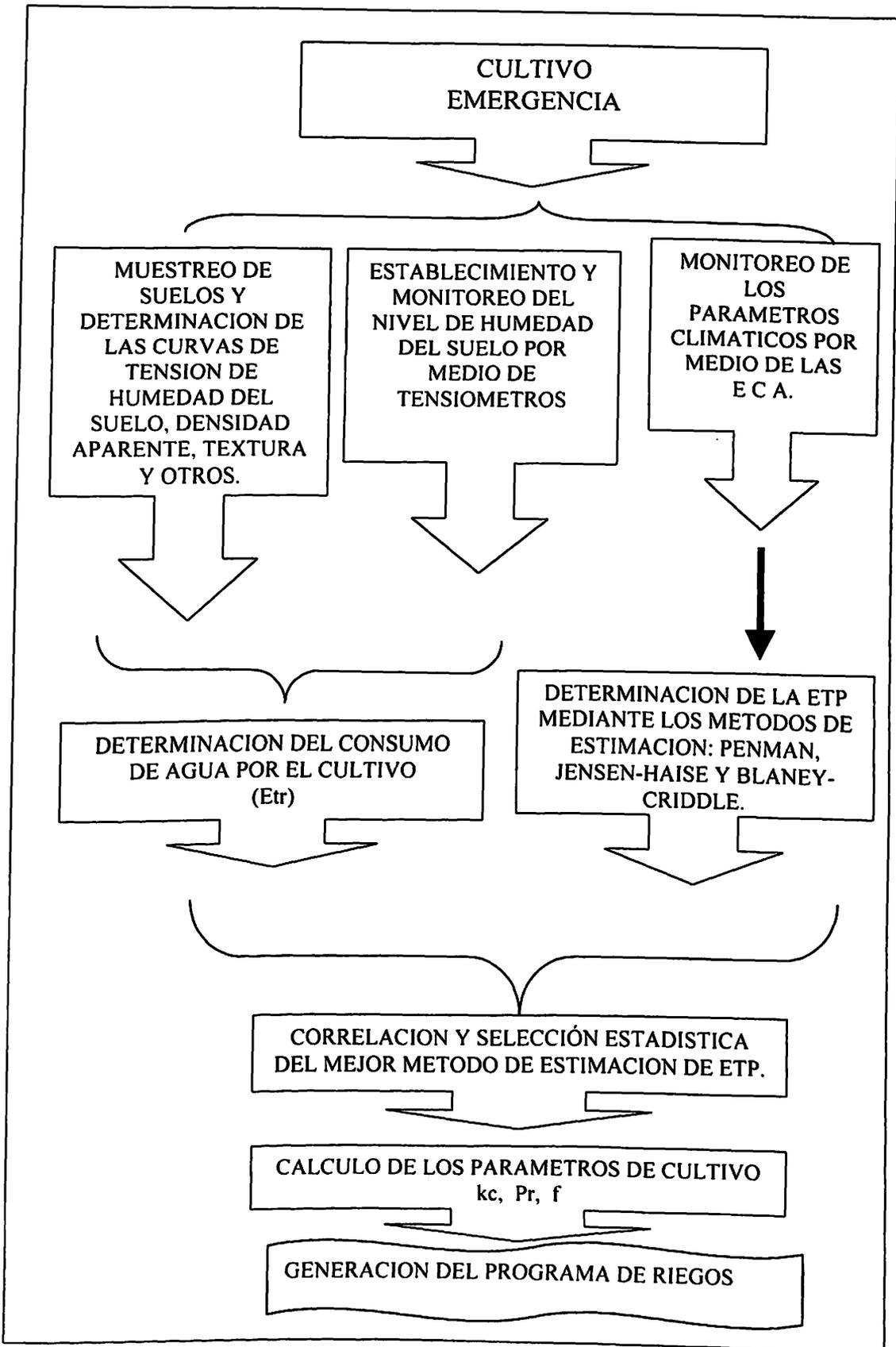


Figura 3.2. Diagrama de flujo utilizado en la generación del programa de riegos.

La secuencia metodológica de la forma en que se elaboró el programa de riego se señala en la figura 3.2, esta es desglosada en los siguientes apartados:

Metodología

Muestreo de Suelos y Determinación de las Curvas de Tensión de Humedad del Suelo.

Se obtuvieron muestras de suelo en cada una de las localidades a una profundidad de 0.30 m para determinar las propiedades de retención y disponibilidad de humedad, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Relación Agua Suelo Planta Atmósfera del Departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN, con la información obtenida se elaboraron las curvas de retención de humedad.

El material utilizado fue: olla de presión, platos de cerámica, anillos de hule para muestras de 25 gramos, balanza, estufa y botes.

Las muestras se colocaron en los anillos sobre el plato de cerámica poroso, este se saturó previamente por un período de 18-24 horas, las muestras de suelo fueron saturadas con agua durante un periodo aproximado de 24 horas; posteriormente, se retiró el exceso de agua, se colocó el plato en la olla y se aplicó la presión requerida para obtener el punto. Después de transcurrido un período de 48 horas se suspendió la presión aplicada, se continuó con la extracción de muestras siendo colocadas en botes cerrados herméticamente, se pesaron en la balanza analítica y fueron secadas en estufa

a una temperatura de 105-110 °C durante 24 horas, transcurrido este tiempo se sacaron y se pesaron para obtener el peso de suelo seco. Con los datos obtenidos se procedió a determinar el contenido de humedad en base peso seco, mediante la siguiente ecuación:

$$P_w = \frac{(PSH - PSS)}{PSS} \times 100 \quad (3)$$

donde:

P_w = porcentaje de humedad en base peso seco

PSH = peso de suelo húmedo

PSS = peso de suelo seco

Con todos los datos obtenidos se elaboraron las curvas de retención de humedad.

Características de los Suelos

La textura de los suelos de las localidades estudiadas fue determinada mediante el método de Boyoucus en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN. El tipo de suelo varía de migajón a migajón-arcilloso.

La densidad aparente se obtuvo mediante el método de la parafina, la cual es señalada en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Datos de densidad aparente para cada una de las localidades.

LOCALIDAD	DENSIDAD APARENTE (grcm ⁻³)
CESIA	1.22
San Francisco	1.37
El Tunal	1.30
El Ranchito	1.32
El Cristal	1.30

Cuadro 3.4. Datos de textura para cada una de las localidades de estudio obtenidos por el método de Boyoucos.

LOCALIDAD	% ARCILLA	% LIMO	% ARENA	TIPO DE SUELO
CESIA	29.2	34	36.8	Migajón arcilloso
San Francisco	31.2	32	36.8	Migajón arcilloso
El Tunal	23.2	36	40.8	Migajón
El Ranchito	23.2	36	40.8	Migajón
El Cristal	23.2	36	40.8	Migajón

Establecimiento y Monitoreo del Nivel de Humedad del Suelo por medio de Tensiómetros

Con la finalidad de monitorear los niveles de humedad en el suelo, al momento de la emergencia del cultivo y sobre la línea de siembra en cada localidad se colocaron tensiómetros a profundidades de 15 y 30 cm que es el rango donde se tiene la mayor actividad radicular en el cultivo de papa. Las lecturas de los tensiómetros se realizaron diariamente.

Monitoreo de los Parámetros Climáticos por medio de las Estaciones Climáticas Automáticas

En cada una de las localidades se establecieron estaciones climáticas automáticas del tipo Weather Monitor II de la compañía Davis, las estaciones cuentan con sensores para la medición de temperatura, precipitación, humedad, dirección y velocidad del viento.

Las estaciones climáticas automáticas tomaban lecturas de los parámetros climáticos cada 10 segundos obteniendo un promedio de lecturas cada 30 minutos, estas eran almacenadas en una memoria electrónica (Datalogger). Los datos almacenados fueron vaciados a una computadora portátil cada viernes durante el ciclo de cultivo, esto permitió tener una precisión más confiable para el cálculo de la ETP en comparación con las estaciones meteorológicas tradicionales.

Determinación del consumo de Agua por el Cultivo (ETR)

Una vez determinadas las curvas de tensión de humedad para cada tipo de suelo en cada una de las localidades se procedió a transformar las lecturas de niveles de los humedad del suelo, de valores de tensión obtenidos por medio de los tensiómetros a valores en lámina de agua. La evapotranspiración real (ETR) se obtuvo mediante las diferencias de valores de porcentajes de humedad entre el lapso de dos riegos mediante la siguiente ecuación:

$$Li = Psi * Dai * Pr/100 \quad (4)$$

Donde:

Li = Lámina consumida durante el lapso considerado, cm.

Pr = Espesor de la capa de muestreo, cm.

Psi = Variación del porcentaje de humedad respecto al peso del suelo seco, antes y después del riego, %.

Dai = Densidad aparente, gr/cm^3 .

El consumo total se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$Etr = \sum_{i=1}^n Li \quad (5)$$

Determinación de la evapotranspiración potencial (Etp) mediante los métodos Penman, Jensen-Haise y Blaney Criddle.

Los modelos se seleccionaron en base a la disponibilidad de los datos climatológicos generados por las estaciones climáticas automáticas en cada una de las localidades.

Método de Penman

La ecuación utilizada para el cálculo de la evapotranspiración potencial es la siguiente:

$$ETp = 0.0171 \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (Rn + G) + 15.36 \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) (a + bU_2)(e_z^0 - e_z) \right] \quad (6)$$

Donde:

ETp = Evapotranspiración potencial, cm/día

Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor a saturación, d(mb)/d(°C)

γ = Constante psicrométrica, mb/°C

Rn = Energía de radiación neta, cal cm⁻¹ día⁻¹ (Langley/día)

G = Flujo de calor del suelo, cal cm⁻² día

U₂ = Velocidad del viento a cualquier otra altura, este factor se ajusta mediante la siguiente ecuación:

$$U_2 = U_z \left(\frac{2}{z} \right)^{0.2} \quad (7)$$

Donde:

Z = Elevación, m a la cual U es medida

a y b = Coeficientes de regresión empíricos que requieren calibración local, si la ecuación no es calibrada para las condiciones locales frecuentemente se emplean los valores de a = 1.0 y b = 0.006.

e_z⁰ = Promedio de la presión de vapor a saturación en mb (promedio de las presiones de vapor a saturación a temperaturas máxima y mínima del aire).

e_z , = Presión de vapor en mb a temperaturas promedio tomadas a punto de rocío.

Los datos que se requieren para emplear la ecuación de Penman son: Radiación solar (R_s), temperatura, velocidad del viento y la humedad relativa o la temperatura a punto de rocío. Para desarrollar los parámetros descritos en la ecuación (1) es necesario emplear un cierto número de funciones empíricas.

La radiación neta R_n , puede ser determinada de las relaciones presentadas por Jensen et al. (1973). Esta también puede ser medida directamente utilizando un piranómetro adaptado en la estación climática o en nuestro caso, en la cual la estación climática no cuenta con este sensor, la radiación neta se determinó mediante la estimación de sus dos componentes: la radiación neta de onda corta y larga.

$$R_n = (1 - \alpha)R_s - R_b \quad (8)$$

Donde:

$(1 - \alpha) R_s$ = Radiación neta de onda corta recibida por el campo de cultivo

α = Índice de reflexión de la radiación neta de onda corta o albedo, aunque el coeficiente α varía de 0.20 a 0.25 dependiendo del cultivo, es usualmente tomado como 0.23 para propósitos prácticos

R_s = Radiación solar en calorías por cm^{-2} por día⁻¹

R_b = Radiación neta de regreso o la radiación térmica de onda larga que se refleja desde la superficie terrestre expresada en calorías por cm^{-2} por día⁻¹.

Como la estación climática no dispone de datos de radiación solar, esta se estimó mediante las siguiente relación:

$$R_s = (0.23 + 0.48) R_a \quad (9)$$

Donde:

R_a = Radiación extraterrestre, $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, los Valores de R_a para diferentes latitudes pueden ser determinados en base a lo propuesto por Jensen et al. (1973).

Para determinar el valor de R_b , se utilizó la siguiente ecuación:

$$R_b = \left(a_1 \frac{R_s}{R_{s_0}} + b_1 \right) R_{b_0} \quad (10)$$

Donde:

R_{b_0} = Radiación térmica de onda larga en un día despejado, sin nubes

R_{b_0} = Este parámetro se estima a su vez por la ecuación:

$$R_{b_0} = \varepsilon^l \sigma T_k^4 \quad (11)$$

Donde:

ε^l = Emisividad neta cuando se utilizan solamente altas temperaturas de pantalla

σ = Constante de Stefan Boltzmann

T_k = Temperatura en grados Kelvin (K^0), las variables señaladas se calcularon a partir de las ecuaciones siguientes:

$$\varepsilon^l = -0.02 + 0.261 \exp[-7.77 \times 10^{-4} (273 - T_k)] \quad (12)$$

$$\sigma = 11.71 \times 10^{-8} \text{ calorías por cm}^{-2} \text{ día}^{-1} \text{ } ^0K^{-4}$$

a_1 y b_1 son coeficientes experimentales que dependen de la región climatológica (Cuadro 3.6).

Cuadro 3.5. Radiación solar promedio para cielos despejados, R_{s_0} (Tomado de Budyko, 1963). Expresado en calorías $\text{cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$.

Lat N	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
60	58	152	319	533	671	763	690	539	377	197	87	35
55	100	219	377	558	690	780	706	577	430	252	133	74
50	155	290	429	617	716	790	729	616	480	313	193	126
45	216	365	477	650	729	797	748	648	527	371	260	190
40	284	432	529	677	742	800	755	674	567	426	323	248
35	345	496	568	700	742	800	761	697	603	474	380	313
30	403	549	600	713	742	793	755	703	637	519	437	371
25	455	595	629	720	742	780	745	703	660	561	486	423
20	500	634	652	720	726	760	729	697	680	597	537	474
15	545	673	671	713	706	733	706	648	697	623	580	519
10	584	701	681	707	684	700	681	665	707	648	617	565
5	623	722	690	700	652	663	645	645	710	665	650	606
0	652	740	694	680	623	627	616	623	707	684	680	619

Cuadro 3.6. Coeficientes experimentales para la ecuación de Rb (Tomado de Jensen, 1973).

Región	a ₁	b ₁
Davis, California	1.35	-0.35
Sur de Idaho	1.22	-0.18
Sugerida para regiones áridas	1.20	-0.20
Sugerida para Regiones húmedas	1.00	0.00
Recomendada para regiones semi-húmedas	1.10	-0.10

Para el cálculo de los demás componentes de la ecuación de Penman se utilizaron las expresiones propuestas por Kincaid y Heerman (1974) para

$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$, $\frac{\gamma}{\Delta + \gamma}$, y e^0_z , las ecuaciones son las siguientes:

$$\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} = 0.60543 - 0.01728T + 0.0001469T^2 \quad (13)$$

$$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} = 1 - \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \quad (14)$$

$$e^0_z = 6.328 + 0.424T + 0.01085T^2 + 0.000519T^3 \quad (15)$$

En estas ecuaciones T representa la temperatura promedio diaria en °C.

La evaluación del término $(e^0_z - e_z)$ representa el déficit en la presión de vapor a saturación y puede ser realizada de diferentes formas. Para nuestro trabajo se utilizó la siguiente expresión:

$$(e^0_z - e_z) = \left(\frac{e^0_2 + e^0_1}{2} \right) - e^0_1 rh \quad (16)$$

Donde:

e^0_2 y e^0_1 = Presiones de vapor a saturación a las temperaturas máximas y mínimas del día en mb

rh = Máxima humedad relativa (usualmente los valores medidos entre las 5 y 6 A.M.) expresada como una fracción. Algunos valores de presión de vapor a saturación son presentados en el Cuadro 3.7.

Cuadro 3.7. Presiones de vapor a saturación a diferentes temperaturas.

Temperatura ($^{\circ}$ C)	Presión de vapor a saturación (mb)	Temperatura ($^{\circ}$ C)	Presión de vapor a saturación (mb)
1	6.57	22	26.44
4	8.57	25	31.69
7	10.02	28	37.81
10	12.28	31	44.94
13	14.98	34	53.21
16	18.18	37	62.77
19	21.98	40	73.77

Método de Jensen-Haise

El procedimiento en este método se basa en una ecuación, que se ajusta la función entre la radiación solar y la temperatura para la localización y altura del sitio donde será utilizada a través de las funciones de la presión de vapor (Jensen y Haise, 1963). Por lo tanto es igual a:

$$ETp = Ct(T - Tx) \frac{Rs}{\rho Lv} \quad (17)$$

Donde:

ETp = Promedio diario de la evapotranspiración potencial tomando como cultivo de referencia a la alfalfa con un crecimiento entre 30 y 50 cm, expresada en cm/día

T = Promedio de la temperatura diaria en °C

Rs = Radiación solar total diaria en calorías por cm² por día⁻¹

ρ = Densidad del agua (aproximadamente 1 gramo / cm³)

Lv = Calor latente de vaporización para el agua (a 20 °C, Lv = 585 cal/gramo)

Ct = Coeficiente de temperatura en °C⁻¹

Tx = Constante en °C., que se expresa con el siguiente modelo:

$$Tx = -2.5 - 0.14(e^0_s - e^0_i)^0 C / mb - elev(m) / 305 \quad (18)$$

El coeficiente de la temperatura Ct, se determinó mediante la ecuación siguiente:

$$Ct = \frac{1}{C_1 + C_2 CH} \quad (19)$$

Donde:

$$C_1 = 38 - (2 \text{ } ^\circ\text{C} \times \text{elev (m)} / 305) \quad (20)$$

$$C_2 = 7.6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (21)$$

$$CH = \frac{50mb}{e_2^0 - e_1^0} \quad (22)$$

El método modificado de Jensen - Haise, es considerado como uno de los mejores métodos para estimar la evapotranspiración potencial en las regiones áridas y semiáridas. Sin embargo, su utilidad es algunas veces limitada debido a que históricamente el parámetro R_s no ha sido ampliamente medido.

Método de Blaney-Criddle

El método de Blaney – Criddle para estimar la evapotranspiración es uno de los métodos más conocidos en México y usado extensivamente a través de todo el mundo. La asunción básica está fundada en que la ET varía directamente con las sumas de los productos de multiplicar la temperatura promedio mensual con el porcentaje mensual de horas luz día considerando un cultivo que crece con un adecuado suministro de humedad en el suelo, la ecuación empleada para calcular la evapotranspiración potencial fue la siguiente:

$$ET = \frac{K_t K_c t_p}{100} \quad (23)$$

Donde:

ET = Evapotranspiración mensual en pulgadas

K_c = Coeficiente del estado de crecimiento del cultivo distribuido en el tiempo,

T = Temperatura promedio mensual en °F

P = Porcentaje del promedio mensual de las horas luz del día de todo el año

(Cuadro 3.8).

K_t se determina por la ecuación:

$$K_t = 0.0173t - 0.314 \quad (24)$$

Cuadro 3.8. Porcentaje de horas luz o insolación en el día para cada mes del año en relación al número total en un año (Aguilera y Martínez, 1996).

Lat N	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
15	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.80	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88
16	7.93	7.35	8.44	8.46	9.01	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	9.16	8.90	8.27	8.21	7.66	7.74
19	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20	7.74	7.26	8.41	8.53	9.14	9.00	9.23	8.95	8.29	8.17	7.59	7.66
21	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22	7.66	7.21	8.40	8.56	9.22	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25	7.53	7.13	8.39	8.61	9.32	9.22	9.43	9.08	8.30	8.08	7.40	7.41
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.35
27	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.22	7.27
29	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.20
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
31	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09
32	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.95	7.11	7.05

Correlación y Selección Estadística del Mejor Método de Estima de Evapotranspiración Potencial

Para determinar cual de los tres métodos de estimación de la evapotranspiración potencial se ajusta más a las condiciones de evapotranspiración real de la región estudiada se procedió a realizar un análisis estadístico mediante la determinación de los errores reducidos.

Según Cortes (1988) un error reducido $r(x_p)$ es definido por la siguiente ecuación:

$$r(x_p) = \frac{\hat{Z}(x_p) - Z(x_p)}{\sigma_k^2(x_p)} \quad (25)$$

Donde:

$\hat{Z}(x_p)$ es el valor estimado de Etp

$Z(x_p)$ es el valor observado de Etp

$\sigma_k^2(x_p)$ varianza

Todo método de estimación involucra un error, esto se debe a que la evapotranspiración estimada es en general algo diferente a los valores reales determinados en campo (ET_r), de este modo tenemos una serie de n valores medidos, $Z(x_i)$ y por lo tanto, es posible obtener una serie de n valores estimados para localidades idénticas, $\hat{Z}(x_i)$. Entonces es posible calcular una serie de n errores reducidos, que permite hacer inferencias estadísticas.

La calidad de los métodos de estimación son verificadas a través de dos condiciones de los errores reducidos (Delhomme, 1978).

- a) La media del error, m_R debe ser cercana a cero.
- b) La varianza, σ^2_R , debe ser igual a uno.

Para calcular los intervalos de confianza, los parámetros (m_R y σ_R) de la función de distribución son encontrados para describir la distribución de los errores reducidos. La distribución normal ha sido una de las más observadas frecuentemente en la práctica (Journel y Huijbregts, 1978).

Bajo la asunción de distribución normal de los errores reducidos $R(x_i)$, se puede realizar una prueba t sobre el error medio (m_R) para probar la significancia de la asunción $m_R = 0$. La varianza de los errores reducidos es esperado sea igual a uno (Delhomme, 1978), también, bajo la asunción de normalidad se puede realizar una prueba de χ^2 , el 95 por ciento de los errores se espera se encuentren entre -2 y 2 , esto es equivalente a esperar que los errores reducidos sigan una función de distribución normal con parámetro $m_R = 0$ y $\sigma = 1$ (Snedecor y Cochran, 1967).

Cálculo de los Parámetros de Cultivo k_c , Pr y f

Coeficiente de Cultivo (k_c)

Una vez determinado el mejor modelo de estima de la evapotranspiración potencial se procedió a estimar los valores observados de coeficientes de cultivo (k_c) con la finalidad de ajustar la evapotranspiración ocurrida en el campo (E_{tr}), estos se obtuvieron relacionando la evapotranspiración real del cultivo y la evapotranspiración potencial calculada mediante el método de Jensen-Haise, la ecuación es la siguiente:

$$k_c = \frac{E_{tr}}{E_{tp}} \quad (26)$$

Donde:

E_{tr} = evapotranspiración medida en campo

E_{tp} = evapotranspiración estimada mediante el método de Jensen-Haise

La ecuación de ajuste (cúbica) de k_c se calculó en función de los Grados-Días de Crecimiento (DGC) o unidades calor (UC).

Los Grados-Días de crecimiento son definidos como la integración de la temperatura de un lugar en función de los días bajo un rango de temperaturas específico conocidas como temperaturas umbrales únicas para cada cultivo o etapa fisiológica. Los DGC son usados para predecir la madurez fisiológica de la planta. El rango de temperaturas (máxima o mínima) es definido como el rango en el cual la planta crece, fuera de esta rango, la planta deja de crecer o muere.

Cada especie tiene un número definido de Unidades Calor requeridos para alcanzar cada etapa de desarrollo y su madurez fisiológica. El termino DGC permitió definir la duración del ciclo fisiológico relativo al efecto acumulado del clima.

Las temperaturas básicas son: la temperatura mínima o temperatura base (T_{\min}) del aire requerida para el crecimiento del cultivo y la temperatura máxima (T_{\max}) del aire arriba de la cual el crecimiento del cultivo se detienen. Ambas temperaturas son conocidas como temperaturas umbrales y son características únicas del cultivo. Para el cultivo de la papa las temperaturas bases utilizadas fueron 2 y 29 °C (Sifuentes *et al.*, 1999).

Cálculo de las Unidades Calor Acumuladas (UCA)

Para determinar las unidades calor acumuladas se tiene que tomar las temperaturas medias diarias del aire desde la emergencia hasta la maduración.

Es muy importante considerar el punto crítico (PC) para el cultivo, el cual presenta la temperatura media del aire a partir de la cual empieza el crecimiento de la planta. En el caso de la papa el punto crítico es considerado a una temperatura media de 6 °C (Torres, 1986).

Para determinar la unidad de calor diaria se obtiene entre la diferencia entre la temperatura media diaria (T_m) y el punto crítico (PC).

$$UC = (T_m - PC) \quad (27)$$

Las unidades calor acumuladas será la sumatoria de las unidades calor diarias durante todo el ciclo vegetativo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$UCA = \sum_{i=1}^n (UC) \quad (28)$$

Debido a la importancia de los parámetros de cultivos en la determinación de las necesidades hídricas con fines de programación de riegos en tiempo real y con la finalidad de lograr una mayor precisión en la estimación de los mismo, los parámetros profundidad radicular (Pr) y el factor de abatimiento (f) se determinaron utilizando el concepto de Unidades Calor Acumuladas (UCA) empleando los modelos propuestos por Sifuentes et al. (2000) descritos a continuación:

Profundidad Dinámica de la Raíz (Pr)

Para expresar los valores obtenidos de crecimiento dinámico de la raíz (Pr) en base a unidades calor se utilizó la siguiente función:

$$Pr = \frac{a + (4nb)}{(1 + n)^2} \quad (29)$$

Donde n es una variable auxiliar que depende de las unidades calor acumuladas del cultivo (x) expresada de la siguiente manera:

$$n = \exp\left[-\frac{(x-c)}{d}\right] \quad (30)$$

Las literales a, b, c y d en las dos ecuaciones anteriores son parámetros de regresión con valores de -0.051 , 0.755 , 1548.14 y 662.24 respectivamente.

Factor de abatimiento (f)

El factor de abatimiento o deflección de la humedad del suelo f se considera para los sistemas de riego por goteo valores de 0.2 y 0.3 para cultivos sensibles a la deficiencia hídrica y valores entre 0.4 y 0.5 para aquellos cultivos que resisten un mayor grado de deficiencia hídrica, el riego por goteo presenta menores valores de f en comparación con los de riego por aspersión y este último tiene valores menores que los correspondientes para riego por gravedad.

En esta investigación se utilizó una función polinomial para describir el comportamiento del máximo déficit permitido en función de las unidades calor acumuladas para el cultivo de la papa, la ecuación es la siguiente:

$$f = a + bx^2 + cx^{2.5} + dx^3 \quad (31)$$

Donde x representa las unidades calor acumuladas, a , b , c y d son los parámetros de regresión cuyos valores son 0.352, -5.962E-07, 2.551E-08, y -2.682-E10 respectivamente.

Generación del Programa de Riegos

El objetivo principal del programa de riegos será monitorear en tiempo real las pérdidas de agua por evapotranspiración en el cultivo de la papa a través de una estación climática automática, así como de los niveles de humedad del suelo a través de tensiómetros, de esta forma poder calendarizar riegos en tiempo real en función de las necesidades hídricas del cultivo y de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo.

Este programa será transformado a lenguaje de computo con lo que se obtendrá una herramienta computacional que pronostica cuándo y cuanto regar, relacionando las características del suelo, cultivo, clima y tipo de sistema de riego, esto permitirá al productor conocer las fechas de aplicación, láminas y tiempos de riego necesarios para reponer el consumo de agua en el cultivo de la papa con el objetivo de eficientar el uso de la misma y así obtener el mejor rendimiento en la producción.

En esta primera etapa de la generación del programa, es necesario contemplar que es lo que queremos que el programa haga, es de vital importancia dedicar el tiempo necesario antes de empezar a programar esto permitirá ahorrar tiempo en la codificación del mismo ya que se conocerá de manera precisa el problema que hay que solucionar (el cuando y cuanto regar).

Cuando se realiza un buen trabajo en el análisis y diseño del software, la codificación es realizada de una manera rápida y sencilla.

El lenguaje de programación a utilizar debe ser escogido de acuerdo a los propósitos establecidos, para este trabajo se recomienda el lenguaje Pascal con una interfaz gráfica en Delphi, la cual representa una nueva herramienta de desarrollo de aplicaciones para ambiente Windows que combina la rapidez y facilidad de un ambiente visual para el desarrollo de aplicaciones con el poder, flexibilidad y la capacidad de reutilizar código de una programación orientada a objetos. Los objetos de Delphi para manejar base de datos (BD) son basados en SQL (Structure Query Lenguaje) y completamente encapsulados usando el poder de Borland Database Engine (BDE), Delphi toma directamente los datos de Paradox y dBase a través de BDE, Paradox es el manejador de la base de datos, el cual permite la creación de una base de datos flexible para el diseño de reportes y acceso a la información. Los reportes generados por el sistema serán diseñados con las hojas de diseño de reporte facilitadas por la herramienta Quick Report la cual es una herramienta de reportes visuales integrada en Delphi.

El programa de riegos deberá de tener las siguientes características:

- Simplicidad: debe ser diseñado para operarse con facilidad. No debe requerir de conocimientos especiales de uso y manejo de computadoras; debe de encontrarse en código ejecutable.
- Adaptabilidad: debe de adaptarse a las condiciones de la región de Arteaga, Coahuila y Galeana, Nuevo León.

- Seguridad: la calidad e integridad de los datos es de vital importancia para la operación y manejo del programa, cada archivo y datos de entrada deberá estar protegido con una clave de acceso, solo el personal autorizado deberá tener acceso.
- Ambiente Windows: el sistema deberá correr bajo ambiente Windows 95 o posterior lo que lo hará disponible a la mayoría de las computadoras.

El sistema generará salidas de datos en tiempo real, al controlar el estado hídrico de los cultivos, además, se deberá actualizar frecuentemente la base de datos para que los resultados sean más precisos.

Calendarización del Riego

Para determinar el cuando y cuanto regar, el programa efectúa un cálculo de las necesidades hídricas del cultivo basado en un balance de humedad, el cual considera las entradas y salidas de los flujos de agua en la zona radicular del cultivo. La lámina de riego se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L_{i+1} = L_i + Pe_i + R_i - ETR - PP_i \quad (32)$$

Donde:

L_{i+1} = Contenido de humedad al inicio del día $i + 1$, mm.

L_i = Contenido de humedad el día i , mm.

Pe_i = Precipitación efectiva durante el día i , mm.

R_i = Riego para el día i , mm.

ETR = Evapotranspiración del cultivo del día i , mm.

PP_i = Lámina drenada, ya sea escurrida o percolada, el día i , mm.

Determinación de la Lámina Inicial (L_i)

Para realizar un balance de humedad en el suelo se parte de un valor de contenido de humedad inicial (θ_i) expresado en lámina (L_i). Para la determinación del contenido de humedad se utilizan tensiómetros, en los cuales las lecturas de humedad en centibares son transformadas a valores en lámina utilizando los modelos de las curvas de retención de humedad.

La lámina de riego para llevar el suelo de un contenido inicial θ_i a un contenido final θ_f en función de la capacidad de almacenamiento del suelo y a una determinada profundidad:

$$Lr = (\theta_{cc} - \theta_i) * Pr \quad (33)$$

Donde:

θ_{cc} = Contenido de humedad volumétrico a capacidad de campo, (cm^3/cm^3)

θ_i = Contenido de humedad volumétrico inicial, (cm^3/cm^3)

Pr = Profundidad radicular, (cm)

Precipitación efectiva (Pe)

La determinación de la precipitación efectiva se estimó mediante la ecuación de Ogrosky y Mockus (1964), la cual es considerada una de las más confiables para estimar la lluvia que puede ser aprovechada por el cultivo, la ecuación es la siguiente:

$$Pe = C_p * P \quad (34)$$

$$C_p = \frac{ETP}{1.53 + 0.8 * \frac{ETP}{P}} \quad (35)$$

Donde:

C_p = Coeficiente de conversión de lluvia aprovechable

Pe = Precipitación efectiva (mm)

P = Precipitación observada

Determinación de la ETR

Las necesidades hídricas del cultivo están determinadas por la siguiente ecuación:

$$ETR_c = K_c * ETP \quad (36)$$

Donde:

ETR_i = Evapotranspiración real del cultivo al inicio del día i , mm/día.

kc = Coeficiente de cultivo (kc) estimado a partir de las unidades calor (UCA).

ETP = Evapotranspiración potencial estimada a partir del modelo de Jensen-Haise, mm/día.

Determinación de la Percolación Profunda (PP_i)

Se considera percolación profunda a la lámina de agua que se infiltra por debajo de la zona radicular del cultivo, debido a que a rebasado la capacidad de almacenamiento del suelo. Cuando se aplica una lámina de agua ya sea de riego o precipitación efectiva en cantidades mayores a la que un suelo puede retener a una cierta profundidad, esta se infiltrará mas allá de la zona radicular, por lo que no estará disponible para la planta.

$$Lr_i = \theta_{cc} - \theta_i \quad (37)$$

La ecuación anterior representa la lámina de riego para llevar el suelo de un contenido inicial de humedad a capacidad de campo en el día i , por ejemplo si se presentara un lluvia en el día i la percolación probable sería:

$$PP_i = (\theta_{cc} - \theta_i) - Pe \quad (38)$$

Donde:

PP_i = Percolación probable en el día i , mm.

Determinación de la lámina de riego final (Lr_{i+1})

Los riegos deberán cuantificarse e incorporarse en la ecuación general de balance de humedad, la lámina de riego será solo la suficiente para restablecer el nivel de humedad a una cierta profundidad radical y aun nivel de abatimiento permitido, la ecuación es la siguiente:

$$Lr_{i+1} = \frac{(cc - pmp) * Da * Pr * f}{100} \quad (39)$$

Donde:

Lr_{i+1} = Lámina de riego el día $i+1$, (cm)

cc = Capacidad de campo

pmp = Punto de marchitez

f = Factor de abatimiento hídrico

Pr = Profundidad radical, (cm).

Da = Densidad aparente (gr/cm^3)

RESULTADOS

Curvas de Tensión de Humedad del Suelo

La figura 4.1 muestra el comportamiento de las curvas de tensión del suelo, se observa que la Localidad El Tunal presenta el más bajo contenido de humedad del suelo para los diferentes rangos de tensiones aplicados en relación a las demás localidades, la Localidad El Cristal presenta el contenido de humedad más alto en los primeros dos bares de tensión.

Las figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 representan las curvas de tensión de humedad del suelo en cada una de las localidades, así como la ecuaciones generadas al ajustar los datos observados.

Las curvas representan los niveles de humedad a diferentes tensiones partiendo desde 0.3 atmósferas, considerando que el suelo está a capacidad de campo, hasta 15 atmósferas, tensión en la que el suelo alcanza el punto de marchitez permanente, los niveles de humedad se representan en milímetros por metro.

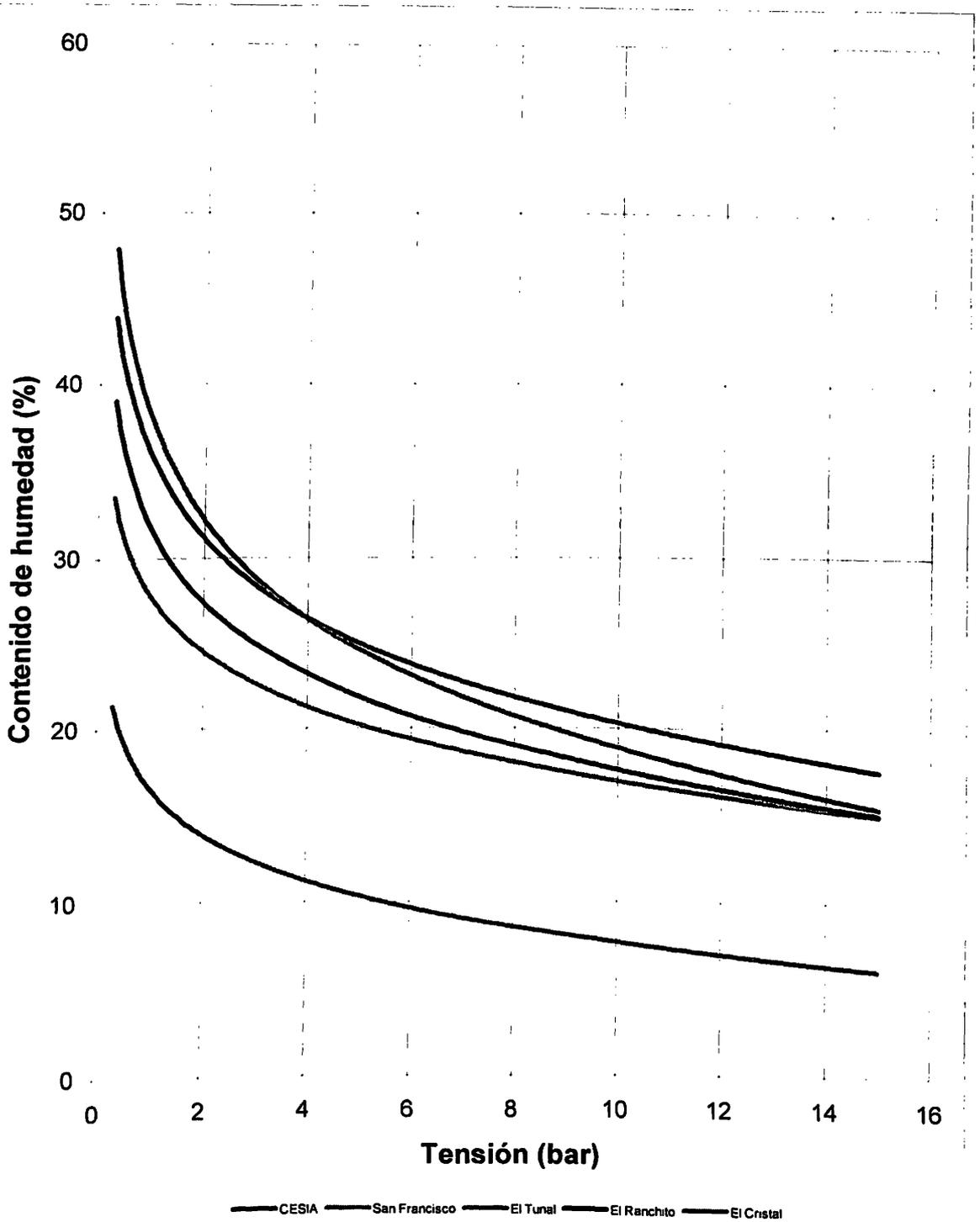


Figura 4.1. Comportamiento de las curvas de tensión de humedad del suelo en cada una de las localidades.

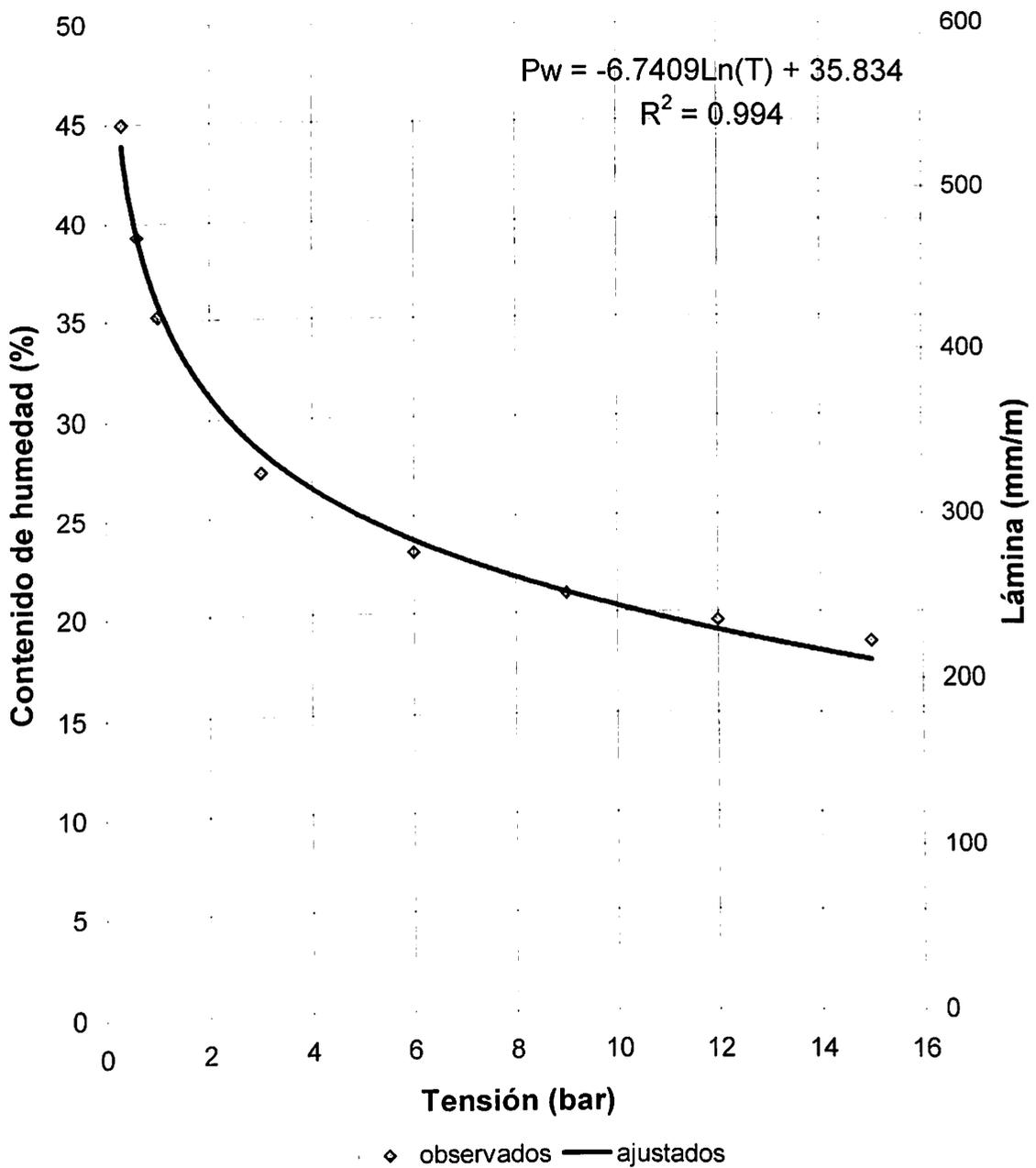


Figura 4.2. Curva de tensión de humedad del suelo con ajuste logarítmico para la Localidad CESIA.

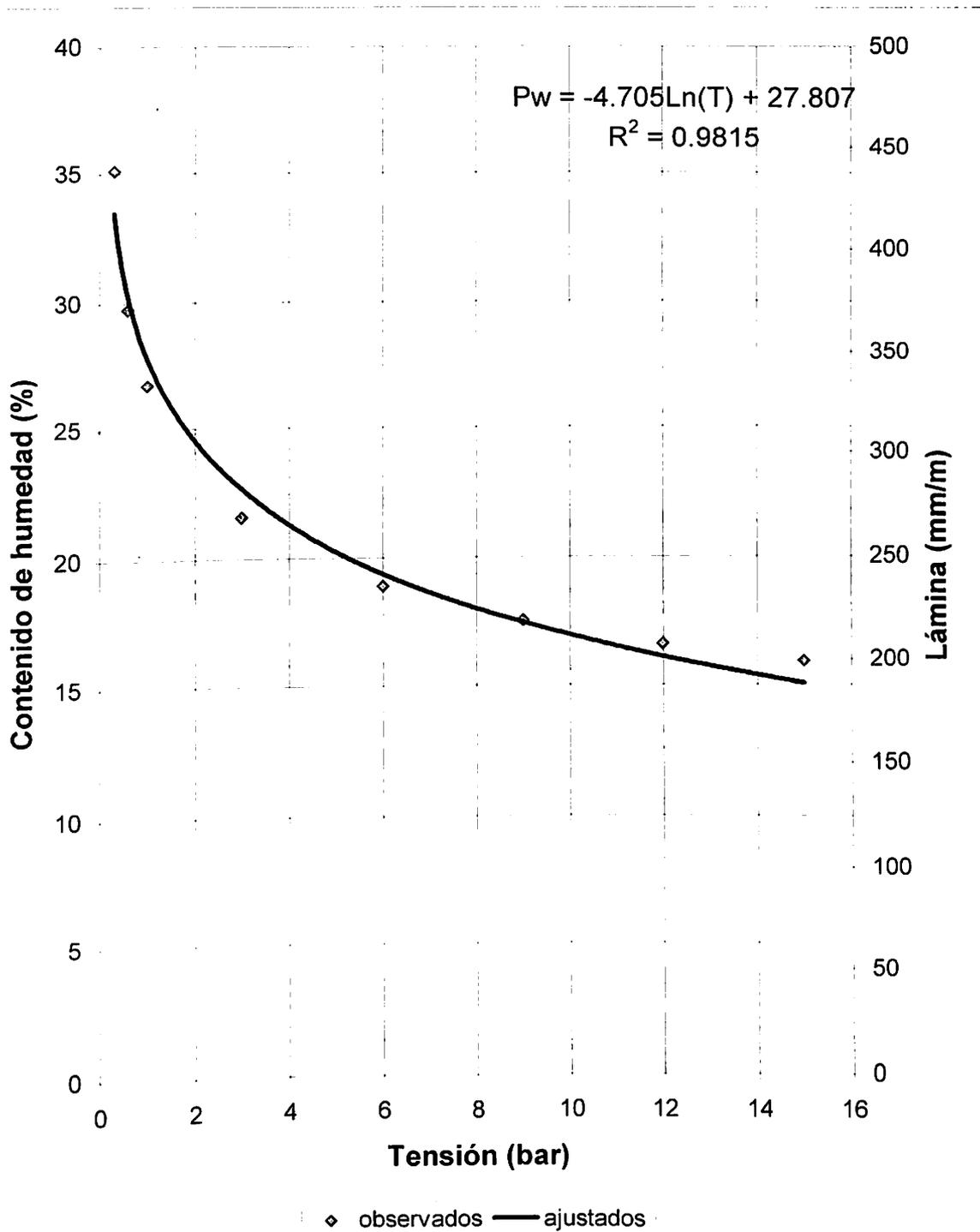


Figura 4.3. Curva de tensión de humedad del suelo con ajuste logarítmico para la Localidad San Francisco.

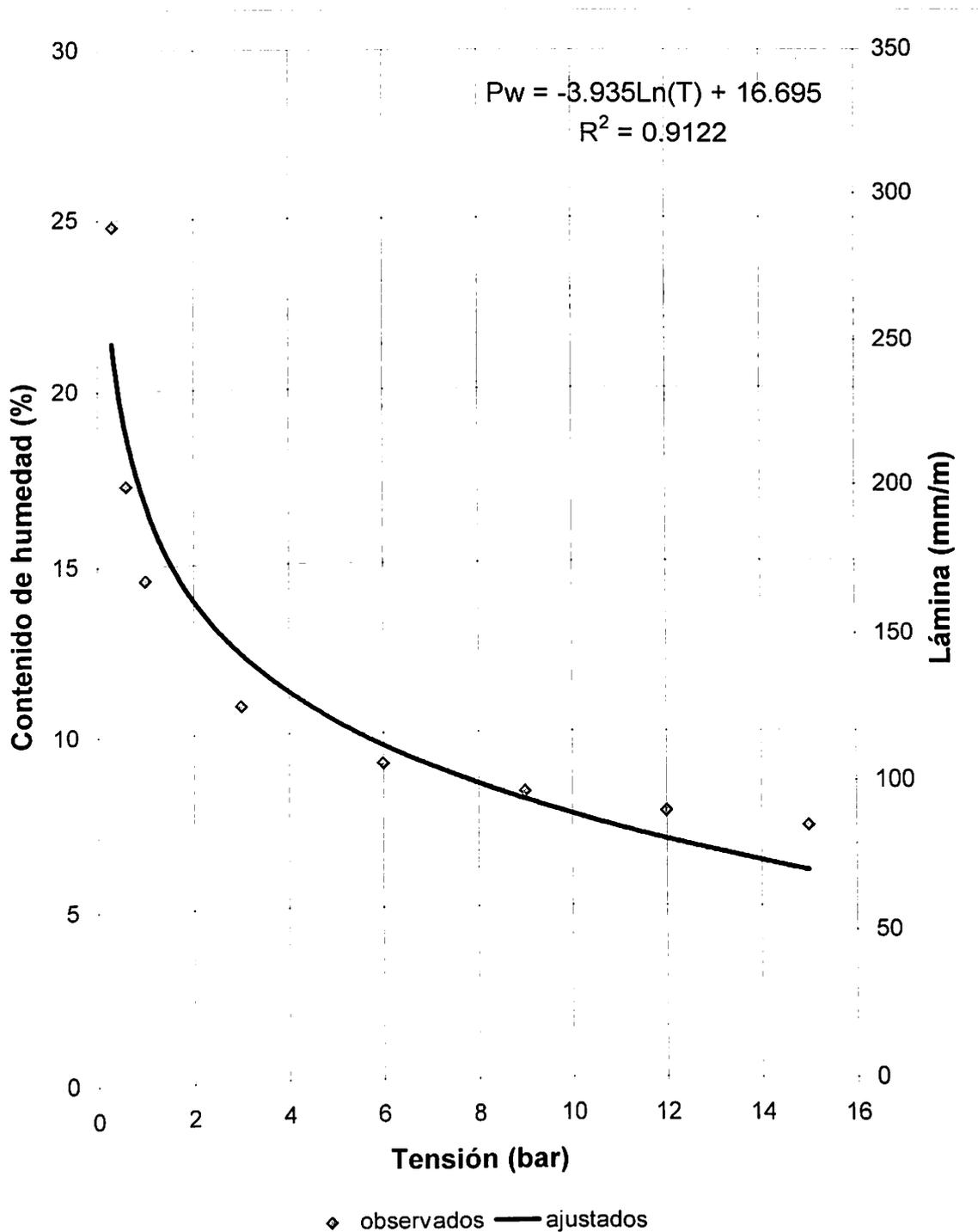


Figura 4.4. Curva de tensão de umidade do solo com ajuste logarítmico para Localidade El Tunal.

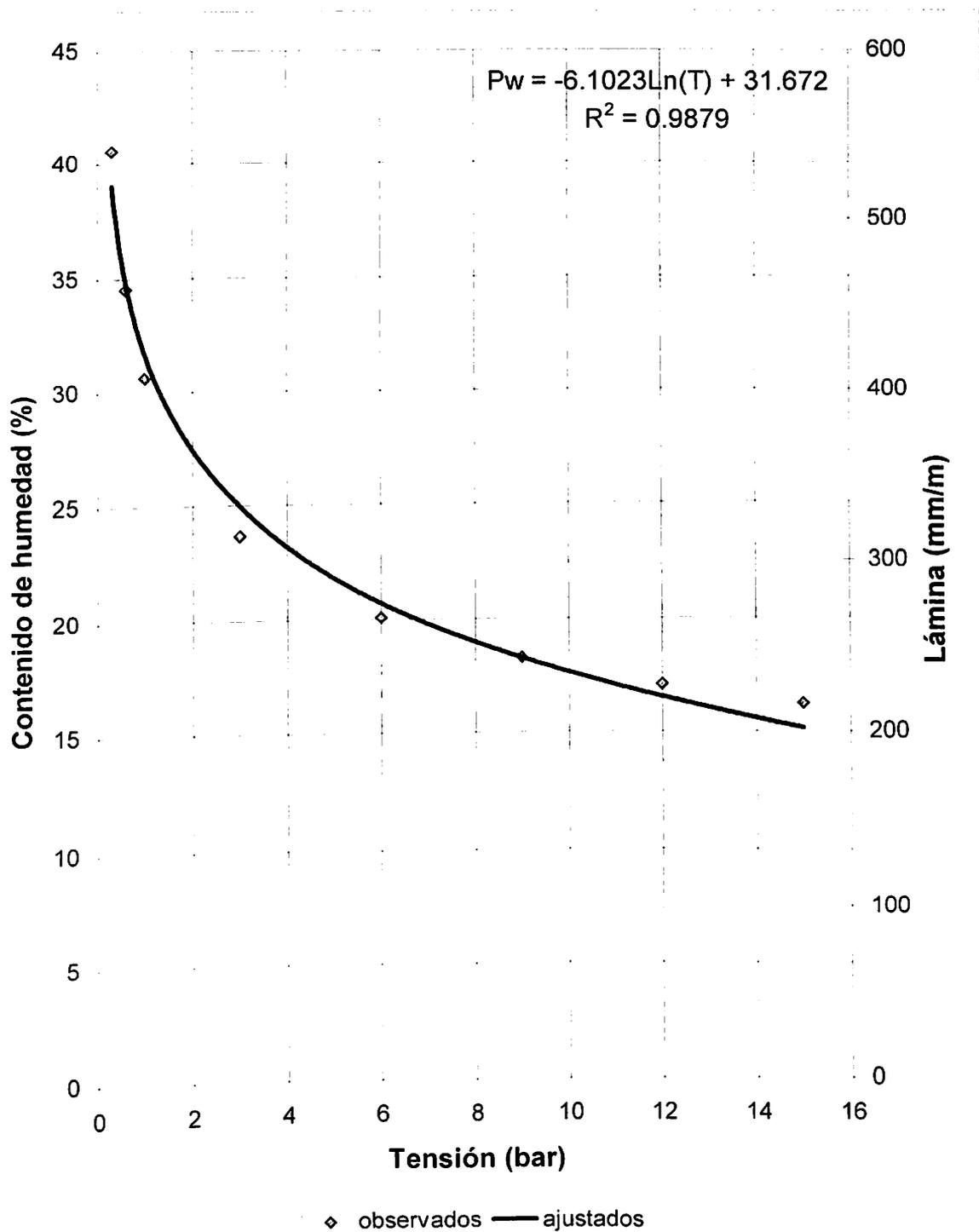


Figura 4.5. Curva de tensión de humedad del suelo con ajuste logarítmico para la Localidad El Ranchito.

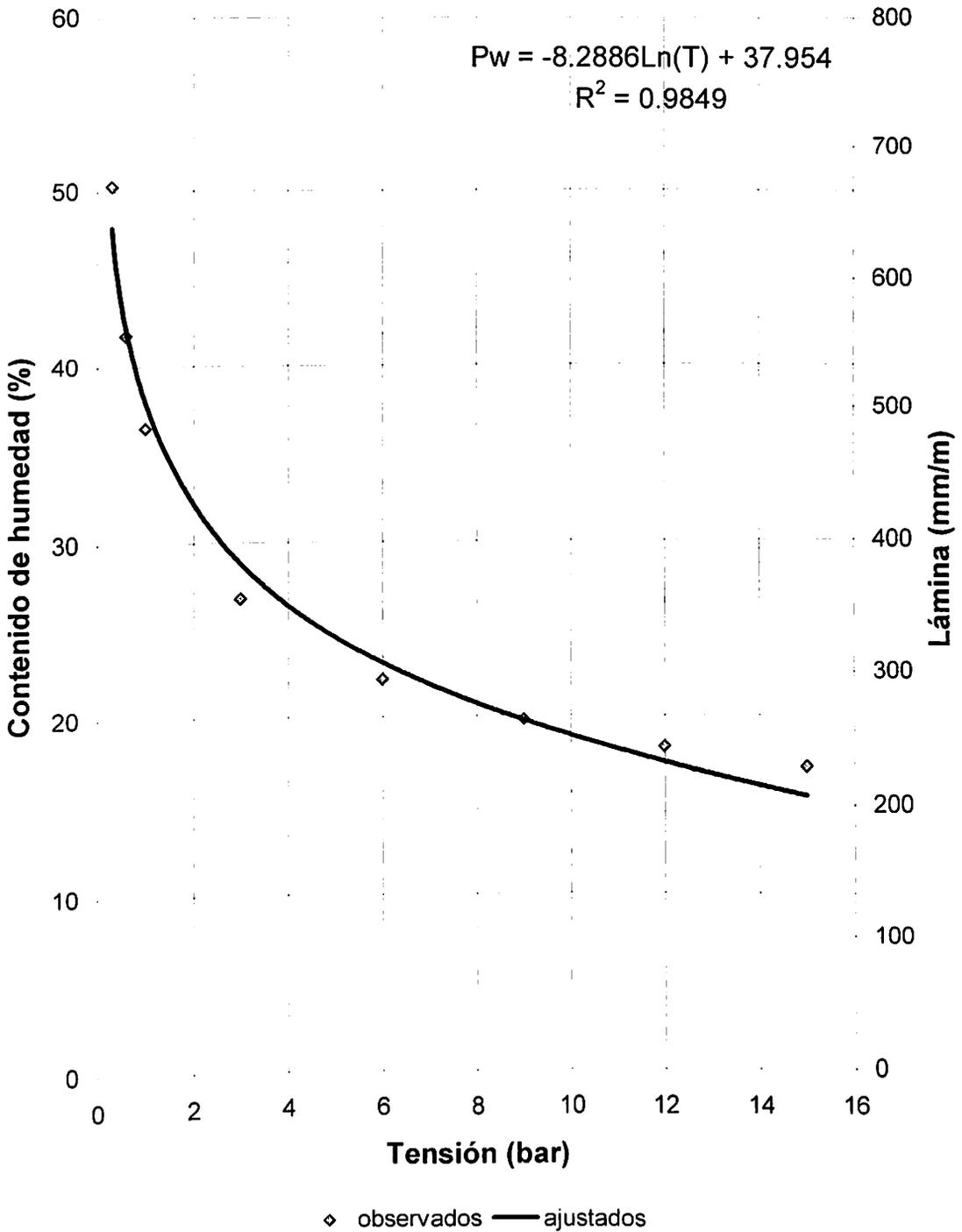


Figura 4.6. Curva de tensión de humedad del suelo con ajuste logarítmico para la Localidad El Cristal.

Establecimiento y Monitoreo del nivel de humedad del suelo por medio de tensiómetros.

Los resultados de las observaciones de la humedad en el suelo en cada una de las localidades se muestran en la figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11.

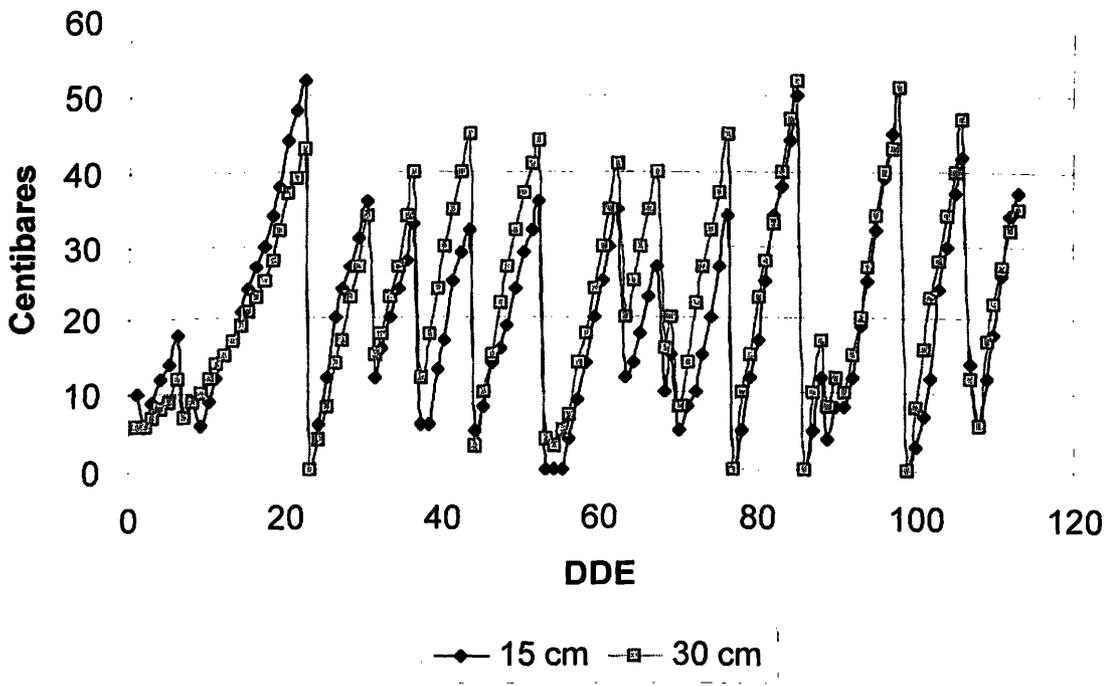


Figura 4.7. Comportamiento de los niveles de humedad del suelo en la localidad CESIA, bajo sistema de riego side-roll.

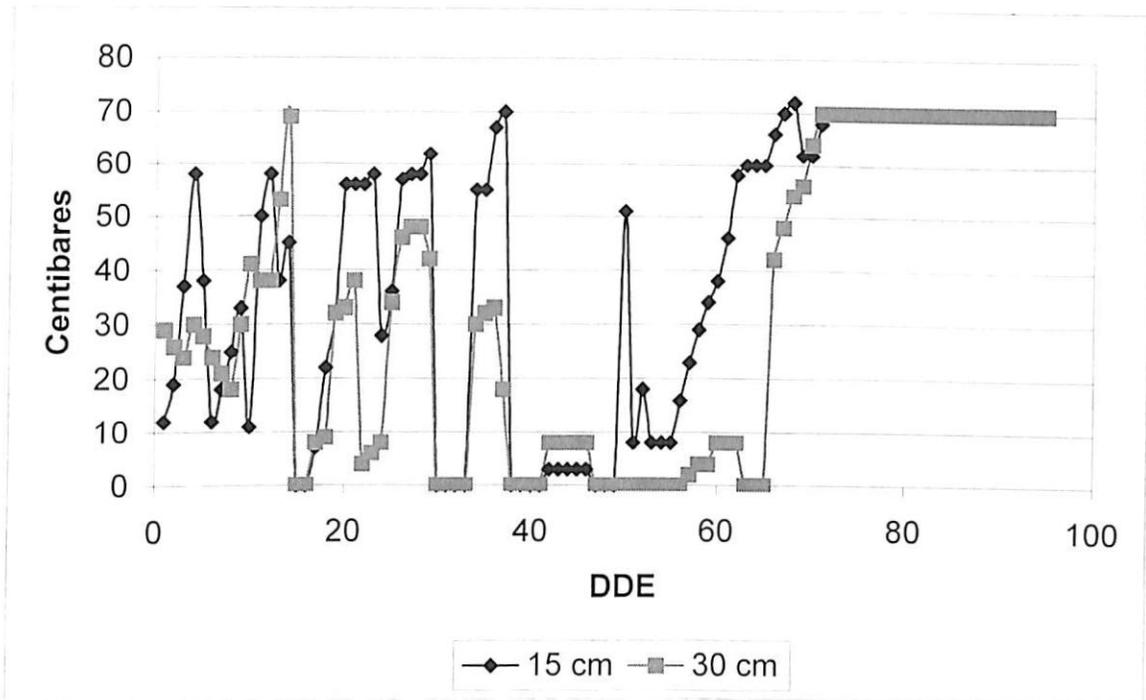


Figura 4.8. Comportamiento de los niveles de humedad del suelo en la localidad San Francisco, bajo sistema de riego side-roll.

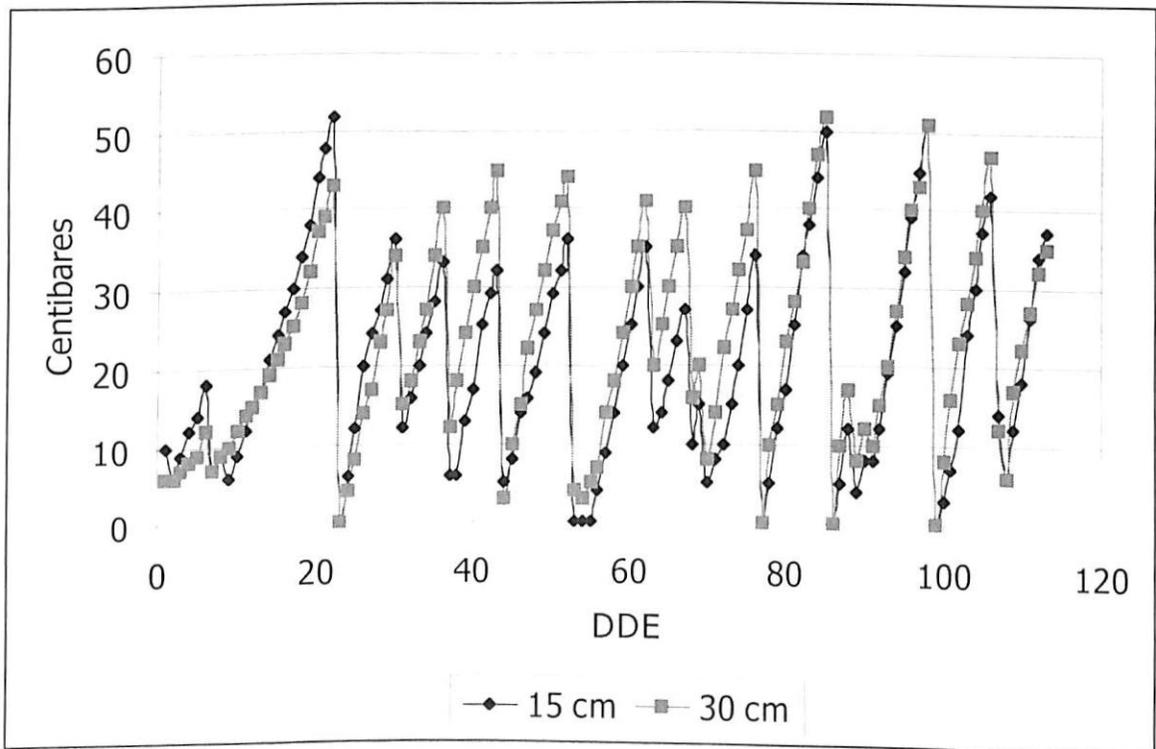


Figura 4.9. Comportamiento de los niveles de humedad del suelo en la localidad El Ranchito, bajo sistema de riego por goteo.

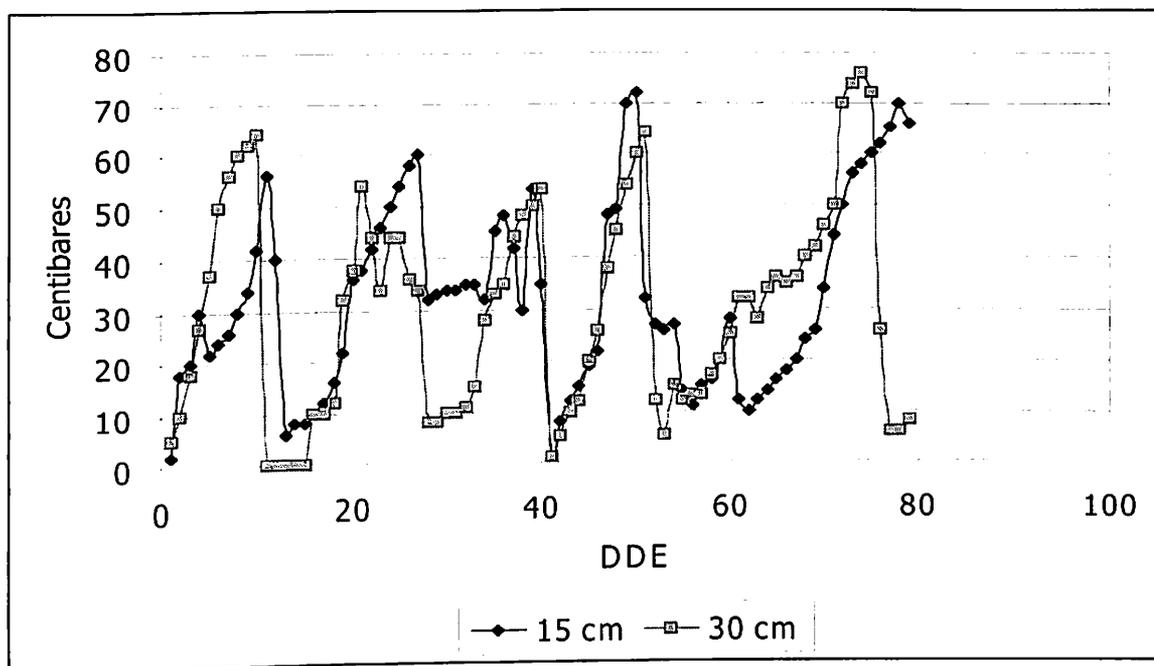


Figura 4.10. Comportamiento de los niveles de humedad del suelo en la localidad El Tunal, bajo sistema de riego por goteo.

Se observan variaciones de la humedad del suelo para los dos estratos considerados, en algunos casos se observan variaciones uniformes, ejemplo figuras 4.7 y 4.8; en el caso de la localidad San Francisco y El tunal las cuales corresponden las figuras 4.9 y 4.10 las variaciones entre las dos profundidades no son uniformes.

Monitoreo de los Parámetros Climáticos por medio de las Estaciones Climáticas Automáticas (ECA)

Con la base de datos de los parámetros climáticos medidos en campo por medio de las estaciones climáticas automáticas se estimó la evapotranspiración potencial del cultivo de papa mediante los métodos de estimación: Penman, Jensen-Haise y Blaney Criddle los datos obtenidos se encuentran concentrados en el apéndice B.

La figura 4.11 representa el comportamiento de la evapotranspiración potencial en cada una de las localidades, la máxima evapotranspiración se presenta en la Localidad el Cristal y la mínima en la Localidad el Tunal.

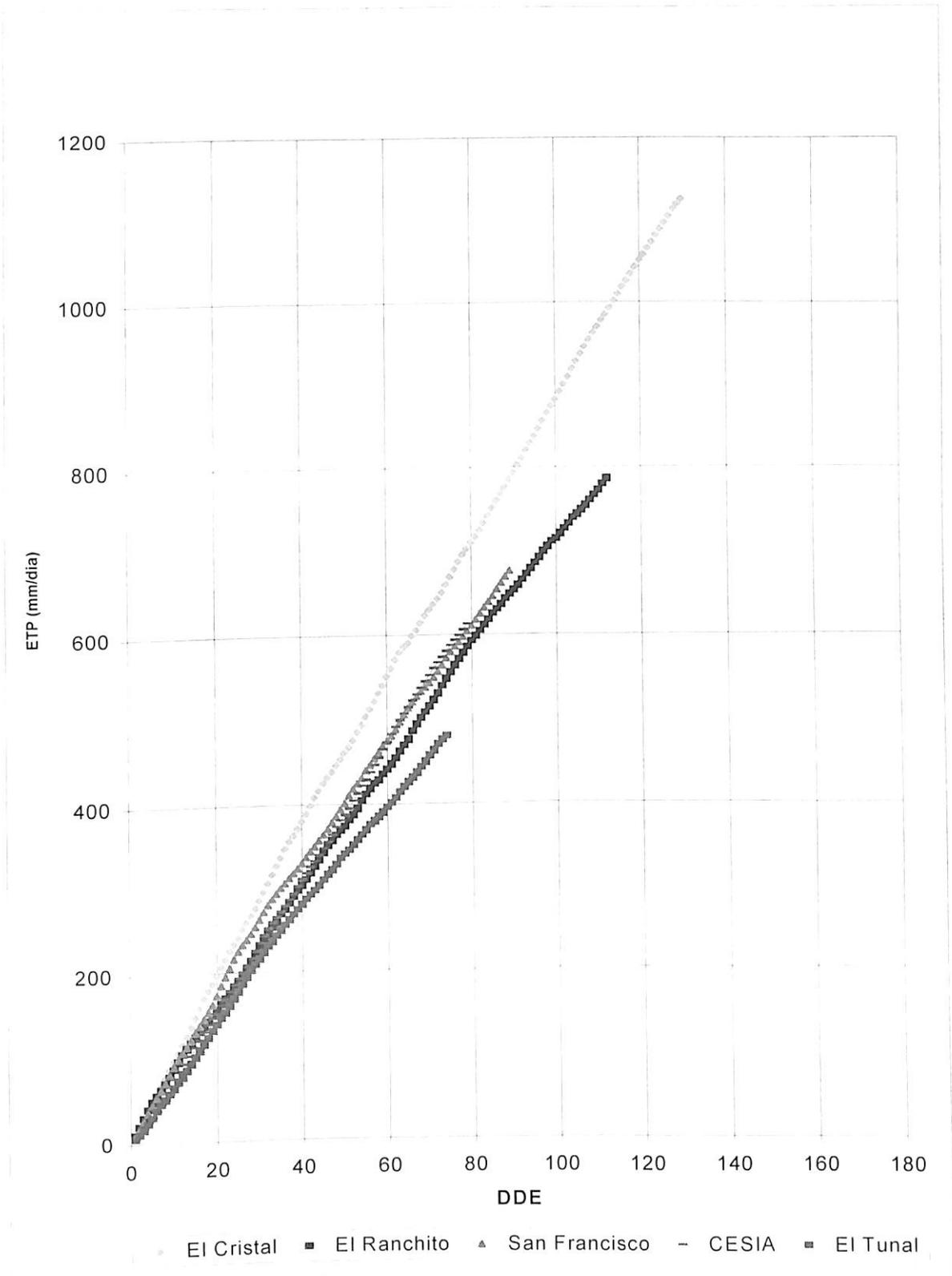


Figura 4.11. Evapotranspiración potencial estimada por el método de Jensen-Haise en el cultivo de papa para cada una de las localidades.

Consumos de Agua por el Cultivo de Papa

La figura 4.12 muestra el comportamiento del consumo de agua, se aprecia un consumo máximo para la localidad CESIA de 9.32 mm/día a los 36 días después de la emergencia, San Francisco de 8.23 mm/día a los 28 después de emergencia, El Ranchito y El tunal presentan consumos similares.

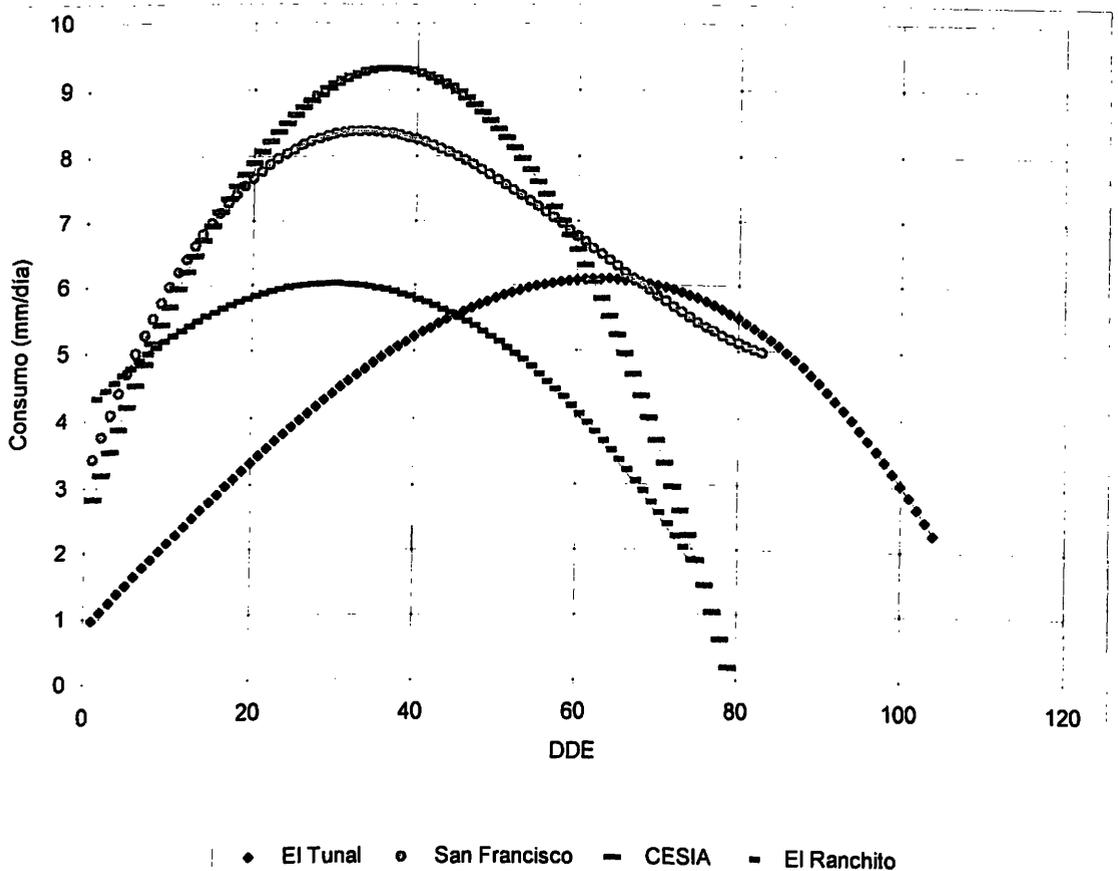


Figura 4.12. Comportamiento de los consumos de agua por el cultivo de la papa en cada una de las localidades.

En los consumos acumulados durante el ciclo de cultivo fueron para la Localidades, El tunal: 462.48 mm, San Francisco: 565.98 mm, CESIA: 522.61

mm y El Ranchito: 364.92 mm, estos consumos se representan en la figura 4.12.

En la Localidad de El Cristal, Municipio de Galeana Nuevo León los riegos fueron aplicados mediante un pivote central por lo que no fue posible obtener los consumos de agua debido a que las condiciones de humedad en el cultivo estuvieron siempre fuera del rango de operación de los tensiómetros, es decir arriba de los 70 centibares, lo que ocasiona que las lecturas de estos no sean confiables.

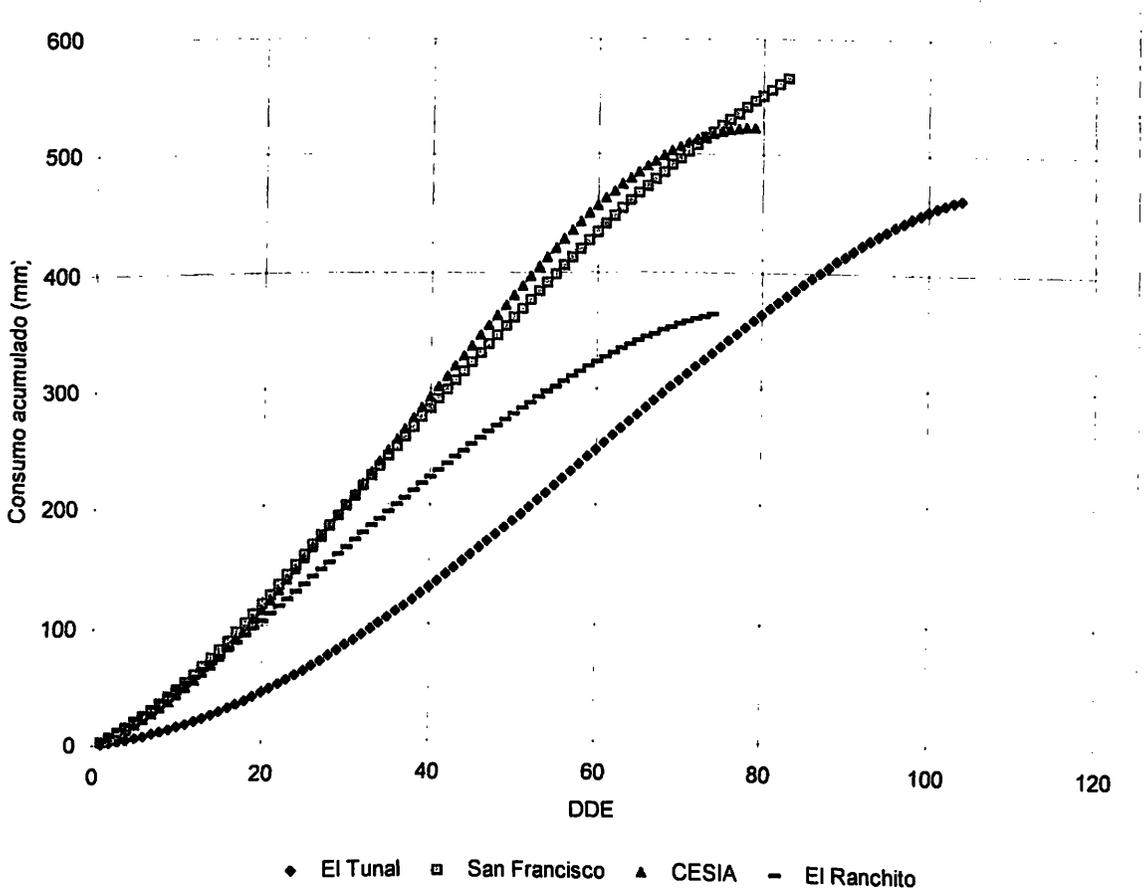


Figura 4.13. Consumo acumulado de agua en cada una de las localidades.

Correlación y Selección Estadística del Mejor Método de Estimación de la Evapotranspiración Potencial (ETP)

Evaluación de los métodos de estimación de la ETP

Se realizó una comparación y evaluación de la eficiencia de los métodos para estimar la evapotranspiración mediante un análisis de los errores reducidos, debido a que la evapotranspiración estimada es generalmente en algo diferente a los valores reales determinados en campo (ET_r), de este forma tenemos una serie de n valores medidos, $Z(x_i)$, siendo posible obtener una serie de n valores estimados para localidades idénticas, $Z(x_i)$. Por lo tanto, al calcular una serie de n errores reducidos, permite hacer inferencias estadísticas., es decir, bajo la asunción de distribución normal de los errores reducidos, se plantea la siguiente hipótesis:

$$H_0 : m_R = 0$$

$$H_a : m_R \neq 0$$

Donde:

m corresponde a la media de los errores reducidos de tal forma que:

$$t_c = \frac{\bar{n}(x - m)}{S} \quad (45)$$

Donde:

n , es el número total, x la media y S la desviación estándar de la serie de los errores reducidos. Bajo la teoría de la normalidad, t_c se distribuye como una t-student con $n-1$ grados de libertad (g.l) si y solo si $H_0 : m_R = 0$ es cierta. La regla de decisión es: Rechazar $H_0 : m_R = 0$ si $t_c \geq t_{\alpha/2(n-1)g.l}$. (Ostle, 1983). α es el nivel de significancia. Un intervalo de confianza para m_R , basado sobre la distribución t-student, con una confianza del 95 por ciento (Snedecor y Cochran, 1967) esta dado por:

$$x - t_{0.05(n-1)g.l} \frac{S}{n} \leq m_R \leq x + t_{0.05(n-1)g.l} \frac{S}{n} \quad (46)$$

De la misma forma, bajo la asunción de normalidad, se plantea la siguiente hipótesis:

$$H_0 : \sigma_R^2 = 1$$

$$H_a : \sigma_R^2 \neq 1$$

Donde:

σ_R^2 corresponde a la varianza de los errores reducidos bajo la teoría de normalidad:

$$X_c^2 = \frac{(n-1)S}{\sigma_R^2} \quad (47)$$

De esta forma X^2 se distribuirá como una X^2 con $(n-1)$ g.l. si y solo si $H_0 : \sigma_R^2 = 1$ es cierta, la regla de decisión es: se rechaza $H_0 : \sigma_R^2 = 1$ si $X_c^2 \geq X_{\alpha/2, (n-1)g.l.}^2$ o si $X_c^2 \leq X_{1-\alpha/2, (n-1)g.l.}^2$ (Ostle, 1983).

Bajo la teoría normal, un intervalo de confianza para σ_R^2 con un 95 por ciento de confiabilidad (Snedecor y Cochran, 1967) es igual a:

$$\frac{\sum_{i=1}^n [r(x_p)]^2}{X_{(0.025), (n-1)g.l.}^2} \leq \sigma_R^2 \leq \frac{\sum_{i=1}^n [r(x_p)]^2}{X_{(0.975), (n-1)g.l.}^2} \quad (48)$$

Los resultados correspondientes a los errores reducidos para los valores de evapotranspiración en la Localidad CESIA se muestran en el Cuadro A.1 del apéndice A:

De los Cuadros A.1, A.2, A.3 y A.4, asumiendo distribución normal de los errores reducidos, se plantea la hipótesis de:

$$H_0: m_R = 0$$

$$H_a: m_R \neq 0$$

Siendo m_R la media de los errores reducidos, de tal forma que, aplicando la ecuación (45) se tiene:

$$t_c = \frac{\bar{x} - m}{S}$$

Cuadro 4.1. Valores de t_c para cada una de las localidades

Localidad	Método	n	$\frac{1}{n}$	$X - m$	S	t_c
CESIA	Blaney-C	73	0.1170	0.607	1	5.18621027
	Jensen-H	73	0.1170	-0.336	1	-2.87078526
	Penman	73	0.1170	0.548	1	4.68211405
San Francisco	Blaney-C	89	0.1061	1.97	1.001	18.5663765
	Jensen-H	89	0.1060	-0.149	1	-1.40566319
	Penman	89	0.1060	2.067	1	19.500039
El Ranchito	Blaney-C	112	0.0520	0.612	0.55	11.7759986
	Jensen-H	112	0.0945	0.741	1	7.84200689
	Penman	112	0.0945	1.247	1	13.1970075
El Tunal	Blaney-C	74	0.1162	0.252	1	2.16778597
	Jensen-H	74	0.1162	0.124	1	1.06668833
	Penman	74	0.1162	1.175	1	10.1077322

La regla de decisión es:

Rechazar $H_0: m_R = 0$ si $|tc| \geq t_{\alpha/2(n-1), g.l.}$.

El nivel de significancia para α de $t_{\alpha/2(n-1), g.l.}$ es 0.5.

Cuadro 4.2. Comparación de tc con respecto a $t_{\alpha/2(n-1), g.l.}$ para la prueba de hipótesis $H_0: m_R = 0$

Localidad	Método	$t_{\alpha/2(n-1), g.l.}$	$ tc \geq t_{\alpha/2(n-1), g.l.}$
CESIA	Blaney-C	$T_{0.025}(72), g.l = 2.008$	$ 5.18621027 \geq 2.008$
	Jensen-H	$T_{0.025}(72), g.l = 2.008$	$ -2.87078526 \geq 2.008$
	Penman	$T_{0.025}(72), g.l = 2.008$	$ 4.68211405 \geq 2.008$
San Francisco	Blaney-C	$T_{0.025}(88), g.l = 2.0186$	$ 18.5663765 \geq 2.0186$
	Jensen-H	$T_{0.025}(88), g.l = 2.0186$	$ -1.40566319 \geq 2.0186$
	Penman	$T_{0.025}(88), g.l = 2.0186$	$ 19.500039 \geq 2.0186$
El Ranchito	Blaney-C	$T_{0.025}(111), g.l = 2.034$	$ 11.7759986 \geq 2.034$
	Jensen-H	$T_{0.025}(111), g.l = 2.034$	$ 7.84200689 \geq 2.034$
	Penman	$T_{0.025}(111), g.l = 2.034$	$ 13.1970075 \geq 2.034$
El Tunal	Blaney-C	$T_{0.025}(73), g.l = 2.008$	$ 2.16778597 \geq 2.008$
	Jensen-H	$T_{0.025}(73), g.l = 2.008$	$ 1.06668833 \geq 2.008$
	Penman	$T_{0.025}(73), g.l = 2.008$	$ 10.1077322 \geq 2.008$

Un intervalo de confianza basado sobre la distribución t-student, con una confiabilidad del 95 por ciento, de acuerdo a la ecuación (46) fue:

$$x - t_{0.05(n-1), g.l} \frac{S}{n} \leq m_R \leq x + t_{0.05(n-1), g.l} \frac{S}{n}$$

Cuadro 4.3. Cálculo de los intervalos de confianza.

Localidad	Método	$t_{0.05(n-1),g.l.}$	$X - t_{0.05(n-1),g.l.} S / \sqrt{n}$	$X + t_{0.05(n-1),g.l.} S / \sqrt{n}$
CESIA	Blaney-C	2.008	0.37198	2.008
	Jensen-H	2.008	-0.57102	2.008
	Penman	2.008	0.31298	2.008
San Fco	Blaney-C	2.018666	1.75581	2.018666
	Jensen-H	2.018666	-0.36298	2.018666
	Penman	2.018666	1.85302	2.018666
El Ranchito	Blaney-C	2.034	0.50629	2.034
	Jensen-H	2.034	0.54881	2.034
	Penman	2.034	1.05481	2.034
El Tunal	Blaney-C	2.0086	0.01850	2.0086
	Jensen-H	2.0086	-0.10950	2.0086
	Penman	2.0086	0.94150	2.0086

Cuadro 4.4. Intervalos de confianza para m_R .

Localidad	Método	$X - t_{0.05(n-1),g.l.} S / \sqrt{n} \leq m_R \leq X + t_{0.05(n-1),g.l.} S / \sqrt{n}$
CESIA	Blaney-C	0.37198 $\leq m_R \leq$ 2.008
	Jensen-H	-0.57102 $\leq m_R \leq$ 2.008
	Penman	0.31298 $\leq m_R \leq$ 2.008
San Fco	Blaney-C	1.75581 $\leq m_R \leq$ 2.018
	Jensen-H	-0.36298 $\leq m_R \leq$ 2.018
	Penman	1.85302 $\leq m_R \leq$ 2.018
El Ranchito	Blaney-C	0.50629 $\leq m_R \leq$ 2.034
	Jensen-H	0.54881 $\leq m_R \leq$ 2.034
	Penman	1.05481 $\leq m_R \leq$ 2.034
El Tunal	Blaney-C	0.01850 $\leq m_R \leq$ 2.008
	Jensen-H	-0.10950 $\leq m_R \leq$ 2.008
	Penman	0.94150 $\leq m_R \leq$ 2.008

Asumiendo normalidad de los errores reducidos, se planteó la hipótesis

de:

$$H_0: \sigma^2_R = 1$$

$$H_a: \sigma^2_R \neq 1$$

Donde:

σ_R^2 corresponde a la varianza de los errores reducidos. Así, aplicando la ecuación (47) donde:

$$X_c^2 = \frac{(n-1)S}{\sigma_R^2}$$

Cuadro 4.5. Cálculo de χ_c^2 para la prueba de hipótesis.

Localidad	Método	σ_R^2	χ_c^2	$\chi^2_{\alpha/2}(n-1), g.l.$	$\chi_c^2 \geq \chi^2_{\alpha/2}(n-1), g.l.$
CESIA	Blaney-C	1	72	97.32	72 \geq 97.32
	Jensen-H	1	72	97.32	72 \geq 97.32
	Penman	1	72	97.32	72 \geq 97.32
San Fco	Blaney-C	1	88.09	115.8	88.09 \geq 115.8
	Jensen-H	0.999	88.09	115.8	88.09 \geq 115.8
	Penman	0.999	88.09	115.8	88.09 \geq 115.8
El Ranchito	Blaney-C	0.302	202.15	141.55	202.15 \geq 141.55
	Jensen-H	1	111	141.55	111 \geq 141.55
	Penman	1	111	141.55	111 \geq 141.55
El Tunal	Blaney-C	0.999	73.07	98.48	73.07 \geq 98.48
	Jensen-H	0.999	73.07	98.48	73.07 \geq 98.48
	Penman	1	73	98.48	73 \geq 98.48

La regla de decisión fue: se rechaza $H_0: \sigma_R^2 = 1$ si $X_c^2 \geq X^2_{\alpha/2, (n-1)g.l.}$ o si

$X_c^2 \leq X^2_{1-\alpha/2, (n-1)g.l.}$. El nivel de significancia de α es de 0.05.

Por lo tanto no se rechaza $H_0: \sigma_R^2 = 1$ bajo un nivel de significancia de α de 0.05.

Un intervalo de confianza para $H_0: \sigma_R^2$ con un 95 por ciento de confiabilidad de acuerdo a la ecuación (48) es:

$$\frac{\sum_{i=1}^n [r(x_p)]^2}{\chi^2_{(0.025), (n-1)g.l.}} \leq \sigma_R^2 \leq \frac{\sum_{i=1}^n [r(x_p)]^2}{\chi^2_{(0.975), (n-1)g.l.}}$$

Cuadro 4.6. Cálculo de los intervalos de confianza para $H_0: \sigma_R^2$

Localidad	Método	$\sum_{i=1}^n [r(xp)]^2$	$\chi_{(0.025), (n-1), g.l.}^2$	$\chi_{(0.975), (n-1), g.l.}^2$
CESIA	Blaney-C	98.92	97.32	50.48
	Jensen-H	80.22	97.32	50.48
	Penman	93.9	97.32	50.48
San Fco	Blaney-C	433.6709	115.8	63.92
	Jensen-H	89.9291	115.8	63.92
	Penman	468.0648	115.8	63.92
El Ranchito	Blaney-C	75.5112	141.55	83.28
	Jensen-H	172.4659	141.55	83.28
	Penman	285.1976	141.55	83.28
El Tunal	Blaney-C	77.6766	98.48	51.32
	Jensen-H	74.1232	98.48	51.32
	Penman	175.1822	98.48	51.32

Cuadro 4.7. Intervalos de confianza para $H_0: \sigma_R^2$ con un 95 por ciento de confiabilidad.

Localidad	Método	$\frac{\sum_{i=1}^n [r(xp)]^2}{\chi^2_{(0.025), (n-1)g.l.}} \leq \sigma^2 \leq \frac{\sum_{i=1}^n [r(xp)]^2}{\chi^2_{0.975, (n-1)g.l.}}$
CESIA	Blaney-C	1.0164 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.9279
	Jensen-H	0.8243 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.9279
	Penman	0.9649 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.9279
San Fco	Blaney-C	3.7450 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.8116
	Jensen-H	0.7766 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.8116
	Penman	4.0420 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.8116
El Ranchito	Blaney-C	0.5335 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.6997
	Jensen-H	1.2184 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.6997
	Penman	2.0148 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.6997
El Tunal	Blaney-C	0.7888 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.9189
	Jensen-H	0.7527 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.9189
	Penman	1.7789 $\leq \sigma^2 \leq$ 1.9189

Cálculo de los Parámetros de Cultivo k_c , P_r y f

Coeficientes de Cultivo (k_c)

La figura 4.14 presenta el comportamiento del coeficiente de cultivo (k_c) estimado a partir de las unidades calor acumuladas para cada una de las localidades. Se observa un máximo requerimiento hídrico a las 600 y 800 UCA para las localidades de San Francisco y CESIA, las localidades de El Ranchito y El Tunal presentan menores requerimientos hídricos en comparación a las anteriores, estos se presentan a los 600-700 unidades calor acumuladas (UCA).

Las figuras 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18 presentan los modelos de coeficiente de cultivo (k_c) obtenidos al ajustar los valores de k_c observados en función de las unidades calor acumuladas para cada una de las localidades.

Profundidad Dinámica de la Raíz (P_r)

En la figura 4.19 presenta la profundidad dinámica de la raíz (P_r) del cultivo, se aprecia que la máxima profundidad radical alcanzada es de 0.70 m.

Máximo Déficit Permitido (f)

En la figura 4.20 se observa que el mínimo abatimiento permitido en cada localidad se presenta entre los 66 y 74 días después de la siembra, los valores de estos abatimientos están representados en el Cuadro 4.8.

Cuadro 4.8. Mínimo déficit permitido (f) en el cultivo de la papa en cada una de las localidades.

Localidad	UCA	DDS	F
CESIA	684.90	66	0.29
El Tunal	780	76	0.29
El Cristal	790.80	74	0.29
El Ranchito	780.95	74	0.29
San Francisco	779.80	66	0.29

Se observa que el mínimo déficit permitido se presenta entre los 680 y 790 unidades calor acumuladas.

1.8

1.6

1.4

1.2

Coefficiente de cultivo (Kc)

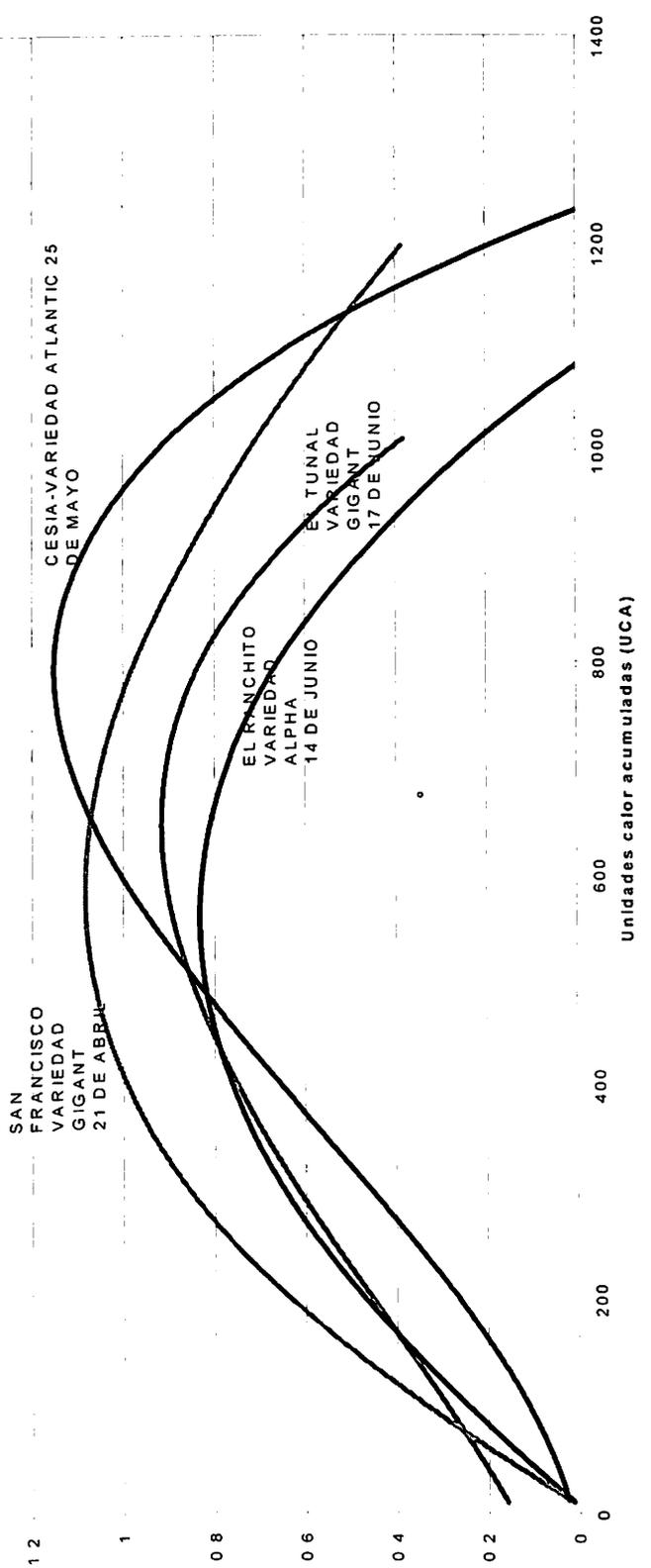


Figura 4.15. Comportamiento de Kc en papa estimado a partir de las unidades calor acumuladas en cada una de las Localidades en diferentes fechas de siembra.

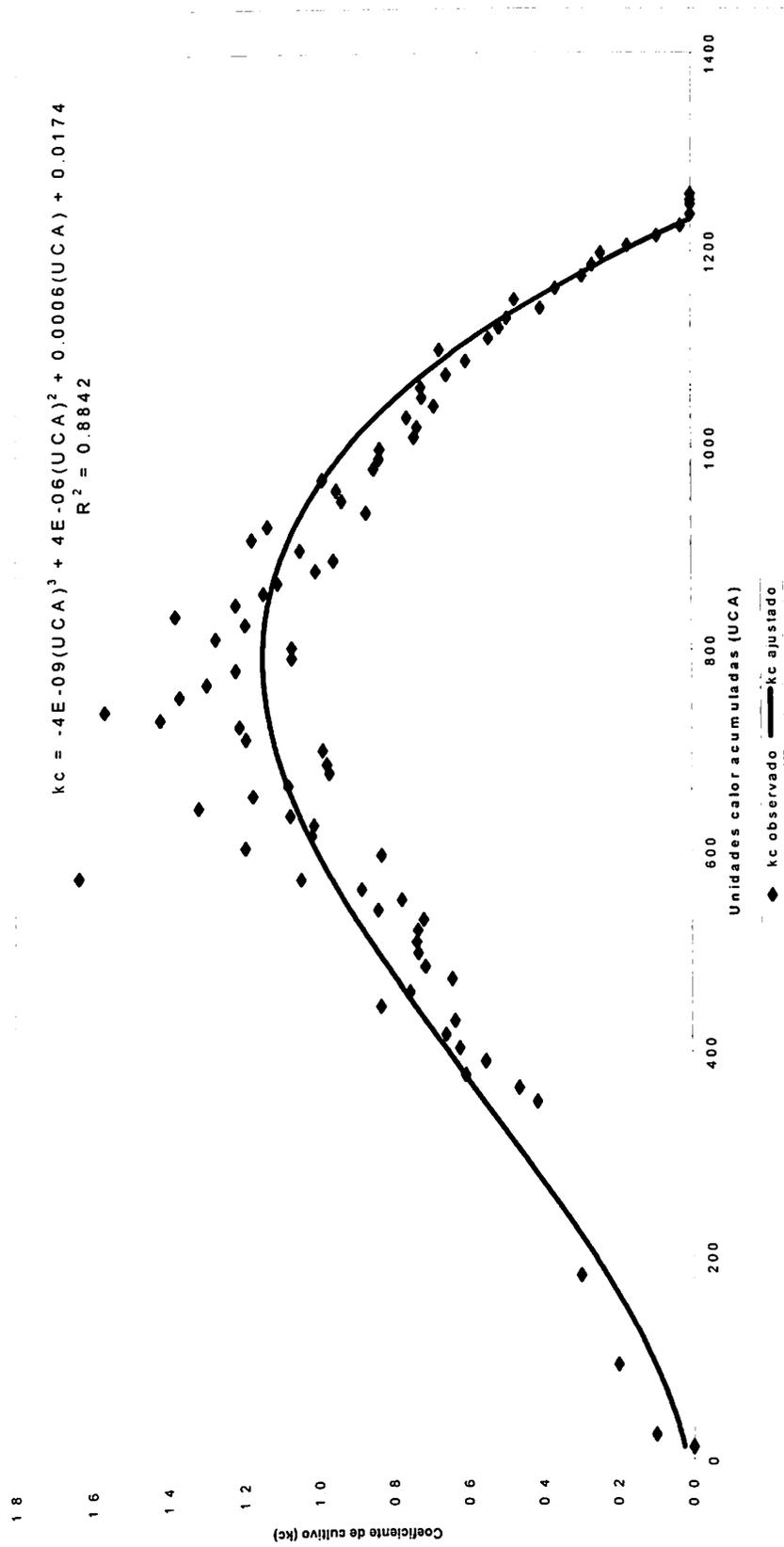


Figura 4.16. Coeficiente de cultivo para papa en función de las unidades calor (UCA) acumuladas en la Localidad CESIA.

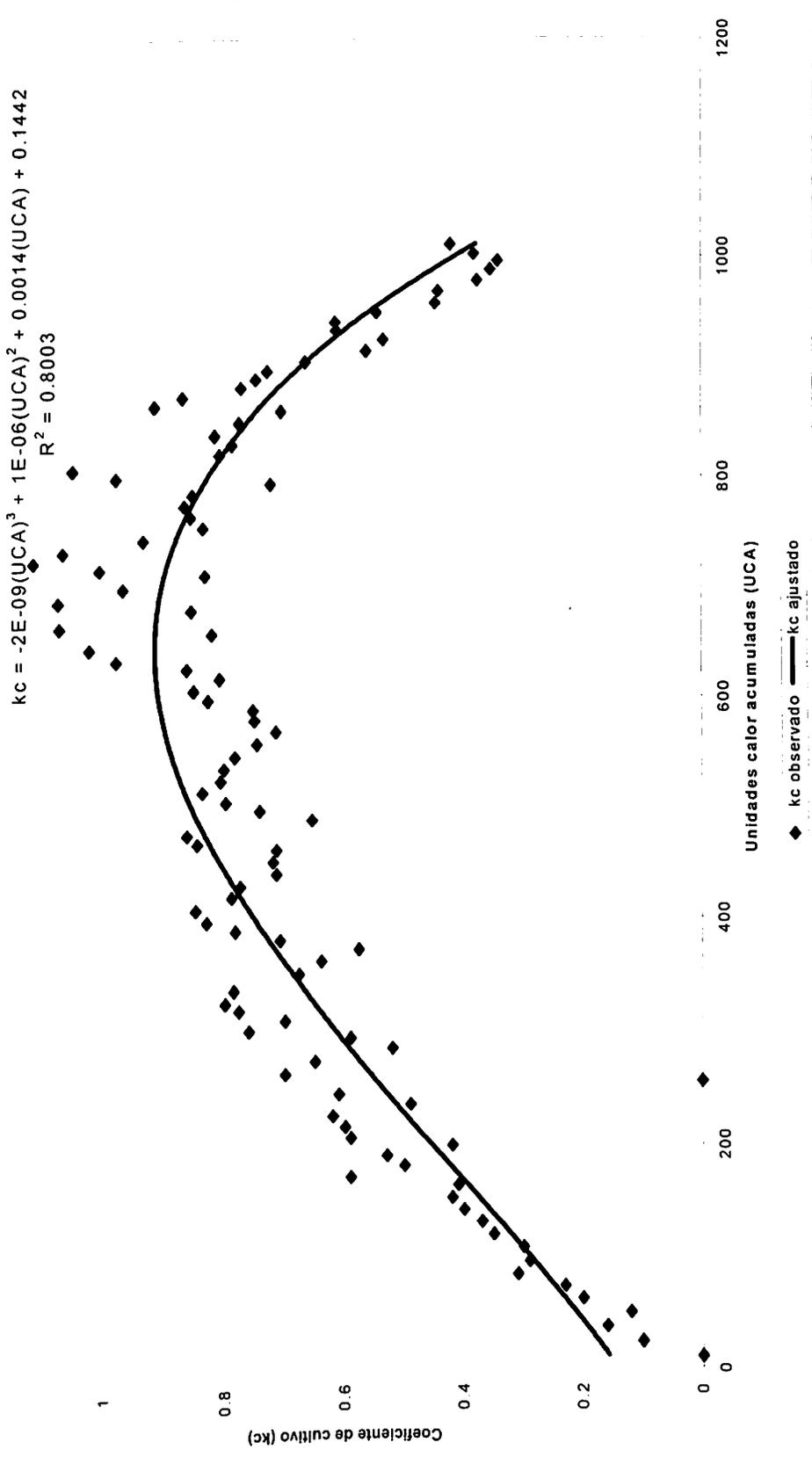


Figura 4.17. Coeficiente de cultivo para papa en función de las unidades calor (UCA) acumuladas en la Localidad El Tunal.

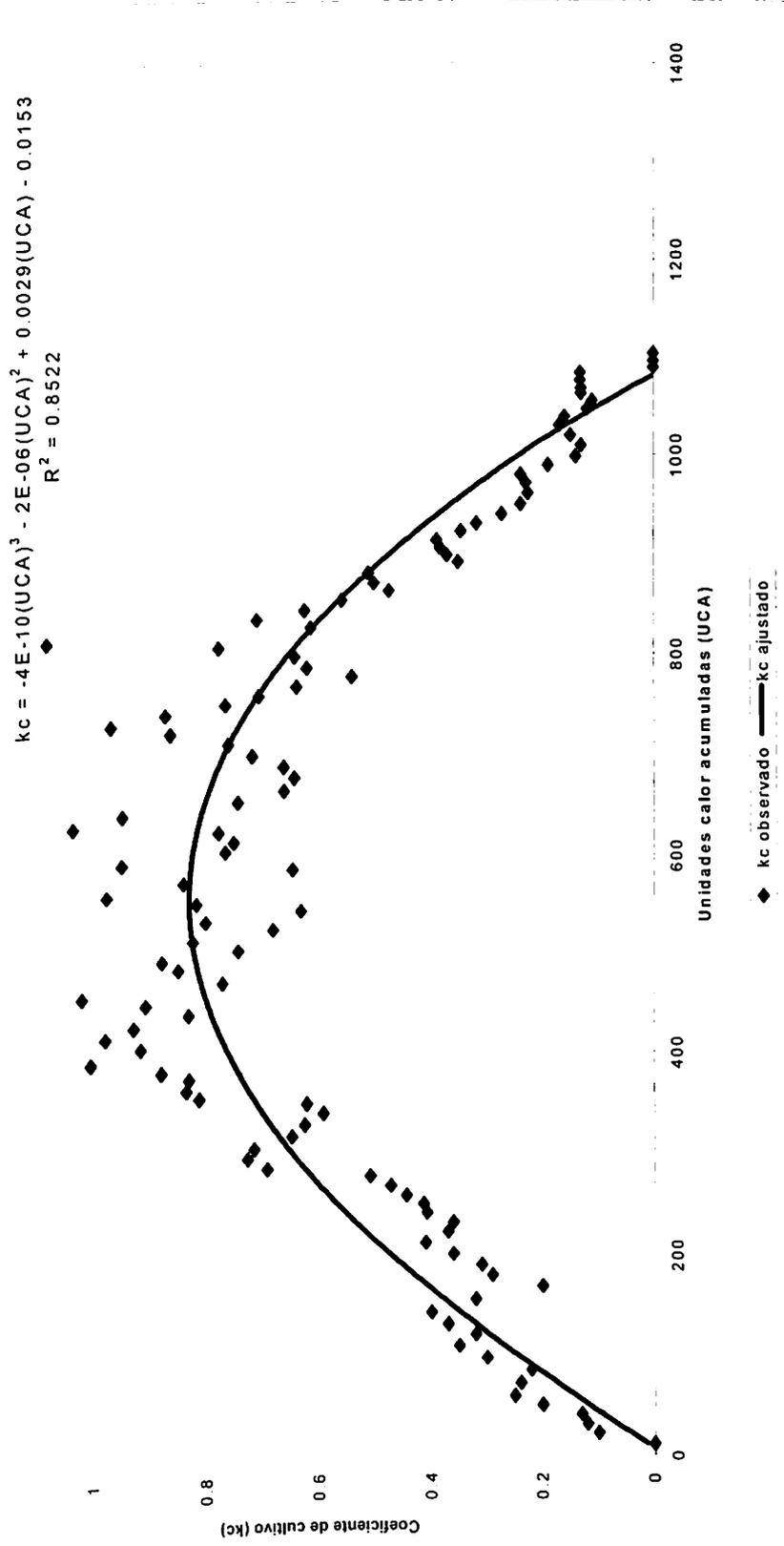


Figura 4.18. Coeficiente de cultivo para papa en función de las unidades calor (UCA) acumuladas en la Localidad El Ranchito.

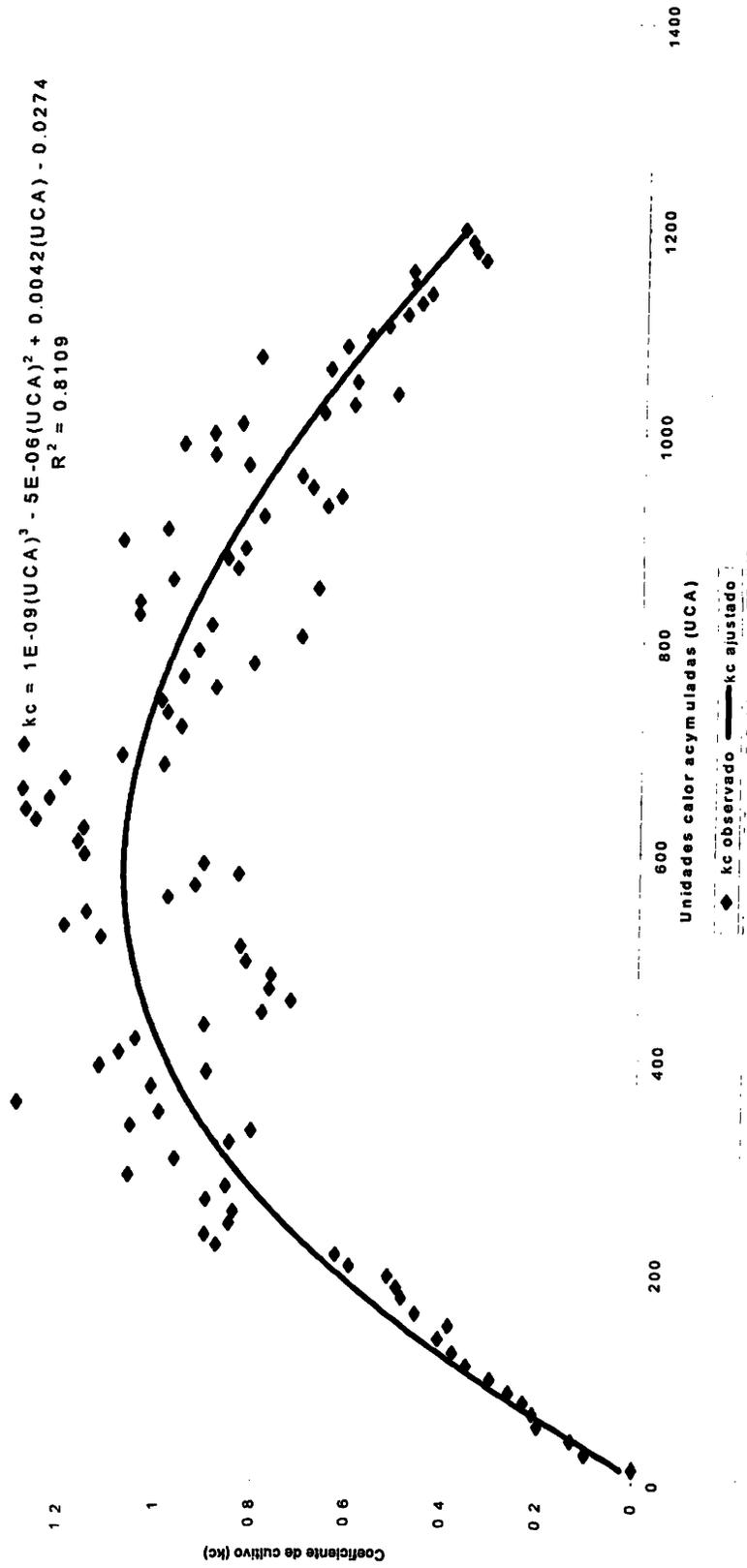


Figura 4.19. Coeficiente de cultivo para papa en función de las unidades calor (UCA) acumuladas en la Localidad San Francisco.

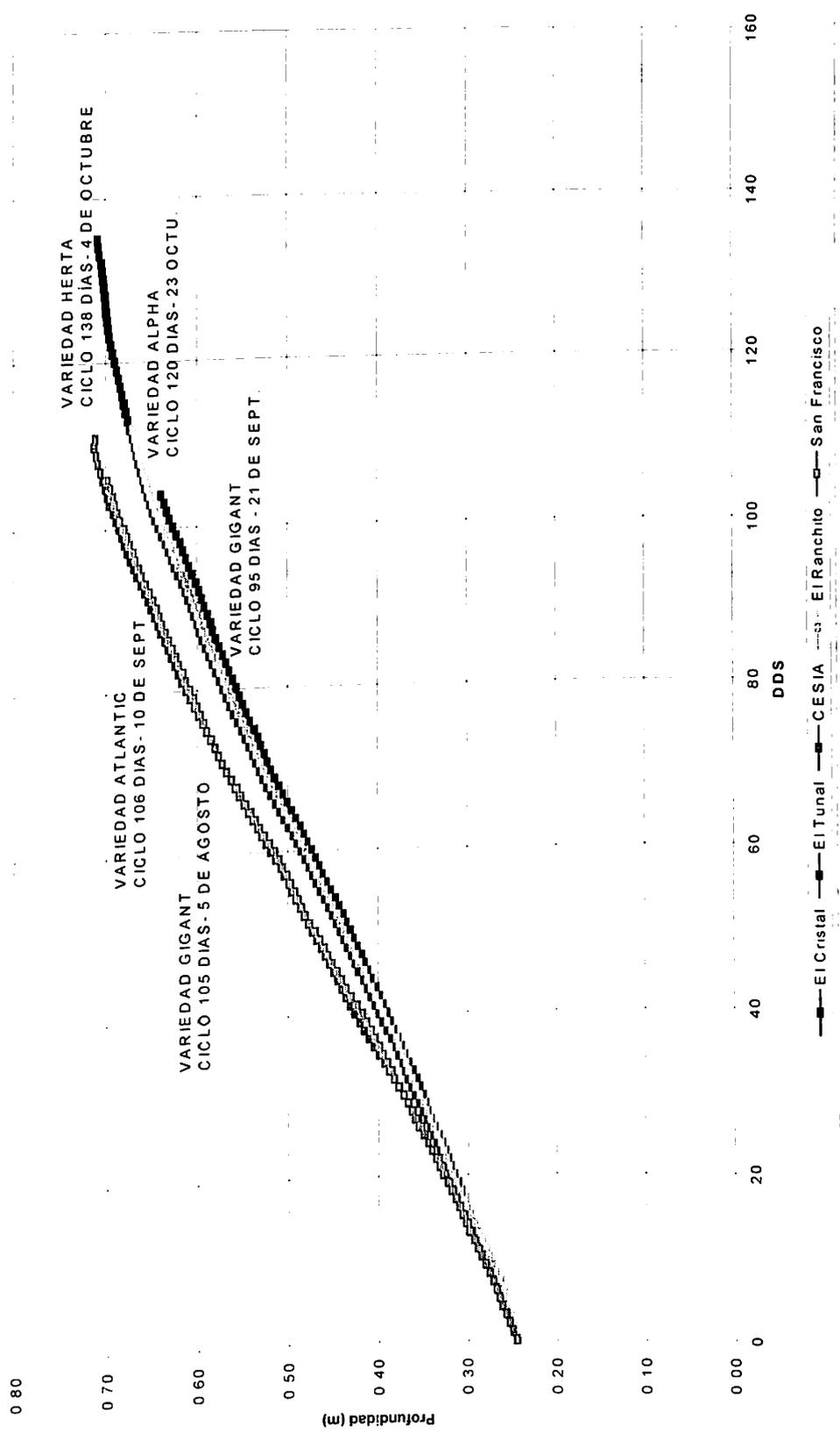


Figura 4.20. Comportamiento de la profundidad dinámica de la raíz (Pr) estimada a partir de las unidades calor acumuladas (UCA) para el cultivo de la papa en cada una de las localidades.

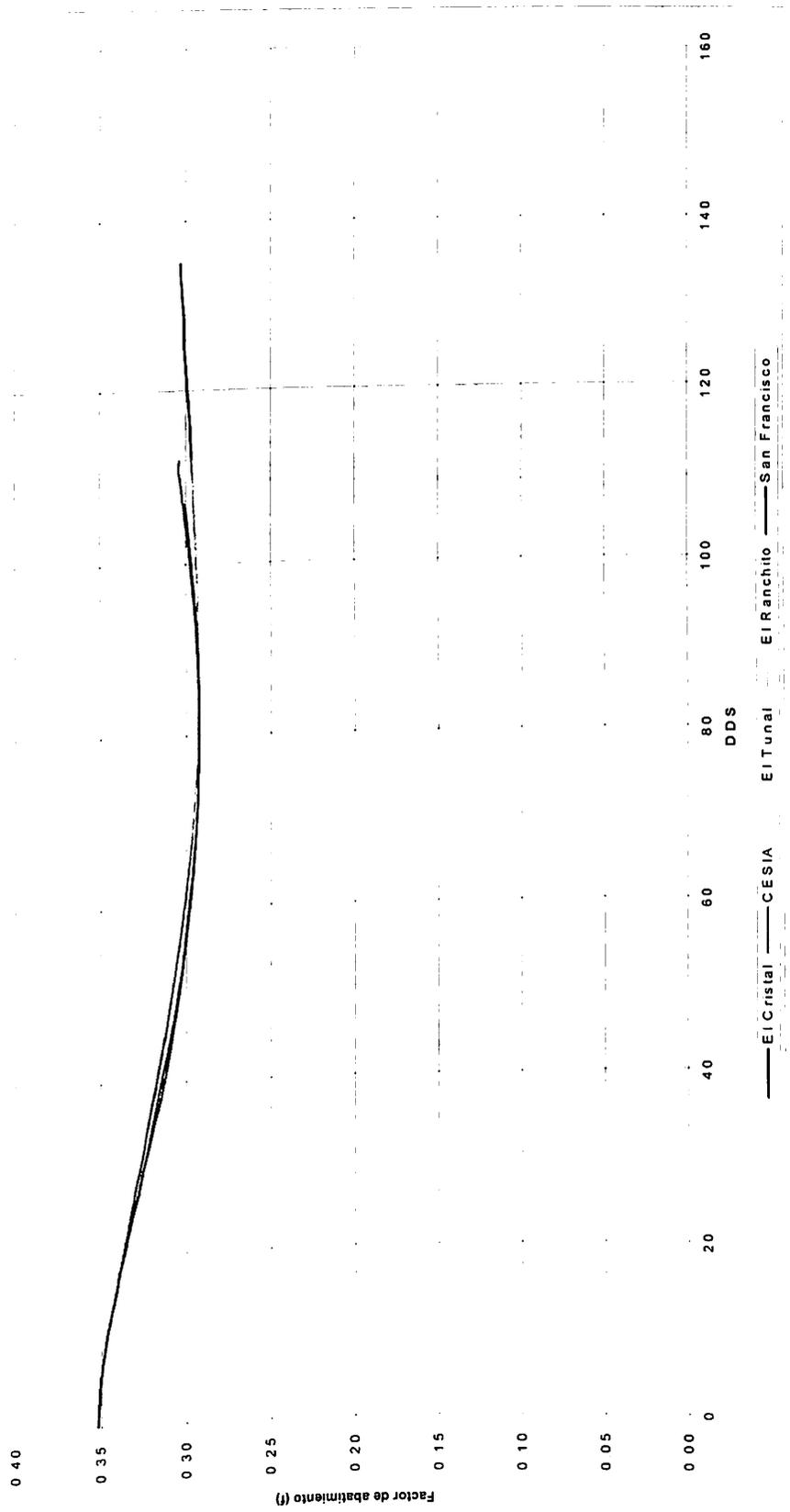


Figura 4.21. Comportamiento del máximo déficit permitido (f) estimado a partir de las unidades calor acumuladas para el cultivo de la papa en cada una de las localidades.

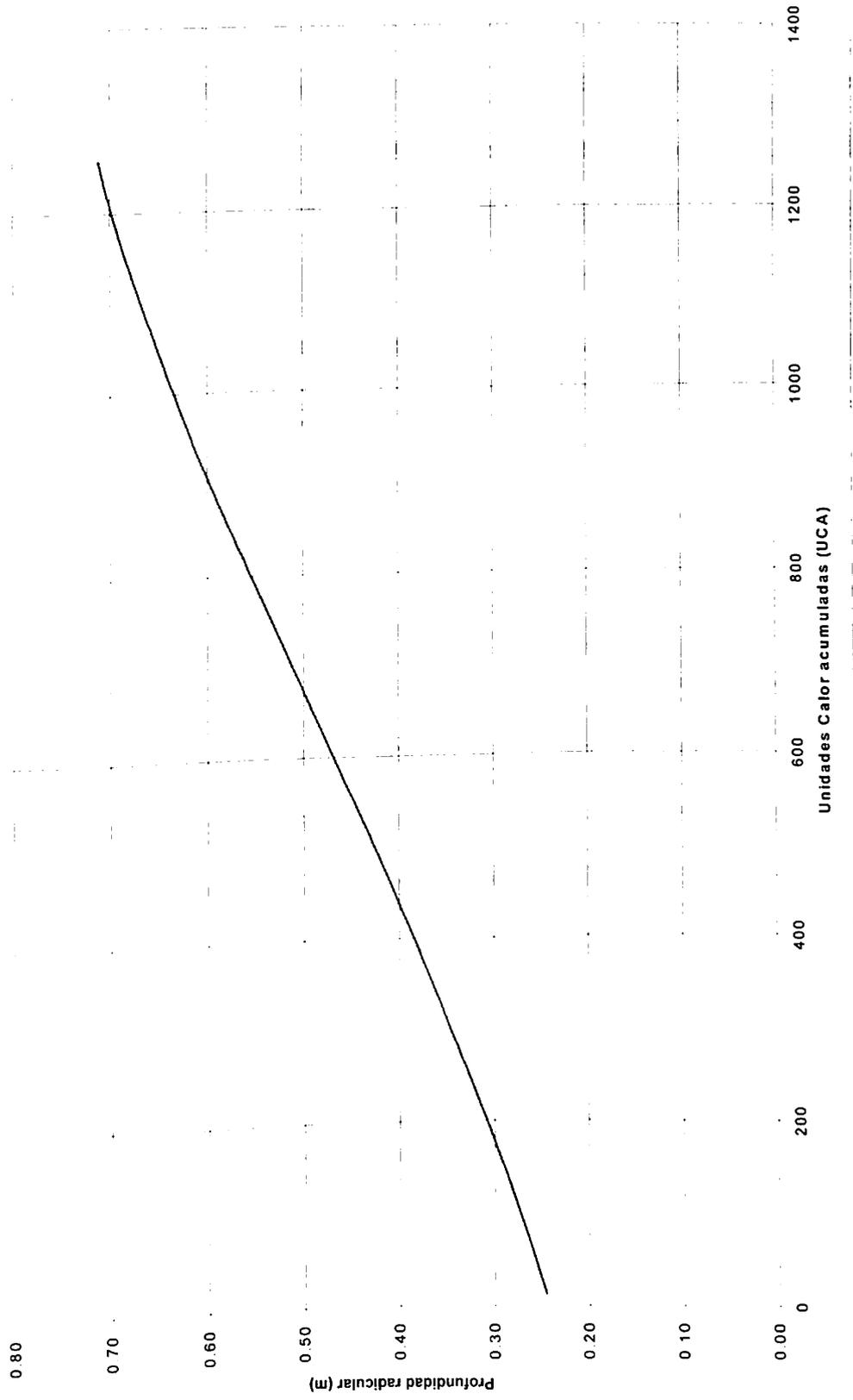


Figura 4.22. Profundidad radicular (Pr) en función de las unidades calor acumuladas (UCA) para el cultivo de la papa en la región de Arteaga Coahuila.

Cuadro 4.9.....continuación

R (mm)	0.0	5.30	4.07	3.87	5.24	4.52	5.87	4.65	6.28	5.54
PP (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lf (mm)	36.89	39.01	39.55	39.55	40.59	40.59	41.63	41.16	42.03	41.88
DDE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pr (cm)	37	37	38	38	39	39	40	40	41	41
f	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31
ETP (mm)	6.8	6.8	5.8	7.0	6.7	6.8	7.6	6.1	7.1	8.8
kc	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.8	0.8	0.6
P (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cp	1.12	1.11	1.04	1.08	1.06	1.05	1.08	0.99	1.04	1.10
PP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Programa de Riego

La base del programa de riegos es el balance de humedad en el cual deben estar incluidos los modelos de los parámetros determinados en base a unidades calor como son coeficiente de cultivo (kc), Profundidad radicular (Pr), factor de abatimiento (f), además del modelo de Jensen-Haise para calcular la evapotranspiración potencial diaria (ETP), lluvia efectiva, percolación, así como los demás componentes de la ecuación del balance de humedad.

El programa inicia con la entrada de datos generales como son: datos de la localidad y del cultivo, a continuación determina los componentes de la ecuación del balance de humedad para lo cual el programa requiere de una serie de datos de entrada los cuales son monitoreados en tiempo real por medio de una estación climática automática, estos datos son empleados en los modelos previamente almacenados.

El programa genera salidas de datos en tiempo real de los requerimientos de riego en oportunidad y cantidad, logrando con esto una mayor rapidez y precisión en la estimación de estos requerimientos con lo que el productor obtiene una mayor eficiencia en el uso del agua.

En la figura 4.24 se presenta el algoritmo empleado en la generación del programa de riegos:

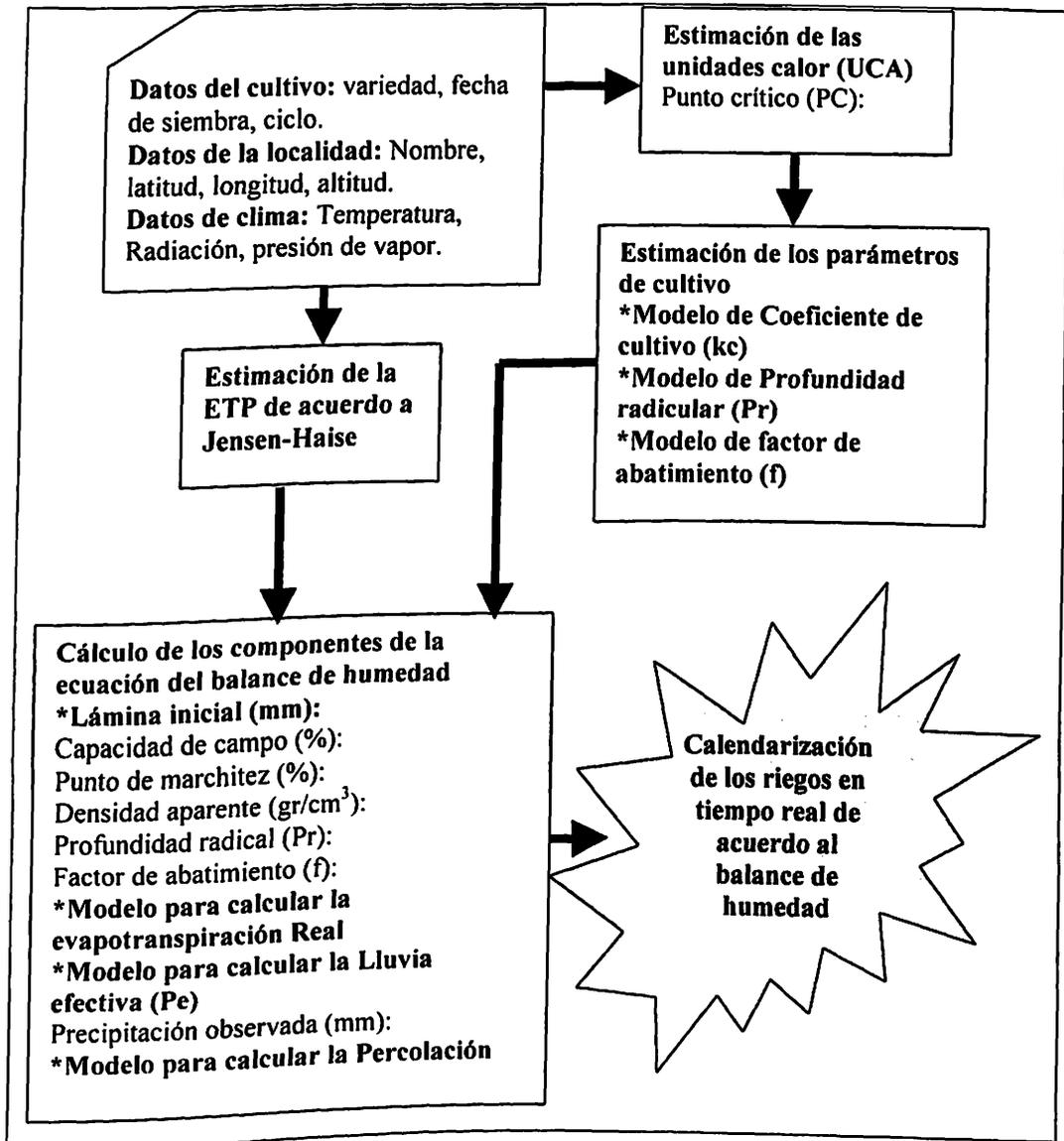


Figura 4.24. Algoritmo empleado en la generación del programa de riegos para la región de Arteaga, Coahuila.

DISCUSION

Curvas de Tensión de Humedad del Suelo

Todas las curvas elaboradas muestran que el mejor ajuste entre los datos observados y los obtenidos mediante regresión simple se encuentra en el rango de 0-1 bar. Los tensiómetros trabajan en el rango de 0 a 70 centibares, esto significa que se tiene buena precisión al determinar los valores en lámina de agua dentro de este rango de tensión.

Mediante los modelos obtenidos es posible determinar los contenidos de humedad en el suelo en (mm/m) con solo conocer la lectura de tensión matricial registrada por el tensiómetro en cualquier periodo de tiempo.

Monitoreo del Nivel de Humedad del Suelo por medio de Tensiómetros

Las localidades de El Ranchito y CESIA presentan variaciones de humedad uniformes para los dos estratos de suelo considerados, esta variación es la normal según lo reportado por Irrometer (1999), pero en las localidades de San Francisco y El Tunal las variaciones de la humedad no son similares para los dos estratos considerados, esto se debe a que cuando el cultivo aún no

alcanza su máxima cobertura efectiva el agua se pierde más rápidamente por evaporación directa en los primeros 15 centímetros.

Monitoreo de los Parámetros Climáticos por medio de Estaciones Climáticas

El monitoreo de parámetros de clima para pronosticar riegos en tiempo real nos permite analizar en forma diaria las condiciones climatológicas, estado hídrico del cultivo, fases fisiológicas, grado de desarrollo del cultivo, etc., esto nos proporciona una herramienta precisa para determinar las láminas de riego requeridas por el cultivo de una forma instantánea. Los parámetros climáticos obtenidos nos sirven para determinar la evapotranspiración potencial del cultivo en cualquier instante.

Consumos de Agua por el Cultivo

Observando las gráficas de consumo diario se puede decir que a medida que el cultivo se desarrolla existe un aumento gradual en el consumo de agua hasta llegar a un valor máximo, debido a que en estos días el cultivo alcanza su máxima profundidad efectiva de raíces y el máximo desarrollo foliar por lo tanto, el consumo también es máximo, a partir de este momento el consumo comienza a decrecer, ya que el cultivo entra en su fase de madurez fisiológica y posteriormente su desecación.

En las localidades de El Ranchito y El Tunal se presentan consumos similares, en estas localidades los riegos fueron aplicados mediante un sistema

de goteo, el cultivo bajo este sistema presentó una reducción en el consumo de agua en relación a los de aspersión utilizados en las otras localidades. El ahorro en el uso de agua debido a la evapotranspiración bajo un riego por goteo, está asociado primordialmente con la reducción de la superficie del suelo que es humedecida.

En la localidad El Cristal, la estimación del consumo de agua por medio de los tensiómetros en esta localidad no fue posible, debido el riego en el cultivo fue aplicado utilizando un sistema de pivote central el cual presentaba eficiencias de aplicación muy bajas debido al deterioro de los emisores y aunado a esto el suelo esta localidad presenta una textura tipo migajón arcilloso lo que ocasiona la formación de costras superficiales que ocasiona que el agua no penetre adecuadamente a la zona explorada por los tensiómetros provocando un mal funcionamiento de estos. Otra situación que ocasionó lecturas erróneas en los tensiómetros fueron los inadecuados tiempos de riegos aplicados al cultivo, es decir, cuando el pivote después de haber realizado una vuelta completa volvía a regar un área del cultivo, esta presentaba signos de estrés hídrico.

Determinación de la Evapotranspiración Mediante los Métodos de Estimación:

Penman, Jensen-Haise y Blaney-Criddle.

Al realizar el análisis de los errores reducidos para cada uno de los métodos de estimación evaluados y su correspondiente correlación con la evapotranspiración medida en el campo se puede inferir lo siguiente:

- El modelo que predice la mejor estimación de evapotranspiración potencial para la región de Arteaga, Coahuila en el cultivo de papa es el de Jensen-Haise, ya que observando el cuadro 4.4 que corresponde a los intervalos de confianza para m_R , se deduce que es el método que mejor se ajusta a la hipótesis planteada $H_0: m_R = 0$.
- De igual manera analizando el cuadro 4.7 que corresponde a los intervalos de confianza para $H_0: \sigma^2_R$ con un 95 por ciento de confiabilidad el método de Jensen-Haise es el que mejor se ajusta a la hipótesis planteada $H_0: \sigma^2_R = 1$
- Basandose en lo observado se deduce que el método de Jensen-Haise es considerado como uno de los mejores métodos para estimar la evapotranspiración potencial en las regiones áridas y semiáridas.

Parámetros de Cultivo

Coeficiente de cultivo (kc), Profundidad Radicular (Pr) y Factor de abatimiento

(f)

El uso de las unidades calor para determinar los parámetros que definen la capacidad extractiva de la zona radicular en función del coeficiente de cultivo (k_c), profundidad radical (P_r) y factor de abatimiento (f) permite obtener modelos más generalizados que aumentan la precisión en la estimación de las necesidades hídricas del cultivo, esto es de gran importancia cuando se utilizan sistemas computacionales para la programación de riegos.

Programa de Riego

Un sistema de calendarización del riego usando modelos computacionales, es el método más efectivo para pronosticar los riegos en cada uno de los cultivos en forma oportuna y en las cantidades necesarias, resultando óptimos rendimientos y mejorando las eficiencias de aplicación (Ojeda et al., 1998), por lo tanto en la generación de este programa se incluyen todos los modelos obtenidos de todos los parámetros de esta forma mediante la codificación de estos modelos se obtiene una herramienta computacional que pronostica las necesidades hídricas del cultivo en forma oportuna y en las cantidades necesarias en cada localidad.

CONCLUSIONES

El programa de riegos generado para el cultivo de papa permite a los productores contar con una herramienta computacional que proporciona información en tiempo real de las necesidades hídricas del cultivo a través del monitoreo de parámetros de clima mediante una estación climática automática. El programa orienta a los productores en la aplicación oportuna y en la cantidad necesaria de las láminas de agua requeridas por el cultivo, lo cual representa la mejor estrategia para un uso eficiente del agua y manejo adecuado de enfermedades propias del cultivo.

El uso de modelos para calcular parámetros de cultivo como son coeficiente de cultivo (k_c), Profundidad dinámica de la raíz (P_r) y factor de abatimiento (f) utilizando el concepto de las unidades calor permite generar modelos generalizados que pueden ser utilizados en un sistema computacional para la calendarización del riego en condiciones climáticas variables.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, C.M. y R. Martínez E. 1996. Relaciones agua suelo planta atmósfera. Universidad Autónoma de Chapingo. 256 p.
- Blaney, H.T. and W.D. Criddle. 1962. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. U.S. Department of Agriculture. Soil conservation Service. SCS-TP96.
- Budyko, M.I. 1963. The heat balance of the earth's surface. U.S. Dept. com WB/T-106.
- Burman, R.D., H. Cuenca R. y Weiss A. Techniques for estimating irrigation water requirements. 1983. In: Hillel D. (ed.). Advances in irrigation. 1983. Academic Press. Vol. 2. p. 372-379.
- Cadahía, C. 1998. Fertirrigacion de cultivos hortícolas. Mundi prensa. Madrid, España.
- Cortes, B.J. 1988. Variabilidad espacial en variables geohidrológicas. Tesis. Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. p. 71-78.
- Curwen, D. Water management. In: Rowe, C.R. (ed.) 1993. Potato health management. The American Phytopathological Society. USA.
- Delhomme, J. P. 1978. Kriging in the hydrosiences. Adv. Water Reso. 1(5) :251-266. Center D'Informatiqe Geologique. Fontainebleau, France.
- Fox, F.A., T. Scherer, D. Slack y L. J. Clark. 1992. Arizona irrigation scheduling (AZSCHED Software). Users Manual. Version 1.01. The University of Arizona. 36 p.
- Fry, A.W. y A. S. Gray. 1971. Sprinkler irrigation handbook. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, Glendora, CA.
- García, C.I. y G. Briones S. 1997. Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y goteo. Editorial Trillas. 26 p.

- González, M.A. y B. Hernandez L. 1999. Medición del contenido y potencial del agua en los suelos bajo riego. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Irrrometer, Co. 1999. Instrucciones para el servicio y la utilización de los irrometros. Irrrometer landscape. Catalog. Glendora, California.
- Jensen, M.E. 1969. Scheduling irrigations using computes. Journal of Soil and Water Conservation 24 (8): 193-195.
- Jensen, M.E. and H.R. Haise. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. Journal irrigation and Drainage. División. American Society. Vol 89. p. 15-41.
- Jensen, M.E. 1971. Scheduling irrigations using climate-crop-soil data. Journal Irrigation and Drainage. Division. American Society. Vol 96. p. 25-38.
- Jensen, M.E. 1973. Consumptive use of water and irrigation water requirements. ASCE. New York. USA.
- Journel, A.G. and Ch.J. Huijbregts. 1978. Mining geostatistics. Academic Press. London. 207 p.
- Kincaid, D.C. and D.F. Heerman. 1974. Scheduling irrigations using a programmable calculator. USA. Department of Agriculture. Agricultural Research. Service. ARS_NC-12.
- Kramer, P.J. 1969. Plant and soil water relationships a modern synthesis. Mc Graw_Hill. Inc. New York. 389 p.
- Ogrosky, H.O y Mockus. 1964. Hydrology of agricultural land. Handbook of applied hydrology. Ven Te Chow. Mc graw Hill Co. New York.
- Ojeda, B.W., E. Sifuentes I. y H. Gómez A. 1999. Calibración de parámetros de cultivo en papa para la calendarización del riego en tiempo real bajo dos sistemas de riego en el DR-075, Río Fuerte, Sinaloa. En: Memorias del IX Congreso Nacional de Irrigación. Culiacán, Sinaloa. Simposio 1. Ingeniería de Riego. 233 p.
- Ojeda, W., N. Rebolledo, M. González, E. Sifuentes, J.M. González y T. Espinosa. 1998. Pronostico del riego asistido por computadora (SPRITER): una herramienta de apoyo para la operación y administración del agua. En: Memorias del VIII Congreso Nacional de Irrigación. Hermosillo, Son. p. 158-162.

- Ojeda, B.W. y E. Sifuentes I. 1999. Predicción del último riego usando el concepto de días grado crecimiento. En: Memorias del IX Congreso Nacional de Irrigación. Culiacán, Sinaloa, México. p. 33-39.
- Pizarro, F. 1990. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid, España. 34 p.
- Penman, H.L. 1963. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Society London a 193: 120-46.
- Penman, H.L. 1963. Vegetation and hydrology. Techn. Comm. No. 53. Commonwealth Bureau of soils. Harpenden. Eng. 125 p.
- Rowe, C.R. Potato health management: A holistic approach. 1993. The American phytopathological Society. USA.
- Rowe, C.R. y G.A. Secor. Managing potato health from emergence to harvest. In: Rowe, C.R. (ed). Potato health management. 1993. The American phytopathological Society. USA.
- Salazar, L.J., K.R. Thompson y K. Crane. 1997. Computerized irrigation scheduling in the San Luis Valley of Colorado. In: Proceedings of the international conference about evapotranspiration and irrigation scheduling. Nov. 3-6, San Antonio, Tx, EEUU. ASAE.
- Sifuentes, I.E., H. Gómez A. y W. Ojeda B. 1999. Calibración de parámetros de cultivo en papa para la calendarización del riego en tiempo real bajo dos sistemas de riego en el dr-075, Río Fuerte, Sinaloa). En: Memorias del IX Congreso Nacional de Irrigación. Culiacán, Sinaloa, México.
- Sifuentes, I.E., H. Gómez A. y J.L. Zárate E. 2000. Aplicación del concepto grados-día en la programación del riego en tiempo real en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*, L.). En: Memorias del X Congreso Nacional de Irrigación. Chihuahua, Chihuahua, México.
- Sisson, J.B. 1998. Advanced tensiometer for shallow or deep soil water potential measurements. Soil Science. 163 (4): 271-277.
- Snedecor, G.W. and W.G. Cochran. 1967. Statistical methods. 65 h ed. Iowa State University. Press, Ames. 593 p.
- Tarjuelo, M.B. 1999. El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi Prensa. España. p. 56-57.

- Timlin, D. y Pachepsky, Y. 1998. Measurement of unsaturated soil hydraulic conductivities using a ceramic cup tensiometer. *Soil Science*. 163(8): 625-634.
- Zermeño, G.A. 1998. Automated Weather stations. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Irrigation and Drainage department. Saltillo, Coahuila.

APENDICES

APENDICE A

ERRORES REDUCIDOS

BANCO DE TESIS

Cuadro A.1. Errores reducidos de evapotranspiración para la Localidad CESIA.

Blaney-Criddle			Jensen Haise			Penman		
n	Z(Xp) - Z^(Xp)	r (Xp)	n	Z(Xp) - Z^(Xp)	r (Xp)	n	Z(Xp) - Z^(Xp)	r (Xp)
1	-6.041	-2.23824	1	-7.681	-3.00156	1	-5.551	-2.27593
2	-6.0506	-2.24179	2	-7.531	-2.94295	2	-5.261	-2.15703
3	-5.7521	-2.13120	3	-7.452	-2.91208	3	-4.952	-2.03034
4	-4.8254	-1.78785	4	-7.535	-2.94451	4	-4.535	-1.85937
5	-4.3605	-1.61560	5	-6.01	-2.34857	5	-3.81	-1.56212
6	-2.9474	-1.09203	6	-6.567	-2.56624	6	-3.317	-1.35998
7	-2.576	-0.95443	7	-5.256	-2.05393	7	-2.716	-1.11357
8	-2.0063	-0.74335	8	-3.766	-1.47167	8	-2.006	-0.82247
9	-1.5683	-0.58107	9	-0.868	-0.33919	9	-1.188	-0.48708
10	-1.5419	-0.57129	10	-5.362	-2.09535	10	-1.892	-0.77573
11	-0.8472	-0.31389	11	-2.227	-0.87026	11	-0.807	-0.33087
12	-0.434	-0.16080	12	-3.234	-1.26377	12	-0.794	-0.32554
13	-0.3425	-0.12690	13	-3.102	-1.21219	13	-0.552	-0.22632
14	0.1476	0.05469	14	-2.422	-0.94646	14	-0.142	-0.05822
15	0.6062	0.22460	15	-0.744	-0.29074	15	0.526	0.21566
16	0.4632	0.17162	16	-1.367	-0.53419	16	0.503	0.20623
17	0.9589	0.35528	17	-1.841	-0.71942	17	0.649	0.26609
18	1.0131	0.37536	18	-2.597	-1.01485	18	0.593	0.24313
19	1.226	0.45424	19	-2.364	-0.92380	19	0.846	0.34686
20	1.4875	0.55113	20	-2.093	-0.81790	20	1.087	0.44567
21	2.1777	0.80685	21	-0.342	-0.13365	21	1.758	0.72079
22	2.6466	0.98059	22	-0.053	-0.02071	22	1.977	0.81058
23	2.8042	1.03898	23	1.244	0.48613	23	2.374	0.97335
24	2.6306	0.97466	24	2.011	0.78585	24	2.511	1.02952
25	3.2358	1.19889	25	1.336	0.52208	25	2.696	1.10537
26	2.8098	1.04105	26	1.12	0.43767	26	2.55	1.04551
27	2.8327	1.04954	27	0.833	0.32552	27	2.633	1.07954
28	2.8745	1.06502	28	-0.065	-0.02540	28	2.525	1.03526
29	3.4252	1.26906	29	0.085	0.03322	29	2.765	1.13366
30	3.5649	1.32082	30	1.615	0.63111	30	3.235	1.32636
31	3.7335	1.38329	31	1.284	0.50176	31	3.224	1.32185
32	3.8412	1.42319	32	2.451	0.95780	32	3.591	1.47232
33	3.6678	1.35895	33	1.728	0.67526	33	3.428	1.40549
34	4.0736	1.50930	34	1.404	0.54865	34	3.484	1.42845
35	4.3585	1.61486	35	1.278	0.49941	35	3.508	1.43829
36	3.7824	1.40141	36	0.622	0.24306	36	3.352	1.37433
37	3.8256	1.41741	37	0.356	0.13912	37	3.356	1.37597
38	4.3179	1.59981	38	1.268	0.49551	38	3.698	1.51620
39	4.8095	1.78196	39	2.289	0.89449	39	4.059	1.66421
40	4.5303	1.67851	40	2.16	0.84408	40	4.01	1.64412
41	4.2604	1.57851	41	0.15	0.05862	41	3.38	1.38581
42	3.9898	1.47825	42	0.95	0.37124	42	3.64	1.49241

Cuadro A.1.....continuación

43	4.2185	1.56299	43	1.238	0.48378	43	3.738	1.53260
44	4.2266	1.56599	44	1.697	0.66315	44	3.847	1.57729
45	4.1341	1.53172	45	0.644	0.25166	45	3.484	1.42845
46	3.941	1.46017	46	0.681	0.26612	46	3.451	1.41492
47	4.1174	1.52553	47	0.847	0.33099	47	3.487	1.42968
48	3.6833	1.36469	48	0.043	0.01680	48	3.183	1.30504
49	3.4487	1.27777	49	0.179	0.06995	49	3.229	1.32390
50	3.8237	1.41671	50	0.724	0.28292	50	3.324	1.36285
51	3.6482	1.35169	51	0.108	0.04220	51	3.058	1.25379
52	3.6424	1.34954	52	0.742	0.28996	52	3.202	1.31283
53	3.7661	1.39537	53	1.036	0.40485	53	3.216	1.31857
54	3.3196	1.22994	54	0.54	0.21102	54	2.95	1.20951
55	3.3728	1.24965	55	0.193	0.07542	55	2.763	1.13284
56	3.2656	1.20993	56	1.326	0.51817	56	3.006	1.23247
57	2.9083	1.07755	57	0.078	0.03048	57	2.498	1.02419
58	3.0407	1.12660	58	0.081	0.03165	58	2.431	0.99672
59	2.623	0.97184	59	0.253	0.09887	59	2.343	0.96064
60	2.3551	0.87258	60	-0.735	-0.28722	60	1.865	0.76466
61	2.1371	0.79181	61	0.997	0.38961	61	2.147	0.88028
62	2.019	0.74805	62	-0.101	-0.03947	62	1.779	0.72940
63	1.8508	0.68574	63	-0.809	-0.31614	63	1.441	0.59082
64	1.8026	0.66788	64	-0.377	-0.14732	64	1.423	0.58344
65	1.6444	0.60926	65	0.334	0.13052	65	1.464	0.60025
66	1.5362	0.56917	66	-0.034	-0.01329	66	1.206	0.49446
67	1.0681	0.39574	67	-1.112	-0.43454	67	0.708	0.29028
68	0.6101	0.22605	68	-1.75	-0.68386	68	0.39	0.15990
69	0.1222	0.04528	69	-2.058	-0.80422	69	0.072	0.02952
70	-0.0055	-0.00204	70	-2.406	-0.94021	70	-0.206	-0.08446
71	-0.3531	-0.13083	71	-2.643	-1.03283	71	-0.483	-0.19803
72	-0.3804	-0.14094	72	-3.78	-1.47714	72	-1.08	-0.44280
73	-0.7376	-0.27329	73	-2.378	-0.92927	73	-0.808	-0.33128
<i>X</i>	1.639	0.607		-0.859	-0.336		1.336	0.548
S	2.699	1.000		2.559	1.000		2.439	1.000
varianza		1.00			1.00			1.00

Cuadro A.2. Errores reducidos de evapotranspiración para la Localidad San Francisco.

Blaney-Criddle			Jensen Haise			Penman		
n	Z(Xp) - Z^(Xp)	r (Xp)	n	Z(Xp) - Z^(Xp)	r (Xp)	n	Z(Xp) - Z^(Xp)	r (Xp)
1	0.169	0.28451	1	-2.131	-1.40846	1	1.209	1.40255
2	0.857	1.44276	2	-0.953	-0.62987	2	1.517	1.75986
3	1.103	1.85690	3	-0.607	-0.40119	3	1.923	2.23086
4	0.928	1.56229	4	-1.562	-1.03239	4	1.648	1.91183
5	1.341	2.25758	5	-1.289	-0.85195	5	1.671	1.93852
6	0.932	1.56902	6	-1.788	-1.18176	6	1.562	1.81206
7	0.441	0.74242	7	-1.859	-1.22868	7	1.471	1.70650
8	0.888	1.49495	8	-1.232	-0.81428	8	1.538	1.78422
9	0.624	1.05051	9	-1.626	-1.07469	9	1.624	1.88399
10	0.958	1.61279	10	0.208	0.13748	10	2.258	2.61949
11	1.81	3.04714	11	-0.52	-0.34369	11	2.24	2.59861
12	1.16	1.95286	12	-1.63	-1.07733	12	1.88	2.18097
13	1.168	1.96633	13	-2.132	-1.40912	13	1.508	1.74942
14	1.645	2.76936	14	0.295	0.19498	14	2.435	2.82483
15	1.51	2.54209	15	-0.13	-0.08592	15	2.37	2.74942
16	2.563	4.31481	16	1.753	1.15863	16	2.963	3.43735
17	1.484	2.49832	17	0.064	0.04230	17	2.474	2.87007
18	0.883	1.48653	18	-0.937	-0.61930	18	2.053	2.38167
19	1.471	2.47643	19	0.881	0.58229	19	2.521	2.92459
20	1.857	3.12626	20	0.647	0.42763	20	2.557	2.96636
21	1.411	2.37542	21	0.431	0.28486	21	2.581	2.99420
22	1.003	1.68855	22	-0.747	-0.49372	22	2.233	2.59049
23	0.504	0.84848	23	-2.086	-1.37872	23	1.444	1.67517
24	0.632	1.06397	24	-2.908	-1.92201	24	1.202	1.39443
25	0.589	0.99158	25	-2.211	-1.46134	25	1.319	1.53016
26	1.104	1.85859	26	-2.216	-1.46464	26	1.654	1.91879
27	1.257	2.11616	27	-1.513	-1.00000	27	1.987	2.30510
28	1.179	1.98485	28	-1.341	-0.88632	28	2.229	2.58585
29	1.228	2.06734	29	1.138	0.75215	29	2.478	2.87471
30	2.186	3.68013	30	1.606	1.06147	30	2.836	3.29002
31	1.992	3.35354	31	1.372	0.90681	31	2.932	3.40139
32	2.067	3.47980	32	0.247	0.16325	32	2.607	3.02436
33	1.539	2.59091	33	-0.211	-0.13946	33	2.399	2.78306
34	1.48	2.49158	34	-1.08	-0.71381	34	2.15	2.49420
35	1.429	2.40572	35	-0.311	-0.20555	35	2.329	2.70186
36	2.146	3.61279	36	1.516	1.00198	36	2.836	3.29002
37	1.971	3.31818	37	1.621	1.07138	37	2.851	3.30742
38	2.024	3.40741	38	1.574	1.04032	38	2.904	3.36891
39	2.166	3.64646	39	2.116	1.39855	39	2.966	3.44084
40	1.796	3.02357	40	2.216	1.46464	40	3.016	3.49884
41	1.924	3.23906	41	2.014	1.33113	41	2.914	3.38051
42	2.43	4.09091	42	2.29	1.51355	42	3.01	3.49188
43	1.465	2.46633	43	1.895	1.25248	43	2.755	3.19606

Cuadro A.2.....continuación

44	1.168	1.96633	44	0.668	0.44151	44	2.528	2.93271
45	0.789	1.32828	45	1.279	0.84534	45	2.519	2.92227
46	1.738	2.92593	46	2.348	1.55188	46	2.718	3.15313
47	1.615	2.71886	47	0.495	0.32716	47	2.435	2.82483
48	1.381	2.32492	48	0.741	0.48976	48	2.451	2.84339
49	1.444	2.43098	49	0.864	0.57105	49	2.444	2.83527
50	0.596	1.00337	50	0.016	0.01058	50	2.156	2.50116
51	0.876	1.47475	51	0.586	0.38731	51	2.216	2.57077
52	1.315	2.21380	52	-0.655	-0.43291	52	1.885	2.18677
53	1.361	2.29125	53	0.411	0.27165	53	2.081	2.41415
54	1.036	1.74411	54	-1.704	-1.12624	54	1.456	1.68910
55	1.489	2.50673	55	0.269	0.17779	55	2.049	2.37703
56	1.29	2.17172	56	1.33	0.87905	56	2.24	2.59861
57	1.94	3.26599	57	4.81	3.17911	57	2.86	3.31787
58	1.147	1.93098	58	-1.943	-1.28420	58	1.537	1.78306
59	1.543	2.59764	59	0.973	0.64309	59	2.143	2.48608
60	1.577	2.65488	60	0.007	0.00463	60	1.867	2.16589
61	1.349	2.27104	61	0.219	0.14475	61	1.859	2.15661
62	1.67	2.81145	62	-0.04	-0.02644	62	1.89	2.19258
63	1.728	2.90909	63	1.668	1.10245	63	2.238	2.59629
64	1.315	2.21380	64	1.185	0.78321	64	2.015	2.33759
65	1.52	2.55892	65	-0.23	-0.15202	65	1.64	1.90255
66	1.013	1.70539	66	-1.617	-1.06874	66	1.003	1.16357
67	0.295	0.49663	67	-1.915	-1.26570	67	0.825	0.95708
68	0.835	1.40572	68	-1.075	-0.71051	68	1.045	1.21230
69	1.232	2.07407	69	-0.768	-0.50760	69	1.242	1.44084
70	1.489	2.50673	70	0.289	0.19101	70	1.549	1.79698
71	1.553	2.61448	71	0.833	0.55056	71	1.603	1.85963
72	1.215	2.04545	72	1.245	0.82287	72	1.525	1.76914
73	1.446	2.43434	73	0.916	0.60542	73	1.566	1.81671
74	0.625	1.05219	74	0.595	0.39326	74	1.265	1.46752
75	0.022	0.03704	75	-0.788	-0.52082	75	0.832	0.96520
76	0.087	0.14646	76	-1.413	-0.93391	76	0.717	0.83179
77	0.341	0.57407	77	-2.609	-1.72439	77	0.171	0.19838
78	0.483	0.81313	78	-1.277	-0.84402	78	0.483	0.56032
79	0.453	0.76263	79	-0.577	-0.38136	79	0.783	0.90835
80	0.501	0.84343	80	0.661	0.43688	80	0.951	1.10325
81	0.527	0.88721	81	-0.733	-0.48447	81	0.657	0.76218
82	0.492	0.82828	82	-1.158	-0.76537	82	0.482	0.55916
83	0.385	0.64815	83	-1.475	-0.97488	83	0.325	0.37703
84	-0.084	-0.14141	84	-1.874	-1.23860	84	0.056	0.06497
85	0.535	0.90067	85	-2.145	-1.41771	85	-0.045	-0.05220
86	0.172	0.28956	86	-2.318	-1.53206	86	-0.128	-0.14849
87	0.868	1.46128	87	-1.612	-1.06543	87	0.018	0.02088
88	0.432	0.72727	88	-1.408	-0.93060	88	0.032	0.03712
89	0.054	0.09091	89	-3.956	-2.61467	89	-0.696	-0.80742

Cuadro A.2.....continuación

\bar{X}	1.170	1.985		-0.225	-0.044		1.781	2.046
S	0.594	1.015		1.513	1.028		0.862	1.076
varianza		1.001			0.999			0.999

Cuadro A.3. Errores reducidos de evapotranspiración para la Localidad El Ranchito.

Blaney-Criddle			Jensen Haise			Penman		
n	Z(Xp) - Z^(Xp)	r (Xp)	n	Z(Xp) - Z^(Xp)	r (Xp)	n	Z(Xp) - Z^(Xp)	r (Xp)
1	-3.395	-0.50938	1	-3.085	-0.80047	1	-2.335	-0.67078
2	-2.641	-0.39625	2	0.509	0.13207	2	-1.501	-0.43120
3	-2.989	-0.44846	3	-5.849	-1.51764	3	-2.499	-0.71790
4	-2.408	-0.36129	4	-2.738	-0.71043	4	-1.638	-0.47055
5	-2.048	-0.30728	5	-4.038	-1.04774	5	-1.808	-0.51939
6	-1.93	-0.28957	6	-3.99	-1.03529	6	-1.74	-0.49986
7	-1.312	-0.19685	7	-3.532	-0.91645	7	-1.412	-0.40563
8	-1.086	-0.16294	8	-1.496	-0.38817	8	-0.826	-0.23729
9	-1.561	-0.23421	9	-1.801	-0.46731	9	-0.901	-0.25883
10	-1.337	-0.20060	10	-3.247	-0.84250	10	-1.037	-0.29790
11	-1.685	-0.25281	11	-3.965	-1.02880	11	-1.625	-0.46682
12	-1.923	-0.28852	12	-3.983	-1.03347	12	-1.593	-0.45763
13	-1.393	-0.20900	13	-3.493	-0.90633	13	-1.153	-0.33123
14	-0.524	-0.07862	14	-2.614	-0.67826	14	-0.594	-0.17064
15	-0.296	-0.04441	15	-1.956	-0.50752	15	-0.176	-0.05056
16	0.15	0.02251	16	-0.9	-0.23352	16	0.17	0.04884
17	-0.374	-0.05611	17	-0.014	-0.00363	17	0.156	0.04481
18	0.51	0.07652	18	-0.38	-0.09860	18	0.55	0.15800
19	-0.297	-0.04456	19	-0.947	-0.24572	19	0.283	0.08130
20	-0.665	-0.09977	20	-1.225	-0.31785	20	0.195	0.05602
21	-0.365	-0.05476	21	-1.685	-0.43721	21	0.385	0.11060
22	0.455	0.06827	22	-2.735	-0.70965	22	0.065	0.01867
23	0.783	0.11748	23	-1.307	-0.33913	23	0.623	0.17897
24	0.66	0.09902	24	-0.76	-0.19720	24	0.9	0.25855
25	0.986	0.14794	25	0.726	0.18838	25	1.406	0.40391
26	1.4	0.21005	26	2.55	0.66165	26	1.91	0.54869
27	0.594	0.08912	27	-0.086	-0.02231	27	1.544	0.44355
28	0.786	0.11793	28	-0.184	-0.04774	28	1.616	0.46423
29	0.247	0.03706	29	-0.753	-0.19538	29	1.447	0.41569
30	0.187	0.02806	30	-0.663	-0.17203	30	1.517	0.43579
31	0.445	0.06677	31	-0.555	-0.14401	31	1.055	0.30307
32	2.753	0.41305	32	0.273	0.07084	32	2.103	0.60414
33	2.409	0.36144	33	0.799	0.20732	33	2.349	0.67481
34	2.244	0.33668	34	-1.656	-0.42968	34	1.744	0.50101
35	2.238	0.33578	35	-0.622	-0.16139	35	2.138	0.61419
36	2.54	0.38110	36	0.17	0.04411	36	2.43	0.69808
37	2.952	0.44291	37	0.822	0.21328	37	2.662	0.76472
38	3.262	0.48942	38	0.532	0.13804	38	2.752	0.79058
39	3.031	0.45476	39	0.541	0.14037	39	2.821	0.81040
40	3.219	0.48297	40	0.049	0.01271	40	2.749	0.78972
41	2.895	0.43436	41	-0.245	-0.06357	41	2.785	0.80006
42	2.661	0.39925	42	0.171	0.04437	42	2.851	0.81902
43	2.855	0.42836	43	0.615	0.15957	43	3.065	0.88049

Cuadro A.3.....continuación

44	2.858	0.42881	44	0.298	0.07732	44	2.978	0.85550
45	2.93	0.43961	45	1.03	0.26725	45	3.18	0.91353
46	3.72	0.55814	46	1.65	0.42813	46	3.6	1.03419
47	3.62	0.54314	47	1.2	0.31136	47	3.6	1.03419
48	3.508	0.52633	48	1.918	0.49766	48	3.818	1.09681
49	3.555	0.53338	49	3.195	0.82901	49	3.965	1.13904
50	3.201	0.48027	50	2.841	0.73716	50	3.641	1.04596
51	3.795	0.56939	51	1.545	0.40088	51	3.755	1.07871
52	4.059	0.60900	52	2.939	0.76258	52	4.309	1.23786
53	4.331	0.64981	53	2.131	0.55293	53	4.361	1.25280
54	5.132	0.76999	54	4.432	1.14997	54	5.022	1.44269
55	4.552	0.68297	55	3.462	0.89829	55	4.852	1.39385
56	4.61	0.69167	56	2.55	0.66165	56	4.75	1.36455
57	5.308	0.79640	57	4.288	1.11261	57	5.248	1.50761
58	5.584	0.83781	58	4.644	1.20498	58	5.454	1.56679
59	5.389	0.80855	59	4.369	1.13363	59	5.449	1.56535
60	5.373	0.80615	60	3.603	0.93487	60	5.313	1.52629
61	5.216	0.78260	61	3.136	0.81370	61	4.236	1.21689
62	4.127	0.61920	62	3.497	0.90737	62	5.377	1.54467
63	4.587	0.68822	63	3.767	0.97743	63	5.557	1.59638
64	4.256	0.63856	64	3.726	0.96679	64	5.626	1.61620
65	4.664	0.69977	65	2.804	0.72756	65	5.454	1.56679
66	4.631	0.69482	66	5.211	1.35210	66	6.161	1.76989
67	4.546	0.68207	67	4.896	1.27037	67	6.166	1.77133
68	5.37	0.80570	68	6.79	1.76181	68	6.57	1.88739
69	4.923	0.73863	69	4.423	1.14764	69	6.163	1.77047
70	6.025	0.90398	70	5.355	1.38947	70	6.505	1.86872
71	5.906	0.88612	71	5.036	1.30669	71	6.496	1.86613
72	5.665	0.84996	72	4.125	1.07032	72	6.225	1.78828
73	5.733	0.86017	73	6.333	1.64323	73	6.883	1.97731
74	5.49	0.82371	74	6.34	1.64504	74	6.93	1.99081
75	5.926	0.88912	75	5.546	1.43902	75	6.846	1.96668
76	5.961	0.89437	76	5.631	1.46108	76	6.911	1.98535
77	6.094	0.91433	77	5.844	1.51635	77	7.054	2.02643
78	6.146	0.92213	78	5.266	1.36637	78	6.926	1.98966
79	5.687	0.85326	79	4.677	1.21354	79	6.757	1.94111
80	4.917	0.73773	80	4.487	1.16424	80	6.277	1.80322
81	4.676	0.70158	81	5.866	1.52206	81	6.856	1.96955
82	6.213	0.93218	82	6.363	1.65101	82	7.433	2.13531
83	6.339	0.95109	83	5.699	1.47872	83	7.269	2.08819
84	6.155	0.92348	84	5.015	1.30125	84	7.095	2.03821
85	5.758	0.86392	85	5.138	1.33316	85	7.008	2.01321
86	5.931	0.88987	86	4.561	1.18345	86	7.021	2.01695
87	5.962	0.89452	87	4.782	1.24079	87	7.102	2.04022
88	6.753	1.01320	88	5.013	1.30073	88	7.153	2.05487

Cuadro A.3.....continuación

89	6.932	1.04006	89	9.572	2.48365	89	8.512	2.44527
90	7.249	1.08762	90	7.659	1.98729	90	8.259	2.37259
91	9.186	1.37824	91	7.176	1.86196	91	8.166	2.34588
92	8.862	1.32963	92	6.182	1.60405	92	7.892	2.26716
93	8.856	1.32873	93	6.846	1.77634	93	8.096	2.32577
94	8.519	1.27817	94	7.509	1.94837	94	8.309	2.38696
95	8.251	1.23796	95	5.381	1.39621	95	7.711	2.21517
96	9.121	1.36849	96	7.101	1.84250	96	8.291	2.38179
97	9.161	1.37449	97	6.511	1.68941	97	8.111	2.33008
98	8.719	1.30818	98	6.199	1.60846	98	7.849	2.25481
99	8.556	1.28372	99	6.436	1.66995	99	8.196	2.35450
100	9.112	1.36714	100	7.332	1.90244	100	8.502	2.44240
101	9.446	1.41725	101	7.776	2.01764	101	8.696	2.49813
102	9.49	1.42386	102	8.22	2.13285	102	8.87	2.54812
103	9.542	1.43166	103	8.092	2.09964	103	8.852	2.54295
104	9.463	1.41980	104	8.053	2.08952	104	8.883	2.55185
105	9.383	1.40780	105	8.203	2.12844	105	8.973	2.57771
106	9.312	1.39715	106	7.682	1.99325	106	8.782	2.52284
107	9.419	1.41320	107	8.179	2.12221	107	8.979	2.57943
108	10.205	1.53113	108	10.015	2.59860	108	9.645	2.77076
109	9.89	1.48387	109	9.41	2.44162	109	9.5	2.72910
110	10.034	1.50548	110	9.694	2.51531	110	9.644	2.77047
111	10.447	1.56744	111	8.927	2.31629	111	9.417	2.70526
112	10.508	1.57659	112	8.898	2.30877	112	9.278	2.66533
\bar{X}	4.079	0.938		2.855	1.326		4.341	1.866
S	3.665	0.344		3.854	0.655		3.481	0.563
varianza		0.302			1.00			1.00

Cuadro A.4. Errores reducidos de evapotranspiración para la Localidad El Tunal.

Blaney-Criddle			Jensen Haise			Penman		
n	$Z(X_p) - Z^*(X_p)$	$r(X_p)$	n	$Z(X_p) - Z^*(X_p)$	$r(X_p)$	n	$Z(X_p) - Z^*(X_p)$	$r(X_p)$
1	-4.148	-2.62034	1	-3.468	-2.06798	1	-2.258	-1.45209
2	-3.503	-2.21289	2	-4.103	-2.44663	2	-2.153	-1.38457
3	-3.704	-2.33986	3	-3.804	-2.26834	3	-2.064	-1.32733
4	-2.991	-1.88945	4	-3.351	-1.99821	4	-1.591	-1.02315
5	-2.555	-1.61402	5	-1.855	-1.10614	5	-1.035	-0.66559
6	-2.586	-1.63361	6	-2.146	-1.27967	6	-0.976	-0.62765
7	-2.063	-1.30322	7	-3.213	-1.91592	7	-0.983	-0.63215
8	-2.347	-1.48263	8	-3.487	-2.07931	8	-1.177	-0.75691
9	-3.018	-1.90651	9	-3.618	-2.15742	9	-1.218	-0.78328
10	-2.165	-1.36766	10	-2.645	-1.57722	10	-0.615	-0.39550
11	-1.368	-0.86418	11	-1.818	-1.08408	11	-0.128	-0.08232
12	-0.639	-0.40366	12	-1.109	-0.66130	12	0.361	0.23215
13	-0.216	-0.13645	13	-0.076	-0.04532	13	0.724	0.46559
14	-0.819	-0.51737	14	0.261	0.15564	14	0.771	0.49582
15	0.261	0.16488	15	0.421	0.25104	15	1.191	0.76592
16	-0.556	-0.35123	16	0.384	0.22898	16	1.114	0.71640
17	-1.049	-0.66267	17	-0.549	-0.32737	17	0.941	0.60514
18	-0.599	-0.37840	18	-0.949	-0.56589	18	1.081	0.69518
19	-0.176	-0.11118	19	-1.796	-1.07096	19	0.904	0.58135
20	0.341	0.21541	20	-0.189	-0.11270	20	1.461	0.93955
21	0.612	0.38661	21	0.502	0.29934	21	1.872	1.20386
22	0.785	0.49589	22	2.145	1.27907	22	2.315	1.48875
23	0.933	0.58939	23	1.063	0.63387	23	2.123	1.36527
24	1.293	0.81680	24	0.613	0.36553	24	2.243	1.44244
25	1.477	0.93304	25	0.507	0.30233	25	2.307	1.48360
26	0.924	0.58370	26	-0.076	-0.04532	26	2.124	1.36592
27	0.845	0.53380	27	-0.005	-0.00298	27	2.175	1.39871
28	0.719	0.45420	28	-0.061	-0.03637	28	2.369	1.52347
29	1.987	1.25521	29	1.177	0.70185	29	2.807	1.80514
30	1.728	1.09160	30	1.318	0.78593	30	2.948	1.89582
31	1.382	0.87303	31	-0.778	-0.46392	31	2.402	1.54469
32	1.29	0.81491	32	0.26	0.15504	32	2.75	1.76849
33	1.631	1.03032	33	0.821	0.48956	33	2.941	1.89132
34	1.725	1.08970	34	1.165	0.69469	34	3.095	1.99035
35	2.133	1.34744	35	0.913	0.54442	35	3.113	2.00193
36	1.865	1.17814	36	0.865	0.51580	36	3.115	2.00322
37	2.209	1.39545	37	0.699	0.41682	37	3.039	1.95434
138	1.317	0.83196	38	0.327	0.19499	38	2.987	1.92090
39	0.999	0.63108	39	-0.021	-0.01252	39	2.789	1.79357
40	1.184	0.74795	40	0.374	0.22302	40	2.924	1.88039
41	1.172	0.74037	41	0.392	0.23375	41	2.922	1.87910
42	1.224	0.77322	42	1.104	0.65832	42	3.004	1.93183
43	1.939	1.22489	43	1.299	0.77460	43	3.269	2.10225

Cuadro A.4.....continuación

44	1.638	1.03474	44	0.928	0.55337	44	3.218	2.06945
45	1.54	0.97284	45	1.39	0.82886	45	3.35	2.15434
46	1.675	1.05812	46	2.195	1.30888	46	3.415	2.19614
47	1.054	0.66582	47	2.444	1.45736	47	3.214	2.06688
48	1.736	1.09665	48	0.996	0.59392	48	3.056	1.96527
49	1.512	0.95515	49	2.672	1.59332	49	3.362	2.16206
50	1.631	1.03032	50	1.261	0.75194	50	3.221	2.07138
51	1.853	1.17056	51	2.633	1.57007	51	3.503	2.25273
52	1.849	1.16804	52	2.019	1.20394	52	3.279	2.10868
53	1.728	1.09160	53	1.018	0.60704	53	3.078	1.97942
54	2.111	1.33354	54	2.181	1.30054	54	3.341	2.14855
55	2.257	1.42577	55	2.697	1.60823	55	3.427	2.20386
56	1.796	1.13455	56	2.426	1.44663	56	3.306	2.12605
57	1.489	0.94062	57	1.649	0.98330	57	3.029	1.94791
58	1.385	0.87492	58	0.925	0.55158	58	2.765	1.77814
59	1.185	0.74858	59	1.045	0.62314	59	2.745	1.76527
60	1.338	0.84523	60	1.088	0.64878	60	2.708	1.74148
61	1.004	0.63424	61	0.954	0.56887	61	2.584	1.66174
62	0.994	0.62792	62	-0.166	-0.09899	62	2.204	1.41736
63	0.637	0.40240	63	1.647	0.98211	63	2.577	1.65723
64	0.804	0.50790	64	1.944	1.15921	64	2.574	1.65531
65	0.794	0.50158	65	2.734	1.63029	65	2.514	1.61672
66	0.577	0.36450	66	0.287	0.17114	66	1.947	1.25209
67	0.924	0.58370	67	0.464	0.27668	67	1.914	1.23087
68	0.364	0.22994	68	0.124	0.07394	68	1.624	1.04437
69	0.188	0.11876	69	-0.492	-0.29338	69	1.398	0.89904
70	0.005	0.00316	70	0.925	0.55158	70	1.645	1.05788
71	-0.815	-0.51485	71	0.615	0.36673	71	1.315	0.84566
72	-0.181	-0.11434	72	-0.041	-0.02445	72	1.149	0.73891
73	-0.524	-0.33102	73	-0.254	-0.15146	73	0.956	0.61479
74	-0.503	-0.31775	74	-0.423	-0.25224	74	0.787	0.50611
X	0.399	0.291		0.208	0.154		1.827	1.211
S	1.583	0.947		1.677	0.973		1.555	0.958
varianza		0.999			0.999			1.00

APENDICE B

EVAPOTRANSPIRACION

Cuadro B.1. Evapotranspiración en el campo de cultivo para la Localidad CESIA.

Día	T°C Máx	T°C Min	TMed	Etr	ETP (J-H)	UCA	UCA	kc obs
Junio	(°C)	(°C)	(°C)	(mm/día)	(mm / día)	(°C)	acum	
21	25.6	13.9	19.8	2.8	6.8	13.8	353.8	0.4
22	23.8	15.7	19.8	3.2	6.8	13.8	367.6	0.5
23	24.9	14.6	19.8	3.5	5.8	13.8	381.3	0.6
24	26.7	10.1	18.4	3.9	7.0	12.4	393.7	0.6
25	26.3	11.8	19.1	4.2	6.7	13.1	406.8	0.6
26	26.6	12.1	19.4	4.5	6.8	13.4	420.1	0.7
27	26.8	13.4	20.1	4.8	7.6	14.1	434.2	0.6
28	27.5	13.9	20.7	5.1	6.1	14.7	448.9	0.8
29	28.5	10.2	19.4	5.4	7.1	13.4	462.3	0.8
30	26.2	10.8	18.5	5.7	8.8	12.5	474.8	0.6
1o jul	27.5	9.3	18.4	6.0	8.3	12.4	487.2	0.7
2	26.9	13.1	20.0	6.2	8.4	14.0	501.2	0.7
3	23.8	10.7	17.3	6.5	8.7	11.3	512.4	0.7
4	21.1	14.4	17.8	6.7	9.1	11.8	524.2	0.7
5	26.9	5.7	16.3	6.9	9.6	10.3	534.5	0.7
6	22.7	10.0	16.4	7.1	8.5	10.4	544.8	0.8
7	25.1	7.2	16.2	7.3	9.4	10.2	555.0	0.8
8	25.4	8.6	17.0	7.5	8.5	11.0	566.0	0.9
9	25.3	9.2	17.3	7.7	7.4	11.3	577.2	1.0
10	22.8	10.1	16.5	7.9	4.8	10.5	587.7	1.6
11	24.9	12.3	18.6	8.1	9.7	12.6	600.3	0.8
12	25.2	7.1	16.2	8.2	6.9	10.2	610.4	1.2
13	26.9	5.9	16.4	8.4	8.2	10.4	620.8	1.0
14	26.9	5.9	16.4	8.5	8.4	10.4	631.2	1.0
15	26.9	5.7	16.3	8.6	8.0	10.3	641.5	1.1
16	24.6	8.4	16.5	8.7	6.6	10.5	652.0	1.3
17	24.7	6.7	15.7	8.8	7.5	9.7	661.7	1.2
18	22.3	8.4	15.4	8.9	8.2	9.4	671.1	1.1
19	22.6	13.1	17.9	9.0	9.3	11.9	682.9	1.0
20	22.6	6.7	14.7	9.1	9.3	8.7	691.6	1.0
21	25.2	13.7	19.5	9.2	9.2	13.5	705.0	1.0
22	25.0	12.0	18.5	9.2	7.7	12.5	717.5	1.2
23	26.6	10.7	18.7	9.3	7.6	12.7	730.2	1.2
24	26.2	5.7	16.0	9.3	6.5	10.0	740.1	1.4
25	23.9	9.4	16.7	9.3	5.9	10.7	750.8	1.6
26	25.4	9.7	17.6	9.3	6.8	11.6	762.3	1.4
27	23.5	11.1	17.3	9.3	7.2	11.3	773.6	1.3
28	25.3	12.2	18.8	9.3	7.6	12.8	786.4	1.2
29	25.8	8.4	17.1	9.3	8.7	11.1	797.5	1.1
30	26.4	5.9	16.2	9.3	8.6	10.2	807.6	1.1
31	26.8	8.0	17.4	9.2	7.2	11.4	819.0	1.3
1o ago	27.8	10.2	19.0	9.2	7.7	13.0	832.0	1.2

Cuadro B.1.....continuación

2	26.4	8.3	17.4	9.1	6.6	11.4	843.4	1.4
3	24.4	5.7	15.1	9.1	7.4	9.1	852.4	1.2
4	24.7	8.2	16.5	9.0	7.8	10.5	862.9	1.2
5	28.2	3.9	16.1	8.9	8.0	10.1	872.9	1.1
6	26.4	8.7	17.6	8.8	8.7	11.6	884.5	1.0
7	25.8	6.7	16.3	8.7	9.0	10.3	894.7	1.0
8	25.2	8.3	16.8	8.6	8.1	10.8	905.5	1.1
9	27.6	7.4	17.5	8.4	7.1	11.5	917.0	1.2
10	27.6	9.5	18.6	8.3	7.3	12.6	929.5	1.1
11	27.2	7.6	17.4	8.1	9.3	11.4	940.9	0.9
12	28.2	8.2	18.2	8.0	8.5	12.2	953.1	0.9
13	26.3	5.8	16.1	7.8	8.2	10.1	963.2	1.0
14	26.3	5.8	16.1	7.6	7.7	10.1	973.2	1.0
15	27.3	4.8	16.1	7.4	8.7	10.1	983.3	0.9
16	25.7	5.3	15.5	7.2	8.6	9.5	992.8	0.8
17	24.9	6.3	15.6	7.0	8.4	9.6	1002.4	0.8
18	25.6	8.3	17.0	6.8	9.1	11.0	1013.3	0.7
19	26.2	6.1	16.2	6.6	8.9	10.2	1023.5	0.7
20	23.3	7.7	15.5	6.3	8.2	9.5	1033.0	0.8
21	26.2	8.9	17.6	6.1	8.7	11.6	1044.5	0.7
22	25.2	3.9	14.6	5.8	8.0	8.6	1053.1	0.7
23	24.5	7.6	16.1	5.5	7.6	10.1	1063.1	0.7
24	27.3	9.6	18.5	5.2	7.9	12.5	1075.6	0.7
25	24.6	14.2	19.4	4.9	8.1	13.4	1089.0	0.6
26	25.3	10.8	18.1	4.6	6.8	12.1	1101.0	0.7
27	25.9	8.3	17.1	4.3	7.9	11.1	1112.1	0.5
28	24.7	8.4	16.6	4.0	7.7	10.6	1122.7	0.5
29	22.7	9.2	16.0	3.7	7.4	10.0	1132.6	0.5
30	23.1	8.2	15.7	3.3	8.2	9.7	1142.3	0.4
31	24.4	6.8	15.6	3.0	6.2	9.6	1151.9	0.5
1o sep	25.3	8.7	17.0	2.6	7.1	11.0	1162.9	0.4
2	25.7	10.9	18.3	2.2	7.6	12.3	1175.2	0.3
3	25.7	9.0	17.4	1.8	6.9	11.4	1186.5	0.3
4	25.6	9.4	17.5	1.4	6.0	11.5	1198.0	0.2
5	26.9	0.8	13.9	1.0	6.1	7.9	1205.9	0.2
6	23.6	8.4	16.0	0.6	6.9	10.0	1215.9	0.1
7	21.8	9.9	15.9	0.2	7.2	9.9	1225.7	0.0

Cuadro B.2. Evapotranspiración en el campo de cultivo para la Localidad El Ranchito.

Día	T°C Máx	T°C Min	TMed	Etr	ETP (J-H)	UCA	UCA	kc obs
Jul	(°C)	(°C)	(°C)	(mm/día)	(mm / día)	(°C)	acum	
5	26.0	6.1	16.1	4.3	10.6	10.1	243.4	0.4
6	20.6	8.4	14.5	4.5	10.8	8.5	251.9	0.4
7	23.3	6.8	15.1	4.6	10.3	9.1	260.9	0.4
8	23.8	8.6	16.2	4.7	9.9	10.2	271.1	0.5
9	24.0	8.9	16.5	4.8	9.4	10.5	281.6	0.5
10	20.2	9.9	15.1	4.9	7.0	9.1	290.6	0.7
11	21.7	11.5	16.6	5.0	6.8	10.6	301.2	0.7
12	23.7	7.4	15.6	5.1	7.1	9.6	310.8	0.7
13	25.6	9.5	17.6	5.2	7.9	11.6	322.3	0.6
14	25.6	9.5	17.6	5.2	8.4	11.6	333.9	0.6
15	24.7	8.2	16.5	5.3	9.0	10.5	344.3	0.6
16	23.3	7.6	15.5	5.4	8.7	9.5	353.8	0.6
17	22.3	6.4	14.4	5.5	6.7	8.4	362.1	0.8
18	20.8	8.2	14.5	5.5	6.6	8.5	370.6	0.8
19	21.1	12.6	16.9	5.6	6.7	10.9	381.5	0.8
20	19.9	6.8	13.4	5.6	6.4	7.4	388.8	0.9
21	23.4	12.8	18.1	5.7	5.7	12.1	400.9	1.0
22	23.7	12.6	18.2	5.8	6.3	12.2	413.1	0.9
23	24.4	11.7	18.1	5.8	5.9	12.1	425.1	1.0
24	26.0	6.1	16.1	5.8	6.3	10.1	435.2	0.9
25	23.5	8.5	16.0	5.9	7.1	10.0	445.2	0.8
26	23.9	10.7	17.3	5.9	6.5	11.3	456.5	0.9
27	21.2	11.1	16.2	5.9	5.8	10.2	466.6	1.0
28	18.7	11.8	15.3	6.0	7.7	9.3	475.9	0.8
29	25.1	15.1	20.1	6.0	7.0	14.1	490.0	0.9
30	23.3	6.7	15.0	6.0	6.8	9.0	499.0	0.9
31	21.8	7.2	14.5	6.0	8.1	8.5	507.5	0.7
1o Ago	27.8	6.0	16.9	6.0	7.3	10.9	518.4	0.8
2	24.9	7.4	16.2	6.0	8.8	10.2	528.5	0.7
3	23.6	6.8	15.2	6.0	7.5	9.2	537.7	0.8
4	23.1	8.6	15.9	6.0	9.5	9.9	547.6	0.6
5	24.3	7.2	15.8	6.0	7.3	9.8	557.3	0.8
6	24.3	9.2	16.8	6.0	6.1	10.8	568.1	1.0
7	25.8	7.4	16.6	6.0	7.1	10.6	578.7	0.8
8	26.3	8.7	17.5	6.0	9.2	11.5	590.2	0.6
9	24.2	6.7	15.5	5.9	6.2	9.5	599.6	1.0
10	24.2	6.7	15.5	5.9	7.7	9.5	609.1	0.8
11	25.0	6.0	15.5	5.9	7.8	9.5	618.6	0.8
12	24.1	8.3	16.2	5.8	7.5	10.2	628.8	0.8
13	23.3	7.8	15.6	5.8	5.6	9.6	638.3	1.0
14	24.5	8.2	16.4	5.7	6.0	10.4	648.7	1.0
15	23.4	9.6	16.5	5.7	7.6	10.5	659.2	0.7

Cuadro B.2.....continuación

16	22.1	11.7	16.9	5.6	8.5	10.9	670.1	0.7
17	23.4	13.6	18.5	5.6	8.6	12.5	682.6	0.6
18	24.6	8.8	16.7	5.5	8.3	10.7	693.3	0.7
19	22.6	10.7	16.7	5.4	7.6	10.7	703.9	0.7
20	24.9	10.4	17.7	5.4	7.0	11.7	715.6	0.8
21	21.6	13.0	17.3	5.3	6.1	11.3	726.9	0.9
22	22.1	9.8	16.0	5.2	5.4	10.0	736.8	1.0
23	23.8	7.2	15.5	5.1	5.9	9.5	746.3	0.9
24	20.6	8.6	14.6	5.0	6.6	8.6	754.9	0.8
25	20.3	8.3	14.3	5.0	7.0	8.3	763.2	0.7
26	21.1	8.6	14.9	4.9	7.6	8.9	772.1	0.6
27	22.7	7.1	14.9	4.8	8.8	8.9	781.0	0.5
28	23.9	7.8	15.9	4.7	7.5	9.9	790.8	0.6
29	24.0	10.4	17.2	4.5	7.0	11.2	802.0	0.6
30	23.6	9.1	16.4	4.4	5.7	10.4	812.4	0.8
31	23.6	9.0	16.3	4.3	4.0	10.3	822.7	1.1
1º Sep	25.0	4.1	14.6	4.2	6.8	8.6	831.2	0.6
2	20.8	9.1	15.0	4.1	5.7	9.0	840.2	0.7
3	21.7	8.7	15.2	3.9	6.3	9.2	849.4	0.6
4	19.1	12.0	15.6	3.8	6.8	9.6	858.9	0.6
5	22.5	7.4	15.0	3.7	7.7	9.0	867.9	0.5
6	21.3	7.4	14.4	3.5	7.0	8.4	876.2	0.5
7	22.7	9.4	16.1	3.4	6.6	10.1	886.3	0.5
8	24.3	6.9	15.6	3.2	9.1	9.6	895.9	0.4
9	19.2	7.1	13.2	3.1	8.2	7.2	903.0	0.4
10	19.2	7.1	13.2	2.9	7.5	7.2	910.2	0.4
11	21.5	6.1	13.8	2.7	7.0	7.8	918.0	0.4
12	21.8	6.9	14.4	2.6	7.4	8.4	926.3	0.3
13	21.2	6.2	13.7	2.4	7.5	7.7	934.0	0.3
14	23.0	6.3	14.7	2.2	8.1	8.7	942.7	0.3
15	24.6	6.8	15.7	2.0	8.5	9.7	952.4	0.2
16	25.0	9.1	17.1	1.9	8.2	11.1	963.4	0.2
17	22.2	10.4	16.3	11.2	7.8	10.3	973.7	0.2
18	20.8	6.9	13.9	11.2	8.3	7.9	981.6	0.2
19	22.8	6.8	14.8	11.3	7.6	8.8	990.4	0.2
20	24.7	4.1	14.4	11.3	7.1	8.4	998.8	0.1
21	24.6	9.1	16.9	11.4	7.7	10.9	1009.6	0.1
22	26.1	7.0	16.6	11.5	7.0	10.6	1020.2	0.2
23	25.8	6.6	16.2	11.5	5.9	10.2	1030.4	0.2
24	25.6	3.7	14.7	11.6	6.3	8.7	1039.0	0.2
25	16.1	11.1	13.6	11.6	7.7	7.6	1046.6	0.1
26	20.1	8.7	14.4	11.7	6.4	8.4	1055.0	0.1
27	21.2	5.5	13.4	11.7	7.3	7.4	1062.4	0.1
28	22.3	0.0	11.2	11.8	5.1	5.2	1067.5	0.1
29	22.2	6.4	14.3	11.9	6.1	8.3	1075.8	0.1
30	20.4	7.8	14.1	11.9	7.2	8.1	1083.9	0.1

Cuadro B.2.....continuación

1° Oct	24.8	-2.9	11.0	12.0	5.5	5.0	1088.9	0.0
2	21.7	2.8	12.3	12.0	5.2	6.3	1095.1	0.0
3	24.0	3.1	13.6	12.0	5.6	7.6	1102.7	0.0

Cuadro B.3. Evapotranspiración en el campo de cultivo para la Localidad San Francisco.

Día	T°C Máx	T°C Min	TMed	Etr	ETP (J-H)	UCA	UCA	kc obs
Jun	(°C)	(°C)	(°C)	(mm/día)	(mm / día)	(°C)	acum	
9	26.9	7.8	17.4	8.2	9.3	11.4	226.0	0.9
10	25.3	7.8	16.6	8.2	9.0	10.6	236.5	0.9
11	24.8	7.7	16.3	8.2	9.6	10.3	246.8	0.9
12	26.8	6.5	16.7	8.2	9.7	10.7	257.4	0.8
13	27.6	9.6	18.6	8.2	9.1	12.6	270.0	0.9
14	27.6	9.6	18.6	8.2	9.5	12.6	282.6	0.9
15	27.8	12.3	20.1	8.2	7.7	14.1	296.7	1.1
16	27.1	12.2	19.7	8.2	8.5	13.7	310.3	1.0
17	28.1	11.4	19.8	8.2	9.6	13.8	324.1	0.9
18	24.4	9.2	16.8	8.2	10.2	10.8	334.9	0.8
19	25.3	4.2	14.8	8.2	7.8	8.8	343.6	1.1
20	27.4	7.6	17.5	8.2	8.2	11.5	355.1	1.0
21	28.5	9.4	19.0	8.2	6.4	13.0	368.1	1.3
22	24.6	9.6	17.1	8.2	8.1	11.1	379.2	1.0
23	25.2	9.6	17.4	8.2	9.1	11.4	390.6	0.9
24	21.8	9.0	15.4	8.2	7.3	9.4	400.0	1.1
25	24.6	10.6	17.6	8.2	7.5	11.6	411.6	1.1
26	26.2	10.0	18.1	8.2	7.8	12.1	423.7	1.1
27	23.4	10.3	16.9	8.2	9.0	10.9	434.5	0.9
28	24.3	9.6	17.0	8.1	10.3	11.0	445.5	0.8
29	23.9	8.4	16.2	8.1	11.1	10.2	455.6	0.7
30	26.0	10.2	18.1	8.1	10.4	12.1	467.7	0.8
1o jul	27.9	9.7	18.8	8.1	10.5	12.8	480.5	0.8
2	29.6	10.2	19.9	8.1	9.8	13.9	494.4	0.8
3	28.5	11.5	20.0	8.0	9.6	14.0	508.4	0.8
4	29.1	9.2	19.2	8.0	7.1	13.2	521.6	1.1
5	27.8	9.4	18.6	8.0	6.6	12.6	534.2	1.2
6	26.9	9.3	18.1	7.9	6.9	12.1	546.3	1.2
7	23.8	13.6	18.7	7.9	8.0	12.7	559.0	1.0
8	22.7	11.1	16.9	7.9	8.4	10.9	569.9	0.9
9	22.3	9.6	16.0	7.8	9.3	10.0	579.8	0.8
10	25.1	9.9	17.5	7.8	8.5	11.5	591.3	0.9

Cuadro B.3.....continuación

11	25.1	9.9	17.5	7.8	6.7	11.5	602.8	1.2
12	26.9	10.4	18.7	7.7	6.6	12.7	615.5	1.2
13	25.7	10.7	18.2	7.7	6.6	12.2	627.7	1.2
14	21.7	9.3	15.5	7.6	6.0	9.5	637.2	1.3
15	21.7	9.3	15.5	7.6	5.9	9.5	646.7	1.3
16	22.1	9.9	16.0	7.5	6.1	10.0	656.7	1.2
17	21.1	10.2	15.7	7.5	5.8	9.7	666.3	1.3
18	20.6	9.9	15.3	7.4	6.2	9.3	675.6	1.2
19	21.2	10.8	16.0	7.4	7.3	10.0	685.6	1.0
20	20.7	10.3	15.5	7.3	6.7	9.5	695.1	1.1
21	22.6	13.9	18.3	7.3	5.6	12.3	707.3	1.3
22	24.3	13.1	18.7	7.2	7.4	12.7	720.0	1.0
23	24.1	15.1	19.6	7.1	7.1	13.6	733.6	1.0
24	21.7	13.7	17.7	7.1	7.0	11.7	745.3	1.0
25	23.8	11.0	17.4	7.0	7.8	11.4	756.7	0.9
26	23.4	11.6	17.5	6.9	7.2	11.5	768.2	1.0
27	23.3	11.9	17.6	6.9	8.4	11.6	779.8	0.8
28	24.8	13.2	19.0	6.8	7.3	13.0	792.8	0.9
29	23.6	12.8	18.2	6.7	9.4	12.2	805.0	0.7
30	25.5	11.0	18.3	6.7	7.3	12.3	817.3	0.9
31	23.3	11.4	17.4	6.6	6.2	11.4	828.6	1.1
1o ago	26.7	10.4	18.6	6.5	6.2	12.6	841.2	1.1
2	23.6	11.0	17.3	6.4	9.4	11.3	852.5	0.7
3	21.4	11.0	16.2	6.3	6.4	10.2	862.7	1.0
4	17.3	13.7	15.5	6.3	7.3	9.5	872.2	0.9
5	25.9	6.7	16.3	6.2	7.1	10.3	882.5	0.9
6	21.1	9.1	15.1	6.1	7.3	9.1	891.6	0.8
7	22.9	8.4	15.7	6.0	5.5	9.7	901.2	1.1
8	22.6	9.9	16.3	5.9	5.9	10.3	911.5	1.0
9	23.7	10.2	17.0	5.8	7.3	11.0	922.4	0.8
10	20.2	10.2	15.2	5.7	8.6	9.2	931.6	0.7
11	21.1	10.7	15.9	5.6	8.8	9.9	941.5	0.6
12	22.6	6.7	14.7	5.5	7.9	8.7	950.2	0.7
13	25.1	7.6	16.4	5.4	7.5	10.4	960.5	0.7
14	25.1	7.6	16.4	5.3	6.4	10.4	970.9	0.8
15	23.9	8.5	16.2	5.2	5.8	10.2	981.1	0.9
16	23.7	9.1	16.4	5.1	5.3	10.4	991.5	1.0
17	21.8	8.4	15.1	5.0	5.5	9.1	1000.6	0.9
18	20.3	9.1	14.7	4.9	5.8	8.7	1009.3	0.8
19	20.6	11.9	16.3	4.8	7.1	10.3	1019.5	0.7
20	19.9	8.4	14.2	4.7	7.6	8.2	1027.7	0.6
21	21.4	11.9	16.7	4.6	8.7	10.7	1038.3	0.5
22	23.4	11.6	17.5	4.5	7.3	11.5	1049.8	0.6
23	24.6	12.1	18.4	4.3	6.5	12.4	1062.2	0.7
24	25.9	8.2	17.1	4.2	5.2	11.1	1073.2	0.8
25	23.5	10.1	16.8	4.1	6.5	10.8	1084.0	0.6

Cuadro B.3.....continuación

26	22.6	10.3	16.5	4.0	6.8	10.5	1094.5	0.6
27	20.1	11.1	15.6	3.8	7.0	9.6	1104.1	0.5
28	22.9	11.2	17.1	3.7	7.3	11.1	1115.1	0.5
29	23.3	10.6	17.0	3.6	7.5	11.0	1126.1	0.5
30	23.3	8.1	15.7	3.5	7.6	9.7	1135.8	0.5
31	23.6	9.0	16.3	3.3	6.8	10.3	1146.1	0.5
1o sep	24.4	10.7	17.6	3.2	6.4	11.6	1157.6	0.5
2	24.2	9.1	16.7	3.1	8.9	10.7	1168.3	0.3
3	22.6	7.7	15.2	2.9	8.0	9.2	1177.4	0.4
4	21.9	8.3	15.1	2.8	7.5	9.1	1186.5	0.4
5	27.4	7.6	17.5	2.6	6.8	11.5	1198.0	0.4

Cuadro B.4. Evapotranspiración en el campo de cultivo para la Localidad El Tunal.

Día	T°C Máx	T°C Min	TMed	Etr	ETP (J-H)	UCA	UCA	kc obs
Jul	(°C)	(°C)	(°C)	(mm/día)	(mm / día)	(°C)	acum	
19	20.9	11.5	16.2	4.3	5.6	10.2	324.0	0.8
20	19.6	6.9	13.25	4.5	5.6	7.25	331.2	0.8
21	21.4	11.6	16.5	4.6	5.8	10.5	341.7	0.8
22	23.6	12.4	18	4.7	6.9	12	353.7	0.7
23	23.9	10.8	17.35	4.8	7.5	11.35	365.1	0.6
24	25.2	6.6	15.9	4.9	8.5	9.9	375.0	0.6
25	22.6	8.8	15.7	5.0	7.0	9.7	384.7	0.7
26	22.3	9.5	15.9	5.1	6.5	9.9	394.6	0.8
27	19.3	10.4	14.85	5.2	6.2	8.85	403.4	0.8
28	22.4	11.7	17.05	5.2	6.2	11.05	414.5	0.8
29	22.9	9.7	16.3	5.3	6.7	10.3	424.8	0.8
30	23.2	7.8	15.5	5.4	7.0	9.5	434.3	0.8
31	24.1	8.2	16.15	5.5	7.6	10.15	444.4	0.7
1o ago	24.4	10.1	17.25	5.5	7.7	11.25	455.7	0.7
2	24.4	8.1	16.25	5.6	7.8	10.25	465.9	0.7
3	22.2	6.6	14.4	5.6	6.7	8.4	474.3	0.8
4	22	7.1	14.55	5.7	6.6	8.55	482.9	0.9
5	27	6.1	16.55	5.8	8.8	10.55	493.4	0.7
6	24.1	6.9	15.5	5.8	7.8	9.5	502.9	0.7
7	23.2	6.3	14.75	5.8	7.3	8.75	511.7	0.8
8	23	8.7	15.85	5.9	7.0	9.85	521.5	0.8
9	24.1	7.2	15.65	5.9	7.3	9.65	531.2	0.8
10	24.1	9.1	16.6	5.9	7.4	10.6	541.8	0.8
11	24.8	8.2	16.5	6.0	7.6	10.5	552.3	0.8
12	25.3	9.7	17.5	6.0	8.0	11.5	563.8	0.7
13	25.1	7.8	16.45	6.0	8.4	10.45	574.2	0.7

Cuadro B.4.....continuación

14	25.1	7.8	16.45	6.0	8.0	10.45	584.7	0.8
15	24.6	6.1	15.35	6.0	8.0	9.35	594.0	0.8
16	23.5	8.5	16	6.0	7.3	10	604.0	0.8
17	23.2	7	15.1	6.0	7.1	9.1	613.1	0.9
18	23.9	7.4	15.65	6.0	7.4	9.65	622.8	0.8
19	22.9	7.7	15.3	6.0	7.0	9.3	632.1	0.9
20	21.9	9.6	15.75	6.0	6.1	9.75	641.8	1.0
21	22.4	12.9	17.65	6.0	5.8	11.65	653.5	1.0
22	23.5	7.6	15.55	6.0	7.3	9.55	663.0	0.8
23	21.5	11.8	16.65	5.9	5.5	10.65	673.7	1.1
24	24.1	10.4	17.25	5.9	6.9	11.25	684.9	0.9
25	22.2	12.8	17.5	5.9	5.5	11.5	696.4	1.1
26	22.1	10.6	16.35	5.8	6.0	10.35	706.8	1.0
27	23.3	7.3	15.3	5.8	7.0	9.3	716.1	0.8
28	21.1	8.6	14.85	5.7	5.7	8.85	724.9	1.0
29	20.2	8.8	14.5	5.7	5.1	8.5	733.4	1.1
30	20.4	8.8	14.6	5.6	5.3	8.6	742.0	1.1
31	21.6	7.2	14.4	5.6	6.0	8.4	750.4	0.9
1o sep	23.2	7.8	15.5	5.5	6.6	9.5	759.9	0.8
2	23	9.4	16.2	5.4	6.4	10.2	770.1	0.9
3	22.8	9	15.9	5.4	6.2	9.9	780.0	0.9
4	22.5	9.1	15.8	5.3	6.2	9.8	789.8	0.9
5	23.9	4.3	14.1	5.2	7.2	8.1	797.9	0.7
6	20.6	8.9	14.75	5.1	5.2	8.75	806.7	1.0
7	19.8	9	14.4	5.0	4.8	8.4	815.1	1.0
8	18.9	11.8	15.35	5.0	6.1	9.35	824.4	0.8
9	21.8	6.9	14.35	4.9	6.2	8.35	832.8	0.8
10	21.8	6.9	14.35	4.8	5.8	8.35	841.1	0.8
11	22.9	10.1	16.5	4.7	6.0	10.5	851.6	0.8
12	23.4	7.2	15.3	4.5	6.4	9.3	860.9	0.7
13	19.4	6.3	12.85	4.4	4.8	6.85	867.8	0.9
14	19.4	6.3	12.85	4.3	5.0	6.85	874.6	0.9
15	21	5.9	13.45	4.2	5.4	7.45	882.1	0.8
16	21.1	6.1	13.6	4.1	5.4	7.6	889.7	0.7
17	21	5.8	13.4	3.9	5.4	7.4	897.1	0.7
18	21.8	6.5	14.15	3.8	5.7	8.15	905.2	0.7
19	23.8	6.4	15.1	3.7	6.5	9.1	914.3	0.6
20	23.8	7.9	15.85	3.5	6.6	9.85	924.2	0.5
21	21.6	8.8	15.2	3.4	5.5	9.2	933.4	0.6
22	20.6	5.9	13.25	3.2	5.2	7.25	940.6	0.6
23	21.9	7.1	14.5	3.1	5.6	8.5	949.1	0.5
24	23.8	4.3	14.05	2.9	6.5	8.05	957.2	0.4
25	23.9	10.6	17.25	2.7	6.2	11.25	968.4	0.4
26	24.6	7.1	15.85	2.6	6.8	9.85	978.3	0.4
27	24.7	7.1	15.9	2.4	6.7	9.9	988.2	0.4
28	23.8	4.4	14.1	2.2	6.5	8.1	996.3	0.3

Cuadro B.4.....continuación

29	15.4	10.4	12.9	2.0	5.3	6.9	1003.2	0.4
30	20.6	9.2	14.9	1.9	4.4	8.9	1012.1	0.4

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCION DE POSGRADO

GENERACION DE UN PROGRAMA DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE LA
PAPA EN LA REGION DE ARTEAGA, COAHUILA

TESIS

POR

FERNANDO PEREZ SATO

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada
como requisito parcial para optar al grado de:

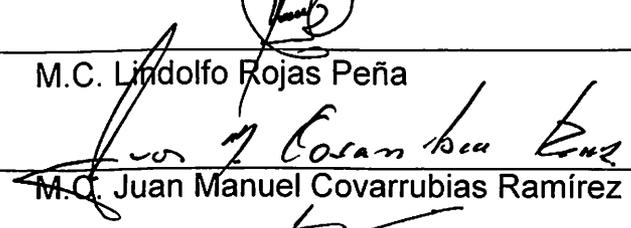
MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE

COMITÉ PARTICULAR

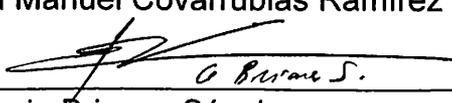
Asesor Principal


M.C. Lindolfo Rojas Peña

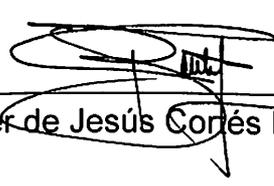
Asesor:


M.C. Juan Manuel Covarrubias Ramírez

Asesor:


M.C. Gregorio Briones Sánchez

Asesor:


Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Dr. Ramiro López Trujillo
Subdirector de Posgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Noviembre de 2000