

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
UNIDAD – LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS**



**“MODELO PEMUAN (Pronóstico de Eventos  
Meteorológicos de la Universidad Autónoma  
Agraria Antonio Narro Unidad Laguna) PARA LA  
APLICACIÓN AGROPECUARIA”**

**POR**

**MOISÉS CARBALLO GALICIA**

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

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS**

**"MODELO PEMUAN (Pronóstico de Eventos Meteorológicos de la  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna) PARA  
LA APLICACIÓN AGROPECUARIA".**

TESIS DEL C. MOISÉS CARBALLO GALICIA QUE SE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DE LOS ASESORES COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN.**

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL.

  
M.C. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS.

ASESOR.

  
M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZÁLEZ QUIRINO.

ASESOR.

  
M.C. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA.

ASESOR.

  
M.C. ARMANDO MORENO RUBIO.

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS

  
M.C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA

Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD - LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS

"MODELO PEMUAN (Pronóstico de Eventos Meteorológicos de la  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna) PARA  
LA APLICACIÓN AGROPECUARIA".

TESIS DEL C. MOISÉS CARBALLO GALICIA QUE SE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DE LOS ASESORES COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN.

APROBADA POR:

PRESIDENTE

  
M.C. CARLOS EFREN RAMIREZ CONTRERAS.

VOCAL

  
M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZÁLEZ QUIRINO.

VOCAL


  
M.C. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA.

VOCAL SUPLENTE

  
M.C. ARMANDO MORENO RUBIO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS

  
M.C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA

  
Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por qué nos ampara en todos los momentos de nuestra vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna por brindarme los medios que permitieron mi formación profesional.

A la División de Carreras Agronómicas, y su cuerpo de catedráticos que me instruyeron para terminar mi formación profesional.

A la Fundación Produce Coahuila por brindarme el apoyo para que este proyecto de investigación se lleve a cabo.

Al M.C. Carlos Efrén Ramírez Contreras por su amistad, consejos, tiempo, dedicación y apoyo que me brindo para la elaboración y revisión de este trabajo de investigación.

Al ing. David Ochoa del Toro por su valiosa colaboración y sus grandes aportaciones para la realización de esta investigación.

A mis compañeros de grupo y amigos que en todo momento me brindaron su comprensión y apoyo.

## DEDICATORIA

### **A mis padres:**

Sra. Eulalia Galicia Moreno

Sr. Guadalupe Carballo Márquez

Gracias por haberme dado la vida, quienes con su amor, consejos y apoyo hicieron posible la culminación de un sueño anhelado por mucho tiempo.

### **A mis hermanos:**

Araceli, Roberto, Rosario, Gabriela, Catalina, Guadalupe y Julio.

Gracias por qué conmigo lo han compartido todo y que siempre han estado junto a mi en los buenos y malos momentos, gracias entre otras cosas y a ese amor de hermanos que me han dado.

### **A mis sobrinitas:**

Carolina y Ma. De los Ángeles.

A ustedes que han llenado la casa de luz y alegría.

### **A mis maestros:**

A ustedes que me hicieron ver nuevos horizontes de pensamiento.

## INDICE

	PAGINA
INDICE DE CUADRO .....	iii
INDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN.....	vi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVO .....	3
III. HIPOTESIS .....	3
IV. METAS.....	3
V. JUSTIFICACIÓN .....	4
VI. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
6.1 Unidades Calor.....	5
6.1.1 Importancia de Unidades Calor.....	5
6.1.2 Métodos para determinar Unidades Calor .....	6
6.2 Humedad Relativa.....	9
6.3 Radiación Solar Extraterrestre .....	12
6.3.1 Radiación Solar Neta.....	12
6.4 Evapotranspiración .....	13
6.4.1 concepto de evapotranspiración.....	13
6.4.2 Evapotranspiración Potencial.....	15
6.4.3 Medición de la Evapotranspiración .....	16
6.4.3.1 Método de balance hidrológico .....	16
6.4.3.3 Balance hídrico .....	17
6.4.3.4 Métodos empíricos .....	19

6.5 Estrés calórico .....	25
6.5.1 Control del estrés calórico .....	26
6.6 Modelo MM5 .....	31
6.6.1 Características del MM5 .....	31
6.6.1.1 Estructura del MM5 .....	32
6.6.1.2 Módulos del Modelo MM5 .....	33
<b>VII. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>35</b>
7.1 Localización Geográfica .....	35
7.2 Análisis de temperatura .....	35
7.3 Humedad Relativa.....	40
7.4 Punto de Rocío.....	41
7.5 Unidades Calor.....	42
7.6 Estrés Calórico .....	43
7.7 Presión Atmosférica.....	44
7.8 Evapotranspiración .....	44
<b>VIII. RESULTADOS Y DISCUSIONES. ....</b>	<b>46</b>
8.1 Sistematización de algoritmos (software).....	46
<b>IX. CONCLUSIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>X. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>63</b>
<b>XI. ANEXOS .....</b>	<b>64</b>

## INDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1.- ANÁLISIS DE LOS DATOS REALES CON LOS PRONOSTICADOS DE LA ESTACIÓN MICROMETEREOLÓGICA INTALADA EN LA PEQUEÑA PROPIEDAD "LA MONTAÑA" DE LA FECHA 13 – 16 MARZO 2005.....	65
2. TABLA DEL GRADO DE ESTRÉS CALÓRICO PARA EL GANADO BOVINO LECHERO .....	68



## INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1.- PAGINA PRINCIPAL DEL SISTEMA DE PRONÓSTICO .....	42
2.- PANTALLA DE IMPRESIÓN.....	43
3.- GUARDAR DATOS .....	43
4.- ABANDONAR EL PROGRAMA.....	43
5.- CONSULTA DE DATOS .....	44
6.- CONSULTA DEL PERIODO.....	44
7.- INDICACIONES DEL PERIODO DE CONSULTA .....	44
8.- CONSULTA DE TABLAS Y GRAFICAS.....	45
9.- CONSULTA DE DATOS DEL CLIMA .....	45
10.- CONSULTA DE DATOS; CADA 15 MINUTOS Ó CADA HORA .....	46
11.- CONSULTA DE UNIDADES CALOR.....	46
12.- CONSULTA DE VALORES EXTREMOS .....	47
13.- CONSULTA DE VALORES EXTREMOS; DEL MES, DEL DÍA "X" Ó DEL DIA ACTUAL.....	47
14.- CONSULTA DE VALORES EXTREMOS DEL MES.....	48
15.- CONSULTA DE VALORES EXTREMOS DEL DÍA "X" Ó DEL DIA ACTUAL.....	48
16.- PANTALLA DE PRONÓSTICO.....	49
17.- PANTALLA DE ESTACIÓN .....	49

19.- ENVIAR .....	51
20.- RECIBIR .....	51
21.- BARRA DE HERRAMIENTAS.....	52
22.- PANTALLA DE LA GRAFICA DE TEMPERATURA .....	52
23.- PANTALLA DE LA GRAFICA DE ESTRÉS CALÓRICO .....	53
24.- PANTALLA DE LA BARRA DE ESTADO.....	53
25.-COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA REAL, TEMPERATURA PRONOSTICADA, HUMEDAD RELATIVA REAL, HUMEDADRELATIVA PRONOSTICADA, EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL Y EVAPOTRANSPIRACIÓN PRONOSTICADA .....	52

## RESUMEN.

Este trabajo de investigación se desarrollo en la pequeña propiedad "La Montaña" Ubicada en carretera a Nazareno – Rojo Gómez Km. 42 municipio de Lerdo Dgo. El cual tiene como objetivo generar una herramienta de apoyo para prever el efecto del estrés calórico en el ganado bovino lechero y la cantidad de agua por aplicar a los diversos cultivos basándose en sus requerimientos hídricos, a la infraestructura y agua disponible.

Para este trabajo de investigación se utilizaron las lecturas de temperatura horaria para diferentes días durante el año 2004. El adquisidor de datos, psicrómetro y pluviómetro, corresponde a la estación micrometeorológica instalada en el predio de la pequeña propiedad "La montaña". Las temperaturas fueron registradas cada 15 minutos y se promediaron para cada hora.

El psicrómetro es un dispositivo de medida de humedad relativa que tiene dos sensores. Uno de los sensores mide la temperatura de un elemento que está simplemente localizado en el ambiente. A este elemento se le denomina bulbo seco. El segundo sensor mide la temperatura de un elemento que esta circulando por un material fibroso saturado con agua pura. A este elemento se le denomina bulbo húmedo. El aire del ambiente es forzado a fluir sobre el bulbo seco y bulbo húmedo por medio de un ventilador que se encuentra en el psicrómetro.

Para el cálculo del pronóstico de temperatura también es necesario obtener los componentes astronómicos que alimentan a las ecuaciones de temperatura, el algoritmo para determinar los componentes astronómicos son los reportados por Allen (1998), donde: (Ads) es el ángulo de declinación del sol (grados), (Ahss) es el ángulo horario de salida del sol (grados), (Fot) es el foto periodo (hr), (Hss) es la hora de salida del sol (hr), (tps) es el tiempo de puesta del sol (hr), (Dn) es la duración de la noche (hr), (Tps) es la temperatura de puesta del sol (grados centígrados °C), como también es necesario utilizar el día juliano (1 a 365), la latitud (grados, minutos y segundos), la altitud (m), la temperatura máxima(°C) y la temperatura mínima (°C). Que todas estas variables se obtienen del estudio de las 24 horas del día.

Después de establecer las ecuaciones anteriores. En seguida se presentan las 4 ecuaciones para calcular el pronostica de temperatura generadas por (González 1998 y Pérez 2003). Estas ecuaciones están divididas en cuatro periodos el primero es de 1 a 7 horas, el segundo es de 8 a 13 horas, el tercero es de 13 a 19 horas y el cuarto es de 20 a 24 horas. Estas ecuaciones fueron sistematizadas en un lenguaje de programación para generar un software de pronóstico de temperatura. Este software es una herramienta que mediante los datos reales de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo se puede pronosticar dichas temperaturas. Para pronosticar la humedad relativa y el estrés calórico.

La temperatura y la humedad relativa presentan las siguientes condiciones: a) condicionan el contenido de vapor de agua en el aire, y el

fenómeno de evaporación. b) condicionan el nivel de reacciones físico – químicas de la planta, y por lo tanto en la duración de su ciclo vegetativo.

El modelo planteado en esta investigación, hace posible pronosticar la temperatura, la humedad relativa y la evapotranspiración para tener respuesta al efecto del estrés calórico presentes en los animales productores de leche y el estrés hídrico en cultivos.

## I. INTRODUCCIÓN.

La disponibilidad del agua es un problema actual a nivel mundial que de no atenderse con infraestructura, tecnología y educación, para su uso eficiente, generará problemas que afectaran a las generaciones futuras.

Dentro de nuestro territorio nacional existen regiones áridas y semi áridas donde se presentan escasas precipitaciones pluviales.

A nivel nacional el 10 por ciento de la superficie total irrigada es la que esta equipada con riego presurizado, mientras que la región de la Comarca Lagunera, se encuentra en una zona donde la escasez del agua es crítica, sólo tiene el 1.0 por ciento de su superficie equipada con sistemas de riego. Esta región es la cuenca lechera más importante a nivel nacional, que su principal demanda para la alimentación de sus cabezas de ganado, es a través de forraje verde, siendo el cultivo de alfalfa el forraje preferido. Sin embargo es un cultivo que demanda laminas anuales de riego que varían de 2.4 a 2.7 metros, lo que agrava el abatimiento del acuífero de la región, lo cual conlleva a buscar sistemas alternativos de riegos que incremente la eficiencia y abaraten el costo en el uso del agua, para la producción de forraje.

La ineficiencia en el uso del agua en el riego se integra por varios componentes, considerando las pérdidas de este recurso desde su almacenamiento, conducción y aplicación a las parcelas, también se pueden considerar el viento, la evaporación y el drenado de los suelos. Es importante conocer como se definen estos componentes, a si como la forma de mejorarse para lograr la optimización de este importante y escaso recurso, que se presenta en la mayoría de las zonas agrícolas de México.

La vaca lechera produce calor siendo esta una ventaja en tiempo de frío y en climas fríos, pero en épocas de calor, con elevadas temperaturas, la habilidad de la vaca para disipar el calor es mínima. El medio ideal para la vaca lechera es de  $-1$  a  $15^{\circ}\text{C}$ , pero se pueden mantener sin un impacto importante en la producción hasta los  $27^{\circ}\text{C}$ . Para el caso que nos ocupa cuando la temperatura rebasa los  $30^{\circ}\text{C}$ , comienzan a sentirse los efectos del estrés calórico. Con una humedad relativa de un  $80\%$  y una temperatura arriba de los  $23^{\circ}\text{C}$ , las vacas lactantes empiezan a sufrir el estrés.

En este presente trabajo mediante el apoyo del computador se simulan algunos aspectos climáticos, mediante los cuales se pretende ayudar a formular una herramienta para prever el efecto del estrés calórico y para decidir Cuanto y Cuando regar.

## **II. OBJETIVO.**

Generar una herramienta de apoyo para prever el estrés calórico en el ganado bovino lechero y para determinar la cantidad de agua por aplicar a los diversos cultivos basándose en sus requerimientos hídricos.

## **III. HIPOTESIS.**

Es posible que mediante el sistema de simulación se prevea el estrés calórico del ganado bovino lechero como también se determine la cantidad de agua que requiere el cultivo al momento del riego.

## **IV. METAS.**

- En el primer año se tendrá el sistema del software para cada predio participante.
- Actualización del software en un año.



## V. JUSTIFICACIÓN.

Existe gran relación entre la agricultura, animales y los efectos climáticos. Es por ello que los cambios fisiológicos que sufren las plantas dentro del periodo de crecimiento influyen directamente en la producción agrícola. La temperatura como la humedad relativa repercuten en el rendimiento de la producción de leche en el ganado bovino. Es por ello que se debe buscar de manera permanente una relación entre el clima, rendimiento de los cultivos y producción de leche del ganado bovino. (Torres 1983).

Por medio de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se puede contar con una herramienta para cuantificar los factores climáticos que dañan la producción agropecuaria como: heladas tardías o tempranas que afectan a los cultivos, y a su vez es posible prever el estrés calórico que afectan la de producción de leche en bovinos.

Además de lo anterior, los modelos de temperatura y humedad relativa que se encuentran sistematizados, pueden ser utilizados para tomar decisiones en ciertas etapas de desarrollo de los cultivos como también se puede prever el estrés calórico de los bovinos productores de leche.

## VI. REVISIÓN DE LITERATURA.

### 6.1 Unidades Calor.

Para describir la importancia de la temperatura sobre la fenología de las plantas se ha usado desde el siglo XVIII el concepto de suma de temperatura, mas conocido como unidades calor, grados día, ó unidades térmicas del crecimiento. Este concepto postula que el crecimiento y desarrollo de un cultivo depende de la cantidad de calor que las plantas reciben. Es decir, que un cultivo alcanzará una determinada etapa fenológica cuando haya recibido cierta cantidad de calor, independientemente del tiempo requerido para ella Hodges y Doraiswamy, (1979). Del Real (1982) define unidades de calor como la exposición de un cultivo durante una hora a una temperatura de un grado centígrado sobre una temperatura base de cuatro punto cinco grados centígrados.

#### 6.1.1 Importancia de Unidades Calor.

Villalpando (1985) cita algunos ejemplos de los usos de las unidades calor en la agricultura.

- Pronóstico de etapas fenológicas de los cultivos. (Emergencia, Floración, Madurez fisiológica, etc.).

- Clasificación de especies y variedades con unidades calor como medida estándar en lugar de días, para evitar las diferencias en desarrollo que se presentan para la misma variedad de una región a otra.
- Para zonificar cultivos en base a unidades calor requeridas.
- Estimación y predicción de etapas biológicas de insectos.

### 6.1.2 Métodos para determinar Unidades Calor.

Existen varios métodos para estimar unidades calor dentro de los cuales se describen los siguientes:

#### 6.1.2.1 Método directo de Reamar.

Ortiz (1987) menciona que en este método se suman las temperaturas promedio diarias, desde la siembra hasta la maduración del cultivo, cuando la temperatura de un día es menor a cero grados centígrados no se considera dentro del cálculo. La ecuación es el siguiente:

$$Uc = \sum_{i=1}^n (TMi) \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

UC = Unidades calor

TM = Temperatura promedio diaria (°C).

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ .

$n =$  Número de días.

### 6.1.2.2 Método Exponencial.

Villalpando (1985) y Ortiz (1987) mencionan que el método exponencial se basa en la ley de Van't Hoff, o del Q10, que indica que la velocidad de reacción de un organismo se duplica por cada 10 °C de aumento en la temperatura; tomando como temperatura mínima la de 4.5 °C, este método tiene la deficiencia de asignar una alta eficiencia para crecimiento óptimo a temperaturas muy altas. La ecuación para el cálculo es la siguiente:

$$UC = \sum_{i=1}^n 2^{\left[ \frac{T_{Mi} - 4.5}{10} \right]} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

UC = Unidades Calor

T<sub>Mi</sub> = Temperatura promedio diaria (°C)

$i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$

$n =$  Número de días

### 6.1.2.3 Método fisiológico.

Brown (1976), citado por Villalpando (1985) Menciona que este método se basa en las respuestas fisiológicas de las plantas a la temperatura. Este método ha sido desarrollado tanto bajo condiciones en cámaras de crecimiento como en condiciones de campo. Para maíz bajo condiciones de campo se determina de la siguiente manera:

$$\text{UCD} = \left[ \frac{A + B}{2} \right] \dots\dots\dots (3)$$

$$A = 1.85 (T_{ma} - 10) - 0.026 (T_{ma} - 10)^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$B = T_{mi} - 4.4 \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

$T_{ma}$  = Temperatura máxima diaria (°C).

$T_{mi}$  = Temperatura mínima diaria (°C).

UCD = Unidades calor diarias

### 6.1.2.4 Método residual.

Arnold (1960) y Wang (1960) describieron este método como método de la media, el cual consiste en sustraer una temperatura base o umbral mínima a la temperatura promedio diaria, así mismo Ortiz (1987) menciona que esta temperatura base se considera como cuatro punto cinco grados centígrados,

por otra parte Villalpando (1985) menciona que el método residual acumula unidades calor arriba de la temperatura base, su ecuación es la siguiente:

$$UCD = \sum_{i=1}^n (TM_i - 4.5) \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

UND = Unidades calor diarias

TM = Temperatura promedia diaria (°C).

i = 1, 2, 3,....., n

n = Número de días

## 6.2 Humedad Relativa (HR).

Según Méndez (1992), la humedad relativa del aire, se define como la razón entre la presión de vapor de agua en un momento dado (pv) y la presión de vapor de agua cuando el aire está saturado de humedad (pvs), a la misma temperatura. La humedad relativa se puede expresar como decimal o como porcentaje.

Con los valores T y Tbh (temperatura y temperatura de bulbo húmedo), se puede obtener la pv (presión de vapor). A partir de un balance de energía, se puede escribir la siguiente ecuación:

$$P_v = P_{vsbh} - a_1 * P * (T - T_{bh}) \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

$P_v$  = Presión o tensión de vapor (hpa).

$P_{vsbh}$  = Presión de vapor de saturación a la temperatura de bulbo húmedo (hpa).

$a_1$  = Factor psicrométrico (varia con la ventilación).

$P$  = Presión atmosférica (hpa).

$(T - T_{bh})$  = Diferencia o depresión psicrométrica (diferencia entre las temperaturas del bulbo seco y el de bulbo húmedo en (°K).

Las siguientes formulas son una aproximación a la  $P_{vs}$  ingresando a la  $T$ .  
En el caso (1) para temperaturas bajo cero (entre 255.38 °K y 273.16 °K) y en el caso (2) para temperaturas sobre cero (entre 273.16 °K y 366.5 °K).

$$P_{vs -0} = \text{Exp} (31.9602 - 6270.3605 / T - 0.46057 * \ln T) \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

$P_{vs - 0}$  = Presión de vapor de saturación bajo cero (hpa)

$T$  = Temperatura (°K)

$$P_{vs +0} = \text{Exp} (60.433 - 6834.271 / T - 5.16923 * \ln T) \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

$P_{vs + 0}$  = Presión de vapor de saturación sobre cero (HPa).

$T$  = temperatura (°K).

La formula para obtener la presión en función de la altitud es la siguiente:

$$P1 = Po / \text{Exp} (Z * g / (R * Tm)) \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

P1 = Presión de vapor actual a una altitud de Z metros (hpa).

Po = Presión superficial (hpa).

Z = Altitud del lugar en donde se va a determinar la presión de vapor P1 (m).

g = Aceleración de la gravedad = (9.81 m/s<sup>2</sup>)

R = Constante de los gases = (287.04 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> °K).

Tm = Temperatura media de los niveles de presión (°K).

La humedad relativa puede obtenerse con la siguiente formula:

$$HR = (Pv/Pvs) * 100 \dots \dots \dots (11)$$

Donde:

Pv = presión de vapor actual (hpa).

Pvs = presión de vapor de saturación (hpa).



### 6.3 Radiación solar extraterrestre (Ra).

La radiación extraterrestre Ra, es la cantidad de radiación solar recibida en la parte superior de la atmósfera, expresada en equivalentes de evaporación en mm/día, (Doorenbos y Pruit, 1977).

La radiación extraterrestre puede ser calculada de acuerdo a la latitud y día juliano. Las siguientes ecuaciones son tomadas de (Allen, 1998).

$$Ra = 890 \cdot (d_{med}/d)^2 (0.01745 \cdot A_{hss} \cdot \text{seno}(\text{Lat}) \cdot \text{seno}(\text{Ads}) + \text{cos}(\text{lat}) \cdot \text{cos}(\text{Ads}) \cdot \text{cos}(A_{hss})) \dots \dots \dots (12)$$

#### 6.3.1 Radiación solar neta (Rs).

La radiación solar Rs, es la radiación de ondas cortas recibida en la superficie de la tierra. En equivalente de evaporación, (mm/día). Villa (1993), realizó un estudio en el cual se calibraron dos modelos empíricos para estimar la radiación solar a partir de datos de insolación, fotoperíodo y temperatura del aire. El trabajo se desarrollo en el campo experimental del CENID-RASPA en Gómez Palacio, Dgo. Se utilizó el método de mínimos cuadrados para determinar los coeficientes de ajuste, se usaron 950 datos de radiación solar, los registros diarios de temperatura máxima y mínima así como los de horas de brillo de sol de la estación agro-climatológica del CENID. La información de fotoperíodo y de radiación extraterrestre fue generada a nivel diario mediante

ecuaciones. Los resultados indican que con los coeficientes de calibración se obtienen datos de radiación global más precisos que cuando se usan modelos recomendados para grandes extensiones; también es posible estimar la radiación solar con buena precisión con solo información de temperatura del aire. Consecuentemente el modelo de calibración (Villa, 1993) que describe la  $R_s$  ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) sobre la base de la temperatura del aire es el siguiente:

$$R_s = 0.179 R_a (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0.495} \dots\dots\dots(13)$$

Donde:

$R_s$  = Radiación solar neta ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

$R_a$  = Radiación extraterrestre ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

$T_{\text{max}}$  = Temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$T_{\text{min}}$  = Temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ).

**6.4 Evapotranspiración.**

**6.4.1 El concepto de Evapotranspiración.**

La Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas Doorenbos y Pruitt, (1977) presenta en su documento No. 24 el concepto de Evapotranspiración (ET) y lo define como la tasa de pérdida de agua debida a la transpiración de la vegetación, más la evaporación del suelo y de la superficie húmeda de la vegetación, se mide en mm/día. La ET del cultivo de referencia,  $ET_o$  como la tasa de ET de una superficie extensa de 8 a 15 cm de

cubierta vegetal alta de gramíneas verdes de altura uniforme, crecimiento activo, que da una cubierta sombreada al suelo y que no escasea de agua, se mide en mm/día. La ET real del cultivo,  $E_{To}$  (cultivo) como la tasa de ET igual o menor que la ET (cultivo) prevista, en función del nivel de humedad del suelo, de la salinidad del suelo, tamaño del campo u otras causas. En cualquier balance hidrológico con fines de evaluación, de diseño o de planeación del riego, la ET es el componente más importante. Su importancia estriba primero, en que el rendimiento de los cultivos es una función de este componente, y segundo en que en términos de proporción, la ET representa el 50 por ciento en relación con el resto de los componentes de un balance hidrológico. Por lo antes dicho la precisión en los resultados será función del procedimiento de cálculo de ET utilizado (Hernández, 1990a, Morales, 1999, Ramírez, 1990).

Monteith (1985) indica que el uso del término evapotranspiración no es el más adecuado, ya que en realidad el proceso de cambio de fase del agua es únicamente el de evaporación y que en las plantas se da predominantemente en la cavidad subestomática, mientras que la transpiración indica un flujo de vapor desde el interior de la cavidad al exterior. A pesar de estas observaciones realizadas por Monteith, el uso del término ET es muy utilizado para indicar el proceso dinámico de pérdida de agua por evaporación, incluyendo la evaporación del agua del suelo ( $E_s$ ) y la evaporación del agua por las plantas ( $Tr$ ). Matemáticamente se expresa por la suma de los dos componentes:

$$ET = E_s + Tr \dots \dots \dots (14)$$

Donde:

ET = evaporación y se expresa en (mm).

Es = evaporación del agua del suelo (mm).

Tr = evaporación del agua por las plantas (mm).

#### **6.4.2 Evaporación potencial (ETp).**

Thornthwaite (1948) y Penman (1948, 1956), el concepto de evapotranspiración potencial se ha utilizado para indicar la capacidad evaporativa de un ambiente, y se utilizó junto a otras variables para clasificar climas. El concepto de potencial indica que no hay ninguna restricción en cuanto a disponibilidad del agua del suelo y su magnitud depende exclusivamente de las condiciones meteorológicas. Para su cuantificación se definieron con poca precisión las características de una superficie evaporante de referencia.

Castillo *et. Al.* (1996) realizó una clasificación para determinar la evapotranspiración y las describe en tres categorías 1) Métodos directos, 2) Métodos indirectos y 3) Modelos de simulación de balance de agua en el suelo. Los métodos directos incluyen el método de balance hidrológico, lisímetros, cámaras técnicas y medida del flujo de calor. Los métodos indirectos incluyen los métodos climatológicos (o estadísticos), métodos micrometeorológicos y tanques de evaporación.

00158

### 6.4.3 Medición de la evapotranspiración.

#### 6.4.3.1 Método de balance hidrológico.

Consiste en el balance diario de la humedad en el suelo, es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$SMD_j = SMD_{j-1} - IRR_j - PE_j + ET_j + EWS_j \dots \dots \dots (15)$$

Donde:

$SMD_j$  y  $SMD_{j-1}$  denota los valores de abatimiento de la humedad del suelo en el día  $j$ th y  $j-1$  (mm).

$IRR_j$  representa la profundidad de agua de riego en el día  $j$ th (mm).

$PE_j$  denota la lluvia efectiva en el día  $j$ th (mm).

$ET_j$  es la tasa de la evapotranspiración en el día  $j$ th (mm).

$EWS_j$  es la tasa de la evaporación del suelo húmedo después del riego superficial y la lluvia en el día  $j$ th (mm).

#### 6.4.3.2 Lisímetro.

Los lisímetros son instrumentos de medición directa en los cuales se establecen cultivos para medir el consumo de agua durante el desarrollo vegetativa hasta la cosecha. Uno de ellos son los lisímetros de pesada para medir los cambios gravimétricos de la humedad del suelo. La determinación se realiza pesando el lisímetro completo, ya sea mediante un sistema mecánico de

balanzas o mediante un soporte hidráulico. Los lisímetros de pesada generalmente proporcionan los datos más exactos para períodos de tiempo cortos. De tal manera que se puede determinar la evapotranspiración con alto grado de precisión para períodos tan cortos como una hora (Pair *et al*, 1975 citado por García, 1985).

#### 6.4.3.3 Balance Hídrico.

El Balance Hídrico simboliza el resultado entre ganancias (precipitaciones) y pérdidas (evapotranspiración). La metodología utilizada para su realización es la propuesta por Thornthwaite y Mather (1955).

Los suelos poseen una capacidad máxima de almacenaje de agua (capacidad de campo) que varía según las características de los mismos. Superada esta capacidad se generan excesos, que bien pueden perderse por infiltración profunda o acumularse en superficie, produciendo los efectos de anegamiento. Sin dudas los momentos hídricos críticos mencionados anteriormente, repercuten de una manera distinta, en función de la situación de demanda ambiental.

El balance hídrico es el que se expresa a continuación

$$N_n = (P_e + G_e + E_s') - (E_T + P_p + E_s) + D_w \dots \dots \dots (22)$$

Donde:

$N_n$  = Necesidades netas de riego (mm).

$P_e$  = precipitación efectiva (mm).

$G_e$  = Ascensión capilar (mm).

$E_s$  y  $E_s'$  = escorrentía superficial (entradas o salidas)(mm).

$ET$  = Evapotranspiración del cultivo (mm).

$P_p$  = Percolación profunda (mm).

$D_w$  = Variación de la reserva de agua en el suelo ( ya sea negativa o positiva) (mm).

Al prescindir por su pequeña entidad y su déficit valoración de los términos  $E_s$ ,  $E_s'$ ,  $P_p$  y  $G_e$  la fórmula simplificada toma la forma:

$$N_n = P_e - ET + D_w \dots\dots\dots(23)$$

Donde:

$N_n$  = Necesidades netas de riego (mm).

$P_e$  = precipitación efectiva (mm).

$ET$  = Evapotranspiración del cultivo (mm).

$D_w$  = Variación de la reserva de agua en el suelo ya sea negativa o positiva (mm).

La variación de reserva de agua en el suelo debe oscilar dentro de los límites de agotamiento permisible (NAP), es decir limitarse al agua fácilmente utilizable (AFU).

**6.4.4.4 Métodos empíricos.**

**6.4.4.4.1 Método de Priestley – Taylor.**

De acuerdo a la clasificación realizada por Castillo *et. al.* (1996) el método de Priestley –Taylor es un método climatológico basado en la radiación. El método consiste en ignorar los efectos del transporte horizontal de calor sensible por el movimiento del aire desde grandes zonas secas a tierras de regadío. La ecuación se expresa como sigue:

$$E = \frac{\alpha \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right] (R_n - G)}{\lambda} \dots\dots\dots(16)$$

Donde:

E = Evapotranspiración (mm día<sup>-1</sup>).



$\alpha'$  (coeficiente de Priestley y Taylor), puede estar en el rango de 1.08 a 1.34 dependiendo del cultivo y de la localidad. Originalmente el valor propuesto fue de 1.26.

$\Delta$  = Pendiente de saturación para una determinada temperatura ( $\text{mb}^\circ\text{C}$ )

$R_n$  = Radiación neta ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

$G$  = Flujo de calor en el suelo ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

$\gamma$  = Constante psicrométrico ( $\text{mb}^\circ\text{C}^{-1}$ )

$\lambda$  = Calor latente de vaporización ( $\text{cal/mg}$ )

#### 6.4.4.4.2 Método de Penman.

Es el que mas uso ha tenido en la estimación de la evapotranspiración potencial y en términos generales se han obtenido resultados satisfactorios, sobre todo en zonas húmedas.

La ecuación de Penman es la que más se ha utilizado durante los últimos 10 años para el pronóstico de cosecha basados en datos agrometeorológicos, método que ha sido formulado por la división de producción y protección vegetal de la FAO.

$$LE = \frac{\Delta(R_n - G) + \gamma K_f(u)(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma} \dots\dots\dots (17)$$

Donde:

LE = Evapotranspiración potencial (mm/día).

$\Delta$  = Pendiente de la curva de saturación para una determinada temperatura (mb/ °C).

Ku = es un coeficiente de unidad cuyo valor depende de una unidad ea y

ed = cuyo valor es igual 15.36 (mb).

f (u) = es una función empírica del viento ( $a_w + b_w.U_2$ ). Cuyo valores son para  $a_w = 1.0$ ,  $b_w = 0.537$  m/s y  $U_2 = 2$ mts.

$\gamma$  = Constante psicrométrico (mb °C<sup>-1</sup>)

$e_a$  = Presión de vapor en la alfalfa como un cultivo de referencia.

$e_d$  = Presión de vapor a saturación de temperatura del bulbo húmedo.

U = Velocidad media del viento a 2 metros sobre el suelo (m/s)

#### **6.4.4.4.3 Método de Penman – Monteih.**

De acuerdo a la clasificación realizada por Castillo *et al.* (1996) el método de Penman-Monteith es ubicado dentro de los métodos micrometeorológicos. La ecuación combinada de Penman fue adaptada por Monteith para estimar la evapotranspiración real de las plantas. El flujo de calor latente se puede estimar a partir de la expresión conocida como ecuación de Penman-Monteith. Se incorpora la resistencia de las hojas al flujo de vapor de agua. La ecuación de Penman-Monteith ha sido evaluada como método de estimación de la ET de referencia diaria y mensual, con resultados satisfactorios. Al comparar distintos cultivos de referencia, se encontró que la

ET de la alfalfa era entre un 20 y un 35 % superior a la ET gramíneas utilizando como método de predicción la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et. al.* 1989).

$$LE = \frac{\Delta(Rn - G) + \rho C_p(e_a - e_d)/r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_c/r_a)} \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

LE = Flujo de calor latente (cal/cm<sup>2</sup>dia<sup>-1</sup>)

Rn = Radiación neta (cal/cm<sup>2</sup>dia<sup>-1</sup>)

G = Flujo de calor en el suelo.

P = Densidad del aire (gr/cm<sup>3</sup>)

Cp = Calor específico del aire (cal gm<sup>-1</sup> °C) a presión constante

(e<sub>a</sub> - e<sub>d</sub>) = Déficit de presión de vapor de la atmósfera (kPa)

γ = Constante psicométrica.

r<sub>a</sub> = Resistencia aerodinámica al flujo de calor sensible (sm<sup>-1</sup>)

r<sub>c</sub> = Resistencia de la cubierta vegetal.

r<sub>s</sub> = Resistencia estomatica.

#### 6.4.4.4 Método de Bowen.

Método de la relación de Bowen-Balance de energía: De acuerdo a la clasificación realizada por Castillo *et. al.* (1996) la relación de Bowen-Balance

de energía es ubicada dentro de los métodos micrometeorológicos. Se basa en un índice que expresa la repartición energética entre el flujo de calor sensible (H) y el flujo de calor latente (LE) la relación de Bowen, se expresa de la forma siguiente:

$$\beta = \frac{c_p (T_1 - T_2)}{L (e_1 - e_2)} \dots\dots\dots(19)$$

Se utiliza para estimar la evaporación total a partir de la ecuación del Balance de Energía.  $T_1$  y  $e_1$  son respectivamente, la temperatura y la presión de vapor en la superficie evaporante.

La cantidad de energía disipada como flujo de calor latente es de la forma:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \dots\dots\dots(20)$$

Donde  $R_n$  es la radiación neta  $G$  es el flujo de calor en el suelo. Si asociamos  $LE$  con  $\lambda$  obtenemos la  $ET$  en  $mm \text{ día}^{-1}$  y la relación de Bowen entonces queda de la siguiente manera:

$$ET = \frac{(R_n - G)}{\lambda + \beta} \dots\dots\dots(21)$$

Donde:

ET = Evapotranspiración (mm día<sup>-1</sup>).

Rn = Radiación neta (cal cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>).

λ = Calor latente de vaporización (cal/mg).

G = Flujo de calor en el suelo (cal cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>).

**6.4.5.1 Sistemas de Pronóstico ETRAM (Evapotranspiración Real).**

La evapotranspiración real es la cantidad de agua, expresada en mm/día, que es efectivamente evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal. La misma, forma parte del, flujo del balance de energía:

$$R_n = G + H + LE \dots\dots\dots(26)$$

Donde:

Rn = radiación neta diaria (cal cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>).

G = al flujo del calor en el suelo (cal cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>).

H = al flujo de calor sensible desde la superficie hacia la atmósfera.

LE = al flujo de calor latente que corresponde a la cantidad de agua evaporada expresada en unidades de energía ( $\text{mm/día}^{-1}$ ).

La evapotranspiración (ETr) es una variable clave para el cálculo del balance del agua del suelo, para la detección de estrés hídrico como también para los modelos de rendimiento de cultivos.

### **6.5 Estrés calórico.**

Según (López 2003). La vaca lechera produce calor siendo esta una ventaja en tiempo de frío y en climas fríos, pero en épocas de calor, con elevadas temperaturas, la habilidad de la vaca para disipar el calor es mínima. El medio ideal para la vaca lechera es de  $-1$  a  $15^{\circ}\text{C}$ , pero se pueden mantener sin un impacto importante en la producción hasta los  $27^{\circ}\text{C}$ , cuando la temperatura rebasa los  $30^{\circ}\text{C}$ , con una humedad relativa de un 80% y una temperatura arriba de los  $23^{\circ}\text{C}$ , las vacas lactantes empiezan a sufrir el estrés.

El efecto del estrés calórico en la vaca lechera recae principalmente en 2 puntos muy importantes para un establo:

- Producción de Leche
- Reproductivo

La vaca en un ambiente de confort disminuye su producción gradualmente de 8 a 10% mensual, después de haber alcanzado el pico más alto en su lactancia, que es entre los 45 y 110 días después del parto.

La producción de leche disminuye considerablemente con temperaturas ambiente arriba de los 30°C. La pérdida o reducción en la producción va del 15 al 35% menos de leche.

En lo reproductivo, las temperaturas altas del ambiente reducen la presentación de calores, y cuando presentan calores, éstos son menos intensos y de duración más corta. Si la vaca queda preñada, la posibilidad de mortalidad embrionica es alta, todo esto junto, lleva a una disminución en la fertilidad de la vaca.

#### **6.5.1 Control del estrés calórico.**

Puede haber muchas formas y maneras de reducir el estrés calórico en la medida que seamos creativos e innovadores, algunas de éstas pueden ser:

- Sombra.
- Abanicos.
- Aspersores.
- Alimentación adecuada.
- Control de moscas.
- Selección del ganado.

### **6.5.1.1 Sombra en corrales.**

Lo más fácil y obvio para ayudar a las vacas a reducir el estrés calórico es evitar la exposición directa de los rayos del sol. Las sombras reducen la temperatura corporal y tasa respiratoria (jadeo) en la vaca, e incrementan el consumo de materia seca y la producción de leche.

En establos, las sombras deben ser altas, de tal manera que haya un espacio entre la vaca y el techo de 4 a 6 metros. Si el largo de la sombra es de 10 metros o menos, puede ser de una sola agua, pero si es mayor de 12 metros tendrá que ser de 2 aguas con abertura central o caballete.

### **6.5.1.2 Aspersores.**

El enfriamiento de vacas por medio de brisa fina de agua logra reducir la temperatura ambiental desde 41°C hasta 15.5°C a la salida los aspersores, ya sea en echaderos o en comederos. Aún fuera de la sombra, a 3 ó 4 metros de los aspersores, con corriente de aire, se logra una disminución de hasta 3.4 y 6.7°C.

El refrescar a las vacas mojándolas con aspersores en la sala de espera (ordeña) tiene un impacto muy fuerte en la vaca; al estar en un ambiente fresco y confortable, el animal se tranquiliza y se estimula la bajada de leche, obteniendo un mejor ordeño que si estuviera estresada.



### **6.5.1.3 Abanicos.**

Si además de proveerles una buena sombra y aspersores para refrescarlas les provocamos movimiento de aire con abanicos, las vacas se sentirán más cómodas (frescas) que si sólo tuvieran sombra y aspersores. Esta es una gran herramienta que disminuye en gran medida el efecto negativo del estrés calórico en la productividad del ganado.

Los aspersores y abanicos funcionan bien en días con baja humedad; en los días con elevada humedad pueden prenderse los abanicos sin los aspersores, pudiéndose utilizar los aspersores en las horas más calientes del día, que es cuando existe menos humedad ambiental. Se recomienda el uso de termómetros e hidrómetros para manejar adecuadamente el clima en favor de las vacas.

### **6.5.1.4 Alimentación adecuada.**

El manejo nutricional es uno de los aspectos más importantes a considerar en animales bajo estrés calórico. La vaca estresada manifiesta incapacidad para mantener sus funciones vitales en orden, sube su temperatura corporal, aumenta las respiraciones y el balance de sus hormonas se pierde. En estas condiciones, la vaca requiere de cantidades de nutrientes adaptadas a esos desbalances. Por otro lado, la vaca también reduce su consumo de alimento, prefiere consumir menos forraje y los horarios de alimentación se alteran.

En primer término, debemos adecuar el horario de alimentación, procurando servir con más frecuencia y evitando las horas más cálidas, donde de todos modos el ganado no consume alimento. Se ha observado que de las 10 A.M., a las 5 P.M., las vacas no se acercan al comedero; sin embargo, si se provee de sombra, brisa y abanicos, los animales consumen alimento durante el día.

La formulación del alimento deberá ajustarse a las necesidades del animal. Es necesario aumentar las concentraciones de fósforo, potasio y calcio, el magnesio debe cuidarse en relación al potasio, y se deberá procurar reducir el cloro. Bajo estrés calórico, es también importante proveer el bicarbonato, pues junto con los minerales ayuda a mantener el equilibrio perdido en la sangre debido a mucha sudoración y salivación excesiva.

En estrés calórico, es importante que la proteína de las raciones no sea excedida y que sea de alta calidad. Fórmulas con 16% de proteína (45-50 % degradable) promueven mayor producción de leche y mayor eficiencia nutricional. Adicionar grasa a la dieta tiene un beneficio por aumentar la concentración de energía cuando la vaca tiende a un menor consumo de alimento. Fuentes proteicas de alta calidad son las harinas de origen animal, gluten de maíz y oleaginosas protegidas. El beneficio de la grasa es similar al observado sin tener estrés calórico. Uno a dos kilogramos de semilla de algodón por vaca diario tiene excelentes resultados, pues nos permite reducir concentrados sin afectar la producción. Otras fuentes de grasa son semillas de oleaginosas, aceites y cebo de res. Se usan también grasas protegidas para

aumentar el total de grasa en la dieta en cantidades de 300 a 500 gramos por vaca por día.

La reducción en el consumo de alimento se debe a la tendencia del animal por consumir menos forraje. La digestión del forraje genera calor y exagera el estrés calórico; sin embargo, el consumo de menos forraje propicia problemas de indigestión. Se recomienda que los concentrados lleven subproductos, como cascarilla de soya, pulpa de cítricos y melaza, para reducir los granos en la fórmula, evitando así el riesgo de acidosis digestiva que, al presentarse empeora los problemas de estrés calórico.

#### **6.5.1.5 Control de moscas.**

Cuando no se tiene un manejo adecuado para el control de moscas, y a este problema se suma el calor de verano. La vaca sufre un estrés muy fuerte, pues aparte de quitar energía para poder disipar un poco el calor, gasta otro tanto cabeceando y coleando para quitarse las moscas, esto es muy molesto para la vaca y hace que haya una reducción importante en la producción.

#### **6.5.1.6 Selección del ganado.**

Una alternativa de largo plazo es la selección de vaquillas hijas de vacas que sufren menos el estrés calórico. Otro factor que pudiera ser importante, es seleccionar toros con tendencia a tener hijas de color más blanco que negro, ya que el color negro absorbe más el calor al no reflejar los rayos solares, y esto provoca mayor estrés en la vaca.

## **6.6 Modelo MM5.**

El modelo meteorológico de mesoescala de quinta generación MM5 versión 3 (v3) fue desarrollado por la Universidad Estatal de Pennsylvania (Penn State University, PSU) y el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (National Center For Atmospheric Research, NCAR), este último se encarga del soporte operativo. Fue seleccionado por el Servicio Meteorológico Nacional (System Meteorological Matinal), por su alta definición en la detección de sistemas atmosféricos de mesoescala. (<http://www.sma.df.gob.mx/modelacion/04/01.htm>).

En México, en el Instituta de Tecnología Del Agua (IMTA) tienen en práctica el modelo MM5 acoplado a nuestro país, en conjunto con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), y con el pueden conocerse las condiciones de clima y precipitación que se presenta en cualquier lugar. Diseñado para ser interpretado por el público en general, el denominado Pronóstico Numérico puede ser leído desde cualquier computadora con acceso a Internet. (<http://www.sma.df.gob.mx/modelación/04/01.htm>).

### **6.6.1 Características del modelo MM5.**

- Es un modelo de diagnostico o pronóstico. Puede ser utilizado para realizar simulaciones de fechas anteriores (análisis), actuales o a manera de Pronóstico.

- Es un modelo de tipo eulinariano.
- Hace uso de asimilación de datos en cuatro dimensiones ó FDDA (Four-Dimensional Assimilation), es decir en los ejes X,Y,Z, y en tiempo.
- Tiene la capacidad de efectuar múltiples anidamientos (hasta nueve dominios corriendo simultáneamente e intercambiando información entre ellos) y simulaciones en una forma hidrostática o no hidrostática.
- Es un modelo complejo pero muy completo, los fenómenos meteorológicos y su parametrización están descritos en más de 100,000 líneas de código fuente y cerca de 1,000 subrutinas (funciones específicas de un lenguaje de programación).
- Se puede aplicar en cualquier zona del mundo, ya que es posible desarrollar la información de entrada (campos meteorológicos, topografía y uso de suelo) necesaria para su funcionamiento, inclusive para zonas con alta resolución espacial que con topografía compleja, como la ZMVM.
- El código fuente esta escrito en lenguaje de programación Fortran 90/77, y cuenta con una amplia gama de parametrizaciones de capa límite, convección, física de nubes, etc.

#### **6.6.1.1 Estructura del MM5.**

El modelo MM5 se divide en cinco módulos o programas computacionales principales: TERRAIN, REGRID, RAWINS/littler, INTERPF y

MM5. en la figura 1 se muestra un diagrama de flujo del MM5 con cada uno de los módulos que lo conforman y se presentan tanto el orden de uso de los programas, como de entrada necesaria para cada módulo.

La información topográfica y de meteorológica es interpolada horizontalmente (módulos TERRAIN y REGRID) a un dominio en latitud y longitud para una resolución espacial determinada, a través de varios tipos de proyecciones Mercator, Lambert conformal, ó Polar Stereographic. Si tal proyección aplicada en cierto dominio no proporciona detalles de mesoescala, el modelo de Cressman o una técnica multicuadrática. El modulo INTERPF interpola a la vertical los niveles de presión superiores tiende aproximarse a las superficies isobáricas (niveles de presión). (<http://www.sma.df.gob.mx/modelación/04/01.htm>).

#### **6.6.1.2 Módulos del modelo MM5.**

##### **TERRAIN**

- Define el dominio del modelo y la proyección del mapa.
- Genera la topografía y usos del suelo en las celdillas del modelo.

## **DATAGRID**

- Genera la primera inicialización (first Guess) de todos los campos de celdillas del modelo a partir del conjunto de datos meteorológicos de entrada.

## **RAWINS**

- Desarrolla el análisis objetivo: combina la primera inicialización de los campos del modelo con los radiosondeos y con las observaciones de entrada.

## **INTERP**

- Interpola los datos de niveles desde RAWINS o DATAGRID hasta las coordenadas del modelo.

## **GRAPH**

- Muestra las salidas de cada uno de los componentes del modelo MM5.

## **MM5**

- Realiza la integración en el tiempo.

## **VII. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **7.1 Localización geográfica.**

El área de estudio se encuentra en el predio de la pequeña propiedad "La Montaña" ubicado en Carretera a Nazareno - Rojo Gómez Km. 42 Municipio de Lerdo Dgo. La pequeña propiedad a evaluar se encuentra con una longitud de 103°30'55", una Latitud de 25° 15'38" y una altitud de 1161 msnm.

### **7.2 Análisis de temperatura.**

Se utilizaron las lecturas de temperatura horaria para diferentes días durante el año 2004 y 2005. El adquirente de datos, psicrómetro y pluviómetro, corresponde a la estación micrometeorológica instalada en el predio de la pequeña propiedad "La Montaña". Las temperaturas fueron registradas cada 15 minutos y se promediaron para cada hora.

El psicrómetro es un dispositivo de medida de humedad relativa que tiene dos sensores. Uno de los sensores mide la temperatura de un elemento que está simplemente localizado en el ambiente, a este elemento se le denomina bulbo seco. El segundo sensor mide la temperatura de un elemento que está circulando por un material fibroso saturado con agua pura, a este elemento se le denomina bulbo húmedo. El aire del ambiente es forzado a fluir sobre el



bulbo seco y el bulbo húmedo por medio de un ventilador que se encuentra en el psicrómetro.

Para calcular el pronóstico es necesario obtener los valores astronómicos que alimentan a las ecuaciones de temperatura el algoritmo para determinar los componentes astronómicos son los reportados por Allen (1998) donde; (Fot) foto período, (Hss) hora de salida del sol, (tps) tiempo de puesta del sol, (Ads) ángulo de declinación del sol, (Ahss) ángulo horario de salida del sol y (Dn) la duración de la noche. También es usado el Día Juliano (Dj), la Latitud (Lat), la altitud sobre el nivel de mar, la temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), la temperatura de puesta del sol (Tps) y la hora de la temperatura máxima (tTmax). Estas variables se obtienen del periodo de estudio de las 24 horas del día.

El algoritmo para determinar los componentes astronómicos es el siguiente (Allen, 1998).

$$Ads = 23.45 \left\{ \sin \left( \frac{360(284 + Dj)}{365} \right) \right\} \dots\dots\dots(28)$$

Donde:

Ads = Angulo de declinación solar (grados)

Dj = Día juliano (1.....365)

$$Ahss = \cos^{-1} \{ [-\tan (Lat)] [\tan (Ads)] \} \dots\dots\dots(29)$$

Donde:

Ahss = Angulo horario de salida del sol (grados).

Lat = Latitud del lugar (grados).

$$Fot = \frac{2}{15} (Ahss) \dots \dots \dots (30)$$

Donde:

Fot = Foto período (horas luz).

Ahss = Ángulo horario de salida del sol (grados).

$$Hss = 11.16 - \frac{Ahss}{15} \dots \dots \dots (31)$$

Donde:

Hss = Hora de salida del sol (hrs.).

Ahss= Ángulo horario de salida del sol (grados).

$$tps = Hss + Fot \dots \dots \dots (32)$$

Donde:

tps = Tiempo de puesta del sol.

Fot = Foto periodo (horas luz).

Hss = Hora de salida del sol (hrs.).

$$Dn = 24 - Fot \dots\dots\dots(33)$$

Donde:

Dn = Duración de la noche (hrs.).

Fot = Foto periodo (horas luz).

Una vez establecidas las variables astronómicas. Enseguida se presentan las cuatro ecuaciones para el cálculo del pronóstico de temperatura generadas por (González y Pérez 1998). Estas ecuaciones tienen diferentes periodos de tiempo. El primero es de 1 a 7 hrs., el segundo de 8 a 13 hrs., el tercero de 14 a 19 hrs., y el cuarto 20 a 24 hrs.

**Periodo 1 a 7 horas.**

$$T(t1) = 0.9599 \left\{ Tmi + (Tps - Tmi) \left[ \exp \left( \frac{-2.2(t1 - Hss - Fot + 20.7)}{Dn} \right) \right] \right\} \dots\dots\dots (34)$$

**Donde:**

T(t1) = Pronostico de temperatura (°C).

Tmi = Temperatura mínima (°C).

Tps = Temperatura de la puesta del sol (°C).

t1 = Tiempo de pronostico (1 a 7 h).

Hss = Hora de salida del sol (hrs.).

Fot = foto periodo (horas luz).

Dn = Duración de la noche (hrs.).

### Periodo 8 a 13 horas

$$T(t_2) = 0.8474 \left\{ T_{mi} + 1.44(T_{ma} - T_{mi}) \left[ \sin \left( \frac{(t_2 - H_{ss})}{[1.49 (t_{Tmax}) - D_n]} \right) \right] \right\} \dots\dots(35)$$

Donde:

T (t<sub>2</sub>) = Pronostico de temperatura (°C).

T<sub>ma</sub> = Temperatura máxima (°C).

t<sub>2</sub> = Tiempo de pronóstico (8 a 13 horas).

H<sub>ss</sub> = Hora de salida del sol (hrs.).

t<sub>Tmax</sub> = Tiempo en que se presenta la temperatura máxima. (hrs.)

D<sub>n</sub> = Duración de la noche (hrs.).

### Periodo de (14 a 19 horas)

$$T(t_3) = 0.967 \left\{ T_{mi} + 1.07(T_{ma} - T_{mi}) \left[ \sin \left( \frac{(t_3 - H_{ss})}{[0.5254 (t_{Tmax}) - D_n]} \right) \right] \right\} \dots\dots(36)$$

Donde:

T(t<sub>3</sub>) = Pronostico de temperatura (°C).

T<sub>mi</sub> = Temperatura mínima (°C).

T<sub>ma</sub> = Temperatura máxima (°C).

t3 = Tiempo de pronóstico (14 a 19 hrs.).

Hss = Hora de salida del sol (hrs.).

tTmax = Tiempo en que se presenta la temperatura máxima (hrs.).

Dn = Duración de la noche (hrs.).

### Periodo de (20 a 24 horas)

$$T(t_4) = 1.056 \left\{ T_{mi} + (T_{ps} - T_{mi}) \left[ \exp \left( \frac{-1.95 (t_4 - Hss - Fot + 1.63)}{Dn} \right) \right] \right\} \dots\dots(37)$$

Donde:

T(t4) = pronóstico de temperatura (°C).

Tmi = Temperatura mínima (°C).

Tma = Temperatura máxima (°C).

Hss = Hora de salida del sol (hrs.)

Fot = Foto periodo (horas luz).

Dn = Duración de la noche (hrs.).

T4 = Tiempo de pronóstico (20 a 24 hrs.)

### 7.3 Humedad Relativa.

Se refiere al contenido de vapor de agua en el aire y, en esta forma, es útil como indicador de evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia. No

obstante, los valores de humedad relativa tienen la desventaja de que dependen fuertemente de la temperatura del momento.

La humedad relativa se calcula mediante el siguiente modelo matemático.

$$X = 3.38639 (0.000738n+0.8072)^2 - 0.00019 [\text{Abs}(1.8n+48.001316)] \dots\dots\dots(38)$$

$$\text{HR} = 100 \frac{[X (TW) - 0.000661(B) (T-TW) (1+0.00115TW)]}{X (T)} \dots\dots\dots(39)$$

Donde:

HR = humedad relativa (%).

TW = Temperatura del bulbo húmedo (°C).

T = Temperatura ambiente (°C)

B = es un coeficiente constante de la ecuación de humedad relativa que equivale 100

#### 7.4 Punto de rocío.

Es la temperatura a la que se empieza a formar rocío, en el aire que con tiene una cierta cantidad de vapor de agua.

Para calcular el punto de rocío se utiliza la siguiente formula.

$$Pr = (429.4 - 237.3 * \ln(ed)) / (\ln(ed) - 19.08) \dots\dots\dots(40)$$

$$ed = h * ea / 100 \dots\dots\dots(41)$$

$$ea = \exp((19.08 * TS + 429.4) / (TS + 237.3)) \dots\dots\dots(42)$$

Donde:

Pr = Punto de rocío (°C).

ed = Presión de vapor a saturación de temperatura del bulbo húmedo (mb).

TS = Temperatura ambiente (°C).

h = Humedad (%)

ea = Presión de vapor (mb).

## **7.5 Unidades calor.**

El concepto de unidades calor postula que el crecimiento y desarrollo de un cultivo depende de la cantidad de calor que las plantas reciben. Es decir, que un cultivo alcanzará una determinada etapa fenológica cuando haya recibido cierta cantidad de calor. En este trabajo de investigación el método que se utilizó para calcular las unidades calor, fue el método Reamar ya que es el método que más se adapta a las condiciones de clima de la región.

### **7.5.1 Método directo de Reamar.**

Ortiz (1987) menciona que en este método se suman las temperaturas promedio diarias, desde la siembra hasta la maduración del cultivo, cuando la

temperatura de un día es menor a cero grados centígrados no se considera dentro del cálculo. El modelo es el siguiente:

$$UC = \sum_{i=1}^n (TM)_i \dots\dots\dots(1)$$

**Donde:**

UC = Unidades Calor

TM = Temperatura promedio diaria (°C).

i = 1, 2, 3, ....., n.

n = Número de días.

### **7.6 Estrés calórico.**

La vaca lechera produce calor siendo esta una ventaja en tiempo de frío y en climas fríos, pero en épocas de calor, con elevadas temperaturas, la habilidad de la vaca para disipar el calor es mínima. El medio ideal para la vaca lechera es de -1 a 15°C, pero se pueden mantener sin un impacto importante en la producción hasta los 27°C. Para el caso que nos ocupa cuando la temperatura rebasa los 30°C, comienzan a sentirse los efectos del estrés calórico. Con una humedad relativa de un 80% y una temperatura arriba de los 23°C, las vacas lactantes empiezan a sufrir el estrés.

Para comprobar si existe el estrés calórico se utiliza la siguiente tabla (anexo 2).



## 7.7 Presión atmosférica

La presión atmosférica se considera como el peso de una columna de aire en una unidad de área, que se extiende desde la superficie terrestre hasta el límite superior de la atmósfera y se mide en hectopascales.

La formula para calcular la presión atmosférica es la siguiente:

$$P = \text{mmHg} * ( 1013 * \exp (-0.0342 * \text{Alt} /(\text{TS}+273.25 ))) \dots\dots\dots(44)$$

Donde:

P = Presión Atmosférica.

mmHg = 0.750246792

Alt. = Altitud sobre el nivel del mar.

TS = Temperatura ambiente (°C).

## 7.8 Evapotranspiración.

Es la tasa de pérdida de agua debida a la transpiración de los cultivos, más la evaporación del suelo y de la superficie húmeda de la vegetación, se mide en mm/día.

Para calcular la evapotranspiración en este modelo se utilizó la ecuación de Penman:

$$LE = \frac{\Delta(Rn - G) + \gamma K_u f(u)(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma} \dots\dots\dots (45)$$

Donde:

LE = Flujo de calor latente ( $\text{cal cm}^{-2}\text{día}^{-1}$ )

$\Delta$  = Pendiente de presión a saturación ( $\text{mb } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

Rn = Radiación neta ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

G = Flujo de calor en el suelo

$K_u$  = Es un coeficiente de unidad cuyo valor depende de una unidad  $e_a$  y  $e_d$  cuyo valor es igual 15.36 en mb.

$f(u)$  = Es una función empírica del viento ( $a_w + b_w \cdot U_2$ ). Cuyo valores son: para  $a_w = 1.0$ ,  $b_w = 0.537 \text{ m/s}$  y  $U_2 = 2 \text{ mts}$ .

$\gamma$  = Constante psicométrica ( $\text{mb } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

$(e_a - e_d)$  = Déficit de presión de vapor de la atmósfera (mb)

### 8.1 sistematización de algoritmos (software).

El Sistema de Pronostico de Temperatura consta de los siguientes elementos en su página principal:

- Menú principal
- Barra de Herramientas
- Grafica de Temperatura
- Grafica de Estrés Calórico
- Barra de Estado.

### 8.2 El Menú principal.

Contiene un submenú de cuatro opciones:

- Archivo.
- Consulta.
- Pronostico.
- Estación.

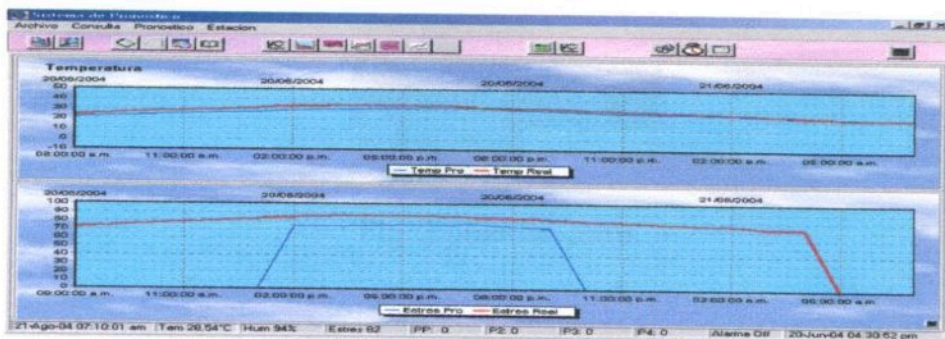


Figura 1 página principal de sistema de pronóstico.

## 8.2.1.1 ARCHIVO.

El submenú archivo contiene 3 opciones que son:

### 8.2.1.1.1 Imprimir.

Imprime los datos de consulta de unidades calor, horarios, cada 15 minutos, y los datos del día anterior a la fecha Actual.

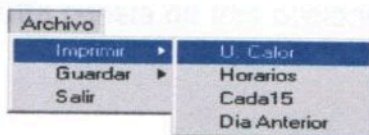


Fig. 2 pantalla de impresión.

### 8.2.1.1.2 Guardar.

Guarda los datos de la consulta en archivo de texto.

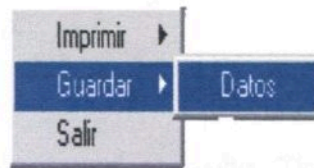


Fig. 3 guardar datos.

### 8.2.1.1.3 Salir.

Sale del sistema, también se puede salir oprimiendo el botón de *Salir* en la barra de herramientas.



Fig. 4 abandonar el programa.

### 8.2.2.1 CONSULTA

El submenú de **consulta** consta de tres opciones como se muestra en la pantalla siguiente:

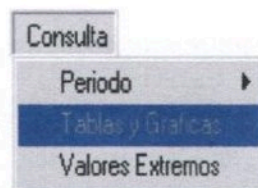


Fig. 5 consulta de datos.

### 8.2.2.1.1 Periodo.

Indica el periodo que se desea consulta. Tiene dos opciones Unidades Calor y Datos.

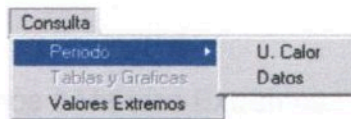


Fig. 6 consulta del periodo.

Al seleccionar cualquiera de las dos opciones, aparecerá una pantalla donde indicada el periodo.

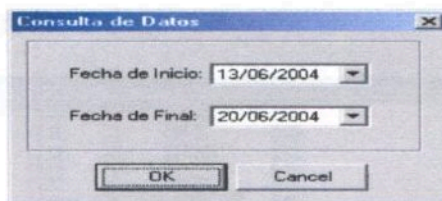


Fig. 7 indicaciones del periodo de consulta.

### 8.2.2.1.2 Tabla y Graficas.

Al oprimir esta opción aparecerá una pantalla con las siguientes Tablas y graficas.

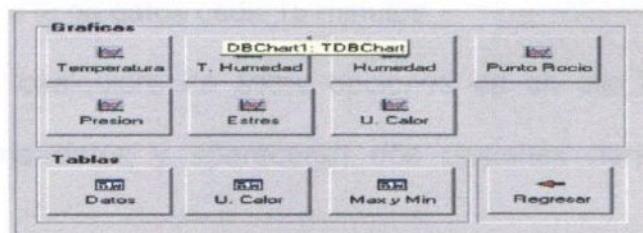


Fig. 8 consulta de tablas y graficas.

En graficas muestra las diferentes opciones de de graficas que existen.

En la opción de tablas aparecen tres opciones:

- Datos
- Unidades Calor.
- Máximos y Mínimos o Valores Extremos.

### 8.2.2.1.3 Datos.

Muestra una pantalla donde aparecen los datos de clima, que se eligieron según el periodo de consulta.

Tabla de Datos Horarios de 01/06/2004 al 01/06/2004

Fecha	Hora	Temp	Temphum	Hum	P. Frecio	Estres	PresionAto	IPP(mm)
01-Jun-04	00:00	28.53	20.21	47	13.96	76	667.69	0.00
01-Jun-04	01:00	28.36	20.60	50	16.67	76	667.81	0.00
01-Jun-04	02:00	28.72	19.72	53	16.16	74	667.34	0.00
01-Jun-04	03:00	26.77	19.06	53	15.43	73	667.06	0.00
01-Jun-04	04:00	26.17	19.56	54	16.00	73	667.19	0.00
01-Jun-04	05:00	24.99	19.51	56	15.16	72	666.72	0.00
01-Jun-04	06:00	24.01	17.60	66	14.46	0	666.66	0.00
01-Jun-04	07:00	22.92	17.29	68	14.02	0	666.67	0.00
01-Jun-04	08:00	23.57	17.99	58	14.62	0	Chart1, T08Chart1	0.00
01-Jun-04	09:00	27.21	20.72	55	17.49	75	667.49	0.00
01-Jun-04	10:00	30.29	22.65	53	19.61	79	668.36	0.00
01-Jun-04	11:00	32.04	23.67	51	20.49	81	669.66	0.00
01-Jun-04	12:00	33.66	24.66	49	20.96	82	669.30	0.00
01-Jun-04	13:00	35.34	25.23	44	21.15	83	669.77	0.00
01-Jun-04	14:00	36.01	24.75	43	20.10	84	669.95	0.00
01-Jun-04	15:00	36.33	26.06	40	20.36	84	670.04	0.00
01-Jun-04	16:00	36.46	26.03	39	20.42	83	670.08	0.00
01-Jun-04	17:00	36.49	26.13	43	20.61	85	670.08	0.00
01-Jun-04	18:00	36.32	24.79	39	19.99	83	670.04	0.00
01-Jun-04	19:00	35.56	24.23	39	19.46	82	669.63	0.00
01-Jun-04	20:00	33.67	22.26	42	18.69	81	669.31	0.00
01-Jun-04	21:00	32.18	22.66	44	18.23	79	669.90	0.00
01-Jun-04	22:00	31.19	22.14	46	18.00	79	668.62	0.00
01-Jun-04	23:00	30.60	22.06	47	18.11	78	668.49	0.00
01-Jun-04	00:00	29.04	21.72	52	18.29	77	668.01	0.00
02-Jun-04	01:00	28.27	21.21	53	17.67	76	667.79	0.00
02-Jun-04	02:00	27.89	20.79	54	17.37	75	667.99	0.00
02-Jun-04	03:00	27.07	20.38	54	16.98	75	667.44	0.00

Fig. 9 consulta de datos del clima.

En esta pantalla puede elegir dos tipos de tabla una es la de datos horarios o la otra es la de datos cada 15 minutos.

Para elegir cualquiera de estas opciones da un clic en el menú de archivos selecciona datos y aparecerán dos opciones horario y cada 15 minutos.

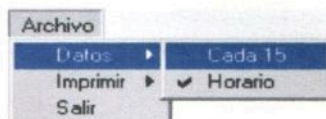


Fig. 10 consulta de datos cada 15 minutos ó cada hora.

#### 8.2.2.1.4 Unidades Calor.

Esta pantalla muestra una tabla con los siguientes datos: Fecha, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima Unidades Calor y Unidades Calor Acumuladas.

Fecha	Temp Max	Temp Min	UC	UCA
14-06-04	37.20	21.25	23.23	23.23
15-06-04	37.11	22.48	23.80	47.02
16-06-04	37.37	22.48	23.92	70.94
17-06-04	32.85	22.76	21.62	92.76
18-06-04	35.27	19.64	21.46	114.21
19-06-04	35.35	22.75	23.07	137.29
20-06-04	34.62	22.00	21.22	158.69
21-06-04	34.14	20.30	21.22	180.91

Fig. 11 consulta de unidades calor.

#### 8.2.2.1.5 Valores Extremos.

Esta pantalla muestra los máximos, mínimos y la media de las variables de temperatura seca, temperatura humedad y punto de rocío, también muestra la hora en que se presentó la máxima y la mínima. En caso de ser un periodo grande muestra el día y la hora en que se presentó la máxima y la mínima.



Variable	Maxima	Hora	Minima	Hora	Media
Temperatura	34.62°C	06:15:00 p.m.	22.18°C	06:00:00 a.m.	26.4°C
Temp. Hum	29.6°C	03:45:00 p.m.	19.14°C	07:30:00 a.m.	24.37°C
Humedad	61%	06:00:00 a.m.	66%	06:15:00 p.m.	74%
Punto Rocío	28.45°C	03:45:00 p.m.	17.64°C	07:30:00 a.m.	22.99°C

Fig. 12 consulta de los valores extremos.

En esta pantalla existe un menú con 3 opciones:

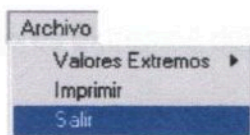


Fig. 13 consulta de valores extremos; del mes, de día x, o del día actual.

En valores extremos existen tres tipos de consulta de valores extremos; mensuales, del día X y del día de hoy.

#### 8.2.2.1.6 Mensual.

Hace una consulta de los valores extremos de un mes a otro mes.

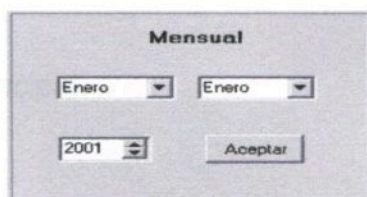
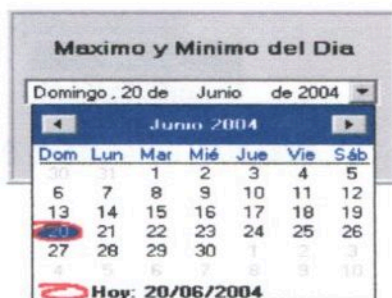


Fig. 14 consulta de valores extremos del mes

### 8.2.2.1.7 Del día X.

Hace una consulta de los valores extremos de día que elegimos.



Maximo y Minimo del Dia

Domingo, 20 de Junio de 2004

Junio 2004

Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb
30	31	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	1	2	3
4	5	6	7	8	9	10

Hoy: 20/06/2004

Fig. 15 consulta de valores extremos del día "x" ó del día actual.

### 8.2.2.1.8 De hoy.

Hace la consulta de los valores extremos del día actual.

### 8.2.2.1.9 Imprimir.

Imprime los datos de consulta de valores extremos.

### 8.2.2.1.10 Salir.

Regresa a la pantalla principal.

### 8.2.2.3.1 PRONÓSTICO.

El submenú de **pronóstico** contiene 2 opciones la de calcular y graficar.

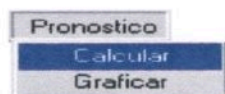


Fig. 16 pantalla de pronóstico.

#### 8.2.2.3.1.1 Calcular.

Calcula el pronóstico de las 8:00 horas hasta las 7:00 horas del día siguiente.

#### 8.2.2.3.1.2 Grafica.

Grafica las Variables Pronosticadas.

### 8.2.2.4.1 ESTACIÓN

El submenú de **Estación** contiene un menú con las siguientes opciones:

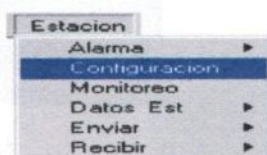


Fig. 17 pantalla de estación.

#### 8.2.2.4.1.2 Alarma.

Activa una alarma para el estrés Calórico, en esta alarma nos dice el grado de estrés calórico, la fecha y la hora en que se presenta.

#### 8.2.2.4.1.3 Configuración.

Muestra una pantalla en donde aparecen los datos de la comunicación de la computadora con el adquisitor de datos.

#### 8.2.2.4.1.4 Monitoreo.

Es una pantalla donde se muestran los datos en forma de animación.

#### 8.2.2.4.1.5 Datos Est.

Esta opción es principalmente para comprobar si la computadora esta en sincronía con el adquisitor de datos. Con esta opción puede comprobar si la **fecha, hora y tiempo de muestreo son iguales**. La opción de **Rev. Reset** sirve para comprobar si el adquisitor se ha reinicializado.

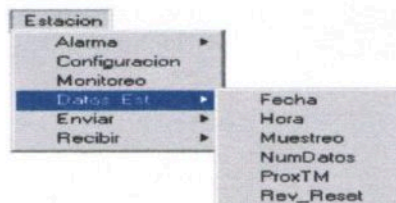


Fig. 18 datos est.

#### 8.2.2.4.1.6 Enviar.

En esta opción puede enviar la fecha, la hora, el tiempo de muestreo y la actualización al adquirente de datos

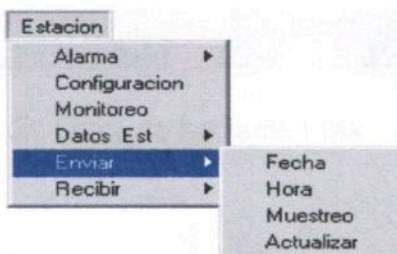


Fig. 19 enviar.

#### 8.2.2.4.1.7 Recibir.

Envía una señal al adquirente para recibir los datos de las variables que se miden.

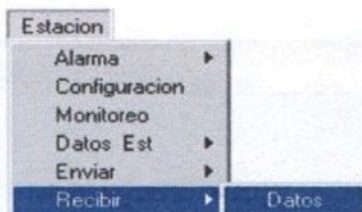


Fig. 20 recibir.

### 8.3 Barra de herramientas.

Esta formada por botones para tener acceso directo a consulta, tablas y graficas de los datos climáticos sin necesidad de entrar al menú principal.

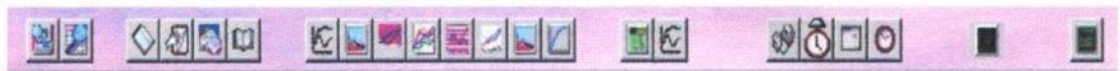


Fig. 21 barra de herramientas.

### 8.4 Grafica de temperatura.

Tiene la función de graficar la temperatura real y la temperatura pronosticada, como se va dando en el transcurso del día. También dentro de esta pantalla nos indica la hora y el día en que se presento la temperatura máxima, mínima y la media.

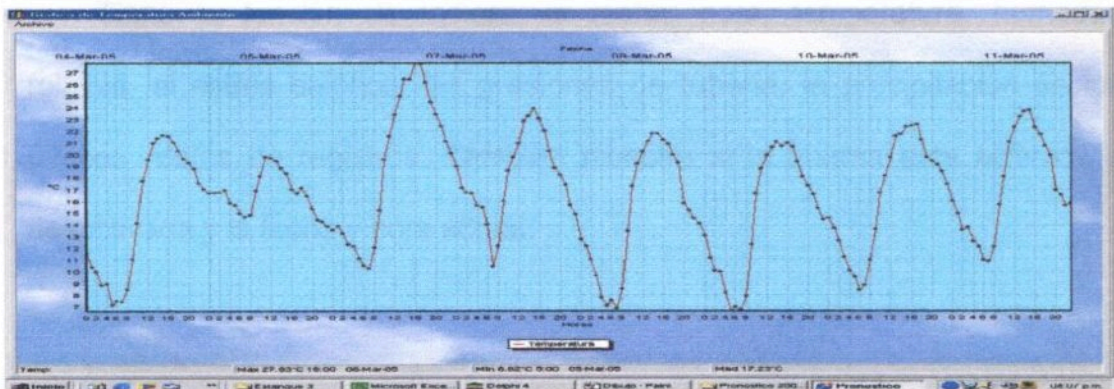


Fig. 22 pantalla de la grafica de temperatura.

## 8.5 Grafica de estrés calórico.

Tiene la función de graficar el estrés calórico, según como se valla presentando en el transcurso del día. También nos muestra la hora, el máximo estrés ligero, el mínimo estrés moderado.

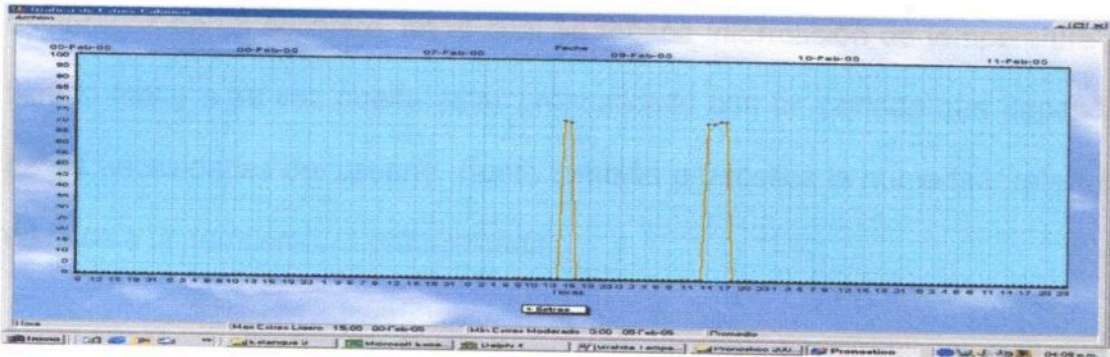


Fig. 23 pantalla de la grafica del estrés calórico.

## 8.6 Barra de estado.

Tiene la función de indicar, la fecha, hora, temperatura, humedad relativa, el estrés calórico, las presiones de tubería, la precipitación de los últimos datos de registros. También muestra si la alarma esta activada o desactivada y la fecha y hora actual.

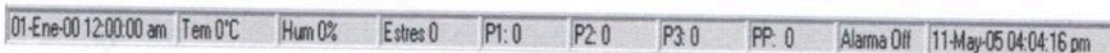


Fig. 24 pantalla de la barra de estado.

La temperatura y la humedad relativa presentan las siguientes condiciones: a) condicionan el contenido de vapor de agua en el aire, así como en el fenómeno de la evaporación. b) condicionan el nivel de reacciones físico – químicas de la planta, y por ello en la duración de su ciclo vegetativo.

Este modelo de temperatura como de humedad relativa se encuentran capturados en un software, en el cual se recaba información de temperatura a tiempo real y a su vez puede estar pronosticado con un período que dependa de las necesidades del usuario. Como también pronostica la humedad relativa, en base a la temperatura pronosticada.

Mediante los datos de temperatura reales y el pronosticado de temperatura horaria calculada por medio de las ecuaciones (34, 35, 36, 37), se puede pronosticar la humedad relativa mediante el siguiente modelo matemático:

$$X = 3.38639 (0.000738n+0.8072)^2 - 0.00019 [\text{Abs}(1.8n+48.001316)] \dots\dots(46)$$

$$\text{HR} = 100 \frac{[X(TW) - 0.000661(B)(T-TW)(1+0.00115TW)]}{X(T)} \dots\dots\dots(47)$$

Donde:

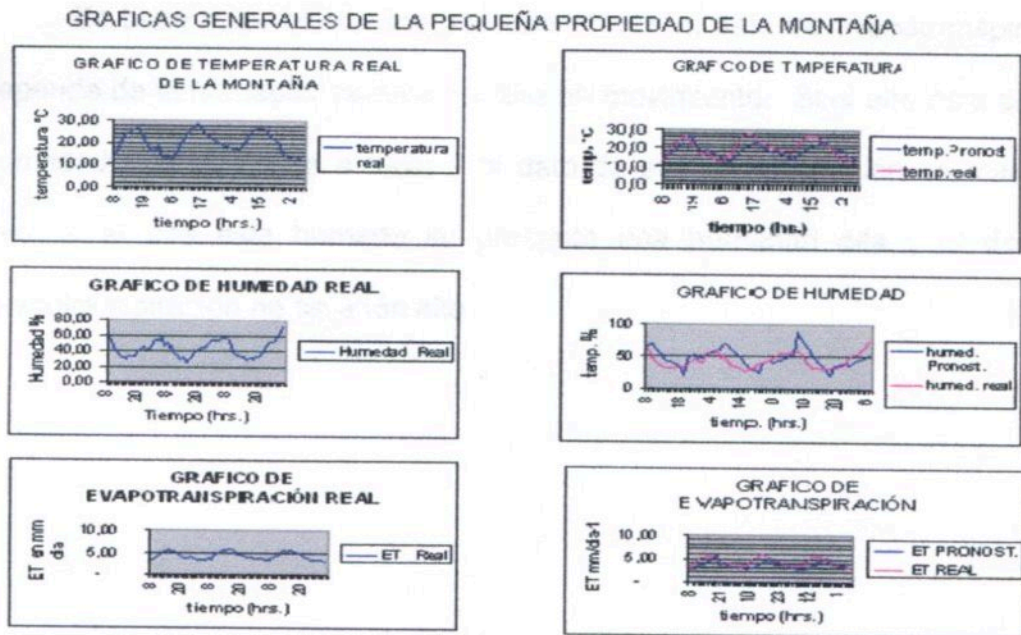
B = 100

T = Temperatura del bulbo seco. (°C)

Tw = Temperatura del bulbo húmedo. (°C).



El modelo anterior se definió de igual manera que los modelos de pronóstico de temperatura. De igual manera con ayuda del software, como también en base a su comportamiento con los datos reales. En la figura 2, se observa el comportamiento de la temperatura real, temperatura pronosticada, humedad relativa real, humedad relativa pronosticada, evapotranspiración real y evapotranspiración pronosticada.



**Fig. 25** comportamientos de la temperatura, humedad relativa y evapotranspiración de los datos de 13 – 16 marzo del 2005.

En la figura 21 se observa el comportamiento de la temperatura real, temperatura pronosticada, humedad relativa real, humedad relativa pronosticada, evapotranspiración real y evapotranspiración pronosticada. Estos datos fueron consultados de la estación micrometeorológica instalada en la pequeña propiedad "La Montaña".

## 8.7 Humedad relativa y evapotranspiración

Según Perry et al. (1998), menciona que la mayoría de los autores tienen la necesidad de pronosticar primeramente la temperatura para determinar los modelos de humedad relativa. Lo cual se cumple en este trabajo de investigación.

En base a los resultados se observó que el dato de evapotranspiración depende de la humedad relativa del aire en movimiento. Si el aire está seco la humedad relativa tiende a bajar y el dato de evapotranspiración es más alto. Pero si el aire está húmedo se presenta una humedad alta y el dato de evapotranspiración no será tan alto.

## IX. CONCLUSIONES.

El modelo usado en esta investigación, hace posible pronosticar; la temperatura, la humedad relativa y la evapotranspiración para prever el efecto del estrés calórico presente en animales y el estrés hídrico en cultivos.

El modelo de temperatura como de humedad relativa a tiempo real y con los datos pronosticados por medio de los modelos encontrados en este trabajo de investigación hace posible prever las heladas tardías o heladas tempranas.

## X. LITERATURA CITADA

- Allen R. G. 1998. Irrigation engineering principles. Course lecture notes. Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State University. P.110, 122, 125, 137,144.
- CAN, 2003, Marco de Referencia del Distrito de riego 017, Región Lagunera Coah. Y Dgo. Gerencia de la Región Lagunera, Cd. Lerdo, Dgo.
- Doorenbos, J., y W.O. Pruitt. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Estudio FAO, riego y drenaje, ver. Esp. Boletín No. 24. Roma, Italia 17-40, 177.
- García H., G. 1985. Poder de predicción de 10 modelos empíricos propuestos para estimar la evapotranspiración. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena vista, Saltillo, Coah. P 11, 60-80.
- García., I. C., Briones, S. G. 1997. Sistemas de riego por aspersion y goteo. Ed. Trillas. Primera edición. México.
- González J. G. Q. 1998. El Modelo PEMUAN para uso Agrícola. Tesis de maestría, UAAAN – UL Torreón Coah. Mex. 19 - 21 p.

- Hernández, Y. C. 1990a. Evaluación del Riego por Superficie en la Comarca Lagunera. Inf. De Inv. PRONAPA-INIA-SARH.
- López M. A. 2003. Estrés calórico en bovinos de leche. Fuente de consulta. ([www. NutrihelPanimal.com.ar/BOVINOS\\_LECHE/tex\\_pub/1](http://www.NutrihelPanimal.com.ar/BOVINOS_LECHE/tex_pub/1)).
- Méndez H. F. 1992. Técnicas para la determinación confiable de los parámetros agroclimáticos. Fonaiap - Ceniap, Universidad de Agro climatología
- Monteith, J. L. y Unsworth, M. H. 1990. Principles of Environmental Physics. 2nd. Edition. Edgard Arnold.
- Monteith, J. L. 1985. Evaporation from Land surfaces: Progress in Analysis and prediction since 1948. in advances in evapotranspiration.
- Morales V. J.,1999. Evaluación del Riego en el Modulo de Riego No. XIII, La Marinera. Modulo de Riego XIII, La Marinera. Distrito de Riego 017, Región Lagunera, Coahuila y Durango.
- Penman H. L. 1948. Natural Evaporation from Open Water bare soil and grass. Proc. R. Soc. London, A 193.

- Penn State University, MM5 2001, Modelo Meteorológico de la mesoescala de la quinta generación versión 3. Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/modelación/04/01.htm>.
- Pérez L. C. 2003. Generación de un Modelo Matemático para el Pronóstico de Temperatura y Humedad Relativa a Tiempo Real. Tesis de maestría, Venecia, Dgo. México.
- Ramírez, C.E. 1993. Balance de humedad en el suelo. Sin publicar. Montreal, Canadá.
- Thornthwaite, C. W. y Mather, J. R. 1955. The water balance publications in climatology 8(1). Laboratory of climatology. Centerton, N.J.
- Thornthwaite, C. W. 1948. Micrometeorology of the surface layer of the atmosfera. Public. Climat. / bis 5.
- Villa, C. Ma. M. (1993). Calibración de modelos para estimar la radiación solar. Informe de investigación 1990. CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. Vol, 5 (Cap. I), pag. 20-32.
- Villalpando, J. F. 1985. Metodología de investigación en agroclimatología. S.A.H.R. Zapopan, Jal. México. P. 5-6, 48-63.

ANEXO 1

Cuadro 1.- Análisis de los Datos reales con los Pronosticados de la fecha del 13 – 16 marzo 2005.

Fecha	Hora	Temp. °C	Temp. Hum. °C	Temp. Pron. °C	Temp. Hum. Pron. °C	Hum. R. Real %	Hum. R. Pron %	Estrés C. Real	Estrés C. Pron.	ET Real mm/hora	ET Pron. mm/hora
13/03/2005	8	12,90	9,04	13,56	10,13	60	65	0	0	0,13	0,12
13/03/2005	9	16,27	11,13	15,19	11,91	53	68	0	0	0,15	0,12
13/03/2005	10	19,31	12,81	16,78	13,24	47	67	0	0	0,16	0,12
13/03/2005	11	21,01	13,26	18,32	13,58	40	59	0	0	0,18	0,13
13/03/2005	12	22,96	13,96	19,80	14,08	35	53	0	0	0,20	0,15
13/03/2005	13	24,19	14,45	21,20	14,41	33	47	0	0	0,21	0,16
13/03/2005	14	25,03	14,69	21,95	14,44	31	43	0	0	0,22	0,17
13/03/2005	15	25,90	15,12	22,98	14,68	30	40	0	0	0,23	0,18
13/03/2005	16	26,11	15,60	23,93	14,93	31	37	0	0	0,22	0,19
13/03/2005	17	26,24	15,92	24,78	15,09	33	34	0	0	0,22	0,20
13/03/2005	18	25,06	15,15	25,53	14,69	33	29	0	0	0,21	0,21
13/03/2005	19	21,78	12,75	26,18	13,27	33	19	0	0	0,19	0,23
13/03/2005	20	19,68	11,61	20,52	13,49	36	44	0	0	0,18	0,16
13/03/2005	21	17,81	10,71	19,28	12,80	40	47	0	0	0,17	0,15
13/03/2005	22	16,20	9,88	18,23	12,22	43	49	0	0	0,16	0,15
13/03/2005	23	15,74	9,72	17,33	11,73	45	51	0	0	0,15	0,14
14/03/2005	0	17,32	10,49	19,31	12,63	41	45	0	0	0,16	0,15
14/03/2005	1	18,40	11,18	17,95	11,87	40	48	0	0	0,17	0,15
14/03/2005	2	13,76	8,75	16,81	11,24	50	50	0	0	0,14	0,14
14/03/2005	3	13,06	8,46	15,86	10,71	53	52	0	0	0,14	0,13
14/03/2005	4	13,36	8,81	15,06	10,27	54	54	0	0	0,14	0,13
14/03/2005	5	13,25	8,69	14,40	9,91	54	56	0	0	0,14	0,13
14/03/2005	6	12,24	8,18	13,84	9,60	57	58	0	0	0,13	0,12
14/03/2005	7	15,78	9,83	13,38	9,34	45	59	0	0	0,15	0,12
14/03/2005	8	15,96	10,54	13,35	10,33	50	69	0	0	0,15	0,11
14/03/2005	9	18,41	12,08	14,62	11,34	47	67	0	0	0,16	0,12
14/03/2005	10	21,62	13,41	15,86	12,16	38	65	0	0	0,19	0,12
14/03/2005	11	23,69	14,45	17,08	12,77	35	61	0	0	0,20	0,13
14/03/2005	12	25,35	15,36	18,25	13,27	33	57	0	0	0,22	0,14
14/03/2005	13	26,20	15,32	19,38	13,24	30	49	0	0	0,23	0,15
14/03/2005	14	27,11	16,25	20,39	13,67	31	46	0	0	0,23	0,16
14/03/2005	15	28,20	16,11	21,26	13,61	27	41	0	0	0,25	0,17
14/03/2005	16	27,86	15,88	22,07	13,51	27	37	0	0	0,25	0,18
14/03/2005	17	26,53	15,46	22,82	13,32	29	32	0	0	0,23	0,19



14/03/2005	18	24,88	15,12	23,50	13,17	34	28	0	0	0	0,21	0,20
14/03/2005	19	23,29	14,64	24,12	12,95	38	25	0	0	0	0,19	0,21
14/03/2005	20	22,18	14,06	20,49	12,68	40	39	0	0	0	0,19	0,17
14/03/2005	21	21,37	13,66	19,37	12,08	41	41	0	0	0	0,18	0,16
14/03/2005	22	20,66	13,61	18,42	11,58	45	43	0	0	0	0,17	0,15
14/03/2005	23	20,26	13,16	17,61	11,14	44	44	0	0	0	0,17	0,15
15/03/2005	0	19,05	12,71	19,23	11,85	47	40	0	0	0	0,16	0,16
15/03/2005	1	18,73	12,91	17,99	11,19	51	42	0	0	0	0,16	0,15
15/03/2005	2	18,34	12,96	16,96	10,64	54	44	0	0	0	0,15	0,15
15/03/2005	3	17,86	12,40	16,10	10,18	52	46	0	0	0	0,15	0,14
15/03/2005	4	17,51	12,24	15,38	9,79	54	48	0	0	0	0,15	0,14
15/03/2005	5	17,55	12,35	14,78	9,47	54	49	0	0	0	0,15	0,14
15/03/2005	6	17,06	12,19	14,28	9,20	56	51	0	0	0	0,15	0,13
15/03/2005	7	17,38	12,40	13,86	8,98	56	52	0	0	0	0,15	0,13
15/03/2005	8	18,38	13,41	13,36	12,16	57	87	0	0	0	0,15	0,13
15/03/2005	9	19,85	14,21	14,62	12,63	54	80	0	0	0	0,15	0,10
15/03/2005	10	21,79	14,74	15,87	12,93	46	72	0	0	0	0,16	0,11
15/03/2005	11	24,15	15,31	17,08	13,24	38	65	0	0	0	0,18	0,12
15/03/2005	12	25,30	16,02	18,26	13,61	37	59	0	0	0	0,20	0,12
15/03/2005	13	26,43	15,88	19,38	13,53	32	51	0	0	0	0,21	0,13
15/03/2005	14	26,22	15,91	20,39	13,52	33	45	0	0	0	0,23	0,15
15/03/2005	15	26,31	15,41	21,25	13,30	30	39	0	0	0	0,22	0,16
15/03/2005	16	26,40	15,31	22,06	13,26	29	35	0	0	0	0,23	0,17
15/03/2005	17	25,57	15,07	22,81	13,15	31	31	0	0	0	0,23	0,18
15/03/2005	18	23,98	13,81	23,50	12,54	30	25	0	0	0	0,22	0,19
15/03/2005	19	22,74	13,16	24,11	12,22	31	21	0	0	0	0,21	0,20
15/03/2005	20	21,53	12,55	21,45	12,84	33	35	0	0	0	0,20	0,22
15/03/2005	21	20,25	11,87	20,19	12,22	35	37	0	0	0	0,19	0,18
15/03/2005	22	18,47	10,92	19,11	11,69	38	40	0	0	0	0,18	0,17
15/03/2005	23	16,26	10,10	18,20	11,23	44	41	0	0	0	0,17	0,16
16/03/2005	0	14,83	9,38	20,18	12,01	48	36	0	0	0	0,16	0,15
16/03/2005	1	13,40	8,52	18,79	11,32	51	39	0	0	0	0,15	0,17
16/03/2005	2	13,35	8,52	17,62	10,74	51	41	0	0	0	0,14	0,16
16/03/2005	3	14,00	9,20	16,65	10,26	53	43	0	0	0	0,14	0,15
16/03/2005	4	14,25	10,16	15,84	9,86	59	45	0	0	0	0,14	0,15
16/03/2005	5	13,06	9,61	15,16	9,53	64	47	0	0	0	0,14	0,14
16/03/2005	6	12,18	9,49	14,59	9,25	71	49	0	0	0	0,13	0,14
16/03/2005	7	11,40	8,92	14,12	9,02	72	50	0	0	0	0,12	0,13

## ANEXO 2

