

**Universidad Rafael Landívar  
FACULTADES DE QUETZALTENANGO  
Maestría en Gerencia de La Agricultura Sostenible y los  
Recursos Naturales Renovables  
Quetzaltenango, Guatemala.**

**FACTIBILIDAD AGROCLIMÁTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE  
FRUTALES DECIDUOS, EN EL VALLE DE  
QUETZALTENANGO**

**Ing. Agr. Héctor Obdulio Alvarado Quiroa**

Quetzaltenango, Octubre de 2001

**Universidad Rafael Landívar  
FACULTADES DE QUETZALTENANGO  
Maestría en Gerencia de La Agricultura Sostenible y los  
Recursos Naturales Renovables  
Quetzaltenango, Guatemala.**

**FACTIBILIDAD AGROCLIMÁTICA DE LA PRODUCCIÓN DE  
FRUTALES DECIDUOS, EN EL VALLE DE  
QUETZALTENANGO**

**Tesis  
PRESENTADA AL CONSEJO DE UNIDAD ACADEMICA**

**POR:  
Ing. Agr. Héctor Obdulio Alvarado Quiroa**

**Al conferírsele el grado académico de magister en gerencia  
de la agricultura sostenible y los recursos naturales**

Quetzaltenango, Octubre de 2001

## CONTENIDO GENERAL

	CONTENIDO	PAGINA
	<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>1.1.</b>	<b>FRUTALES CADUCIFOLIOS, DECIDUOS O DE HOJA CADUCA</b>	<b>3</b>
1.1.1.	EL PERIODO DE REPOSO	3
1.1.2.	PROBLEMAS DE LA FRUTICULTURA DE CADUCIFOLIOS EN REGIONES SUBTROPICALES	5
<b>1.2.</b>	<b>EL PAPEL DE LA TEMPERATURA EN LOS FRUTALES CADUCIFOLIOS</b>	<b>5</b>
1.2.1.	LA NECESIDAD DE FRIO INVERNAL	6
1.2.2.	MEDIDA Y CUANTIFICACION DE HORAS FRIO	8
1.2.3.	LAS HELADAS	9
<b>1.3.</b>	<b>PRECIPITACIÓN PLUVIAL</b>	<b>14</b>
1.3.1.	FACTORES QUE AFECTAN EL ABASTECIMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO	15
1.3.2.	PROCESAMIENTO DE DATOS DE LLUVIA	16
<b>1.4.</b>	<b>LA EVAPOTRANSPIRACIÓN</b>	<b>17</b>
<b>1.5.</b>	<b>BRILLO SOLAR</b>	<b>18</b>
<b>1.6.</b>	<b>HUMEDAD ATMOSFERICA</b>	<b>19</b>
<b>1.7.</b>	<b>VIENTO</b>	<b>19</b>
<b>2.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>22</b>
<b>2.1.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>22</b>
<b>2.2.</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>23</b>
<b>2.3.</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>23</b>
<b>2.4.</b>	<b>ALCANCES Y LÍMITES</b>	<b>29</b>
<b>2.5.</b>	<b>APORTE</b>	<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>METODO</b>	<b>30</b>
<b>3.1.</b>	<b>AREA DE ESTUDIO</b>	<b>30</b>
<b>3.2.</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	<b>30</b>
<b>3.3.</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>30</b>
<b>3.4.</b>	<b>METODOLOGÍA ESTADISTICA</b>	<b>31</b>
3.4.1.	CONSIDERACIÓN DE LOS PERIODOS DE RIESGO A HELADAS.	31
3.4.2.	DETERMINACIÓN DE LAS FRECUENCIAS DE HELADAS	32
3.4.3.	CALCULO DE HORAS FRIO	32
3.4.4.	CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	34
3.4.4.1.	CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	34
3.4.4.2.	CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL	34
3.4.5.	ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN	35
3.4.5.1.	DETERMINACIÓN DEL DÉFICIT HÍDRICO	35
3.4.5.2.	ESTIMACIÓN DE ENTRADA DE LA EPOCA LLUVIOSA DE ACUERDO CON EL REQUERIMIENTO HÍDRICO	36

3.4.5.3.	ESTIMACIÓN DE LA SALIDA DE LA EPOCA LLUVIOSA DE ACUERDO CON EL REQUERIMIENTO HÍDRICO	36
3.4.5.4.	ESTIMACIÓN DE LOS DIAS SUCESIVOS SIN LLUVIAS (CANÍCULAS)	36
3.4.5.5.	PROBABILIDAD DE LLUVIA ESPERADA, QUE SUPERE EL REQUERIMIENTO HÍDRICO	36
3.4.6.	<b>BRILLO SOLAR</b>	37
3.4.7.	<b>CALCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA</b>	37
3.4.8.	<b>VELOCIDAD DEL VIENTO</b>	37
<b>4.</b>	<b>PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>38</b>
4.1.	<b>OCURRENCIA DE HELADAS</b>	<b>38</b>
4.2.	<b>DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE HELADAS</b>	<b>39</b>
4.3.	<b>ESTIMACIÓN DE LAS HORAS FRIO PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO</b>	<b>40</b>
4.4.	<b>EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL PARA LOS FRUTALES CADUCIFOLIOS, EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO</b>	<b>43</b>
4.5.	<b>DETERMINACIÓN DE LA ENTRADA Y SALIDA DE LA EPOCA LLUVIOSA, PERIODO DE CANÍCULAS Y DÉFICIT HÍDRICO</b>	<b>44</b>
4.6.	<b>PROBABILIDAD QUE LA LLUVIA ESPERADA EN EL MES, SUPERE EL REQUERIMIENTO HÍDRICO</b>	<b>48</b>
4.7.	<b>ESTIMACIÓN DEL BRILLO SOLAR PARA CADA MES</b>	<b>48</b>
4.8.	<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	<b>50</b>
4.9.	<b>VELOCIDAD DEL VIENTO</b>	<b>53</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>54</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>56</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>57</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>58</b>

## INDICE DE CUADROS

No.	TITULO	PÁGINA
1	VALOR DE LAS TEMPERATURAS PARA CALCULO DE UNIDADES FRIO	7
2	ESCALA DE BEAUFORT	21
3	TABLA PARA EL CALCULO DE HORAS FRIO, PREPARADO POR EL DOCTOR SHARPE	33
4	ESTUDIO DE CORRELACION ENTRE EL NUMERO DE HORAS FRIO Y EL PROMEDIO DE TEMPERATURAS MEDIAS DE DICIEMBRE Y ENERO	33
5	Kc PARA FRUTALES CADUCIFOLIOS, DE ACUERDO CON LA ETAPA FENOLOGICA DE DESARROLLO	35
6	FECHA A PARTIR DE LA CUAL YA NO EXISTE EL RIESGO A HELADAS DE PRIMAVERA, CON VARIAS PROBABILIDADES DE OCURRENCIA A DIFERENTES RANGOS DE TEMPERATURA, PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO	38
7	FRECUENCIA MINIMA Y MÁXIMA DE OCURRENCIA DE HELADAS, POR MES Y TEMPERATURA CRITICA, DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO 1975-2000	39
8	HISTORIAL DE LA ESTIMACIÓN DEL NUMERO DE HORAS FRIO, PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO, POR TRES DIFERENTES METODOS DE CALCULO	41
9	ETP Y ETR PROMEDIO DE 25 AÑOS DE REGISTRO (1975-2000), PARA LOS FRUTALES CADUCIFOLIOS, EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO	43

## INDICE DE FIGURAS

No.	TITULO	PÁGINA
1	TEMPERATURAS CRITICAS PARA DIFERENTES ESPECIES Y ETAPAS FENOLOGICAS, AL DAÑO OCASIONADO POR HELADAS.	13
2	DIFERENCIAS EN LA ESTIMACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE HORAS FRIO POR TRES METODOS, PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO	42
3	HISTORIAL DE LA ESTIMACIÓN DE HORAS FRIO, PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO POR TRES DIFERENTES METODOS DE CALCULO	42
4	ENTRADA Y SALIDA DEL PERIODO DE LLUVIAS, PERIODO DE CANÍCULA Y DÉFICIT HÍDRICO, PARA EL AÑO MAS LLUVIOSO.	46
5	ENTRADA Y SALIDA DE LA EPOCA LLUVIOSA, PERIODO DE CANÍCULA Y DÉFICIT HÍDRICO, PARA EL AÑO MAS SECO DEL PERIODO	46
6	ENTRADA Y SALIDA DE LA EPOCA LLUVIOSA, PERIODO DE CANÍCULA Y DÉFICIT HÍDRICO, PARA EL PROMEDIO DE LOS 25 AÑOS DE ESTUDIO	47
7	PROBABILIDAD QUE LA LLUVIA DEL VALLE DE QUETZALTENANGO, IGUALE O SUPERE LA ETR DE LOS FRUTALES DECIDUOS	49
8	BRILLO SOLAR EN HORAS MES Y EN PORCENTAJE, PROMEDIO DE LOS 25 AÑOS DE REGISTRO, PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO	49
9	COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD RELATIVA DURANTE EL AÑO, PARA EL VALLE DE QUETZALTENMANGO, PROMEDIO DE LOS 25 AÑOS DE ESTUDIO	52
10	COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD RELATIVA Y PRECIPITACIÓN PLUVIAL DURANTE EL AÑO, PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO, PROMEDIO DE LOS 25 AÑOS DE REGISTRO	52
11	COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO Y RACHAS MÁXIMAS ABSOLUTAS DEL VIENTO, DURANTE EL AÑO PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO	53

## CONTENIDO DEL ANEXO

1.	PROPUESTA TÉCNICA	59
	1. INTRODUCCIÓN	
	2. JUSTIFICACIÓN	
	3. OBJETIVOS	
	4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	
2.	PROCEDIMIENTO DE CALCULO PARA ESTIMAR LAS PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE HELADA, RANGO DE TEMPERATURA ENTRE 0°C Y -1°C	65
3.	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO, PARA ESTIMAR PROBABILIDADES QUE LA LLUVIA ESPERADA, PARA EL MES DE MAYO, SUPERE LA ETR (89.6 mm)	66
4.	CALCULO DE REQUERIMIENTO Y DÉFICIT HÍDRICO PARA LOS FRUTALES DECIDUOS, EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO, PROMEDIO DE 25 AÑOS DE REGISTRO	67
5.	PERIODO DE OCURRENCIA DE HELADAS CON EL 99% DE PROBABILIDADES, EN RELACION A LA TEMPERATURA CRITICA DE LA ETAPA FENOLOGICA DEL CULTIVO	68
6.	INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO, PERIODO 1975 – 2000	69
7.	MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO, VALLE DE QUETZALTENANGO	70

## RESUMEN

El presente estudio, se realizó con el propósito de contribuir al fomento de los frutales caducifolios en el Valle de Quetzaltenango, por medio de la recopilación de la información climática, y su respectivo análisis estadístico, para analizar el riesgo ocasionado por los efectos adversos de los elementos climáticos. La metodología utilizada en el presente estudio se basó en el análisis estadístico de 25 años de registro de las variables: temperatura, precipitación pluvial, brillo solar, humedad relativa y velocidad del viento, de la Estación Meteorológica del Instituto Nacional de Sismología, vulcanología, meteorología e hidrología (INSIVUMEH), ubicada en la Labor Ovalle, Olinztepeque, Quetzaltenango.

Desde el punto de vista climático, si es factible la siembra de frutales deciduos en el Valle de Quetzaltenango, poniéndole especial atención al riesgo de heladas tardías el cual es bastante alto, por lo que se recomienda efectuar un control integrado de las mismas, por los diferentes métodos, ya sean indirectos o directos. Heladas con temperaturas menores a  $-3^{\circ}\text{C}$  aún pueden presentarse hasta el 7 de mayo. Para la estimación de horas frío, debe calcularlas en base a los métodos de Da Mota y Weinberger, especialmente el primero o preferiblemente a través del promedio de los dos métodos. Para la introducción de frutales deciduos y sus variedades, es de considerar que el máximo de horas frío que se pueden presentar para el Valle de Quetzaltenango es de 647 Hf; por lo que aquellas variedades cuyo requerimiento sea mayor a éste, tendrán que utilizar métodos para compensar frío, ya sean estos culturales y/o químicos.

De acuerdo con el análisis de la presente investigación, ocurre un déficit hídrico durante los meses de enero a marzo y de la cuarta pentada de noviembre a la sexta de diciembre, la época lluviosa se ha establecido hasta la quinta pentada de abril y en los años secos hasta la tercera pentada de julio. La salida de la época lluviosa ha ocurrido en promedio la quinta pentada de noviembre. Se han registrado canículas en julio, con una duración de 3 pentadas y en agosto hasta de 4 pentadas. De noviembre a abril, son los meses en los que se recibe la mayor cantidad de brillo solar, entre un 60 y un 73% y el mes de septiembre, el mes que recibe la menor cantidad de brillo solar, con solo un 36% y le sigue junio con un 38%.

El mes con la humedad relativa mas alta es septiembre (83%), la cual coincide con la época de cosecha, por lo que la planta y especialmente las frutas se vuelven muy susceptibles al daño por enfermedades fisiológicas y parasitarias, por lo que debe ponérsele atención a este tipo de control. En el mes de marzo se registra la mas baja humedad relativa con 69%. La velocidad que alcanza el viento no constituye ningún problema para el cultivo de frutales caducifolios en el Valle de Quetzaltenango, a excepción de algunas rachas que pueden alcanzar hasta de 32 km/hr, con mayor ocurrencia en el mes de febrero.

## 1. INTRODUCCION

La producción de frutales deciduos, especialmente la manzana (*Malus domestica* Borkh), y melocotón (*Prunus persica* L.); la pera (*Pyrus communis*) y ciruela (*Prunus domestica*) en menor importancia, constituyen una actividad agrícola muy importante, para el Valle de Quetzaltenango. Actualmente existen aproximadamente 160 Ha de manzana y 138 Ha de melocotón en huertos comerciales, establecidos en el Valle, sin incluir los huertos familiares con árboles dispersos y extensiones menores a 0.044 Ha (1 cuerda de 645 varas<sup>2</sup>). La anterior extensión sólo representa el 18% del total del área potencial para el fomento de estos frutales, del Valle de Quetzaltenango. (1)

Estas plantaciones generan ingresos netos para los Fruticultores, de alrededor de Q 6,000 por Ha para el caso de la manzana, y Q 20,000 por Ha para el caso del melocotón en plantaciones en plena producción, esto cuando no ocurren daños por los elementos del clima, como heladas, granizo y/o deficiencias hídricas. Además la producción de esta fruta es fuente de trabajo generando alrededor de 379 jornales directos por Ha al año, sin incluir la actividad desarrollada por los comerciantes de fruta, vendedores de agro insumos, transportistas, etc.

En el Valle de Quetzaltenango, los elementos del clima, tales como la temperatura, precipitación pluvial, viento, brillo solar, y la humedad relativa, pueden afectar ya sea favorablemente o perjudicar la producción de estos frutales. Para todos los Fruticultores es sabido la importancia de la temperatura, durante la época de invierno (frío invernal) para llenar los requerimientos de unidades frío de los frutales o lo dañino de una helada tardía, la cual puede representar la pérdida completa de una cosecha. Durante los últimos cinco años, han ocurridas pérdidas entre el 50 y el 100% de la producción ocasionadas por heladas. El mismo análisis puede realizarse para los otros elementos, como la precipitación pluvial ya sea por exceso o escasez de esta, el daño ocasionado por una canícula prolongada, lo dañino de un temporal en plena época de cosecha, la importancia de la radiación solar en la calidad de la fruta, el problema con alta humedad relativa y la velocidad del viento.

La información climática de 25 años que se tiene para el Valle de Quetzaltenango, no se tiene procesada en su totalidad, especialmente la dirigida a la producción de frutales deciduos, por lo que el presente estudio tiene como propósito, analizar e interpretar las variables climáticas, que sirva de base para los productores de frutas y técnicos, en la toma de decisiones, tales como: control de heladas, utilización de compensadores de frío, el uso de riego, época apropiada para la realización de podas, aplicación de riego, etc.

La presente investigación es factible de realizar, ya que se cuentan con los registros climáticos de los últimos 25 años, tomados de la estación meteorológica ubicada en la “Labor Ovalle”, Olintepeque, del Departamento de Quetzaltenango, propiedad del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), estación meteorológica que representa los datos climáticos del Valle de Quetzaltenango.

## **1.1. FRUTALES CADUCIFOLIOS, DECIDUOS O DE HOJA CADUCA**

Son árboles propios de regiones frías y templadas, aún cuando su cultivo se ha extendido a regiones subtropicales, cultivándose en áreas de gran altitud, en las que se presentan bajas temperaturas en invierno. Presentan un ciclo anual de desarrollo muy típico, caracterizado por una intensa floración en primavera, seguida de una foliación y el crecimiento vegetativo, que dura aproximadamente de 7 a 8 meses, al cabo de los cuales queda inhibido el crecimiento y se detiene; poco tiempo después se desprenden todas las hojas, mediante abscisión del pecíolo, quedando totalmente desnudos y comenzando un período de reposo o inactividad casi total.

Este desprendimiento total de las hojas, así como el período de reposo, son las características que definen a este tipo de árboles, ya que la caída de las hojas no obedece a la presencia de un estado de senescencia en ellas, sino ocurre en un lapso reducido y sucediendo en la totalidad de ellas, sin importar la edad o etapa de desarrollo de estas (2, 5 y 20).

### **1.1.1. EL PERIODO DE REPOSO**

La detención del crecimiento, la caída de las hojas y la presencia de un período de reposo es originada por causas todavía no bien conocidas, a pesar de los grandes esfuerzos y trabajos de investigación que se han realizado. En la actualidad es aceptado por la mayor parte de los fisiólogos, que el mecanismo directo que regula estos procesos internos es un balance o contenido proporcional, en el interior del vegetal, de promotores de crecimiento y de inhibidores. Lo anterior no constituye un hecho sencillo, ya que son muchas las sustancias de ambos tipos que sintetiza el árbol, cada una de efectos especiales, de actuación específica en ambos procesos y variando sus efectos con las dosis en que estén presentes. Por otra parte, la acción de estas sustancias depende mucho de la presencia de otras y de las interrelaciones que entre ellas se puedan presentar.

También los factores externos del árbol, en especial los climáticos, influyen de manera notable, sobre la fisiología de éste dictándole instrucciones sobre la síntesis de sustancias promotoras o inhibidoras. Cuando las cantidades de promotoras son altas, los árboles son inducidos a crecer, mientras si la predominancia es de inhibidores se induce el descanso. Ambos tipos de sustancias suelen ser producidos en las hojas y en las yemas, y a partir de estos órganos se produce la difusión hacia otros, donde son resentidos los efectos.

Se han identificado algunas sustancias inhibidoras como los flavonoides llamados *naringenina* y *prunina*, también está el *ácido abscisínico*. El ácido abscisínico es un inhibidor que tiene antagonismo con las *auxinas*, *ácido giberélico* y las citocininas; Se le ha encontrado en las yemas en altas concentraciones durante el período de reposo, disminuyendo considerablemente su contenido al acercarse el fin del período, una vez que se han satisfecho los requerimientos de frío.

Los elevados contenidos de inhibidores que han podido ser observados en la proximidad del inicio del período de reposo y durante él, así como la disminución de ellos al final de dicho período y durante la brotación, coincidiendo con situaciones inversas respecto a promotores de crecimiento, parecen confirmar la hipótesis de que el reposo está determinado y regulado por el balance de dichas sustancias en el vegetal, en el cual tiene mucho que ver el **efecto del frío** que en definitiva tiende a determinar una predominancia de los promotores sobre los inhibidores, que permite la brotación.

Factores externos climáticos, tales como la temperatura, radiación solar, humedad relativa, fotoperíodo y labores culturales del cultivo como la fertilización, riego, etc. influyen en el mecanismo que determina la caída de las hojas y la entrada en reposo de los árboles, pero su intervención no es muy bien conocida.

Se considera que el período de reposo comienza en los árboles, desde el momento en que se detiene el crecimiento vegetativo anual, aún antes del desprendimiento de las hojas. Esta detención es casi total en la parte aérea pero parece ser que no tiene lugar de manera tan acentuada en la parte subterránea, en la que el crecimiento y otras funciones continúan presentándose, aunque a ritmo menor. La respiración aunque casi latente, continúa efectuándose, mientras que la fotosíntesis, la transpiración estomática la traslocación de sustancias y el metabolismo en general desaparece en su acción.

Los árboles frutales caducifolios son propios y originarios de regiones bastante frías, en las cuales se presentan cada año inviernos muy bien definidos y generalmente crudos. El reposo es por lo tanto un mecanismo de defensa de ellos hacia estos factores climáticos adversos, es una estrategia adaptativa que las especies han desarrollado a lo largo de la evolución ocurrida en el tiempo (20).

## LETARGO

El término letargo se emplea para indicar la suspensión o detención del crecimiento visible, de manera temporal, de yemas o semillas, sin importar la causa que lo provoca. El letargo de acuerdo con el origen que lo causa puede ser de tres clases diferentes (20):

- **ECODORMANCIA O QUIESCENCIA:** Es la detención del crecimiento, que tiene lugar debido a causas externas desfavorables, como pueden ser inapropiadas condiciones de temperatura o de humedad. Este tipo de letargo está, entonces bajo el control exógeno y cuando la causa que lo provoca desaparece, el crecimiento se reanuda.
- **PARADORMANCIA O INHIBICION CORRELATIVA:** cuando el letargo es debido a condiciones internas pero los factores que lo determinan son producidos en otro órgano. Es el caso de una yema lateral que debido a la dominancia apical se encuentra inhibida por la yema terminal, al eliminarse ésta última, se rompe la inhibición de aquella, brotando y creciendo.
- **ENDODORMANCIA O REPOSO:** Es la suspensión del crecimiento originada por causas internas, y que tiene lugar aún cuando las condiciones externas o ambientales sean favorables. Su regulación está bajo control endógeno.

### **1.1.2. PROBLEMAS DE LA FRUTICULTURA DE CADUCIFOLIOS EN REGIONES SUBTROPICALES**

El reposo prolongado, con sus malas consecuencias, constituye el aspecto a vencer, por procedimientos de diversas índoles, ya que éste resulta ser el factor limitante de mayor importancia. En regiones netamente tropicales no es precisamente el período de descanso y su rompimiento el motivo de la preocupación, sino la ausencia de este, que determina una constante pero lánguida vegetación durante todo el año, con la presencia de flores y de frutos en distintos estados de desarrollo, que nunca llegan a alcanzar la calidad deseada.

En estas regiones, al llegar los inviernos benignos, solamente se desprenden las hojas de mayor edad, continuando la existencia de ellas, en las extremidades de los brotes, los cuales no detienen su crecimiento. La ramificación lateral suele presentarse deficientemente, debido a la dominancia apical, quedando las ramas alargadas, vacías y prácticamente improductivas. La fruticultura de hoja caduca en las regiones subtropicales debe refugiarse en zonas de gran altitud, en las que aun existiendo ciertos inviernos, éstos no son tan severos, constantes y prolongados, como sería lo deseable, por lo que los árboles se manifiestan a través de reposos prolongados y defoliación tardía, los cuales hay necesidad de combatir.

Entre los principales problemas del establecimiento de frutales Deciduos, en las partes altas de las regiones subtropicales, que por supuesto incluye Guatemala, están:

- Falta de temperaturas suficientemente elevadas durante el período de vegetación y el de maduración de los frutos.
- Ciclos estacionales apropiados a la vegetación y fructificación demasiados cortos, insuficientes para muchos frutales.
- Escasa longitud del día durante el período de crecimiento, por la latitud.
- Falta de luminosidad y de intensidad de la radiación solar, debido a la presencia de nubosidad, durante el período de crecimiento y el de maduración de la fruta.
- Presencia de lluvias en la época de maduración de los frutos.
- Presencia frecuente de heladas tempranas y tardías que restringen la longitud del ciclo vegetativo.
- Presencia de granizo, lluvias y viento en forma tempestuosa.

Los anteriores problemas contribuyen a la determinación de la mala calidad y bajos rendimientos en el cultivo de frutales Deciduos, tales como sus características de forma, tamaño, color, aroma y sabor. Siendo por otra parte atacadas por enfermedades fungosas e insectos lo que contribuye todavía más a restarles valor comercial. La misma alta humedad ambiental determina también la presencia de algunas enfermedades fisiológicas en las frutas. (2 y 5).

### **1.2. EL PAPEL DE LA TEMPERATURA EN LOS FRUTALES CADUCIFOLIOS**

La temperatura es uno de los principales elementos del clima, que influye directamente en la actividad fisiológica del árbol deciduo y en la calidad y rendimiento de las cosechas. El efecto de la temperatura sobre los frutales deciduos puede ser estudiado desde varios puntos

de vista: Horas frío o sea la acumulación de frío durante el invierno, para que los árboles llenen sus requerimientos, durante su período de reposo; a la incidencia de heladas, especialmente las de primavera (tardías) y al calor durante el verano, que es cuando ocurre el desarrollo y maduración de la fruta. (5 y 20).

### **1.2.1. LA NECESIDAD DE FRÍO INVERNAL**

La presencia de bajas temperaturas es necesaria para los frutales caducifolios durante su época de reposo, para que por medio de ellas puedan romper ese período de detención de actividades. Las bajas temperaturas, hacen que las causas que motivaron el letargo desaparezcan y los árboles broten y reinician un nuevo ciclo de crecimiento, al presentar temperaturas favorables en la siguiente primavera. El rompimiento del estado de reposo es función de la presencia de frío invernal, que actúa destruyendo a las sustancias inhibitoras y favoreciendo el incremento de los promotores.

Para que el balance inhibitor-promotor se lleve a cabo en forma conveniente, se rompa el reposo y los árboles florezcan y entren en actividad en la primavera, se necesita la presencia de una cierta cantidad de bajas temperaturas en invierno, que se conoce como **requerimiento de frío**. Estos requerimientos de frío son propios para cada especie y de cada variedad en particular, variando notablemente dentro de una misma especie, al existir variedades de altos requerimientos, muy exigentes en frío y otras variedades de poca exigencia.

Los requerimientos de frío se miden o se expresan comúnmente por el término **“hora frío” (hf)**, siendo una hora frío, el lapso de esa duración de tiempo transcurrido a una temperatura de 7.2°C o menos. Es decir, todo el tiempo en que durante el reposo invernal esté expuesto el árbol a temperaturas de 7.2°C o menos, puede sumarse y expresarse el total obtenido en horas. Para el dato total de horas frío pueden sumarse pequeños lapsos, menores a esa unidad, o grandes lapsos continuos que impliquen temperaturas bajas, de acuerdo con el índice expresado, de gran duración, con un gran número de horas en esa situación. No importa, para la suma que se obtenga, que las horas frío se presenten durante la noche o durante el día. (2, 5 y 20)

#### **1.2.1.1. El valor del concepto de horas frío**

La temperatura umbral de 7.2°C, que generalmente se considera para medir las horas frío, no deja de ser una imposición, que posiblemente esté acorde a las realidades ecológicas, particularmente climáticas de algunas regiones septentrionales del mundo, pero que definitivamente no tiene razón de ser en otras zonas más cálidas y menos en aquellas de latitud subtropical, en las que los factores del clima se presenten de manera notablemente diferente.

Los factores ecológicos que se consideran que interfieren en la cuantificación de las horas frío, en las regiones subtropicales, son los siguientes:

- Alta oscilación diaria, diurna-nocturna de la temperatura.
- Irregularidad estacional en la presencia de bajas temperaturas.

- Presencia de épocas definidas de gran calor durante el invierno.
- Gran radiación solar y ausencia de nubosidad.
- Reducida humedad ambiente y edáfica.
- Presencia de vientos cálidos.
- Fotoperiodismo correspondiente a baja latitud.

Al hablar sobre el índice de 7.2°C o menos, fijado para determinar el frío invernal, queda implícita la idea de que a partir de ese límite y hacia abajo, el tiempo transcurrido a diversas temperaturas tiene igual efecto, sin importar, para la acumulación de frío, a cuánto descienda la temperatura. Igualmente parece que queda sobreentendido que arriba de ese índice ningún valor se le puede dar a las temperaturas aunque sean constantes, reiteradas y cercanas al punto límite. Esto no es cierto de ningún modo, como se discutirá a continuación (2 y 5).

### 1.2.1.2. Las Unidades frío

Las temperaturas más elevadas de 7.2°C, pero cercanas a ella, tienen algún valor como efecto del frío invernal sobre los frutales y ese valor debe ser diferencial. Existe un criterio para medir, expresar y calcular los requerimientos de frío: **las unidades frío**

Este concepto, determina que a determinados rangos de temperatura, el efecto de cada hora expuesta tiene un valor de una unidad frío, incluyendo dentro de estos rangos a las temperaturas comprendidas entre 2.5°C y 9.1°C. Una unidad frío se considera como la acumulación de frío que tiene lugar durante una hora en la que la temperatura es de 6°C, sin embargo, se da igual valor a las temperaturas comprendidas entre los rangos citados.

La acumulación de frío entre 2.4°C y 1.5°C se cuantifica a razón de 0.5 unidades frío por cada hora; debajo de 1.4°C no se les da ningún valor como efecto de frío invernal. A las temperaturas comprendidas entre 9.2°C y 12.4°C se les da el valor de 0.5 unidades frío y 0 unidades frío cuando la temperatura está entre 12.5°C y 15.9°C. Entre 16°C y 18°C se cuantifica en forma negativa, con el valor de -0.5 unidades frío y -1 unidad frío, para las temperaturas que se encuentren arriba de 18°C. (ver cuadro 1)

**CUADRO 1.  
VALOR DE LAS TEMPERATURAS PARA CALCULO  
DE UNIDADES FRIO**

TEMPERATURA	UNIDADES FRIO
Menor de 1.4°C	0
De 1.5°C a 2.4°C	0.5
De 2.5°C a 9.1°C	1.0
De 9.2°C a 12.4°C	0.5
De 12.5°C a 15.9°C	0
De 16.0°C a 18.0°C	-0.5
Mayor de 18°C	-1.0

FUENTE: Richardson et al. 1974, citado por Calderón (2).

De acuerdo con el modelo de Richardson, citado por Calderón (2) las unidades frío deben comenzarse a cuantificar desde el otoño, a partir del día en que exista la más elevada contribución positiva, debiendo ser suspendido el registro a finales de invierno, cuando de manera normal las unidades frío que cada día se obtienen son negativas.

## 1.2.2. MEDIDA Y CUANTIFICACIÓN DE HORAS FRÍO

Las horas frío que en un lugar se presentan, se miden mediante el uso del termógrafo. Se considera conveniente empezar a cuantificar horas frío, desde el momento en que los árboles comienzan a desprenderse de sus hojas, insistiendo algunos especialistas, en que debe hacerse desde el momento en que el crecimiento vegetativo de la parte aérea se detiene, aún mucho antes de que las hojas se caigan, ya que la inactividad del árbol empieza desde entonces. Para que los datos del termógrafo tengan un valor confiable, debe usarse el promedio de por lo menos 10 años de observaciones, ya que de un año a otro pueden existir grandes fluctuaciones y solamente promedios de gran número de años, pueden dar una idea precisa de la verdadera y normal situación de cada lugar.

Los principales procedimientos de cálculo de horas frío-presentes en un lugar determinado son los siguientes (2 y 5):

### 1.2.2.1. Método de Da Mota

Este procedimiento se basa en un estudio de correlación entre la temperatura media mensual y el número de horas frío, que en cada mes resulta acumulado. Para el cálculo del total de frío presentado en el invierno, se usan los datos de los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.

La fórmula que se usa es la siguiente:

$$\mathbf{Hf} = 485.1 - 28.52\mathbf{X} \quad \text{Donde: } \mathbf{Hf} = \text{Cantidad mensual de horas frío.}$$
$$\mathbf{X} = \text{Temperatura media mensual.}$$

De acuerdo con lo indicado, hay necesidad de conocer las temperaturas medias de los cuatro meses antes señalados y efectuar el cálculo de la cantidad de horas frío, que durante cada uno de ellos se haya presentado, las que sumadas darán el total para ese año. Las temperaturas medias mensuales, se obtienen mediante el uso de termómetros de máxima y mínima, cuyos datos deben ser observados y registrados diariamente. El promedio de la máxima y de la mínima de cada día proporciona el dato de la media diaria. El promedio de las temperaturas medias diarias durante un mes corresponde a la temperatura media mensual. Estos datos mensuales son los que se utilizan en la fórmula. Este método considera las fluctuaciones de temperatura diurna-nocturna que ocurren en nuestras regiones.

### 1.2.2.2. Método de Sharpe

Este método se basa en una correlación entre las temperaturas medias mensuales del invierno, usándose los datos de noviembre, diciembre, enero y febrero y el número de horas frío-acumuladas. No se usa una fórmula, sino que se emplea una tabla preparada por el Doctor Sharpe, con base a datos de temperatura de la Florida, Estados Unidos. Cuando el dato de temperatura media mensual no coincide con los datos de la tabla, pueden hacerse las correspondientes interpolaciones.

### 1.2.2.3. Método de Weinberger

Este procedimiento se basa en un estudio de correlación entre el número de horas frío y el promedio de temperaturas medias de los meses de diciembre y enero. El autor, de acuerdo con observaciones realizadas y a correlaciones encontradas, formuló una curva, en la que entrando con el dato de promedio de temperaturas medias de esos dos meses, se encuentra el número de horas frío-acumuladas.

## 1.2.3. LAS HELADAS

Desde el punto de vista **meteorológico**, se considera que se ha producido una helada, cuando la temperatura del aire dentro de la casilla meteorológica (ubicada a 1.50 m de altura), ha descendido por debajo de 0°C. Por otro lado, si tenemos en cuenta el criterio **agrometeorológico**, se considera que se produce una helada cuando la temperatura ha disminuido lo suficiente, al punto tal, que produce daños en los órganos vegetales (1 y 19).

### 1.2.3.1. EPOCA DE LAS HELADAS

#### a. Heladas tempranas

Pueden ocurrir desde finales de septiembre, y no suelen tener efectos muy nocivos en la mayor parte de los frutales deciduos y en la mayoría de las zonas productoras de Guatemala. Normalmente, en esta época la cosecha ya se ha realizado y los árboles se encuentran por iniciar el período inactivo. Existe por lo tanto, cierta resistencia a las heladas, las cuales suelen no ser muy fuertes, debido en parte a la alta humedad ambiental, proporcionado por la época de lluvias y a la inexistencia de invasiones de viento polar. Por lo tanto los daños ocasionados por las heladas tempranas son mínimos y no pasan de provocar la muerte de los brotes más tiernos, que todavía continúan creciendo. El único daño podría ocurrir en variedades muy tardías, que estén aún en plena cosecha.

#### b. Heladas tardías

Estas pueden ocurrir en épocas e intensidades diferentes de acuerdo con las distintas regiones, pero abarcan lapsos tan largos de peligro, como desde principios de febrero hasta finales de abril, sin que ello quiera decir que no se puedan presentar excepcionalmente, en el mes de mayo y hasta en junio. De acuerdo con el grado de apertura de los botones florales y al

desarrollo de sus frutos, estas heladas llegan a causar verdaderos estragos y constituyen el motivo principal de preocupación en las zonas frutícolas: “si no hay heladas habrá cosecha”.

Debido a su peligrosidad se ha desarrollado toda una ciencia para tratar de encontrar métodos de lucha y de prevención contra ellas, que determinen reducción de los daños a un costo relativamente bajo, el cual sea rentable (1)

### **1.2.3.2. TIPOS DE HELADAS Y SUS CAUSAS**

Es conveniente señalar que el descenso de la temperatura por debajo de 0°C, que causa el fenómeno de las heladas, puede tener tres orígenes diferentes y un cuarto tipo que es el resultado de la combinación de los otros tres (1 y 19).

#### **a. Heladas por advección**

Se originan como consecuencia de la invasión de masas de aire frío. Las mismas se caracterizan por estar acompañadas por viento, afectan los lugares más bajos y son de carácter macro climático, es decir que son heladas de tipo general, la temperatura disminuye en toda una región o en todo el país. Al producirse por la entrada de un frente frío, pueden estar acompañadas de tiempo nublado o inclusive con lluvia. Prácticamente no se puede hacer casi nada para contrarrestarlas, ya que el descenso de la temperatura es muy intenso y existe una renovación constante del aire frío, por lo que se necesita alrededor de 2 millones de kilocalorías por hectárea y por hora, para contrarrestarlas.

#### **b. Heladas por radiación o locales**

Son muy comunes en las zonas productoras de Guatemala, especialmente en el valle de Quetzaltenango y se producen porque en ciertas condiciones, el suelo durante el día no alcanza a almacenar suficiente calor; así el mismo se enfría demasiado durante la noche, afectando también las capas inferiores del aire cercano al mismo. Se caracteriza por producirse con cielo despejado, ausencia de viento, afectando más las zonas bajas por acumulación de aire frío. Las heladas por radiación se presentan como consecuencia de un balance térmico resultante de las radiaciones, que por una parte recibe el suelo y las plantas y por otra las que éstos emiten.

Estas heladas pueden presentarse en algunas zonas, mientras que en otras relativamente cercanas no ocurren y de allí su nombre de heladas locales. Para contrarrestar este tipo de heladas se calcula que debe aportarse al medio unas 600,000 kilocalorías por hectárea y por hora.

#### **c. Heladas blancas**

Si durante el enfriamiento que tiene lugar en las plantas y en el suelo, existe suficiente humedad en el aire, puede formarse rocío, que es la condensación del vapor de agua sobre las partes frías. Al continuar el descenso de la temperatura este rocío puede congelarse, formado pequeños cristales de hielo, que dan un color blanco a la superficie.

También puede ocurrir que al disminuir la temperatura del aire, su humedad relativa aumenta y continúa aumentando conforme esta desciende, hasta que a una temperatura determinada, a la que se llama punto de rocío, el aire alcanza la saturación de vapor de agua, condensándose en forma de rocío. La temperatura a la que se alcanza el punto de rocío depende de la cantidad total de humedad que tenía el aire. Cuando el punto de rocío se logra a 0°C o menos, el vapor de agua de la atmósfera se condensa directamente sobre las superficies, cubriéndolas de pequeños cristales de hielo o escarcha.

En ambos casos se dice que se ha producido una helada blanca ya que tanto los vegetales como el suelo presentan el color blanco que les transmite el hielo.

#### d. Heladas negras

Cuando el descenso de la temperatura está por debajo de 0°C, se lleva a cabo sin alcanzar el punto de rocío, debido a una humedad absoluta de la atmósfera muy reducida, las heladas se presentan sin la formación de cristales de hielo, por consiguiente sin el color blanco característico de las otras.

#### e. Inversión de temperatura

Debido al calentamiento que la superficie terrestre sufre durante el día, por efecto de la radiación solar, ésta a su vez emite radiaciones a la atmósfera, la que de esta forma se calienta. Las capas más bajas de la atmósfera son las de más alta temperatura, disminuyendo la temperatura a mayor altura, por lo que las capas más elevadas son mucho más frías que las bajas. Lo anterior ocurre en el estado normal de la atmósfera, tanto de día como generalmente de noche, en tanto no se presenten heladas. Pero cuando debido a una gran pérdida de calor del suelo, por una intensa y prolongada radiación de éste a la atmósfera, el suelo se enfría mucho, por lo que el aire que está en contacto con este también se enfría, sucediendo entonces el fenómeno conocido como *inversión de la temperatura*.

Cuando este fenómeno se presenta, las capas más bajas de la atmósfera son las más frías, siendo las capas más elevadas las más calientes, es decir, hay un orden inverso respecto a las temperaturas en las capas atmosféricas. Esto sucede hasta una altura determinada, variable en cada caso, a la que se llama *nivel de inversión*, a partir de la cual de nuevo la temperatura de los estratos va descendiendo a mayor altura en que se encuentren.

#### f. Heladas por evaporación

No tienen mucha incidencia en la región del Valle de Quetzaltenango y en las demás regiones productoras de Guatemala. Se producen cuando ingresa un frente frío y produce lluvia, esta agua que queda depositada sobre los vegetales y el suelo, se evapora, a expensas de quitarle calor al suelo y a los órganos vegetales principalmente, provocando el enfriamiento del suelo y los vegetales. En este caso de heladas, las pérdidas de calor rondan alrededor de las 500,000 kilocalorías por hectárea y por hora.

#### g. Heladas mixtas

Estas son las más dañinas y ocurren por una combinación de los tipos descritos anteriormente. Estas se inician con la entrada de un frente frío, el que produce nubosidad enfriando el ambiente, una vez que el frente pasó, la nubosidad se disipa, produciéndose una fuerte pérdida de calor por radiación desde el suelo, lo que produce una nueva helada. Para una helada mixta, se calcula que como máximo se pueden llegar a perder 3,100,000 kilocalorías por hectárea y por hora.

### 1.2.3.3. DAÑOS CAUSADOS POR HELADAS

Las heladas tienen efectos perjudiciales sobre los vegetales, principalmente cuando estos se encuentran en período activo de crecimiento, teniendo mucha importancia su estado fisiológico para su susceptibilidad al daño. Durante el período de reposo, los frutales deciduos son muy resistentes a los descensos de temperatura, sin embargo si estos son muy intensos y prolongados pueden dañar a cualquier parte del árbol, no importando su edad y causar su muerte.

Las células parenquimatosas suculentas expuestas a temperaturas debajo de 0°C mueren en poco tiempo debido a la combinación de varios efectos nocivos de acción más o menos simultánea, como son congelamiento de líquidos internos, deshidratación y daños de tipo mecánico. Las heladas causan la congelación y la formación de cristales de los líquidos intra e intercelulares. La congelación del agua en los espacios intercelulares determina una salida de agua de la célula hacia el exterior, con lo cual ésta se deshidrata en cierto grado y tiende a plasmolizarse. También la formación de cristales de hielo en el interior de la célula, que suele ser en el líquido de las vacuolas, repercute en ella en forma de daños mecánicos que causan destrozos en su composición física. Los mismos daños pueden ser causados en células con paredes más gruesas y menor concentración de agua en su interior, aunque más lentamente.

Dentro de los factores que tienen influencia en los daños de heladas se encuentran los siguientes (1, 2 y 19):

#### a. Especie y variedad del frutal

En forma general, puede decirse que los frutales de hueso (*Prunus*), son más susceptibles que los frutales de pepita, al daño de heladas, en este orden: almendro, albaricoque, ciruelo, durazno y cerezo. Entre los de pepita: membrillo, pera, manzana

En el caso de las variedades, hay muy precoces pero también muy tardías; algunas son muy exigentes de frío, mientras otras apenas lo requieren. La elección de variedades resistentes a las heladas es vital, recalcando en que la resistencia a las heladas es de tipo indirecto, como lo es el retraso de la época de floración, ya que en la práctica no es significativa la que ofrece directamente el árbol por estructura o composición de sus tejidos u órganos, que los hace menos sensible a las bajas temperaturas.

#### b. Estado fisiológico de la planta y de los diferentes órganos

El estado fisiológico de la planta o del órgano en el momento de la helada, determina en gran parte el daño que se pueda sufrir. Durante la época de reposo, las condiciones de resistencia del árbol están muy desarrolladas y éste suele ser casi inmune a las bajas temperaturas. En estado total de reposo, las yemas pueden soportar sin ningún riesgo, temperaturas más o menos prolongadas del orden de los  $-5$  a  $-8^{\circ}\text{C}$ .

Las temperaturas críticas (TC) en las cuales se inicia el daño, de acuerdo con el estado de desarrollo de las yemas; Temperaturas en las que ya ocurre un 10% de muerte (T10) del tejido y temperaturas en las que ya se alcanza un 90% de muerte (T90), se presentan en la figura 1 (tomadas de Westwood, 20).

**FIGURA 1.  
TEMPERATURAS CRÍTICAS PARA DIFERENTES ESPECIES Y ETAPAS  
FENOLOGICAS, AL DAÑO OCASIONADO POR HELADAS**

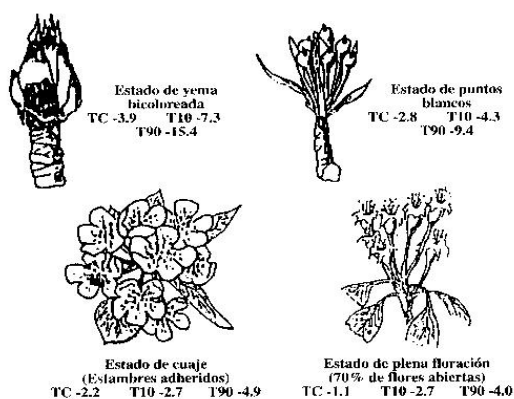


Fig. 1 A. TC PARA PERA

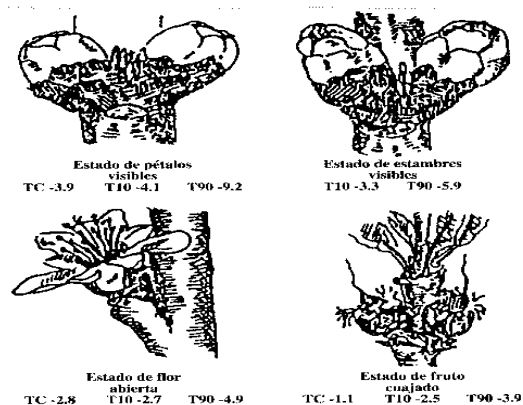


Fig. 1 B. TC PARA MELOCOTON

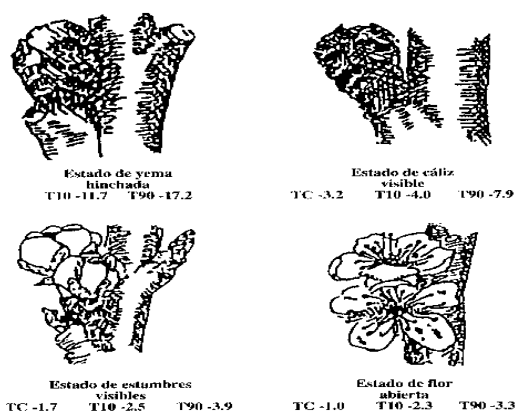


Fig. 1 C. TC PARA CIRUELO

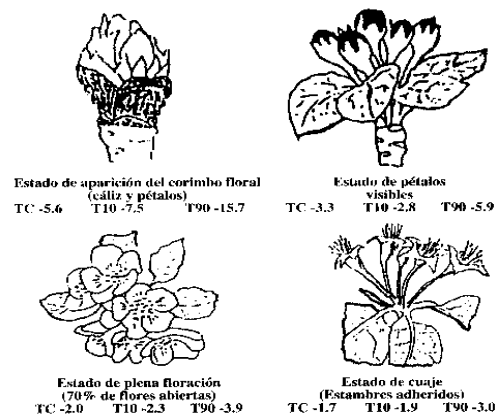


Fig. 1 D. TC PARA MANZANA

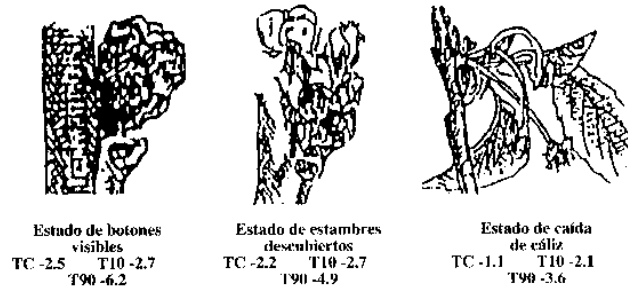


Fig. 1 E. TC PARA CEREZO

Las heladas tardías, son las que causan mayor daño, ya que los primeros órganos que muestran actividad y que inician antes su desarrollo, como síntomas del despertar anual después del reposo, son los más atacados por las heladas, como las yemas florales, frutos recién cuajados, aunque también las yemas vegetativas. Estos órganos, que eran muy resistentes en invierno (época fría), pierden esa característica al separarse entre sí las escamas de protección y desprendiéndose posteriormente, dejando al descubierto las partes florales y los ápices de crecimiento, los que son muy susceptibles al efecto de las bajas temperaturas.

c. Influencia del contenido de agua

Las células, tejidos y órganos son tanto más dañados por las heladas cuanto más suculentas sean, independientemente del tipo de membranas, epidermis o superficies protectoras que posean. La resistencia al frío de los frutales deciduos durante la época fría se debe en gran medida a la inexistencia de tejidos o células con gran contenido de agua. Al iniciar la actividad fisiológica, los brotes de crecimiento aumentan su contenido de agua que los hace muy sensibles a las bajas temperaturas.

d. Intensidad y duración de la helada

En iguales circunstancias o condiciones de una helada, es más perjudicial, en proporción directa al descenso que la temperatura experimente, pero también debe de considerarse el tiempo de exposición de las partes vegetativas al frío, ya que resulta más perjudicial un largo tiempo de exposición, de más de una hora a temperaturas relativamente altas (entre  $-2$  y  $-3^{\circ}\text{C}$ ), que lapsos muy cortos, de menos de media hora, a temperaturas mucho más bajas.

e. Ritmo de descenso de la temperatura

Los cambios bruscos de temperatura son más dañinos al vegetal. Después de un cierto número de días de descenso notorio y constante de la temperatura, el árbol puede estar en cierto grado de preparación, que lo hace resistente en determinada medida. Por lo que las heladas que se producen repentinamente, después de un período de tiempo con clima más o menos favorable, puede ocasionar mayor daño.

De igual forma, si la helada se verifica con un descenso lento y paulatino causa menos daño que si su presentación se lleva a cabo bruscamente con descensos muy rápidos.

### **1.3. PRECIPITACIÓN PLUVIAL**

La lluvia que cae sobre el terreno se dispersa de varios modos: Una parte es retenida temporalmente por el suelo y luego evaporada a la atmósfera o absorbida por plantas y luego transpirada; otra parte del agua precipitada escurre sobre la superficie del suelo hasta llegar a arroyos o ríos; una más penetra al terreno y pasa a formar parte de los acuíferos subterráneos, los cuales eventualmente desembocan en los océanos, afloran espontáneamente o son explotados por el hombre.

La lluvia ejerce sobre el terreno influencia mecánica, de fertilización, física y química, alguna de las cuales son favorables y otras desfavorables para la agricultura. La influencia mecánica consiste en una compactación del terreno y/o disgregación de las partículas superficiales del suelo. La acción fertilizante de la lluvia se debe a que un litro de esta agua aporta aproximadamente 2 Mg. de nitrógeno amoniacal y 0.7 Mg. de nitrógeno nítrico. La influencia física se refleja principalmente en la formación de los suelos y la influencia química se refiere a la solubilización de los minerales del suelo, estado en el que son tomados por las plantas.

Durante la época de floración y maduración, las lluvias abundantes pueden ocasionar la caída del polen, afectando la fecundación; alarga el período vegetativo y exponiendo al cultivo al ataque especialmente de enfermedades fungosas.

La influencia de la lluvia como suministro de agua para las plantas, normalmente es benéfica, existiendo casos excepcionales en que es perjudicial. Los períodos en que un cultivo está sujeto a tensiones hídricas severas, afectan no sólo en forma cuantitativa, sino también en forma cualitativa el rendimiento; durante el desarrollo del cultivo existen períodos críticos, en los cuales una alta tensión de la humedad del suelo puede reducir significativamente el rendimiento (3, 6, 8 y 11).

#### **1.3.1. FACTORES QUE AFECTAN EL ABASTECIMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO**

La cantidad de humedad aprovechable por las plantas en el suelo depende grandemente de la precipitación pluvial, excepto en aquellas áreas donde se practica el riego. La lluvia es medida en unidades lineales (lámina); sin embargo, esto no es un índice de la efectividad de la precipitación, sino que ésta depende de la cantidad de agua que se aloje en la masa del suelo ocupado por las raíces y la cantidad que pueda ser utilizada por las plantas, y esto a su vez depende de varios factores (11 y 16):

- a. Distribución de las Lluvias durante el año: La eficiencia en el aprovechamiento de las lluvias por las plantas depende del grado de coincidencia entre la época de lluvia y el ciclo agrícola. Las lluvias cortas y muy intensas son de muy baja eficiencia, debido a la gran cantidad de agua que se pierde por escurrimiento superficial.

- b. Topografía: De acuerdo con la topografía del terreno, pendiente y micro relieve, el agua que cae sobre un lugar podrá escurrir con mayor o menor intensidad, afectándose de esta manera la infiltración del agua al suelo y la erosión que ésta pueda causar.
- c. Textura del suelo: La textura del suelo influye grandemente en la infiltración del agua de lluvia en el suelo y en términos generales, se puede decir que a mayor diámetro de las partículas del suelo, mayor infiltración.
- d. Cantidad de Evaporación: La evaporación del agua del suelo, depende de la temperatura, de la humedad del aire, de la velocidad del viento, de la presión atmosférica, de la textura del suelo, etc. Una misma cantidad de agua de lluvia puede servir en un lugar para obtener muchos cultivos temporales, mientras que en otro lugar sólo puede servir para vegetación de pastoreo.
- e. Cubierta Vegetal: Una buena cubierta vegetal del suelo realiza una retención muy considerable del agua de lluvia y reduce a un mínimo la erosión, mientras que en terrenos donde es escasa la cubierta vegetal, se produce escurrimiento superficial y como consecuencia, grandes pérdidas de suelo por erosión.

### 1.3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS DE LLUVIA

Con la información de la lluvia precipitada durante el mes, se puede llegar a tener un buen conocimiento de la precipitación de lugar, ya que datos anuales no tienen ningún valor práctico, pues podría corresponder a situaciones muy diferentes de presentación de lluvia: igual suma de precipitación anual pueden tener dos regiones, una en la que ésta sea homogénea todo el año, pero no muy abundante y otra en la que durante muchos meses no se presente lluvia, teniendo la totalidad de ésta en un corto período anual. (12 y 16)

#### a. Precipitación media.

La precipitación pluvial se mide en milímetros de lluvia registrada cada 24 horas (lámina diaria precipitada), lámina acumulada mensual y precipitación anual. La Precipitación Media (PM) de una zona o región se puede estimar por diversos métodos:

- Media aritmética: Este método consiste en determinar el promedio aritmético de la precipitación a partir de los registros pluviométricos de las estaciones meteorológicas, comprendidas dentro del área de interés.
- Polígonos de *Thiessen*: Este método consiste en unir con líneas rectas los pluviómetros comprendidos dentro del área de interés, previamente localizados en un plano, a manera de formar triángulos. Cada uno de los polígonos así formados encierra un solo pluviómetro la cual será el área de influencia de dicho pluviómetro.

- Curvas isoyetas: A partir de las isoyetas o curvas de igual precipitación, se puede calcular la precipitación media. Se determina las áreas parciales o áreas comprendidas entre dos curvas vecinas y se multiplican por el promedio de esas dos curvas, obteniendo así el volumen de cada sección que al sumarse representará el volumen total.

#### b. Probabilidades de lluvia

Cuando se requiere una mayor precisión de la precipitación media del área, es conveniente calcular la probabilidad de lluvia esperada, para lo cual se utilizan los datos de lluvia obtenidos en una estación climatológica durante varios años de registro. Se ordenan en forma decreciente y se calcula la probabilidad de ocurrencia con la fórmula siguiente (12 y 16):

$$P = \frac{M}{N + 1} \times 100$$

**Donde:**

**P** = Probabilidad de ocurrencia en %

**M** = Número de orden decreciente

**N** = Número de observaciones.

## 1.4. LA EVAPOTRANSPIRACION

La **TRANSPIRACIÓN**, es la pérdida de vapor de agua por los vegetales, principalmente por las estomas cuando estos están abiertos se lleva a cabo la difusión del vapor de agua hacia la atmósfera. Esta difusión siempre se llevará a cabo, excepto cuando la atmósfera tenga una presión de vapor igual o mayor que la de los espacios intercelulares. El grado de intensidad con que se realiza la transpiración depende de la diferencia en la presión de vapor existente entre las hojas y el aire (microclima), que rodea a las plantas. La transpiración representa de un 98 a 99% del agua consumida por los vegetales, sólo se utiliza en construcción de tejidos de 1 a 2% (3, 4 y 6).

La **EVAPOTRANSPIRACIÓN** o **Uso Consuntivo**, es la suma de los términos: evaporación del suelo y transpiración de las plantas. Con fines prácticos, representa el agua que se desaparece de una parcela o de un área por efecto del clima y la transpiración o consumo de la planta (3, 4 y 6).

### 1.4.1. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (ETP)

Es la cantidad de agua capaz de ser pérdida por una capa continua de vegetación de porte bajo que cubre todo el terreno, cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo. También se define como la cantidad de agua que en una unidad de tiempo, evapotranspira un cultivo verde, bajo, de altura uniforme, que sombrea por completo al suelo, al que en ningún momento le falta agua (3, 4 y 6).

#### **1.4.2. EVAPOTRANSPIRACION REAL (ETR)**

Es la cantidad de agua perdida por el complejo planta-suelo, en las condiciones meteorológicas, edáficas y biológicas existentes. Es decir es la cantidad de agua que un cultivo ha evapotranspirado realmente en condiciones de campo (3, 4 y 6).

#### **1.4.3. EVAPOTRANSPIRACION MAXIMA (ETM)**

Cuando el cultivo se encuentra en óptimas condiciones de alimentación hídrica y desarrollo, ETR y ETM son iguales. La diferencia que existe entre estas se debe principalmente a características del suelo y/o a la eficiencia de la planta para absorber el agua del suelo (3, 4 y 6).

#### **1.4.4. BALANCE HÍDRICO**

Las irregularidades en la frecuencia de las lluvias en nuestro medio, es una de las variables climáticas que más incide en la respuesta de los diferentes componentes del rendimiento, de los diferentes cultivos agrícolas. La realización del balance hídrico en toda la etapa del cultivo proporciona información referente a la demanda climática (ETP), demanda hídrica (ETM ó ETR), capacidad de retención de agua de acuerdo con el tipo de suelo. Estos elementos al analizarlos indican el déficit hídrico en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de interés, además estimaciones sobre las reducciones en el rendimiento (3, 4 y 6).

#### **1.5. BRILLO SOLAR**

La radiación solar, independientemente de la temperatura, influye en muchos de los procesos fisiológicos de los árboles frutales, siendo para algunos de ellos necesario un alto grado de luminosidad. La velocidad de la fotosíntesis es directamente proporcional a la intensidad luminosa, de tal manera que las hojas expuestas directamente a los rayos solares son más eficientes en la producción de materia orgánica que aquellas que se encuentran en el interior del árbol. En los árboles sombreados, es fácil observar crecimientos más largos y follaje más exuberante compuesto de hojas de mayores proporciones, pero con muy escasa o nula fructificación. En estas condiciones los árboles se encuentran en un estado de baja relación carbono/nitrógeno, siendo muy poco productivos al disminuir, por falta de iluminación, la inducción y la diferenciación florales (9).

Algunos frutales son más exigentes que otros en radiación solar para la producción de cosechas abundantes. Los frutales de hueso demandan gran cantidad de radiación luminosa y térmica, sin las cuales no realizan una conveniente inducción y diferenciación floral. Durante la maduración de los frutos de algunas especies de hoja caduca, es indispensable la presencia de luz en gran cantidad para que tengan lugar algunas reacciones fotoquímicas que determinan la formación de colores secundarios. Si la luz no está en contacto directo con los frutos, éstos quedan poco coloreados y de escaso valor comercial. Ello sucede por ejemplo, en las variedades de manzano de color rojo.

El término Brillo solar, es utilizado para designar el intervalo de tiempo en que, en un período dado, un punto seleccionado de la superficie terrestre permanece expuesto a la radiación solar directa. Es decir, representa el tiempo que el disco solar permanece descubierto en el período y lugar considerado. Si la atmósfera estuviera exenta de impurezas y de agua, el disco solar jamás sería ocultado por nubes o por ciertos fenómenos meteorológicos.

El brillo solar es expresado en horas (enteros y décimos) y en porcentaje, siendo el aparato utilizado para su medición el heliógrafo. Este aparato mide el tiempo durante el cual los rayos solares han actuado con fuerza suficiente para quemar la banda (9).

## **1.6. HUMEDAD ATMOSFÉRICA**

La humedad atmosférica, es un elemento del clima íntimamente ligado al de la precipitación pluvial. Generalmente se considera que la alta humedad atmosférica suele ser inconveniente en la mayor parte de los estados fisiológicos de los frutales de hoja caduca, salvo en la época de floración, en la cual una baja humedad ambiental puede interferir en la polinización, al provocar el desecamiento de la mucosidad de los estigmas e impedir, por lo tanto, la adherencia de los granos de polen.

Durante el período de dormancia, también es deseable la alta humedad atmosférica, ya que ella puede regular la acumulación de horas frío, al impedir el calentamiento diurno del aire, este calentamiento, contrarresta el efecto del frío acumulado durante las noches.

Algunas enfermedades fisiológicas de los árboles y de los frutos, aparte de las parasitarias, se deben a la presencia de altos grados de humedad ambiente o a oscilaciones sensibles en ella, tal es el caso de la gomosis de los árboles de hueso, agrietamiento o ruptura de los frutos hasta partes muy internas del mesocarpio, fenómeno que se presenta usualmente debido a la diferencias de presiones en las capas de tejidos principalmente, cuando la alta humedad ha sido precedida de un estado de intensa sequía (2 y 11).

### **1.6.2. Humedad Relativa**

Es el porcentaje de vapor de agua que en un momento dado y a una determinada temperatura contiene el aire, en relación con la máxima cantidad de vapor que esa misma temperatura, el aire puede contener (15).

### **1.6.3. Humedad Específica**

Es la masa en gramos, de vapor de agua contenida en un kilogramo de aire húmedo. Si el aire está saturado, la Humedad Específica, será humedad específica de saturación (15).

### **1.6.4. Humedad Absoluta**

Es la masa de vapor de agua en gramos, por unidad de volumen ( $m^3$ ) de aire; oscila entre una fracción muy pequeña y unos 25 g de vapor de agua por cada metro cúbico de aire (15).

## **1.7. VIENTO**

Existen diferencias horizontales de presión sobre la superficie terrestre, lo que implica la necesidad de un movimiento compensatorio que desplace aire desde la zona de mayor presión, *anticiclones*, a las de menor presión, *depresiones o borrascas*. Se puede así definir al viento como el aire que se desplaza para compensar las diferencias de presión.

El viento, al moverse desde las altas presiones hacia las bajas, no sigue una trayectoria rectilínea, como sería normal, al menos en teoría, sino espiral. La rotación de la tierra sobre si misma introduce un factor de inercia, llamado “aceleración de coriolis”, que hace que la trayectoria en línea recta sea imposible, produciéndose una desviación que origina una dirección sensiblemente paralela a las líneas isobaras, aunque cruzándolas ligeramente por influencia del rozamiento con el suelo en las capas más bajas de la atmósfera. El viento va, de las altas a las bajas presiones, siguiendo trayectorias elípticas excéntricas en los anticiclones y concéntricas en las borrascas (15).

### **1.7.2. Beneficios del viento en la agricultura**

La circulación suave del viento permite la renovación del aire que rodea a las plantas y como consecuencia que haya anhídrido carbónico que se necesita para la fotosíntesis, que libera oxígeno, elemento de importancia vital. Un viento suave es útil para la transpiración vegetal. El viento interviene en la distribución o migración de la vegetación, como agente polinizador y la importancia en el ciclo hidrológico.

### **1.7.3. Daños del viento en la agricultura**

La baja velocidad del viento facilita que se originen heladas, perjudiciales para la agricultura. Cuando la velocidad del viento es grande, los efectos sobre los cultivos muchas veces son catastróficos, ya que anulan la floración, desprenden frutas pequeñas y en ocasiones arrancan totalmente las plantas. El viento también influye en la evaporación de la humedad del suelo y en la transpiración de las plantas; cuando es cálido y seco produce una fuerte transpiración en los cultivos, que si se prolonga por varios días, producirá una reducción notable en el contenido de agua del suelo, que de no restituirse por medio de la lluvia o riego, puede reducirse la cosecha.

La erosión del suelo es otro de los efectos perjudiciales del viento, que actúa juntamente con el agua y otros elementos. Por otra parte, el viento propaga algunas plagas y enfermedades.

Ciertos vientos provocan variaciones muy rápidas de temperatura, lo que daña a las plantas. El viento también provoca acame de plantas, deformación de las copas de los árboles, transporte de semillas de malas hierbas, etc. (16).

#### 1.7.4. Medición del viento

En agricultura es de suma importancia la información sobre la dirección y velocidad del viento, época y alcance de ciclones, vientos dominantes, etc. En la estación agrometeorológica se registra la velocidad y dirección del viento a cuatro metros de altura sobre el suelo, mediante el anemógrafo de cazoletas. Es conveniente que la velocidad del viento se tome también a dos metros de altura sobre el suelo, ya que este dato es muy útil para estimar la evapotranspiración potencial de los cultivos agrícolas (16).

La medición del viento también se puede realizar a través de la escala de Beaufort, de doce puntos o grados, la cual es muy útil en la agricultura y en otras actividades, ya que permite tomar decisiones acerca de realizar o no ciertas labores, por ejemplo no asperjar cultivos cuando la velocidad del viento sea igual a 3 grados Beaufort (GB), no realizar riegos por aspersión con más de 3 GB, etc. La escala de Beaufort se presenta en el cuadro 2 (15).

**CUADRO 2  
ESCALA BEAUFORT**

Grados	Nombre del viento	Velocidad (km/hr)	Efectos del viento
0	Calma	1	El humo sube perpendicularmente
1	Aire ligero	2-5	El humo sube con ligera inclinación.
2	Brisa ligera	6-11	Las hojas susurran; las veletas se mueven
3	Brisa suave	12-19	Las hojas y las ramas en constante vaivén
4	Brisa moderada	13-29	Levanta polvo y papeles; mueve ramas pequeñas.
5	Brisa dura	30-39	Los arbustos empiezan a mecerse
6	Brisa fuerte	40-50	Las ramas grandes se mueven
7	Ventarrón moderado	51-61	Se dificulta caminar
8	Ventarrón duro	62-74	Desprende ramas de los árboles
9	Ventarrón fuerte	75-86	Daña chimeneas y techos
10	Vendaval	87-100	Arranca árboles
11	Tormenta	101-120	Produce grandes daños
12	Huracán	Mas de 120	El más destructor de todos

Fuente: Toharia (15)

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los elementos del clima, tales como la temperatura, precipitación pluvial, brillo solar, etc. pueden afectar ya sea favorablemente o perjudicar la producción de los frutales deciduos. Para todos los Fruticultores es sabido la importancia de la temperatura, durante la época de invierno (frío invernal) para llenar los requerimientos de unidades frío de los frutales o lo dañino de una helada tardía, la cual puede representar la pérdida completa de una cosecha. El mismo análisis puede realizarse para los otros elementos, como la precipitación pluvial ya sea por exceso o escasez de esta, el daño ocasionado por una canícula prolongada, lo dañino de un temporal en plena época de cosecha, la importancia de la radiación solar en la calidad de la fruta, humedad relativa y viento.

En los últimos cinco años, los Fruticultores del Valle de Quetzaltenango, han experimentado, la pérdida entre el 50% y el 100% de la potencialidad productiva de sus frutales deciduos, lo que puede representar para el caso del melocotón entre 9 y 18 tm/ha de fruta, ocasionado por el daño de las heladas, lo cual crea un estado de crisis económica, al destruirse las flores y frutos recién cuajados. Similar daño ha ocasionado los temporales que ocurren especialmente en el mes de septiembre, que coincide con la época pico de producción del melocotón, variedad Salcajá. La falta de color rojo en las variedades de manzana y algunas de melocotón, está determinada por la radiación solar, en los períodos previos a la cosecha, estos períodos coinciden con una alta nubosidad, que puede incidir en la coloración de la fruta.

Ante esta incertidumbre, el presente estudio, se realizó con el propósito de determinar: **¿Cuál será la factibilidad agroclimática para la producción de frutales deciduos, debido al riesgo por los elementos del clima?** y como preguntas secundarias de investigación: ¿Cuáles son las probabilidades de ocurrencia de heladas, en las diferentes etapas fenológicas críticas de los frutales deciduos? ¿Cuál es la acumulación de horas frío de los frutales caducifolios en el Valle de Quetzaltenango? ¿En qué etapas del cultivo ocurren los períodos de déficit hídrico?

Por lo tanto, es imprescindible que en la recolección y análisis de información, en la toma de decisiones y en las acciones a realizar, antes del establecimiento de un huerto frutícola o para el manejo agronómico del mismo, debe considerarse la factibilidad agroclimática, **como base para la planificación y la toma de decisiones.** El anterior análisis servirá para proponer opciones que ayuden a tomar medidas, con el fin de reducir los riesgos del productor durante las distintas etapas fenológicas del cultivo de frutales deciduos.

## **2.1. OBJETIVOS**

### **2.1.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la factibilidad agroclimática para la producción de frutales deciduos en el Valle de Quetzaltenango.

## **2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- a) Determinar las probabilidades de ocurrencia de heladas en las diferentes etapas fenológicas críticas de los frutales deciduos.
- b) Estimar el número de horas frío que se acumulan bajo las condiciones del Valle de Quetzaltenango.
- c) Definir los períodos de déficit hídrico en las diferentes etapas fenológicas del cultivo.
- d) Cuantificar el brillo solar, durante los diferentes meses del año.
- e) Determinar el comportamiento de la humedad relativa, durante las diferentes etapas fenológicas de los frutales caducifolios.
- f) Analizar el comportamiento del viento durante los doce meses del año.

## **2.2. HIPOTESIS**

- Ho. Existe un alto riesgo en la producción de frutales deciduos, como consecuencia de los efectos de los elementos del clima, por lo que el Valle de Quetzaltenango no es potencial para la siembra de estos cultivos.
- Ha. No existe un alto riesgo en la producción de frutales deciduos, como consecuencia de los efectos de los elementos del clima, por lo que el Valle de Quetzaltenango es potencial para la siembra de estos cultivos.

## **2.3. VARIABLES**

Se analizaron 6 elementos del clima, como variables del estudio, estas fueron:

- a. Temperatura.
  - Consideración de los períodos de riesgo a heladas
  - Frecuencia de ocurrencia de heladas
  - Estimación de horas frío
  
- b. Evapotranspiración.
  
- c. Comportamiento de la precipitación pluvial
  - Déficit hídrico
  - Estimación de entrada y salida de la época lluviosa
  - Canículas
  - Probabilidad de ocurrencia de lluvias
  
- d. Determinación del brillo solar.
  
- e. Humedad Relativa.
  
- f. Velocidad del Viento.

### **2.3.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES**

#### **2.3.1.1. DEFINICIÓN CONCEPTUAL**

- a. Helada Meteorológica: es la condición climática que ocurre cuando la temperatura ambiental se encuentra por debajo del punto de congelación o sea por debajo de cero grados centígrados (1, 4 y 19).
  
- b. Helada Agronómica: es la condición en la que, las temperaturas del medio ambiente descienden a tal punto que, causan daño económicamente importante a las plantas. Depende de la temperatura mínima que se presente, de la duración de la exposición a dicha temperatura, de la especie en cuestión y de la etapa fenológica en que se encuentre el cultivo. Es decir, el hecho de que se presenten temperaturas bajo cero, no es necesariamente un indicador que las plantas hayan sufrido daño, y es posible que estas tengan daños considerables sin que la temperatura haya descendido a cero grados (1, 4 y 19).
  
- c. Período de riesgo a heladas: es aquel período dentro del año calendario, en el cual existan probabilidades de que ocurra una helada agrometeorológica que ocasione un daño económico al cultivo (4).
  
- d. Requerimiento de Horas Frío: es la presencia de cierta cantidad de bajas temperaturas en invierno (noviembre, diciembre, enero, febrero), las cuales son necesarias para que se rompa el reposo y los árboles entren en actividad vegetativa (2 y 5).

- e. **Evapotranspiración:** Es la suma de los términos evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Representa el agua que desaparece de un área, por efectos del clima y la transpiración o consumo de la planta (3, 4 y 8).
  
- f. **Evapotranspiración Potencial:** Es la cantidad de agua capaz de ser pérdida, por una capa continua de vegetación de porte bajo, que cubre todo el terreno, cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo (3, 6 y 16).
  
- g. **Evapotranspiración Real:** es la cantidad de agua perdida por el complejo planta-suelo, en las condiciones meteorológicas, edáficas y biológicas existentes (3, 6 y 16).
  
- h. **Pentada:** cantidad de lluvia acumulada de cada cinco días sucesivos (3 y 12).
  
- i. **Déficit hídrico:** Es la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real, la cual puede ser caracterizada en forma quincenal, mensual o anual (3, 4 y 11).
  
- j. **Entrada de la época lluviosa.** Será la fecha en la cual después de 3 pentadas sucesivas, durante los meses de abril, mayo o junio, la precipitación pluvial caída, en cada pentada, haya cubierto el requerimiento hídrico (3, 4, 11 y 12).
  
- k. **Salida de la época lluviosa.** Será la fecha a partir de la cual ocurran precipitaciones, durante los meses de octubre, noviembre o diciembre, que ya no cubran el requerimiento hídrico (3, 4, 11 y 12).
  
- l. **Días sucesivos sin lluvia (canículas).** Se define que ha ocurrido una canícula, cuando durante 2 pentadas sucesivas o más, dentro del período lluvioso no se haya llenado el requerimiento hídrico de los frutales (3, 4, 11 y 12).
  
- m. **Probabilidad de ocurrencia de lluvia.** Es la probabilidad en porcentaje, de acuerdo al historial de precipitación de una región, en la cual la precipitación caída en un mes en particular cubra los requerimientos hídricos de los frutales, para la confiabilidad debe contarse por lo menos 10 años de registros (11, 12 y 16).
  
- n. **Brillo solar.** Es el intervalo de tiempo en que, en un período dado, un punto seleccionado de la superficie terrestre permanece expuesto a la radiación solar directa (9 y 16).
  
- o. **Humedad relativa.** Es el porcentaje de vapor de agua que contiene el aire, en un momento dado y a una determinada temperatura, en relación con la máxima cantidad de vapor que esa misma temperatura, el aire puede contener (16).
  
- p. **Velocidad del viento.** La velocidad del viento se medirá por medio del anemómetro. El viento al soplar empuja las semiesferas que hacen girar el eje. El

número de vueltas por minuto se traduce en la velocidad del viento en km/hr o en m/s (16).

### **2.3.1.2. DEFINICIÓN OPERACIONAL**

#### **2.3.1.2.1. TEMPERATURA**

##### **a. Consideración de los períodos de riesgo a heladas**

Para definir el período de riesgo a heladas, se utilizaron los registros diarios de 25 años, de temperaturas mínimas entre el intervalos de 0°C a menores de -6°C , del período de enero a junio, reportadas en la estación meteorológica de la Labor Ovalle. Se tabuló y se analizó la información de temperaturas mínimas, considerando las temperaturas críticas que puedan ocasionar una helada agrometeorológica de primavera, durante las diferentes etapas fenológicas de los cultivos caducifolios (ver figura 1).

Se registró para cada uno de los años del estudio, las fechas de las primeras y últimas heladas de primavera y para cada intervalo de temperatura, se efectuaron los cálculos de probabilidades de ocurrencia, los datos se ajustaron y se asumió que la ocurrencia de las heladas tiene una distribución normal. (4, 11, 15 y 18).

##### **b. Frecuencia de ocurrencia de heladas**

Para determinar la frecuencia de ocurrencia de heladas, se utilizaron los registros diarios de temperaturas mínimas, del período de enero a junio de la estación meteorológica de la Labor Ovalle. La frecuencia de heladas será el número de heladas que pueden esperarse durante el mes, para tal caso, durante el período de registro de 25 años, se estableció el número mínimo y máximo de heladas que se presentaron para cada mes. El propósito del cálculo es determinar el o los meses en los cuales ocurren el mayor número de heladas.

##### **c. Estimación de horas frío**

Para estimar las horas frío que se pueden acumular en el Valle de Quetzaltenango, se utilizaron los registros diarios de temperaturas máximas, mínimas y promedio de los 25 años del estudio, del período de noviembre a marzo. Se calcularon las horas frío para el Valle de Quetzaltenango, por medio de tres métodos diferentes: Da Mota, Sharpe y Weimberger, que se encuentran descritos en la metodología, con el propósito de determinar la variabilidad de la estimación de horas frío de cada uno y estimar que o cuales métodos se acercan más a la realidad.

#### **2.3.1.2.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN**

a. Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial se calculó en base a los datos climáticos promedio de los 25 años de registro. Para estimar la evapotranspiración potencial, se utilizó la fórmula fisico-matemática de Penman, que de acuerdo a los estudios de correlación realizados por Castro (3), es la que más se adapta a nuestras condiciones:

b. Evapotranspiración real

La Evapotranspiración Real se determinó multiplicando la evapotranspiración potencial por el coeficiente de desarrollo de los frutales, de acuerdo con su etapa fenológica.

### **2.3.1.2.3. COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL**

a. Determinación del Déficit hídrico

Para definir el comportamiento de la precipitación pluvial, se utilizaron los registros diarios de lluvia de 25 años, del período de enero a diciembre. Determinando el Déficit hídrico para el año más seco, para el año donde ocurrió la mayor precipitación y el promedio de los 25 años de registro. Se determinó el déficit hídrico, bajo el criterio de que habrá déficit hídrico, cuando la precipitación caída durante determinada pentada, no supere el requerimiento de agua de la planta, determinado por medio de la evapotranspiración real.

Para cada año del estudio, se realizó la acumulación de precipitación para cada cinco días sucesivos (pentada) y se comparó con la Evapotranspiración Real para esa pentada. A través de la determinación del déficit hídrico se estimó la entrada y salida de la época lluviosa y los períodos de canícula.

b. Estimación de entrada de la época lluviosa

El criterio agronómico que se utilizó para definir si la época lluviosa se ha establecido, es aquel en el cual después de tres pentadas sucesivas, durante los meses de abril, mayo o junio, la precipitación pluvial caída, en cada pentada, haya cubierto el requerimiento hídrico de los frutales, dado por la Evapotranspiración Real. Se estimó la entrada de la época lluviosa para el año mas seco, el año mas lluvioso y el promedio de los 25 años de registro.

c. Estimación de la salida de la época lluviosa

El criterio agronómico utilizado para definir la salida de la época lluviosa es la fecha en la cual ocurran precipitaciones, durante los meses de octubre, noviembre o diciembre, los cuales ya no cubran el requerimiento hídrico. Se estimó la salida de

la época lluviosa para el año mas seco, el año mas lluvioso y el promedio de los 25 años de registro.

d. Días sucesivos sin lluvia (canículas)

Se define que ha ocurrido una canícula, cuando durante 2 pentadas sucesivas o más, dentro del período lluvioso no se haya llenado el requerimiento hídrico de los

frutales. Se estimaron las canículas para el año mas seco, el año mas lluvioso y el promedio de los 25 años de registro.

e. Probabilidad de ocurrencia de lluvia

La probabilidad de ocurrencia de lluvia se basa en el registro histórico de los datos de precipitación pluvial de cada mes y se define como la probabilidad en porcentaje de que la lluvia caída en un mes determinado cubra el requerimiento del cultivo en ese mes. El procedimiento de cálculo se realiza ordenando la precipitación de los 25 años de registro, de cada mes del año, dándole el número 1 a la precipitación más alta ocurrida durante el período de estudio y el número correlativo más alto a la menor precipitación ocurrida durante el período.

#### 2.3.1.2.4. **BRILLO SOLAR**

Para determinar el Brillo solar se utilizó el heliógrafo Campbell-Stokes, que es el mas utilizado en Guatemala por ser especial para latitudes inferiores a 40° y es con el que se encuentra equipada la estación meteorológica de labor Ovalle. El brillo solar es expresado en horas/mes y en porcentaje de brillo solar recibido durante determinado mes. La información se obtuvo a través del promedio de cada mes de los 25 años de registro.

#### 2.3.1.2.5. **HUMEDAD RELATIVA**

Para determinar el comportamiento de la humedad relativa, se utilizaron los registros diarios del psicrómetro ventilado. Este instrumento consiste en dos termómetros de mercurio, uno para temperatura ambiente (bulbo seco) y otro conectado a una mecha de gasa que se humedece antes de tomar la lectura (bulbo húmedo). Con la temperatura seca ( $t$ ) y la temperatura húmeda ( $t'$ ), se obtiene la diferencia; con esta diferencia y  $t'$ , se obtuvo a partir de tablas psicrométricas la humedad relativa. La información se obtuvo a través calcular la humedad relativa promedio diaria (lecturas del psicrómetro ventilado de las 7, 13 y 18 horas), para luego obtener la humedad relativa promedio mensual.

#### 2.3.1.2.6. **VELOCIDAD DEL VIENTO**

La velocidad del viento dada por las lecturas diarias del anemómetro, en kilómetros por hora, se analizó calculando el promedio mensual, obtenido de los 25 años de registro.

## **2.4. ALCANCES Y LIMITES**

La información obtenida y analizada en el presente estudio, puede utilizarse para todas aquellas plantaciones de frutales deciduos, ubicadas en el Valle de Quetzaltenango y está dirigida a productores, investigadores, extensionistas y otros técnicos que tengan relación con la producción de frutales deciduos. El análisis de la información climática se hizo en base a los frutales deciduos, especialmente manzana, melocotón, y pera; pero también pueden tenerse referencias sobre otros frutales deciduos como ciruela, nectarinas y cerezas, que son cultivos de menor importancia en la región; no se consideró otro tipo de cultivos.

Los factores climáticos que se analizan son: temperatura, evapotranspiración, precipitación pluvial, brillo solar, Humedad relativa y velocidad del viento.

La limitante que se encontró es que solo existe una estación meteorológica tipo “B” que cubre el Valle de Quetzaltenango, la cual está ubicada en la Labor Ovalle, Olintepeque; lo anterior se compensa por las características homogéneas del Valle, como lo son especialmente la topografía y altitud.

La investigación se realizó para el Valle de Quetzaltenango, ya que es una de las zonas más importantes en el país, en la producción de frutales de este tipo, así también se encuentran instituciones como el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), que se dedica a la investigación y transferencia de tecnología, en este tipo de frutales.

## **2.5. APORTE**

El estudio de Factibilidad agroclimática, de la producción de frutales deciduos en el Valle de Quetzaltenango, estará dirigido a los productores de frutales deciduos de la región, especialmente a la Asociación Fruticultores Agrupados (FRUTAGRU), asociación regional que pertenece a la Asociación Nacional de Productores de Frutales Deciduos (ANAPDE), Asociación consolidada y de mucha importancia en la producción de estos frutales, con el propósito que sirva de base para el plan de manejo y en la toma de decisiones de sus unidades de producción, desde el punto de vista agrometeorológico.

Este estudio también será de bastante utilidad a las Universidades de la Región, tales como la Carrera de Agronomía del Centro Universitario de Occidente, de la Universidad de San Carlos de Guatemala; Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales, de la Universidad Rafael Landívar; Facultad de Ciencias Naturales y del Ambiente, de la Universidad Rural de Guatemala; así como instituciones educativas del sector diversificado que tienen orientación hacia estos cultivos.

También será de importancia a instituciones gubernamentales y no gubernamentales, y a sus profesionales y técnicos, que cuenten dentro de sus actividades, todas aquellas que se relacionen con la producción de frutales deciduos, de tal manera que la información obtenida en la presente investigación, sirva de base para la realización de futuros trabajos de investigación, extensión y transferencia de tecnología, especialmente aquellos que consideren la factibilidad agroclimática como base para la planificación y la toma de decisiones.

### **3. MÉTODO**

#### **3.1. ÁREA DE ESTUDIO**

##### **3.1.1. Ubicación**

El área geográfica que abarca la presente investigación es el Valle de Quetzaltenango, ubicado entre las coordenadas geográficas de 14°49'50" y 14°55'27" Latitud Norte y 91°24'50" y 91°35'30" de Longitud Oeste, con respecto al Meridiano de Greenwich.

Por las características homogéneas del Valle de Quetzaltenango, el presente estudio incluye los municipios de Quetzaltenango, Olinstepeque, Salcajá, San Miguel Sigüilá, La Esperanza, Cantel (Llanos de Urbina) y San Juan Ostuncalco, del Departamento de Quetzaltenango; San Cristóbal Totonicapán (área de San Ramón) y Totonicapán (Paxtocá) del departamento de Totonicapán. Entre las altitudes de 2,330 a los 2,430 msnm (ver anexo 4).

##### **3.1.2. Clima**

El clima del Valle de Quetzaltenango es frío, húmedo seco, con dos épocas marcadas: la época seca entre noviembre y mayo y una época lluviosa entre junio y octubre. La temperatura máxima promedio anual es de 21.7°C y la mínima promedio anual de 5.8°C con una media anual de 13.6°C (4).

#### **3.2. INSTRUMENTOS**

La presente investigación se realizó con el registro de la información meteorológica de la estación "Labor Ovalle", del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), ubicada en el Centro de Producción Labor Ovalle del Instituto de Ciencia y Tecnología (ICTA). Esta se encuentra ubicada en el municipio de Olinstepeque al norte de la Cabecera departamental de Quetzaltenango, ubicada a 14°52'12" Latitud Norte y a 91°30'50" Longitud Oeste.

El período de estudio abarca la información climática de 25 años de registro, comprendido entre los años de 1975 al año 2000, de los siguientes elementos climáticos: temperatura, precipitación pluvial, brillo solar, velocidad del viento, humedad relativa y evaporación a la intemperie.

### 3.3. PROCEDIMIENTO

- Se recabó la información climática de la Estación Meteorológica “Labor Ovalle”, proveniente del registro de 25 años (1975 – 2000) de los elementos: Temperaturas máximas, mínimas y promedio diarias, temperaturas mínimas y máximas absolutas diarias; precipitación pluvial diaria en milímetros; brillo solar diario en horas diarias y porcentaje; humedad relativa en porcentaje; presión atmosférica; velocidad media del viento y evaporación a la intemperie diaria en milímetros.
- Se vació y se tabuló la información realizándose el cálculo estadístico en el programa Excel, de acuerdo con la variable estudiada.
- Se analizaron, interpretaron y se discutieron los resultados, para cada una de las variables propuestas, dándoles respuesta a los objetivos específicos propuestos.
- Como producto del análisis y discusión de los resultados, se plantearon las recomendaciones pertinentes.

### 3.4. METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

#### 3.4.1. CONSIDERACIÓN DE LOS PERIODOS DE RIESGO DE HELADAS

Se analizaron los períodos de heladas de primavera, a partir de la información histórica de 25 años de registro para determinar a partir de que fechas ya no existe riesgo de que ocurra una helada, con probabilidades del 80%, 90%, 95% y 99%.

Estas probabilidades se calcularon a diferentes intervalos de temperatura: entre 0°C y -1.0°C; -1.1 a -2.0°C, de -2.1 a -3°C, -3.1°C a -4.0°C, -4.1°C a -5.0°C, entre -5.1°C y -6°C y menores a -6.1°C. Estos rangos se basan en las temperaturas críticas de daños a heladas de los frutales deciduos, en sus diferentes etapas fenológicas (ver figura 1).

Para el ordenamiento de la información, se elaboró un cuadro de doble entrada, se registró para cada uno de los años del estudio, las fechas de las primeras y últimas heladas de primavera. Por ejemplo se determino para el rango de temperatura de 0°C a -1°C la fecha de la última helada para cada uno de los años del estudio, se codificaron dichas fechas, dándole el valor de 1 a la fecha calendario donde ocurrió la última helada de primavera más temprana y el valor correlativo más alto a la fecha donde ocurrió la helada más tardía. Para cada intervalo de temperatura, se efectuaron los cálculos de probabilidades de ocurrencia, los datos se ajustaron y se asumió que la información tiene una distribución normal a partir del análisis estadístico siguiente (4,11, 15 y 18):

$$X = t\sigma - 1 + M$$

Donde:

**t** = valor t de tablas de la distribución de t de Student con las Probabilidades de 80, 90, 95 y 99%.

$\sigma$  = Desviación estándar.

**M** = Media de la fecha de ocurrencia de heladas de la muestra.

**X** = Fecha de ocurrencia de la última helada, a la temperatura considerada, con la probabilidad determinada.

(Ver anexo 2. Ejemplo de cálculo)

### 3.4.2. DETERMINACION DE LAS FRECUENCIAS DE HELADAS

Para el control y la prevención del daño contra heladas, es importante determinar, la frecuencia con que se presentan las heladas, para cada mes, dentro de los cuales existen las etapas fenológicas del cultivo con temperaturas críticas.

Sobre la base del registro de temperatura de 25 años, se elaboró un cuadro, en el cual se determinaron las frecuencias absolutas de ocurrencias de heladas por año y mes (el número de heladas máximas y mínimas absolutas que pueden presentarse en el mes) de acuerdo con el historial, para realizar un análisis estadístico de las mismas, y determinar las frecuencias de ocurrencia, mes con mas ocurrencia de heladas y el promedio de los 25 años de registro.

### 3.4.3. CALCULO DE HORAS FRIO

Se calcularon las horas frío para el Valle de Quetzaltenango, a través de tres métodos diferentes: Método Da Mota, Método Sharpe y método Weinberger, con el propósito de determinar la variabilidad de cada método, en la estimación de las horas frío. Se tomaron como comparadores, variedades de manzana con requerimiento de frío conocido, tales como la Whealty y Jonathan (16 y 17) lo que servirá de base para definir el método o métodos que estimen con mayor precisión las horas frío para nuestras condiciones. Para realizar dicha comparación se estimó la acumulación de frío para cada año, a partir de 1975 al año 2000, con cada uno de los diferentes procedimientos de cálculo (2 y 5).

#### a. Método Da Mota

Este procedimiento se basa en un estudio de correlación entre la temperatura media mensual y el número de horas frío, que en cada mes resulta acumulado. Para el cálculo del total de frío presentado en el invierno, se usan los datos de los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.

La fórmula que se uso es la siguiente (2 y 5):

$$H_f = 485.1 - 28.52X \quad \text{Donde: } \mathbf{H_f} = \text{Cantidad mensual de horas frío.}$$
$$\mathbf{X} = \text{Temperatura media mensual.}$$

#### b. Método Sharpe

Este método se basa en una correlación entre las temperaturas medias mensuales del invierno, usándose los datos de noviembre, diciembre, enero y febrero y el número

de horas frío acumuladas. No se usa una fórmula, sino que se emplea una tabla preparada por el Doctor Sharpe, con base a datos de temperatura de la Florida, Estados Unidos. Cuando el dato de temperatura media mensual no coincide con los datos de la tabla, pueden hacerse las correspondientes interpolaciones (ver cuadro 3).

**CUADRO 3**  
**TABLA PARA EL CÁLCULO DE HORAS FRÍO,**  
**PREPARADO POR EL DOCTOR SHARPE**

<b>TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)</b>	<b>HORAS FRÍO ACUMULADAS EN EL MES</b>
7.8	395
8.9	353
10.0	311
11.1	270
12.2	230
13.3	190
14.4	152
15.6	115
16.7	79
17.8	47
18.9	23
20.0	0

Fuente: Tomado de Calderón (2)

c. Método Weimberger

Este procedimiento se basa en un estudio de correlación entre el número de horas frío y el promedio de temperaturas medias de los meses de diciembre y enero. El autor, de acuerdo con observaciones realizadas y a correlaciones encontradas, formuló una curva, en la que entrando con el dato de promedio de temperaturas medias de esos dos meses, se encuentra el número de horas frío-acumuladas (ver Cuadro 4).

**CUADRO 4.**  
**ESTUDIO DE CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE HORAS FRÍO Y EL**  
**PROMEDIO DE TEMPERATURAS MEDIAS DE**  
**DICIEMBRE Y ENERO.**

T° Media dic-ene °C	Hf AC MUILADAS	T° Media dic-ene °C	Hf ACUMULADAS	T° Media dic-ene °C	Hf ACUMULADAS	T° Media dic-ene °C	Hf ACUMULADAS
17.6	0	13.2	450	9.4	900	6.3	1350
17.1	50	12.8	500	9.0	950	6.0	1400
16.6	100	12.3	550	8.6	1000	5.7	1450
16.1	150	11.8	600	8.3	1050	5.4	1500

15.6	200	11.4	650	7.9	1100	5.1	1550
15.1	250	11.0	700	7.6	1150	4.8	1600
14.6	300	10.6	750	7.2	1200	4.6	1650
14.1	350	10.2	800	6.9	1250		
13.6	400	9.8	850	6.6	1300		

FUENTE: Dr. Weinberger, corregida por Muñoz 1972, tomado de Calderón (2).

### 3.4.4. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

#### 3.4.4.1. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Para el cálculo de la Evapotranspiración potencial, se usó la fórmula fisicomatemática de **PENMAN** (3 y 11):

$$ETP = \frac{\left( \frac{P_1}{P_2} \right) \left( \frac{RN}{59} \right) + 0.26 (E - e) (1 + CV)}{\frac{P_1}{P_2} + 1}$$

**Donde:**

**ETP** = Evapotranspiración Potencial en mm por día

**P<sub>1</sub>** = Presión media al nivel del mar (1013 milibares)

**P<sub>2</sub>** = Presión media del lugar de interés (mb)

**□** = Pendiente de la curva de saturación para una determinada temperatura (mb/°C)

**β** = 0.66 (Coeficiente para el psicrómetro ventilado)

**RN** = Radiación Neta en calorías/día

**E** = Presión de vapor a saturación en milibares

**e** = Presión actual del vapor en milibares:  $e = \frac{HR \times E}{100}$

**V** = Velocidad media del viento a dos metros sobre el suelo (m/seg)

**C** = Coeficiente que depende de la oscilación diaria de temperatura

#### 3.4.4.2. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

La ETR, se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula: **ETR = ETP X Kc**,

Donde:

**ETR** = Evapotranspiración real

**ETP** = Evapotranspiración Potencial

**Kc** = Coeficiente de desarrollo de los frutales deciduos de acuerdo a su etapa

fenológica (ver cuadro 5).

**CUADRO 5.  
Kc PARA FRUTALES CADUCIFOLIOS, DE ACUERDO CON LA ETAPA  
FENOLÓGICA DE DESARROLLO<sup>1</sup>**

<b>ETAPA FENOLOGICA PROBABLE<sup>2</sup></b>	<b>MES</b>	<b>Kc</b>
1. DORMANCIA - YEMA HINCHADA	ENERO	0.20
2. PUNTA VERDE - PUNTA ROSADA	FEBRERO	0.25
3. PUNTA ROSADA – INICIO FLORACION	MARZO	0.38
4. FLORACION – CAIDA DE PETALOS	ABRIL	0.65
5. CRECIMIENTO FRUTO ETAPA I (Cuajado fruto)	MAYO	0.85
6. CRECIMIENTO FRUTO ETAPA II	JUNIO	0.95
7. CRECIMIENTO FRUTO ETAPA III	JULIO	0.98
8. INICIO COSECHA	AGOSTO	0.85
9. PLENA COSECHA	SEPTIEMBRE	0.50
10. INICIO CAIDA DE HOJAS	OCTUBRE	0.30
11. INICIO DORMANCIA	NOVIEMBRE	0.20
12. DORMANCIA	DICIEMBRE	0.20

1\ Tomado de FAO 1979, efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos (6).

2\ Adaptado a las etapas fenológicas de los cultivos de manzana y melocotón, para el valle de Quetzaltenango, la que puede variar de acuerdo a la variedad y condiciones climáticas.

### **3.4.5. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN**

Para determinar el déficit hídrico, la época de entrada y salida de lluvias, así como la determinación de los periodos secos, se determinó para tres condiciones: para el año donde ocurrió la mayor precipitación del período (1998), año de ocurrencia del fenómeno de la niña; para el año mas seco (1987), año de ocurrencia del fenómeno del niño, el que se consideró como el año crítico y para el promedio del período de estudio (25 años de registro).

#### **3.4.5.1. DETERMINACION DE DEFICIT HÍDRICO**

La precipitación pluvial anual, se determinó en base a la cantidad de lluvia acumulada de cada cinco días sucesivos, denominados **pentadas**, para los años con mayor precipitación (1998), menor precipitación (1987) y el promedio de los 25 años (1975 – 2000) del período de estudio, bajo el criterio que habrá déficit hídrico, cuando la precipitación caída durante determinada pentada, no supere al requerimiento de agua de la planta, determinado por medio de la Evapotranspiración real. Se consideró como única entrada al sistema, el agua aportada

por la lluvia, y como única salida la Evapotranspiración Real, no se consideró el drenaje del suelo, la escorrentía, ni la capacidad del suelo para almacenar agua (3,11 y 12).

#### **3.4.5.2. ESTIMACIÓN DE ENTRADA DE LA ÉPOCA LLUVIOSA DE ACUERDO CON EL REQUERIMIENTO HÍDRICO**

El criterio agronómico que se utilizó, para definir que la época lluviosa se ha establecido es aquel, en el cual después de 3 pentadas sucesivas, durante los meses de abril, mayo y junio, la precipitación pluvial caída, en cada pentada, haya cubierto el requerimiento hídrico de los frutales, dado por la ETR (3,11 y 12).

#### **3.4.5.3. ESTIMACIÓN DE LA SALIDA DE LA ÉPOCA LLUVIOSA DE ACUERDO CON EL REQUERIMIENTO HÍDRICO**

El criterio agronómico que se utilizó, para definir que el periodo lluvioso a finalizado, es aquel, en el cual ocurran precipitaciones, durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, los cuales ya no cubran el requerimiento hídrico de los frutales, dado por la ETR (3, 11 y 12).

#### **3.4.5.4. ESTIMACIÓN DE LOS DIAS SUCESIVOS SIN LLUVIA (CANÍCULAS)**

Los días sucesivos sin lluvia, se determinaron dentro del período lluvioso, definiendo que ha ocurrido una canícula, cuando durante de 2 pentadas sucesivas o más, no se ha llenado el requerimiento hídrico de los frutales (3, 11 y 12).

#### **3.4.5.5. PROBABILIDADES DE QUE LA LLUVIA ESPERADA, SUPERE EL REQUERIMIENTO HÍDRICO.**

Se determinó la probabilidad de que ocurra una precipitación pluvial que cumpla o supere el requerimiento hídrico de los frutales caducifolios, a través del promedio de la precipitación caída, durante los 25 años de estudio, para cada mes del año de acuerdo con la Evapotranspiración real, por medio de la siguiente fórmula (11 y 13):

$$P = \frac{M}{N + 1} \times 100$$

Donde:

**P** = Probabilidad de ocurrencia en %

**M** = Número de orden decreciente

**N** = Número de observaciones.

Ver Anexo 3, procedimiento de cálculo para determinar probabilidades de ocurrencia de lluvias.

#### **3.4.6. BRILLO SOLAR**

Para determinar el Brillo solar se utilizó el heliógrafo Campbell-Stokes, que es el más utilizado en Guatemala por ser especial para latitudes inferiores a  $40^\circ$  y es con el que se encuentra equipada la estación meteorológica de labor Ovalle. El brillo solar es expresado en horas/mes y en porcentaje de brillo solar recibido durante determinado mes. La información se obtuvo a través del promedio de los 25 años de registro (8 y 13).

#### **3.4.7. CÁLCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA**

Para determinar el comportamiento de la humedad relativa, se utilizaron los registros diarios del psicrómetro ventilado. Este instrumento consiste en dos termómetros de mercurio, uno para temperatura ambiente (bulbo seco) y otro conectado a una mecha de gasa que se humedece antes de tomar la lectura (bulbo húmedo). Con la temperatura seca ( $t$ ) y la temperatura húmeda ( $t'$ ), se obtiene la diferencia; con esta diferencia y  $t'$ , se obtuvo a partir de tablas psicrométricas la humedad relativa. La información se obtuvo a través calcular la humedad relativa promedio diaria (lecturas del psicrómetro ventilado de las 7, 13 y 18 horas), para luego obtener la humedad relativa promedio mensual.

#### **3.4.8. VELOCIDAD DEL VIENTO**

La velocidad del viento se calculó en base al recorrido diario del anemómetro de cazoletas, lecturas tomadas a las 7:00 hrs. Determinando este recorrido se estimó la velocidad del viento en km/h Se analizó la velocidad promedio diaria, para posteriormente calcular el promedio mensual, obtenido de los 25 años de registro.

## 4. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. OCURRENCIA DE HELADAS

Las etapas fenológicas de los frutales deciduos, con mayor susceptibilidad al daño por heladas, ocurren de los estados de pétalos visibles a cuajado de fruta, siendo ésta última la etapa más susceptible. Un ejemplo de este caso es el cerezo, que es uno de los cultivos con mayor susceptibilidad, ya que a temperaturas de  $-2.1^{\circ}\text{C}$  con exposición por una hora o más, provoca la muerte del 10% de la fruta recién cuajada.

**CUADRO 6.**  
**FECHA A PARTIR DE LA CUAL YA NO EXISTE EL RIESGO A HELADAS DE**  
**PRIMAVERA, CON VARIAS PROBABILIDADES DE OCURRENCIA, A**  
**DIFERENTES RANGOS DE TEMPERATURA, PARA**  
**EL VALLE DE QUETZALTENANGO**

PROBABILIDAD	80%		90%		95%		99%	
	Fecha	No. Días	Fecha	No. Días	Fecha	No. Días	Fecha	No. Días
0 a $-1.0^{\circ}\text{C}$	4 abr	95	20 abr	111	4 may	125	31 may	152
$-1.1$ a $-2.0^{\circ}\text{C}$	4 abr	95	18 abr	109	30 abr	121	23 may	144
$-2.1$ a $-3.0^{\circ}\text{C}$	31 mar	91	14 abr	105	26 abr	117	19 may	140
$-3.1$ a $-4.0^{\circ}\text{C}$	22 mar	82	5 abr	96	16 abr	107	7 may	128
$-4.1$ a $-5.0^{\circ}\text{C}$	8 mar	68	21 mar	81	1 abr	92	22 abr	113
$-5.1$ a $-6.0^{\circ}\text{C}$	19 feb	50	4 mar	64	15 mar	75	9 abr	100
$< -6.1^{\circ}\text{C}$	18 feb	49	3 mar	63	14 mar	74	3 abr	94

FUENTE: Análisis estadístico, 25 años de registro INSIVUMEH, Labor Ovalle, Olintepeque, Quetzaltenango.

Como puede apreciarse en el cuadro 6, a partir del 31 de mayo existe un 99% de probabilidades que ya no ocurra una helada tardía, en el rango de temperatura entre 0 y  $-1.0^{\circ}\text{C}$ . Este rango es el más amplio (152 días) ya puede ocasionar algún tipo de daño a los frutales deciduos, cuando la exposición a dicha temperatura sea por tiempos muy prolongados, especialmente si se encuentra en los estados de flor abierta en ciruelo, fruto recién cuajado en cerezo y plena floración en pera.

Con el rango de temperatura entre  $-1.1^{\circ}\text{C}$  y  $-2.0^{\circ}\text{C}$ , a partir del 23 de mayo, con un 99% de probabilidades, ya no ocurrirán heladas. Con este rango de temperatura con exposiciones por

más de una hora, puede ocasionar ya la muerte de tejidos, como el estado de cuaje en pera y flor abierta en ciruela.

Con el rango de temperaturas, entre  $-2.1^{\circ}\text{C}$  y  $-3.0^{\circ}\text{C}$ , se puede esperar que a partir del 19 de mayo con un 99% de certeza, ya no ocurran heladas. Con la exposición a esta temperatura, por una hora o más, ya se provoca más daño. Por ejemplo en el estado de flor abierta en melocotón, estado de estambres visibles en ciruelo, estado de caída de cáliz en cerezo, plena floración en manzana, estado de plena floración y cuaje en pera, ya ocasiona la muerte del tejido hasta en un 10% en los estados descritos.

A partir del 7 de mayo, existe un 99% de probabilidades que ya no ocurran una helada, dentro de los rangos de temperatura entre  $-3.1^{\circ}\text{C}$  a  $-4.0^{\circ}\text{C}$ . Este rango de temperaturas es más letal, ya que puede provocar el 90% de la muerte del tejido, en los siguientes estados: fruto cuajado en melocotón, estambres visibles y flor abierta en ciruelo, caída de cáliz en cerezo, pétalos adheridos en manzano y pera.

Con un 99% de probabilidades, a partir del 22 de abril ya no se presentarán heladas dentro del rango de temperatura entre  $-4.1^{\circ}\text{C}$  y los  $-5.0^{\circ}\text{C}$ . Estas temperaturas pueden provocar también la muerte del 90% de los tejidos en estado de flor del melocotón, estado de estambres descubiertos en cerezo y estado de cuaje en pera. Lo ideal sería que estas etapas no se presentaran antes del 22 de abril.

La fecha probable de la última helada, con el 99% de confiabilidad, con rangos entre  $-5.1^{\circ}\text{C}$  y  $-6.0^{\circ}\text{C}$ , puede darse a partir del 9 de abril. Con esta temperatura, aún los estados fenológicos más resistentes al frío, como los son yema hinchada en ciruelo, pétalos visibles en cerezo, puede provocar la muerte de todos los tejidos, en dicho estado de desarrollo. Las heladas con temperaturas menores a  $-6.1^{\circ}\text{C}$ , ya no ocurrirán con un 99% de confiabilidad a partir del 3 de abril.

#### 4.2. DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE OCURRENCIAS DE HELADAS

**CUADRO 7**  
**FRECUENCIA MINIMA Y MAXIMA DE OCURRENCIA DE HELADAS, POR MES**  
**Y TEMPERATURA CRITICA, DURANTE EL PERIODO**  
**DE ESTUDIO 1975-2000.**

MES	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
FRECUENCIAS.										
TEMPERATURA CRITICA $^{\circ}\text{C}$										
0.0 a $-1.0$	7	4	5	2	7	2	6	1	2	0
$-1.1$ . a $-2.0$	5	2	4	1	5	2	3	0	2	0
$-2.1$ a $-3.0$	5	2	4	1	4	1	3	0	1	0
$-3.1$ a $-4.0$	5	1	4	1	4	0	3	0	1	0
$-4.1$ a $-5.0$	4	1	3	0	3	0	1	0	0	0
$-5.1$ a $-6.0$	3	0	3	0	3	0	1	0	0	0
$-6.1$ a $<$	3	0	2	0	2	0	1	0	0	0

FUENTE: Análisis estadístico, 25 años de registro INSIVUMEH, Labor Ovalle, Olintepeque, Quetzaltenango.

Como puede apreciarse en el cuadro 7, los meses con mayor ocurrencia de heladas son enero y marzo, donde pueden registrarse hasta un máximo de 7 heladas dentro del rango de temperatura de 0 a  $-1.0^{\circ}\text{C}$  y hasta 3 y 2 respectivamente en el rango de temperaturas menores a seis grados bajo cero. La ventaja que se tiene para este mes es que normalmente para esta época no se ha iniciado la floración de manzana y melocotón, sino se encuentra en las etapas de yema dormida o yema hinchada, por lo que no es necesario realizar ningún tipo de control de heladas, salvo que la etapa de floración se haya adelantado.

Aunque las heladas entre 0 y  $-1.0^{\circ}\text{C}$ , no son tan dañinas, debe recordarse que a estas temperaturas, por períodos prolongados, especialmente por más de una hora, pueden provocar muerte de un alto porcentaje de tejidos. Puede apreciarse también en el cuadro 6, que para el mes de marzo, pueden ocurrir hasta 7 heladas de este tipo, 6 en abril y 2 en mayo, por lo que debe tenerse un buen control de estas temperaturas.

A los meses que debe ponerse mayor atención es a los de marzo, abril y mayo, los cuales coinciden con las etapas fenológicas más críticas, tales como floración y cuajado de fruta, puesto que para marzo pueden esperarse hasta 5 heladas con temperatura entre  $-1.1^{\circ}\text{C}$  y  $-2.0^{\circ}\text{C}$ , 3 en abril y hasta 2 en mayo.

En abril se han presentado hasta tres heladas, con temperaturas entre los  $-3.1^{\circ}\text{C}$  y los  $-4.0^{\circ}\text{C}$  y en mayo puede presentarse por lo menos una en el mismo rango de temperatura. Como se indicó anteriormente, este fenómeno meteorológico coincide con las etapas más críticas provocando con esto las mayores pérdidas para los productores, pudiendo llegar las pérdidas hasta del 100% de la producción.

Temperaturas letales para las diferentes etapas fenológicas, como lo son aquellas por debajo de los  $-5.0^{\circ}\text{C}$ , pueden presentarse hasta 3 en enero, el mismo número en febrero, también 3 en marzo y una en abril.

### **4.3. ESTIMACIÓN DE LAS HORAS FRÍO PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO**

A través del cálculo de las horas frío, puede determinarse que existe una diferencia en el dato de horas frío dado por los tres métodos. Para el caso del período 76-77, por el método Da Mota se registraron 429 Hf, por el método Weinberger 350 Hf y por el método de Saharpe 789 Hf, existiendo una gran discrepancia entre los métodos de Da Mota y Weinberger, con respecto al método Sharpe (Ver cuadro 8 y figura 2).

Por medio de la observación del comportamiento de las variedades de frutales deciduos, con requerimientos de frío conocidos, como es el caso de la variedad Wealthy, que necesitan alrededor de 650 Hf (16,17), se observan todos los años deficiencias en la acumulación de frío, por lo que se puede inferir, que el dato de Horas frío que arroja el método Sharpe, es un valor que no puede acumularse para el Valle de Quetzaltenango, sobre estimando el valor, por lo que dicho método parece no adaptarse a las condiciones climáticas de las regiones subtropicales de altura, en las que se cultivan los frutales caducifolios. El cálculo de frío invernal por este método implica la necesidad de usar factores de corrección.

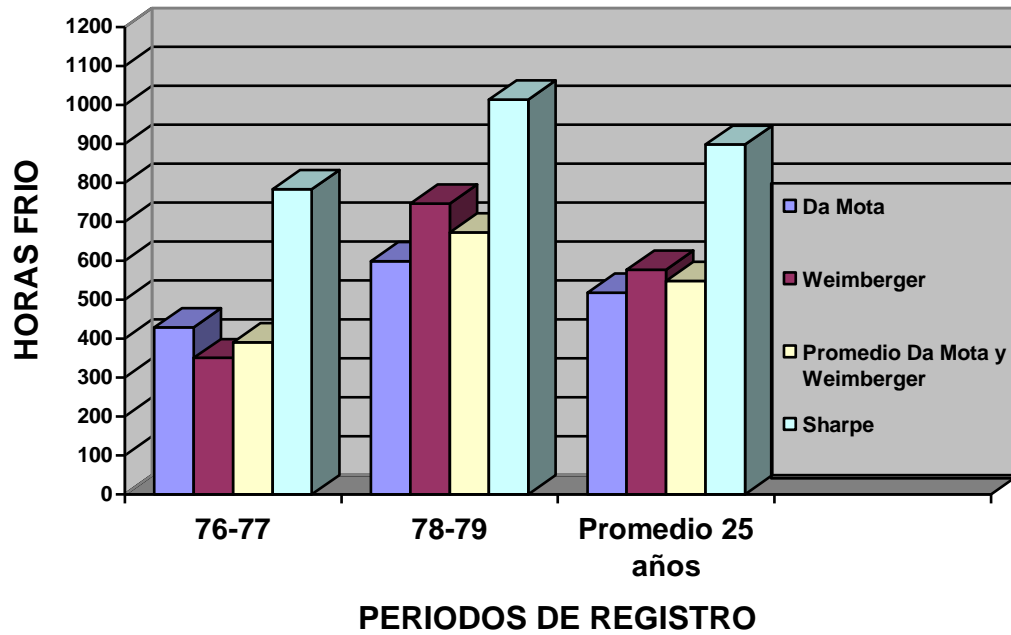
Los métodos de Da Mota y Weinberger, parecen ser los procedimientos de cálculo que mas se ajustan a nuestras condiciones. Se considera práctico el cálculo de las horas frío por ambos procedimientos y la obtención de un promedio, que resultará un indicador de mayor precisión y de gran utilidad, muy apegado a la realidad de las condiciones del Valle de Quetzaltenango.

**CUADRO 8.  
HISTORIAL DE LA ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE HORAS FRÍO, PARA EL  
VALLE DE QUETZALTENANGO, POR TRES DIFERENTES MÉTODOS DE  
CÁLCULO**

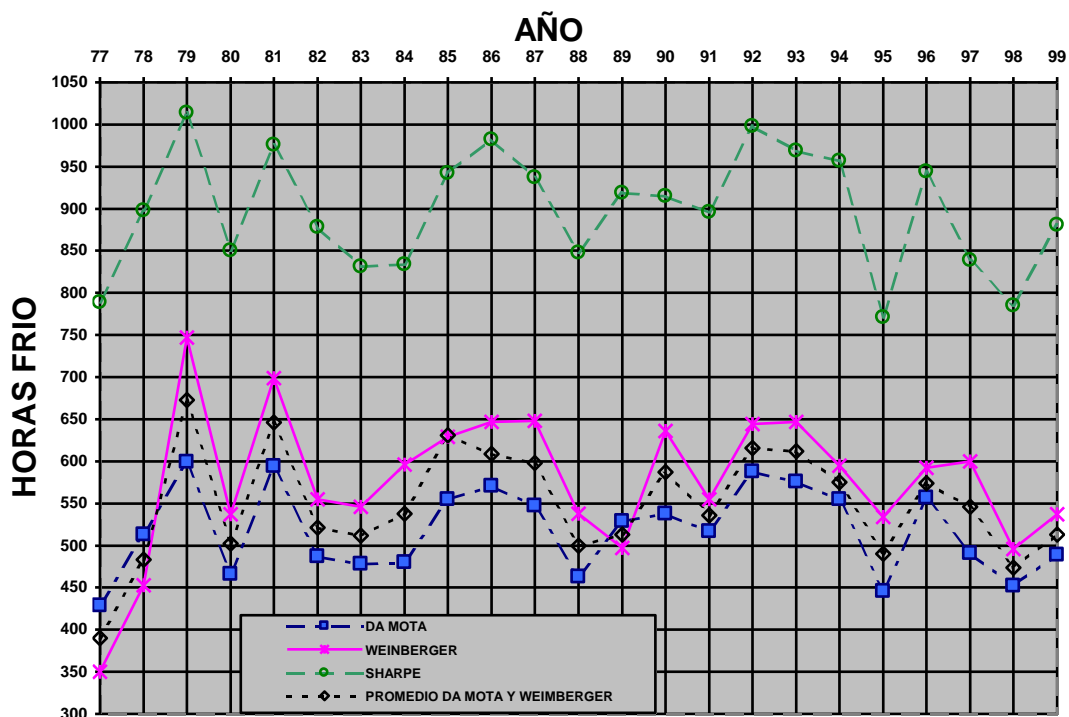
CICLO INVERNAL	HORAS FRÍO			
	DA MOTA	WEINBERGER	SHARPE	PROMEDIO METODOS
76-77	429	350	789	523
77-78	513	453	898	621
78-79	599	747	1014	787
79-80	466	537	850	618
80-81	594	699	976	756
81-82	487	555	878	639
82-83	478	546	831	618
83-84	480	596	834	637
84-85	555	629	942	709
85-86	571	647	982	733
86-87	547	648	937	701
87-88	463	538	848	616
88-89	529	497	919	648
89-90	538	636	915	696
90-91	517	555	896	656
91-92	588	644	998	743
92-93	576	647	969	731
93-34	555	595	957	702
94-95	446	534	771	584
95-96	557	592	944	698
96-97	491	600	839	643
97-98	452	496	785	578
98-99	489	537	881	636
<b>PROMEDIO HISTORICO</b>	<b>518</b>	<b>577</b>	<b>898</b>	<b>664</b>

FUENTE: Análisis estadístico, 25 años de registro INSIVUMEH, Labor Ovalle, Olinstepeque, Quetzaltenango.

**FIGURA 2**  
**DIFERENCIAS EN LA ESTIMACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE HORAS FRIO**  
**POR TRES MÉTODOS, PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO**



**FIGURA 3**  
**HISTORIAL DE LA ESTIMACION DE HORAS FRIO, PARA EL VALLE DE**  
**QUETZALTENANGO, POR TRES DIFERENTES MÉTODOS DE CÁLCULO**



En la Figura 3, puede apreciarse el comportamiento histórico de la acumulación de frío para el Valle de Quetzaltenango, por los tres métodos de estimación. Puede identificarse que por el Método Da Mota, el año en el cual ocurrió la menor acumulación de frío, fue durante el período 76-77, con una acumulación de 429 Hf y el año con mayor acumulación, fue durante el período 78-79 con 599 Hf. La diferencia de estos períodos es de 170 Hf lo cual expresa una gran diferencia de acumulación entre un período y otro; estas diferencias en la acumulación de frío pueden manifestarse muy drásticamente, especialmente en aquellas variedades de alto requerimiento.

Analizados los 25 años de historial climatológico, basándose en la frecuencia con que ocurre la presencia de horas frío, puede afirmarse que en el Valle de Quetzaltenango, en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, puede contarse con 518 Hf como promedio anual.

#### 4.4. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL PARA LOS FRUTALES CADUCIFOLIOS, EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO

Como se describió en la metodología, la ETP, se determinó por medio de la fórmula fisicomatemática de Penman y la ETR, por medio de la fórmula  $ETR = ETP \times Kc$ . La ETP y la ETR promedio para los 25 años de estudio, para cada mes para el Valle de Quetzaltenango, se presentan en el cuadro 9.

**CUADRO 9.**  
**ETP Y ETR PROMEDIO DE 25 AÑOS DE REGISTRO (1975 – 2000), PARA LOS**  
**FRUTALES CADUCIFOLIOS, EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO**

MES	ETP (mm)	Kc	ETR (mm)
ENERO	83.5	0.20	16.7
FEBRERO	80.4	0.25	20.1
MARZO	93.7	0.35	32.8
ABRIL	97.6	0.65	63.4
MAYO	105.4	0.85	89.6
JUNIO	103.8	0.95	98.6
JULIO	107.8	0.98	105.6
AGOSTO	103.1	0.85	87.6
SEPTIEMBRE	96.0	0.50	48.0
OCTUBRE	93.7	0.30	28.1
NOVIEMBRE	85.8	0.20	17.2
DICIEMBRE	84.3	0.20	16.9

FUENTE: Cálculo realizado con los datos climáticos de la estación meteorológica del INSIVUMEH, Labor Ovalle, Olinstepeque, Quetzaltenango, 25 años de registro.

Como puede apreciarse, la ETR, se va incrementando con forme avanza, de la etapa de dormancia, con una ETR de 16.7 mm durante el mes de enero a la última etapa de crecimiento de la fruta, y una ETR de 105.6 mm en el mes de julio. A partir de esta última fecha se inicia nuevamente la reducción de esta, que corresponde a la etapa de inicio de cosecha con una ETR de 87.6 mm a la dormancia con 16.9 mm(diciembre). De este cuadro se deduce que la etapa con mayor demanda hídrica para estos frutales es en la última etapa de crecimiento de la fruta, que puede darse durante el mes de julio.

La ETR servirá de base para la estimación de las otras variables, tales como la determinación de la Entrada y Salida de la época lluviosa, períodos de canículas, déficit hídrico y la probabilidad de ocurrencia de lluvia.

#### **4.5. DETERMINACIÓN DE LA ENTRADA Y SALIDA DE LA ÉPOCA LLUVIOSA, PERÍODO DE CANÍCULAS Y DÉFICIT HÍDRICO**

Para determinar el déficit hídrico, la época de entrada y salida de lluvias, así como la determinación de los períodos secos, se definió para tres condiciones: para el año donde ocurrió la mayor precipitación del periodo (1998), año de ocurrencia del fenómeno de la niña; para el año más seco (1987), año de ocurrencia del fenómeno del niño, el que se consideró como el año crítico y para el promedio del periodo de estudio (25 años de registro).

##### **4.5.1. ENTRADA Y SALIDA DE LA ÉPOCA LLUVIOSA, PERIODO DE CANÍCULA Y DEFICIT HÍDRICO, PARA EL AÑO MAS LLUVIOSO**

El año más lluvioso del período de estudio fue 1998, año en el que ocurrió el huracán Mitch, en el cual se acumuló un total de 1,084 mm de lluvia para este período. Puede apreciarse en la figura 4 que, a pesar de que existieron precipitaciones en las pentadas 2, 3, 4 y 6 de abril, las mismas no cubrieron los requerimientos de agua de los frutales, lo que ocurrió hasta la sexta pentada de junio. De estos se deduce que la entrada de la época lluviosa para este año fue bastante tarde, ocurriendo hasta después del 25 de junio.

En dicha figura, puede apreciarse también que a partir de la sexta pentada de agosto a la segunda pentada de noviembre, ocurrieron pentadas sucesivas con lluvia, mucho más altas del requerimiento hídrico, por ejemplo para la tercer pentada de septiembre de dicho año, ocurrió una precipitación de 76.4 mm, cuando la ETR para esa pentada era de 8.3 mm. Cabe recordar que durante el mes de agosto puede iniciarse la época de cosecha para la mayoría de las variedades de manzana y melocotón que se cultivan en el Valle de Quetzaltenango y que durante el mes de septiembre se encuentra la época pico de la cosecha, la cual coincide con las precipitaciones más altas. Esto resulta perjudicial, especialmente para el melocotón, ya que se vuelve susceptible al ataque de hongos, como la *Monilinia fruticola*, la que desmerita grandemente la calidad de la fruta y por consiguiente su valor. Puede notarse también la cantidad de lluvia caída durante la segunda pentada de noviembre, donde ocurrió el fenómeno del Mitch, con una precipitación de 139.3 mm para esta pentada.

Con lo que respecta a la salida de la época lluviosa, esta ocurrió hasta la tercer pentada de noviembre (15 de noviembre), a partir de la cual, ya no ocurrieron precipitaciones. Para este año no ocurrieron períodos de sequía (canículas), ya que a partir de que se establece la época de lluvias (25 de junio) la misma se mantiene hasta el 15 de noviembre.

Este año, a pesar de que fue el que registró la mayor precipitación del período de estudio, podemos observar que existió un período de déficit hídrico bastante largo (desde la primera pentada de enero a la quinta pentada de junio), que para aquellas plantaciones sin riego, dicho requerimiento no se satisfizo; etapa que abarcó períodos exigentes en agua, como lo es de la etapa de floración, a la etapa de crecimiento del fruto (ver figura 4).

#### **4.5.2. ENTRADA Y SALIDA DE LA ÉPOCA LLUVIOSA, PERÍODO DE CANÍCULA Y DEFICIT HÍDRICO, PARA EL AÑO MAS SECO**

El año más seco del período de estudio ocurrió en 1987, con una precipitación total anual de 539 mm, la mitad de la lluvia precipitada en 1998. Para este año puede apreciarse precipitaciones esporádicas en enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio las que no llenaron el requerimiento hídrico. La época de lluvia de acuerdo con el criterio establecido en la metodología se estableció hasta la tercera pentada de julio (15 de julio en adelante), y la salida de la época lluviosa ocurrió también mucho antes, desde la sexta pentada de septiembre.

Las lluvias precipitadas después del veinticinco de septiembre ya no cubrieron el requerimiento de agua de los frutales deciduos.

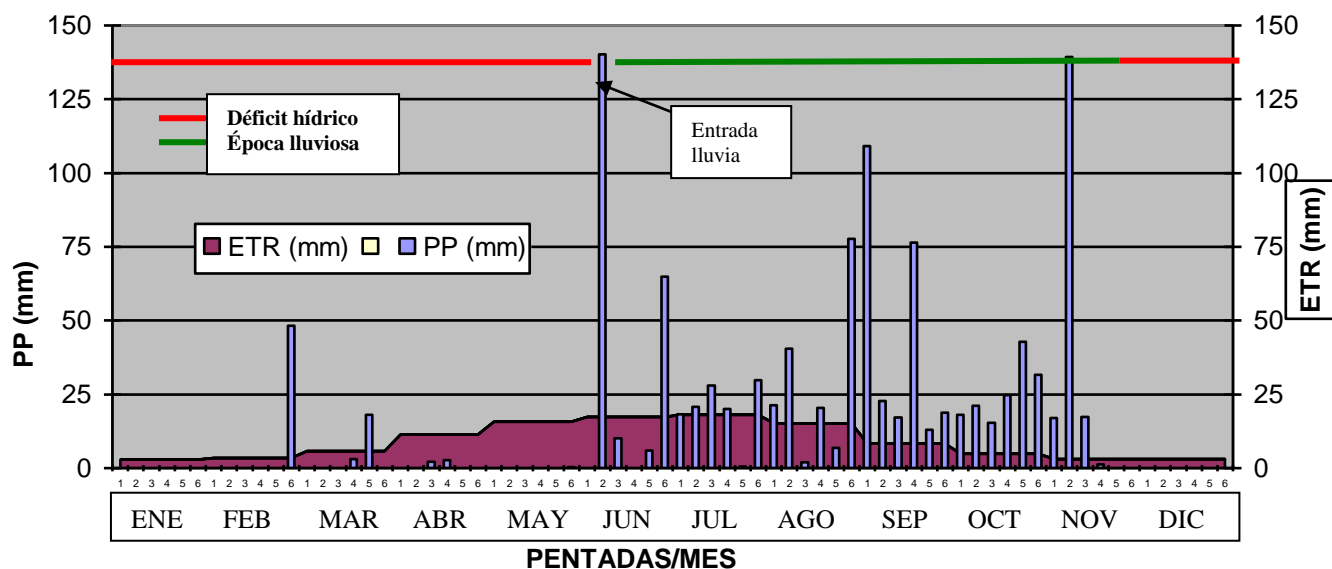
Para este período puede apreciarse en la figura 5 una canícula bastante prolongada, la que ocurrió de la sexta pentada de julio a la cuarta pentada de agosto. También, existió un déficit

hídrico bastante prolongado, que va desde la primera pentada de enero hasta la segunda pentada de junio y de la sexta pentada de septiembre a la sexta de diciembre.

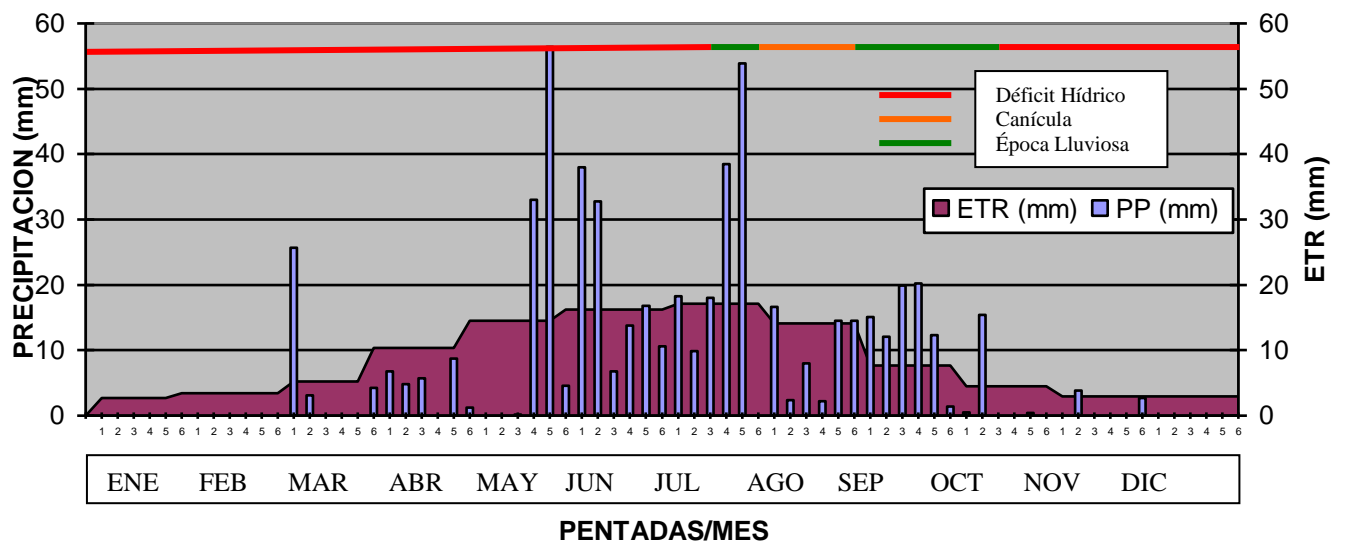
Dicha figura (5), también nos permite observar lo irregular de la época lluviosa, para este año, ya que ocurrieron pentadas con precipitaciones muy altas y luego pentadas con ninguna precipitación o la misma muy por debajo del requerimiento hídrico, por ejemplo: las precipitaciones de la cuarta y quinta pentada de mayo y de la primera y segunda de junio fueron altas, pero las siguientes ya no llenaron los requerimientos hídricos de estos frutales.

De las 72 pentadas del año, únicamente el 28% llenaron el requerimiento hídrico de los frutales deciduos, es decir que en un 72% del año ocurrió déficit hídrico, ocurriendo en etapas de bastante requerimiento hídrico, como lo es desde la etapa de floración hasta la tercera etapa de crecimiento del fruto.

**FIGURA 4.**  
**ENTRADA Y SALIDA DEL PERÍODO DE LLUVIAS, PERÍODO DE CANÍCULA Y DEFICIT HIDRICO, PARA EL AÑO MÁS LLUVIOSO**



**FIGURA 5.**  
**ENTRADA Y SALIDA DE LA ÉPOCA LLUVIOSA, PERÍODO DE CANÍCULA Y DEFICIT HÍDRICO, PARA EL AÑO MAS SECO DEL PERÍODO.**



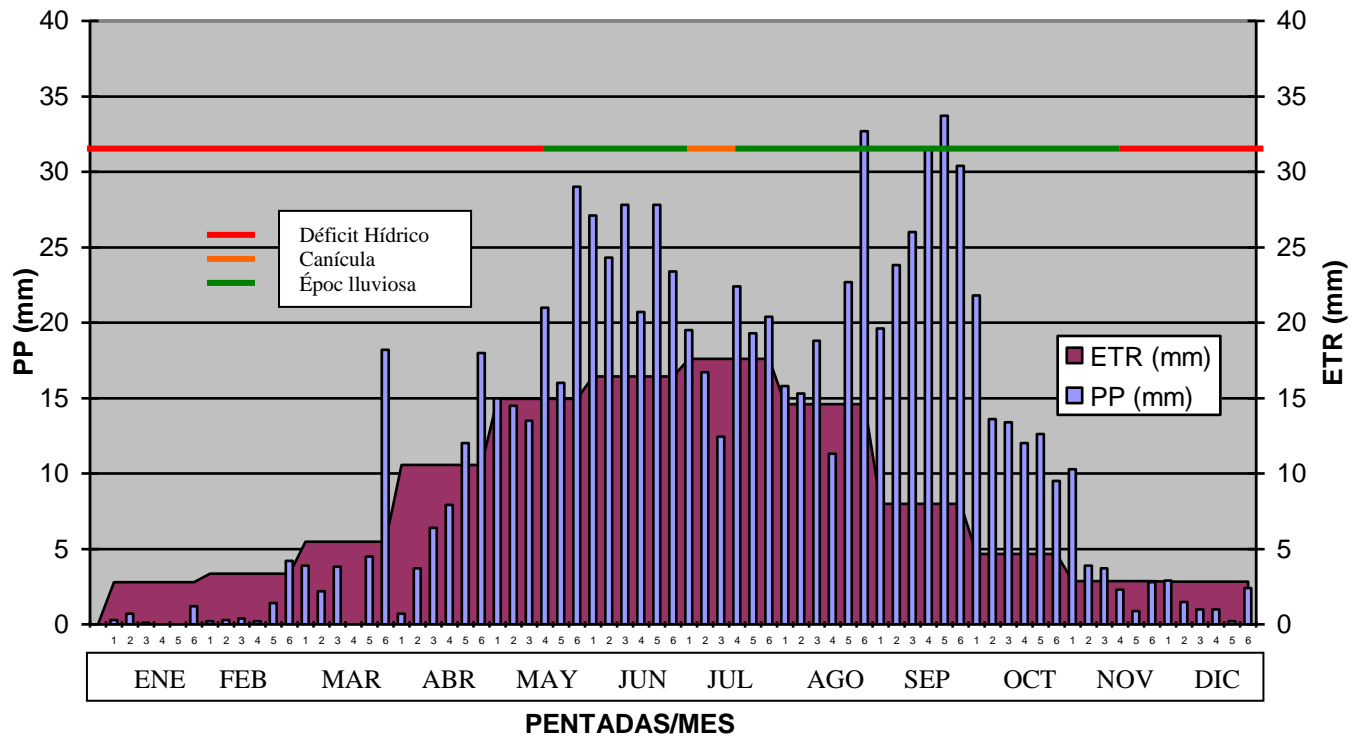
#### 4.5.3. ENTRADA Y SALIDA DE LA ÉPOCA LLUVIOSA, PERÍODO DE CANÍCULA Y DEFICIT HÍDRICO, PROMEDIO DE LOS 25 AÑOS DE ESTUDIO

Si se consideran los 25 años de estudio, podemos apreciar en la figura 6, que históricamente, durante los meses de enero, febrero y marzo, no se han llenado el requerimiento hídrico de los cultivos. La época de lluvia se ha establecido como promedio hasta la quinta pentada de abril y ha concluido en la cuarta pentada de noviembre, por lo que existe otro período de déficit hídrico de la quinta pentada de noviembre a la última de diciembre.

De acuerdo con la información de la precipitación, podemos apreciar lo necesario de la aplicación de riego, especialmente durante las primeras 23 pentadas del año, la cual puede ampliarse hasta las primeras 34 pentadas, en los años en que la época de inicio de lluvia se establece tarde. Luego pueden ocurrir períodos de déficit hídrico, especialmente durante el mes de julio y agosto, los que pueden ser de hasta 4 pentadas.

De acuerdo con este historial, podemos darnos cuenta que existe casi un 49% de las pentadas del año, en las que la precipitación pluvial no cubre los requerimientos hídricos de los frutales, por lo que en estas etapas se hace necesario el riego.

**FIGURA 6.**  
**ENTRADA Y SALIDA DE INVIERNO, PERIODO DE CANICULA Y DEFICIT HÍDRICO, PARA EL PROMEDIO DE LOS 25 AÑOS DE ESTUDIO**



#### 4.6. PROBABILIDAD QUE LA LLUVIA ESPERADA EN EL MES SUPERE EL REQUERIMIENTO HÍDRICO

De acuerdo con el registro histórico de los 25 años de estudio, nos indican que durante el mes de enero y febrero, no existe prácticamente ninguna probabilidad que la precipitación pluvial cubra el requerimiento hídrico. Solo existe un 22% de probabilidades que las precipitaciones del mes de marzo cubran la demanda hídrica de los frutales caducifolios, esto significa que uno da cada 5 años se tendrán precipitaciones iguales o mayores a 32.8 mm que representa la ETR, para el mes de marzo. Existe un 32% que las lluvias de abril superen el requerimiento hídrico, lo que significa que 1 de cada 3 años puede esperarse dichas precipitaciones. Para el mes de mayo solo existe un 62% de probabilidades (2 de cada 3 años); para junio existe un 80% de probabilidades (4 de cada 5 años); para julio el 50% (1 de cada 2 años), un 63% de probabilidades para agosto (2 de cada 3 años); para septiembre y octubre, prácticamente se espera que las precipitaciones pluviales de todos los años cubran el requerimiento hídrico para estos meses (98% y 95% de probabilidades respectivamente) y para noviembre y diciembre un 40% y 25% de probabilidades, respectivamente (ver figura 7).

De la figura 7, podemos deducir que es indispensable disponer de riego, especialmente durante los meses de enero a mayo, ya que las probabilidades que la lluvia cubra los requerimientos hídricos de los frutales caducifolios están por debajo del 62% de probabilidades. Para los meses de noviembre y diciembre las probabilidades que la lluvia

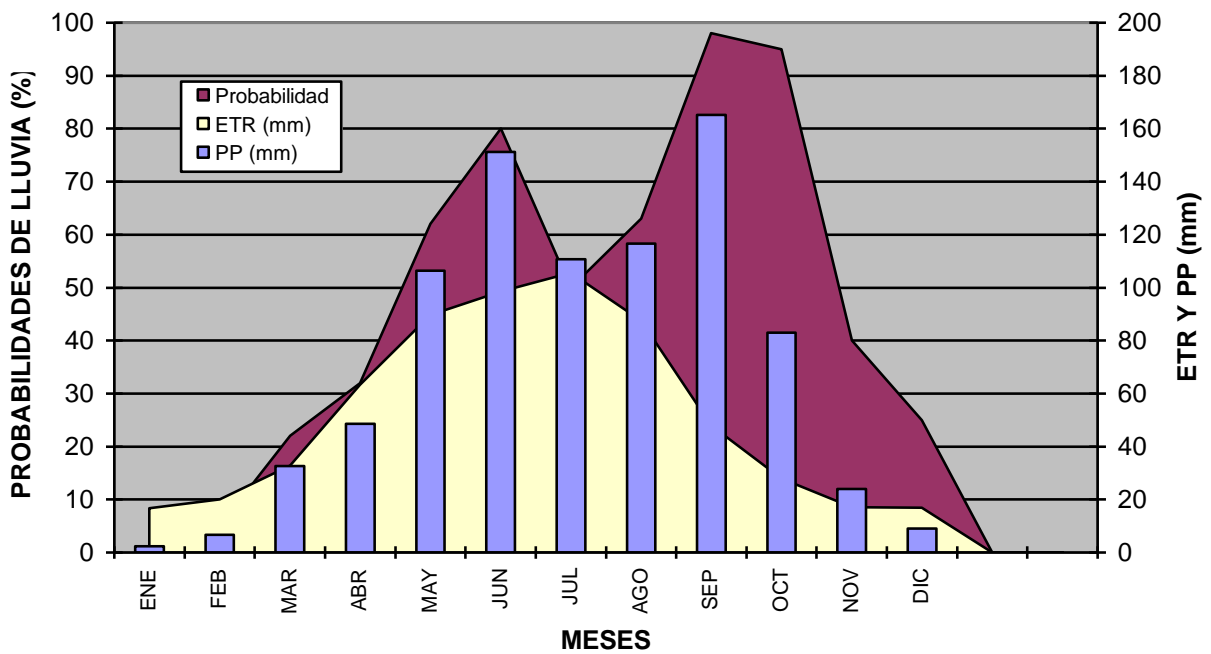
cubra el requerimiento de agua, esta por abajo del 40% de probabilidades. Por lo que podemos concluir que existe un riesgo bastante alto, al estar supeditados únicamente a la precipitación pluvial.

Solo para los meses de septiembre y octubre se espera que la precipitación pluvial de todos los años iguale o supere el requerimiento hídrico de estos frutales, por lo que puede afirmarse que serían los únicos meses que no es necesario el riego.

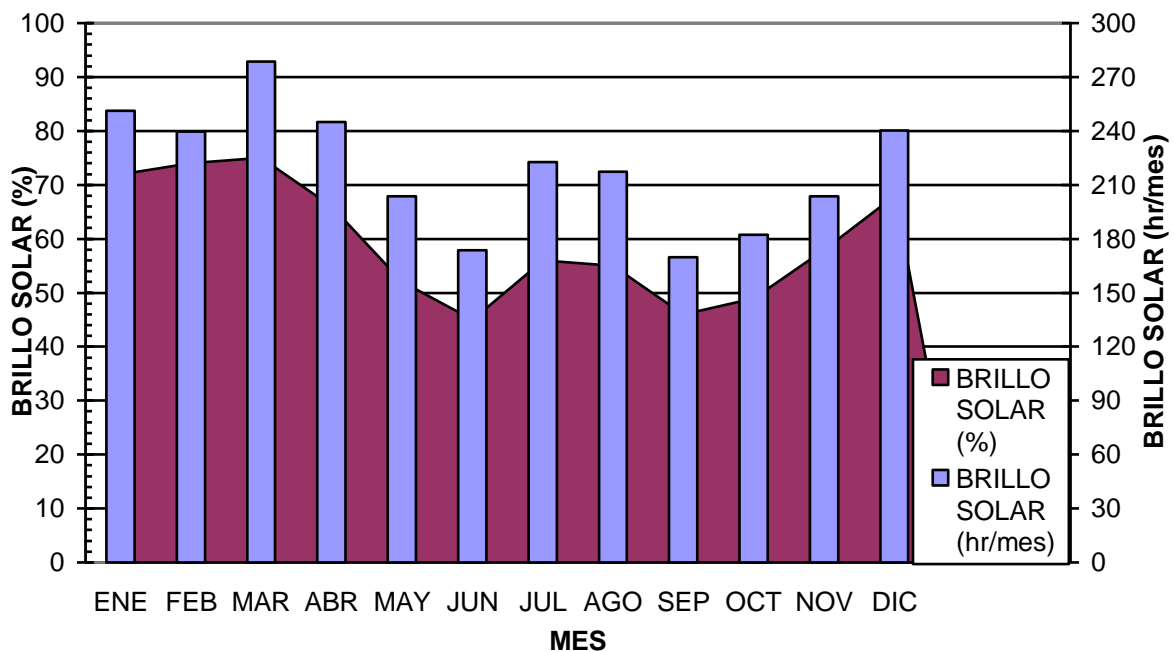
#### **4.7. ESTIMACIÓN DEL BRILLO SOLAR PARA CADA MES**

La información que se presenta en la figura 8, representa el Brillo Solar, tanto en horas/mes, como en porcentaje, promedio de los 25 años de registro para el Valle de Quetzaltenango. Se puede apreciar que los meses de enero, febrero, marzo abril, noviembre y diciembre, son los meses en los cuales se recibe la mayor cantidad de brillo solar, con un 73, 71, 70, 62, 60 y 69%, respectivamente. Y los meses de septiembre, junio, agosto y octubre, los que reciben el menor porcentaje de brillo solar, con 36, 38, 43 y 47%, respectivamente.

#### **FIGURA 7. PROBABILIDAD QUE LA LLUVIA DEL VALLE DE QUETZALTENANGO, IGUALE O SUPERE LA ETR DE LOS FRUTALES DECIDUOS**



**FIGURA 8.**  
**BRILLO SOLAR EN HORAS MES Y EN PORCENTAJE, PROMEDIO DE LOS 25**  
**AÑOS DE REGISTRO, PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO**



La radiación solar es muy importante en la calidad de la fruta, especialmente en cuanto al color, ya que fruta con poca exposición al sol, no toma el color característico de la variedad. La información anterior, nos permite observar que, la etapa en que más luz solar se necesita,

como lo son las etapas de crecimiento y maduración de la fruta, coincide con los meses de menor brillo solar, como lo son julio, con sólo 6.4 horas de brillo solar al día, lo que representa solo un 50% de exposición; agosto, con 5.8 horas de brillo solar al día (43% de exposición); septiembre que aún se reduce más con 4.5 horas al día (36% de exposición), siendo este mes cuando ocurre normalmente la época pico de cosecha de melocotón; y octubre con 5.6 horas al día (47% de exposición).

Por otro lado, la etapa de dormancia de los frutales, como lo son los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, son los meses con la mayor cantidad de brillo solar, con 69%, 73%, 71%, 70% y 62%, respectivamente.

De la información anterior, puede apreciarse que los meses que más se necesita la radiación solar, ocurre lo contrario, por lo que es recomendable mejorar dichas condiciones realizando podas en verde, que permita aprovechar de mejor manera la poca radiación solar que se recibe en esta etapa, la cual puede iniciarse en junio, eliminando todas aquellas ramas que por una u otra razón no fructificaron, de tal manera que permita una mejor exposición de la fruta al sol, así como reducir la humedad relativa producto de un follaje abundante, para reducir el ataque de enfermedades fungosas, especialmente Tiro de Mucilón (*Coryneum beijerinckii*) y Monilinia (*Monilinia fruticola*) en melocotón y Roña de la manzana (*Venturia inaequalis*).

Por el otro lado, en la etapa de dormancia es cuando las plantas están expuestas a una mayor radiación, lo cual es perjudicial a los frutales caducifolios en dos sentidos: la exposición directa de las ramas de la planta a la radiación solar, como consecuencia que las plantas no tienen hojas, provocan cánceres en la corteza de los árboles, los que ocasionan pudriciones y volviéndolos muy susceptibles al desgajamiento y al ataque de hongos; así también, las exposiciones directas de la radiación solar, provocan que las horas frío acumuladas por las plantas durante la noche y la madrugada, las pierdan durante el día, por la exposición directa del sol.

Por lo anterior, es importante que durante esta etapa deban protegerse los árboles de la exposición directa de la radiación solar, con prácticas agronómicas, tales como: el encalado, y/o la aplicación de agua en forma de brisa sobre la copa de los árboles.

#### **4.8. HUMEDAD RELATIVA**

La figura 9, representa el comportamiento de la humedad relativa durante el año, para el Valle de Quetzaltenango, promedio de los 25 años de estudio. Se puede apreciar que la humedad relativa más baja se presenta durante los meses de enero a abril, siendo el mes de marzo el que presenta la menor con 69%, luego empieza a incrementarse en mayo (76%), obteniéndose la máxima en el mes de septiembre la cual alcanza el 83%, en octubre se empieza a reducir (81%) y en diciembre llega al 72%.

De esta información se puede analizar que la menor humedad relativa, se presenta cuando la planta se encuentra en estado de dormancia a cuajado de fruta. Lo deseable sería que durante estas etapas se presentara una alta humedad, ya que la misma durante la noche contribuye a impedir la pérdida de calor por radiación que proviene del suelo, reduciendo el riesgo a heladas por radiación o locales; durante el día reduciría el efecto de la radiación solar,

que durante esta época es muy alta alcanzado un brillo solar del 71% en marzo, lo cual ayudaría a contrarrestar la pérdida de frío acumulada durante la noche; así como la quemadura de ramas por la exposición directa a la radiación solar, ya que su actuación es selectiva en forma de filtro de la radiación solar.

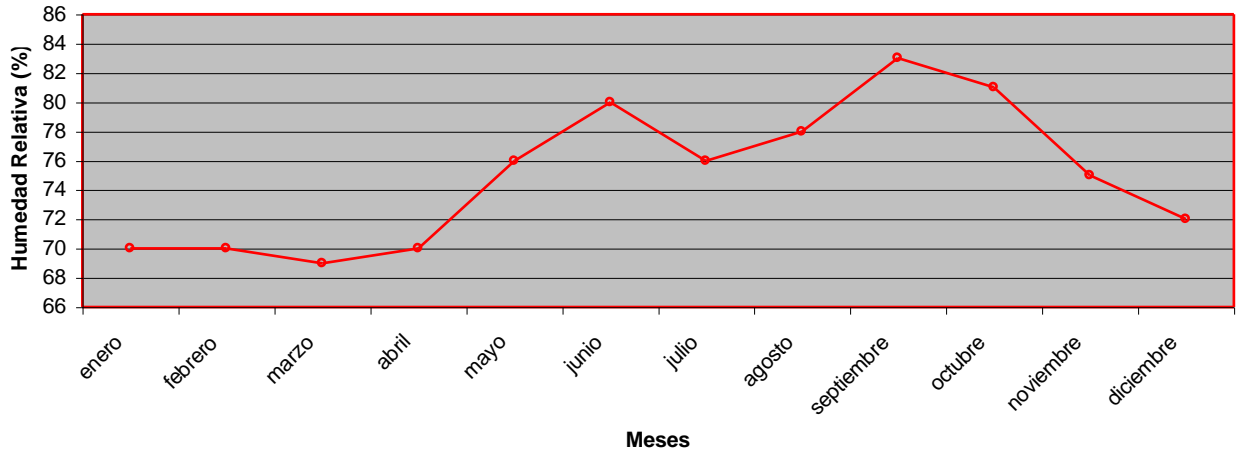
En la figura 10, se presenta la combinación de dos factores climáticos: la humedad relativa y la precipitación. En ella se puede apreciar que con el incremento de la precipitación también se incrementa la humedad relativa. En el mes de junio se manifiesta este incremento de la precipitación pluvial (151.2 mm) la que repercute en el acrecentamiento de la humedad relativa (80%); hay un descenso de ambos factores climáticos en el mes de julio y a partir de agosto empieza nuevamente a incrementarse hasta alcanzar un pico en el mes de septiembre con 165.2 mm de lluvia y 83% de humedad relativa.

La época en la cual ocurren estos incrementos en la precipitación pluvial y humedad relativa, coinciden con la etapa de cosecha de la mayoría de los frutales caducifolios sembrados en el Valle de Quetzaltenango. Esta alta precipitación pluvial aunado a la alta humedad relativa, repercute en la calidad de la fruta en varios aspectos:

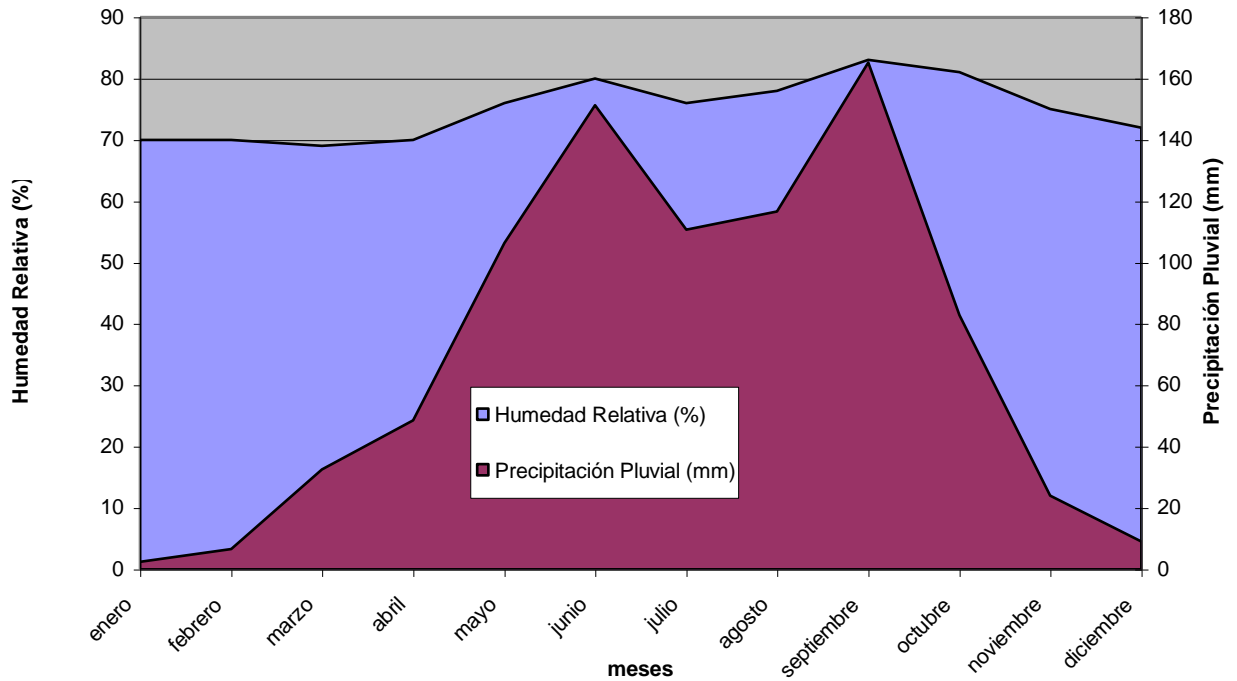
- Incremento de enfermedades fisiológicas. Algunas enfermedades fisiológicas de las plantas y frutos se deben a la presencia de altos grados de humedad u oscilaciones sensibles a ellas, tales como gomosis en melocotón; agrietamiento de los frutos por una alta humedad después de un período de sequía, en el melocotón, pera y manzana; zonas rugosas cercanas al pedúnculo en manzana y pera.
- Incremento de enfermedades parasitarias: Muchas de las enfermedades parasitarias, especialmente las provocadas por hongo, se ven favorecidas por una alta humedad relativa, tal es el caso de la roña en manzana (*Venturia inaequalis*), pudrición amarga de la manzana (*Glomerella cingulata*), pudrición morena o momificación del fruto de melocotón (*Monilinia fruticola*) y tiro de munición en melocotón (*Coryneum beijerinckii*).
- Reducción de concentración de sólidos totales: Altas precipitaciones y alta humedad inciden significativamente en la reducción de los grados Brix de la fruta. Estudios exploratorios han demostrado que en melocotón al inicio de la cosecha, en agosto puede alcanzar una concentración de sólidos totales hasta de 16° Brix y a finales de septiembre o principios de octubre puede caer hasta los 9 ó 10° Brix.
- Reducción de vida útil de la fruta en anaquel. Una alta humedad relativa, también vuelve la fruta menos consistente, lo que la vuelve más delicada al transporte y reducción de la vida en anaquel.

**FIGURA 9.**  
**COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD RELATIVA DURANTE EL AÑO,**  
**PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO, PROMEDIO DE**

## LOS 25 AÑOS DE ESTUDIO



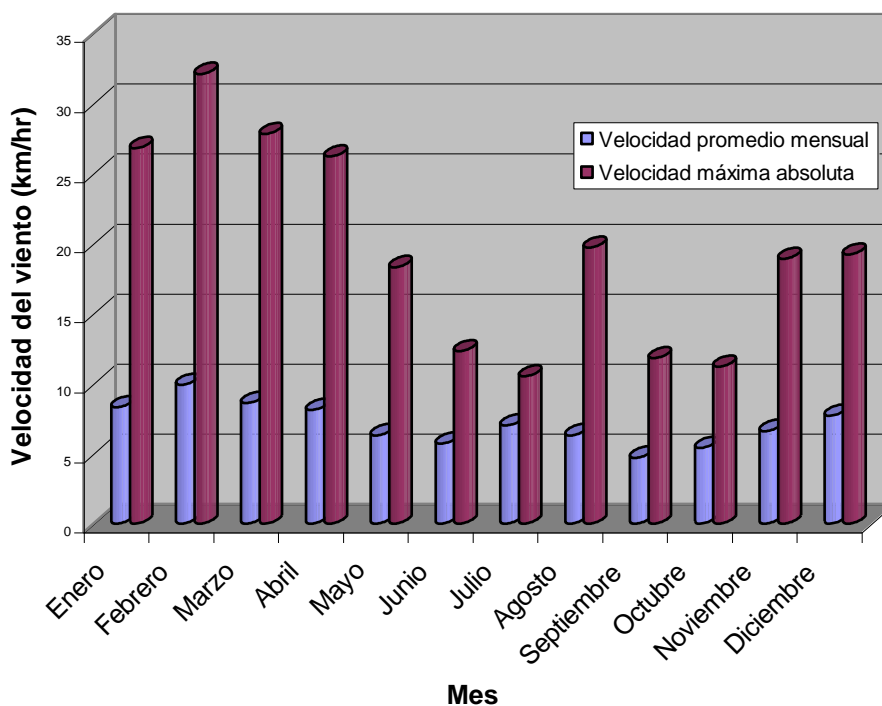
**FIGURA 10.**  
**COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD RELATIVA Y PRECIPITACIÓN**  
**PLUVIAL DURANTE EL AÑO, PARA EL VALLE DE**  
**QUETZALTENANGO, PROMEDIO DE LOS**  
**25 AÑOS DE REGISTRO**



### 4.9. VELOCIDAD DEL VIENTO

Como puede apreciarse en la figura 11, el viento no manifiesta un patrón de comportamiento durante el año. La máxima velocidad promedio, ocurre durante el mes de febrero, con 9.9 km/h manifestando para este mes rachas hasta de 32 km/hr, especialmente alrededor del medio día. Durante septiembre es cuando se dan las velocidades promedio más bajas (4.7 km/h).

**FIGURA 11.**  
**COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO Y RACHAS MÁXIMAS ABSOLUTAS DEL VIENTO, DURANTE EL AÑO, PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO**



Como puede apreciarse las velocidades del viento no son extremas, por lo que no se espera en ningún mes del año, que ocasionen daños a los frutales caducifolios, a excepción de las rachas que pueden presentarse en febrero, marzo, abril que pueden ocasionar algunos problemas en la floración y en la caída de frutos recién cuajados. Estas rachas también pueden presentarse en agosto, noviembre, diciembre y enero.

## 5. CONCLUSIONES

### 5.1. OCURRENCIA DE HELADAS

El período de heladas más largo, con una duración de 152 días, ocurre con el rango de temperatura entre 0°C y -1.0°C, el cual puede ocurrir desde el 1° de enero al 31 de mayo, lo que indica que a partir del 31 de mayo existe un 99% de probabilidades, que ya no ocurra una helada. Aunque este es el mayor rango, existe la ventaja que las exposiciones a estas temperaturas, el daño que provoca es relativamente insignificante a no ser que las exposiciones sean por tiempos muy prolongados. Las temperaturas críticas, en las cuales ya ocurre daño al tejido, están comprendidas entre los rangos de -3.1°C y menos, las cuales pueden presentarse hasta el 7 de mayo. A este tipo de heladas hay que ponerles bastante atención, ya que pueden provocar hasta el 90% de la muerte del tejido.

## **5.2. DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE HELADAS**

El mes de enero, es el mes que históricamente ha presentado el mayor número de heladas, abril y mayo aunque son los meses que presentan la menor frecuencia de ellas, es el período al cual debe prestarse la mayor atención, ya que coincide con el tiempo en el cual ocurren las etapas fenológicas, más susceptibles al daño de heladas, tales como caída de pétalos y fruta reciencuajada.

## **5.3. ESTIMACIÓN DE LAS HORAS FRÍO PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO**

Los métodos de Da Mota y Weinberger, son los que proporcionan la estimación más cercana a la realidad del efecto del frío sobre los frutales caducifolios. El método de Sharpe, estima datos muy altos de horas frío para el Valle de Quetzaltenango. De acuerdo al promedio de horas frío histórico de 25 años de registro, para el Valle de Quetzaltenango, los frutales pudieron acumular entre 429 y 594 Hf, por el método de Da Mota, con un promedio de 518 Hf en la época invernal. Entre 350 Hf y 699 Hf por el método de Weinberger, con un promedio de 577 Hf. Al promediar los dos métodos puede esperarse entre 390 Hf y 647 Hf con un promedio general de 548 Hf.

## **5.4. EVAPOTRANSPIRACION REAL DE LOS FRUTALES CADUCIFOLIOS, EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO**

La Evapotranspiración Real (ETR) anual de los frutales deciduos, es de 624.6 mm, siendo el mes de enero el de menor requerimiento hídrico, con 16.7 mm y julio el mes del más alto requerimiento (105.6 mm).

## **5.5. DETERMINACIÓN DE LA ENTRADA Y SALIDA DE LA EPOCA LLUVIOSA, PERIODO DE CANÍCULAS Y DÉFICIT HÍDRICO**

De acuerdo con el historial de 25 años de registro, ocurre un déficit hídrico durante los meses de enero a marzo y de la cuarta pentada de noviembre a la sexta de diciembre, la época lluviosa se ha establecido en la quinta pentada de abril y en los años secos hasta la tercera pentada de julio. La salida de la época lluviosa ha ocurrido en promedio, en la quinta pentada de noviembre. Se han registrado canículas en julio, con una duración de 3 pentadas y en agosto hasta de 4 pentadas.

## **5.6. PROBABILIDAD QUE LA LLUVIA ESPERADA EN EL MES, SUPERE EL REQUERIMIENTO HÍDRICO**

Prácticamente no existe ninguna probabilidad que durante los meses de enero, febrero, marzo y diciembre, la precipitación pluvial cubra el requerimiento hídrico de los frutales deciduos, a pesar de que el mismo es bajo para estos meses. Únicamente durante los meses de septiembre y octubre, se espera que la precipitación pluvial cubra dicho requerimiento hídrico.

## **5.7. ESTIMACIÓN DEL BRILLO SOLAR**

De noviembre al mes de abril, son los meses en los que se recibe la mayor cantidad de brillo solar, entre un 60 y un 73%, época que coincide con la etapa fenológica de la dormancia, lo cual es perjudicial en dos sentidos: exposición directa de tronco y ramas a la radiación solar y pérdida de frío acumulado durante la noche. Septiembre, es el mes que recibe la menor cantidad de brillo solar, con solo un 36% y le sigue junio con un 38%.

## **5.8. HUMEDAD RELATIVA**

La humedad relativa mas baja se presenta durante los meses de enero al mes de abril, siendo el mes de marzo el que presenta la menor con 69%, luego empieza a incrementarse en mayo (76%), obteniéndose la máxima en el mes de septiembre la cual alcanza el 83%, en octubre se empieza a reducir (81%) y en diciembre llega al 72%. La alta humedad relativa ocurrida durante el mes de septiembre, que coincide con la época de cosecha, es la responsable de daños fisiológicos y al incremento al daño por enfermedades parasitarias.

## **5.9. VELOCIDAD DEL VIENTO**

La máxima velocidad promedio del viento, ocurre durante el mes de febrero, con 9.9 km/hr, manifestando para este mes rachas hasta de 32 km/hr, especialmente alrededor del medio día. Durante septiembre es cuando se dan las velocidades promedio más bajas (4.7 km/hr). Estas velocidades que se presentan no provocan daños considerables a los frutales, a excepción de las rachas que puedan darse.

## **5.10. CONCLUSIÓN GENERAL**

Se concluye sobre la base de la investigación, que se acepta la hipótesis alternativa planteada, ya que desde el punto de vista climático, si es factible la siembra de frutales deciduos en el Valle de Quetzaltenango, poniéndole especial atención, al control de heladas en la fechas que ya se discutieron; la aplicación de agua a través de riego, en la etapas de déficit hídrico; mejorar la exposición de la fruta a la radiación solar, especialmente durante el mes de septiembre, ya que esta etapa coincide con la época de cosecha, ocurriendo también la mayor precipitación pluvial y el mas alto porcentaje de humedad relativa.

## **6. RECOMENDACIONE**

- 6.1. El riesgo a heladas tardías para el Valle de Quetzaltenango es bastante alto, por lo que se recomienda efectuar un control integrado de las mismas, por los diferentes métodos, ya sean indirectos o directos, poniéndoles especial atención a las heladas que ocurran con temperaturas menores a  $-3.0^{\circ}\text{C}$ , las cuales aún pueden presentarse hasta el 7 de mayo. Sin descuidar los rangos entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $-2.9^{\circ}\text{C}$ , ya que por tiempos prolongados de exposición pueden provocar un daño considerable.
- 6.2. Al introducir nuevos cultivos de frutales deciduos o nuevas variedades, considerar especialmente aquellas que florezcan lo más tarde posible, para tratar de alejarse de los meses más críticos de las ocurrencias de heladas como lo son los meses de febrero y marzo. Con las plantaciones y variedades actuales, tratar de aumentar las relaciones C/N, al final del período de otoño (octubre y noviembre), para inducir a la planta a una brotación más tarde y por consiguiente a una floración tardía, tratando de alejar también la floración de los meses críticos de heladas.
- 6.3. Para la estimación de horas frío para cada período, calcularlas en base a los métodos de Da Mota y Weinberger, especialmente el primero o preferiblemente a través del promedio de los dos métodos. Para la introducción de frutales deciduos y sus variedades, considerar que el máximo de horas frío que se pueden presentar para el Valle de Quetzaltenango es de 647 Hf, considerando el promedio de los dos métodos; por lo que aquellas variedades cuyo requerimiento sea mayor a éste, tendrán que utilizar métodos para compensar frío, ya sean estos culturales y/o químicos.
- 6.4. Considerar la Evapotranspiración Real (ETR), para determinar el efecto del rendimiento de los frutales caducifolios, por la irregularidad de la precipitación pluvial en el Valle de Quetzaltenango. Realizar trabajos de investigación agroeconómicos sobre épocas, frecuencias y láminas de riego.
- 6.5. Por la alta incidencia del brillo solar durante los meses de noviembre a marzo, que coincide con la época de dormancia de los frutales caducifolios, lo que indica que las plantas se encuentran sin hojas, deben implementarse métodos para evitar la quemadura de troncos y ramas por efecto de la radiación solar, así como evitar la pérdida de frío acumulado durante la noche y la madrugada. Y durante la etapa de crecimiento de fruto realizar prácticas de poda, para aumentar la exposición de la fruta a la radiación solar, para mejorar la calidad de esta, especialmente color.
- 6.6. La alta humedad relativa que se presenta en septiembre, como producto del incremento de la precipitación pluvial, debe considerarse para evitar daños a la fruta y detrimento de la calidad de la misma, como producto de daños fisiológicos y especialmente daños por enfermedades parasitarias. Realizar un control integrado de estas enfermedades.
- 6.7. El viento, realmente no presenta un serio problema en los frutales caducifolios, a excepción de algunas rachas que puedan presentarse especialmente en febrero.
- 6.8. En el anexo 1, se desarrollan estas recomendaciones a través de una propuesta técnica.

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. ALVARADO QUIROA, H. 1,999. Guía Práctica para la protección contra heladas. PROFRUTA, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 12 p. Ilus.
2. CALDERON ALCARAZ, E. 1993. Fruticultura General. México: Editorial Limusa. 3ª. Ed. Pp 211 – 381. Ilus.
3. CASTRO LOARCA, O. 1996. El balance hídrico en la experimentación agrícola. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, MAGA, Guatemala. 14 p.
4. CASTRO LOARCA, O; CIFUENTES MENDEZ, N. 1992. Determinación de períodos Óptimos de cultivo para las principales hortalizas cultivadas en el Valle de Quetzaltenango. Centro Universitario de Occidente, Carrera de Agronomía. 58 p.
5. DIAZ M, D. 1987 Requerimiento de frío en Frutales Caducifolios. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México. 54 p.
6. DOOREMBOS, J. & KASSAN, H. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO. Roma. 33 p.
7. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA). 1998. Curso Internacional de Fruticultura de Clima Templado. Mendoza, Argentina. 40 p.
8. JIMÉNEZ, F. 1985. Elementos de agroclimatología. CATIE: Proyecto Regional de Agrometeorología, Turrialba, Costa Rica. 38 p.
9. GODINEZ, G. 1995. Análisis preliminar sobre radiación y brillo solar en Guatemala. Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas, INSIVUMEH. 31 p.
10. GUATEMALA. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 2000. Registros de Temperatura, precipitación pluvial, velocidad del viento, brillo solar, humedad relativa. Años 1975 a 2000.
11. ORTIZ, S. 1987. Elementos agrometeorológicos cuantitativos con aplicación en la república de México Universidad Autónoma de Chapingo: Colegio de Postgraduados. 70 p.
12. RAPIDEL, B. Y RODRÍGUEZ, J. 1990. Zonificación agrometeorológica de la lluvias en Nicaragua. CATIE: Proyecto Regional de Agrometeorología. 28 pp.
13. SPIEGEL, M. 1995. Probabilidad y estadística. México: Ed. McGraw-Hill/ Interamericana. 369 p.
14. SILVA, H. 1996. Estados fenológicos para diferentes cultivos caducifolios. Revista Frutícola, vol. 17. Chile: Copefrut S.A. pp 19-26
15. TOHARIA, M. 1981. Tiempo y clima. Colección SALVAT. Barcelona: Salvat Editores. 65 p.
16. TORRES RUIZ, E. 1995. Agrometeorología. México: Editorial Trillas. 154 p. Ilus.
17. VASQUEZ SANTIZO, J. 1984. Variedades de manzana y melocotón cultivada en Guatemala. Guatemala. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola.
18. VASQUEZ SANTIZO, J. 1988. Manual sobre cultivo de la manzana en el altiplano de Guatemala. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola. 103 p.
19. VILLALPANDO, I.; DEL REAL, L. Y RUIZ, C. 1990. Evaluación, pronóstico y métodos de control de Heladas. Guadalajara: Ed. Trillas.
20. WESTWOOD, M. 1995. Temperature-Zone Pomology, Physiology and Culture. Ed. Oregon, USA: Ed. Timber Press. 3ª. Ed. Pp 29-41, 364-379, 382-408, 420-426. Ilus.

# **ANEXOS**

## **ANEXO 1.**

# PROPUESTA TÉCNICA

## 1. INTRODUCCIÓN

El propósito de la presente investigación fue determinar como los elementos del clima, afectan la producción de frutales deciduos en el Valle de Quetzaltenango, ya que es importante considerar la factibilidad agroclimática, como base para la planificación y la toma de decisiones y por consiguiente, proponer opciones que ayuden a tomar medidas tendentes a reducir los riesgos del productor, durante las distintas etapas fenológicas del cultivo de frutales caducifolios, por medio de diferentes acciones.

Después de haber realizado la recopilación de la información climática, obtenida de la estación meteorológica del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), ubicada en la Labor Ovalle, Olinstepeque, Quetzaltenango. Realizado los cálculos estadísticos respectivos, hecho el análisis e interpretación de los elementos del clima, variables de estudio del presente trabajo de investigación, se llegó a la conclusión general que desde el punto de vista agroclimático, si es factible la siembra de frutales deciduos en el Valle de Quetzaltenango.

Además, se indica que a las acciones que se debe poner especial atención, son al control de heladas en la fechas que ya se discutieron (marzo, abril y mayo), puesto que existe un alto riesgo de ocurrencia; la aplicación de agua a través de riego, en la etapas de déficit hídrico; y mejorar la exposición solar, especialmente durante el mes de septiembre, ya que esta etapa coincide con le época de cosecha, ocurriendo también la mayor precipitación pluvial y el mas alto porcentaje de humedad relativa.

Por lo que el objeto de la presente propuesta, es ampliar cada una de las recomendaciones que se plantean y que surgen como producto del presente trabajo de investigación, ya que muchas de ellas, son solo recomendaciones generales que deben seguirse analizando por medio de otros trabajos de investigación y algunas prácticas solo deben de implementarse ya que se cuenta con suficiente información.

Esta propuesta esta dirigida a los Productores de Frutales Deciduos del Valle de Quetzaltenango, ya sean individuales o asociados y en especial a la Asociación Fruticultores Agrupados “FRUTAGRU”, por el grado de organización y consolidación que tienen. También esta dirigida a instituciones gubernamentales y no gubernamentales que se relacionan con esta actividad agrícola y Universidades de la Región.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

El Valle de Quetzaltenango desde el punto de vista climático y edáfico, es potencial para el fomento de frutales caducifolios, el área actual establecida con estos frutales, que es cerca de 300 Ha, únicamente representa el 18% del área total.

El impacto económico que genera esta actividad agrícola, es de mucha importancia para el Valle de Quetzaltenango, ya que se habla de una producción estimada arriba de 5,000 tm de fruta, especialmente manzana y melocotón, que producen un ingreso neto de alrededor de 20 millones de Quetzales. Además de esto también genera unos 100 mil jornales directos al año, sin incluir las actividades desarrolladas por los comerciantes de la fruta, vendedores de agroinsumos, transportistas, etc.

Por lo anterior, es importante la implementación de todas aquellas acciones que estén dirigidas a coadyuvar el fomento y tecnificación de estos cultivos, y en este caso, por medio de la propuesta de opciones orientadas a reducir el riesgo que, los elementos del clima pueden afectar la producción de estos frutales.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Contribuir al fomento del cultivo de frutales deciduos en el Valle de Quetzaltenango, mejorando la Tecnología, por medio de la recopilación de información climática y su respectivo análisis estadístico, que pueda ser utilizada por los productores y técnicos, con el propósito de reducir los riesgos ocasionados por los efectos adversos de los elementos climáticos y aprovechar los efectos benéficos de los mismos.

### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Brindar bases técnicas fundamentadas en los resultados de la presente investigación, que contribuyan a que productores y técnicos relacionados con estos cultivos, cuenten con la información climática que les ayuden en la toma de decisiones, para reducir los riesgos ocasionados por los efectos adversos de los elementos climáticos.
- Proponer acciones técnicas que permitan viabilizar las recomendaciones sugeridas en el presente trabajo de investigación.
- Sugerir temas de investigación que sirvan de complemento al presente trabajo, dirigidos a contrarrestar el efecto negativo de los elementos climáticos.

## **4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

### **4.1. PROPUESTAS GENERALES**

- 4.1.1. Para hacer mas eficiente la actividad frutícola, específicamente la de frutales caducifolios, en el Valle de Quetzaltenango, es indispensable la integración de todos los actores que participan en la misma: Productores ya sean individuales o Asociados, instituciones gubernamentales especialmente las del Sector Público Agrícola, Organizaciones no gubernamentales, La Gremial de Exportadores de productos no tradicionales, Universidades, etc. En la etapa actual de la globalización de la economía, ya no es posible que cada sector este trabajando aislado, esta integración puede facilitar procesos de investigación, asistencia técnica, agroindustria, comercialización, información de mercados, etc.
- 4.1.2. Complementar este trabajo de investigación, con otras investigaciones y actividades propias de la actividad frutícola, tales como estudios de mercado, que servirá para definir el área máxima a fomentar; establecimiento de viveros certificados, procesos agroindustriales para absorber la fruta que no llena la calidad para consumo en fresco; introducción y evaluación de nuevas variedades, etc.
- 4.1.3. En el Valle de Quetzaltenango, la Asociación de Fruticultores Agrupados “FRUTAGRU”, puede constituirse por su grado de consolidación, y por su grado de participación, en el ente que pueda coordinar estos procesos.
- 4.1.4. FRUTAGRU, puede coordinar también la planificación y ejecución de los diferentes temas de investigación que se proponen en la presente, con Universidades por medio de estudiantes próximos a realizar tesis de grado o instituciones dedicadas a la generación de tecnología tal es el caso de ICTA.
- 4.1.5. FRUTAGRU, debe coordinar con el INSIVUMEH, en el montaje de una red de estaciones meteorológicas en el Valle de Quetzaltenango, que serían de mucha utilidad especialmente si se complementan con programas computarizados, para el pronóstico de heladas, acumulación de horas frío, relación de humedad relativa con el proceso de infección de enfermedades parasitarias, determinación de evapotranspiración con fines de riego y otros.

### **4.2. PROPUESTA DE TEMAS DE INVESTIGACIÓN**

La finalidad de planificar y ejecutar estos temas de investigación es para darle seguimiento a los resultados obtenidos en el presente trabajo. Las más interesantes podrían ser:

- 4.2.1. Evaluación financiera, efectividad y ambiental de los distintos métodos directos de control de heladas. El propósito de este tema es evaluar diferentes métodos directos

de control de heladas, tales como calentamiento de aire por medio de diferentes equipos (quemadores tipo jumbo, chimeneas, cubetas, etc.) utilizando diferentes fuentes de combustible tales como: diesel, gas propano, bunker y otros. Producción de humo o neblinas artificiales; movimiento artificial de aire con el uso de ventiladores; riego por aspersión.

- 4.2.2. Producción forzada de frutales caducifolios. La finalidad sería la de provocar retraso de floración, para tratar de alejar las etapas fenológicas mas sensibles al daño por heladas del período crítico de ocurrencia. Las prácticas que pueden evaluarse son: fertilizaciones nitrogenadas poscosecha, defoliación y reguladores de crecimiento.
- 4.2.3. Evaluación del efecto agroeconómico del manejo integrado de compensadores de frío.
- 4.2.4. Introducción y evaluación de otras variedades de bajo requerimiento de frío.
- 4.2.5. Evaluación agroeconómica de la aplicación de agua suplementaria a través de riego, en las etapas de déficit hídrico.
- 4.2.6. Evaluación de épocas y formas de poda en verde, para mejorar la calidad de la fruta. Para mejor aprovechamiento de la escasa radiación solar que ocurre previo a la etapa de cosecha.
- 4.2.7. Relación entre humedad relativa e incidencia de enfermedades parasitarias y evaluación de métodos de control

### **4.3. PROPUESTA DE ACCIONES Y RECOMENDACIONES TECNICAS**

#### **4.3.1. CONTROL DE HELADAS**

Las probabilidades de ocurrencia de heladas con rango de temperaturas entre 0 y  $-1^{\circ}\text{C}$  existen aún hasta el 31 de mayo, de esta fecha en adelante hay un 99% de probabilidades de que ya no ocurran. Para el rango de  $-3.1^{\circ}$  a  $-4.0^{\circ}\text{C}$ , que es un rango de temperaturas crítico, por el daño que puede provocar, existen probabilidades que ocurran hasta el 7 de mayo. Como puede apreciarse el riesgo es bastante alto, por lo que debe realizarse obligatoriamente un control integrado de las mismas, por métodos indirectos y directos.

- a. Algunos métodos indirectos que se sugieren que se pueden ponerse en práctica

Los métodos indirectos son aquellos en los que el carácter fundamental es de tipo preventivo, no tratando de contrarrestar el frío, sino de evitar sus daños, al no estar este presente, o no estarlo cuando puede hacer mucho daño. Son los más eficientes y los menos costosos.

- Ubicación adecuada de la plantación.
- Elección de variedades de floración tardía.
- Provocar un retraso en la entrada de dormancia de los frutales.
- Mantenimiento del suelo en condiciones apropiadas.

#### b. Métodos directos

Estos métodos actúan de forma directa contra el descenso de la temperatura, ya sea en intensidad o ritmo de abatimiento. Suelen ser generalmente métodos caros, aunque mas o menos eficaces.

- Producción de humos o neblinas artificiales.
- Movimiento artificial de aire con el uso de ventiladores.
- Calentamiento del aire.
- Riego por aspersión

### 4.3.2. COMPENSACIÓN DE FRÍO

El promedio de horas frío que puede acumularse para el Valle de Quetzaltenango es de 548 Hf, aunque se ha registrado una acumulación máxima de 647 Hf y una mínima de 390 Hf. Los problemas ocasionados por la falta de acumulación de frío, pueden resolverse de diferente forma, cada uno de los cuales aporta una parte de una solución que debe ser total. Muchas de estas formas se han evaluado bastante, por lo que su utilización debe generalizarse a la mayoría de labores productoras de frutales deciduos.

#### a. Prácticas Culturales

- Encalado total de árboles.
- Suspensión temprana del riego.
- Evitar fertilizaciones nitrogenadas muy tardías (después de octubre)
- Poda.
- Arqueado de ramas.
- Aspersión foliar de agua.
- Defoliación manual.
- Correcciones de deficiencia de zinc.

#### b. Métodos químicos

- Defoliación química.
- Utilización de compensadores de frío, especialmente la cianamida hidrogenada.

#### c. Utilización de variedades de bajo requerimiento de frío

### 4.3.3. DÉFICIT HÍDRICO

De acuerdo con los resultados de la presente investigación, ocurre un déficit hídrico durante los meses de la cuarta pentada de noviembre a finales de marzo, así como durante las canículas prolongadas que pueden presentarse en julio y/o agosto. También, durante los meses de diciembre a marzo, prácticamente no existe ninguna probabilidad que la lluvia caída cubra los requerimientos hídricos de los frutales caducifolios. Por consiguiente, existe un alto riesgo de cultivar supeditado exclusivamente a la precipitación pluvial, se hace necesario la aplicación de agua, por medio de riego suplementario, durante las fechas descritas.

#### **4.3.4. EXPOSICIÓN SOLAR**

Mejorar la exposición de la fruta a la radiación solar por medio de podas en verde, en etapas previas a la cosecha, la cual coincide con la mas alta precipitación pluvial y humedad relativa.

#### **4.3.5. HUMEDAD RELATIVA**

Mantener un control integrado de las enfermedades parasitarias, haciendo énfasis en los controles preventivos e intensificarlos en los períodos de mayor precipitación y mayor porcentaje de humedad relativa.

## **ANEXO 2**

**PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA ESTIMAR LAS PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE HELADA, RANGO DE TEMPERATURA ENTRE 0°C Y -1°C**

AÑO	FECHA ULTIMA HELADA DENTRO DEL RANGO DE TEMPERATURA	CODIGO
77	4 DE MARZO	55
78	7 DE ABRIL	89
79	13 DE FEBRERO	36
80	3 DE MARZO	54
81	18 DE MARZO	69
82	11 DE ENERO	3
83	22 DE MARZO	73
84	18 DE ABRIL	100
85	3 DE MARZO	54
86	5 DE MARZO	56
87	28 DE ABRIL	110
88	23 DE MARZO	74
89	3 DE ABRIL	85
<b>90</b>	<b>9 DE ENERO</b>	<b>1</b>
91	30 DE ENERO	22
92	14 DE FEBRERO	37
93	16 DE MARZO	67
94	15 DE MARZO	66
95	31 DE ENERO	23
96	12 DE MARZO	63
97	27 DE ABRIL	109
98	8 DE MAYO	120
<b>99</b>	<b>10 DE MAYO</b>	<b>122</b>
2000	6 DE MARZO	57
	<b>M</b>	57.86
	<b>σ</b>	34.45

$X = t\sigma - 1 + M$  Donde:  $t$  = valor  $t$  de tablas de la distribución de  $t$  de Student con las Probabilidades de 80, 90, 95 y 99%.

$\sigma$  = Desviación estándar.

$M$  = Media de la fecha de ocurrencia de heladas de la muestra.

$X$  = Fecha de ocurrencia de la última helada, a la temperatura Considerada, con la probabilidad determinada.

**1. T DE TABLAS CON EL 80% DE PROBABILIDADES: 0.859**

$$X = (0.859)(34.45) - 1 + 57.86 = 86 = (4 \text{ DE ABRIL})$$

**2. T DE TABLAS CON EL 90% DE PROBABILIDADES: 1.32**

$$X = (1.32)(34.45) - 1 + 57.86 = 102 = (20 \text{ DE ABRIL})$$

**3. T DE TABLAS CON EL 95% DE PROBABILIDADES: 1.72**

$$X = (1.72)(34.45) - 1 + 57.86 = 116 = (4 \text{ DE MAYO})$$

**4. T DE TABLAS CON EL 99% DE PROBABILIDADES: 2.52**

$$X = (2.52)(34.45) - 1 + 57.86 = 143 = (31 \text{ DE MAYO})$$

**ANEXO 3**  
**PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO, PARA ESTIMAR PROBABILIDADES QUE LA LLUVIA ESPERADA, PARA EL MES DE MAYO, SUPERE LA ETR (89.6 mm)**

$$P = \frac{M}{N + 1} \times 100$$

Donde: **P** = Probabilidad de ocurrencia del evento en porcentaje

**M** = No. de orden creciente de la precipitación

**N** = No. de observaciones (años de registro)

AÑO	PRECIPITACIÓN (mm)	PRECIPITACIÓN ORDENADA (mm)	NUMERO DE ORDEN (M)	PROBABILIDAD (M/N+1)100
99	537.0	196.1	1	5
98	0.4	183.2	2	10
97	57.7	170.9	3	14
96	150.6	150.6	4	19
95	45.2	146.6	5	24
94	99.9	139.0	6	29
93	138.5	138.5	7	33
92	94.7	130.5	8	38
91	130.0	116.9	9	43
90	76.9	114.0	10	48
89	170.9	99.9	11	52
88	47.7	97.0	12	57
87	90.8	<b>90.8</b>	13	<b>62</b>
86	183.2	76.9	14	67
85	146.6	73.8	15	71
84	196.1	57.7	16	76
83	45.2	53.7	17	81
82	139.0	47.7	18	86
81	114.0	45.2	19	90
80	123.0	0.4	20	95

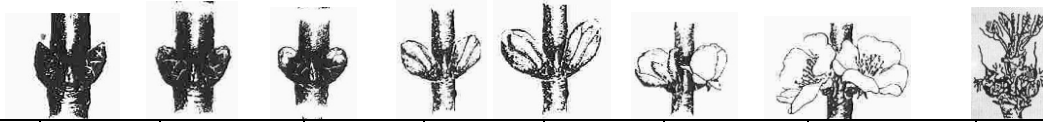
**ANEXO 4.**

**CÁLCULO DEL REQUERIMIENTO Y DÉFICIT HÍDRICO PARA LOS FRUTALES  
DECIDUOS, EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO,  
PROMEDIO DE 25 AÑOS DE REGISTRO**

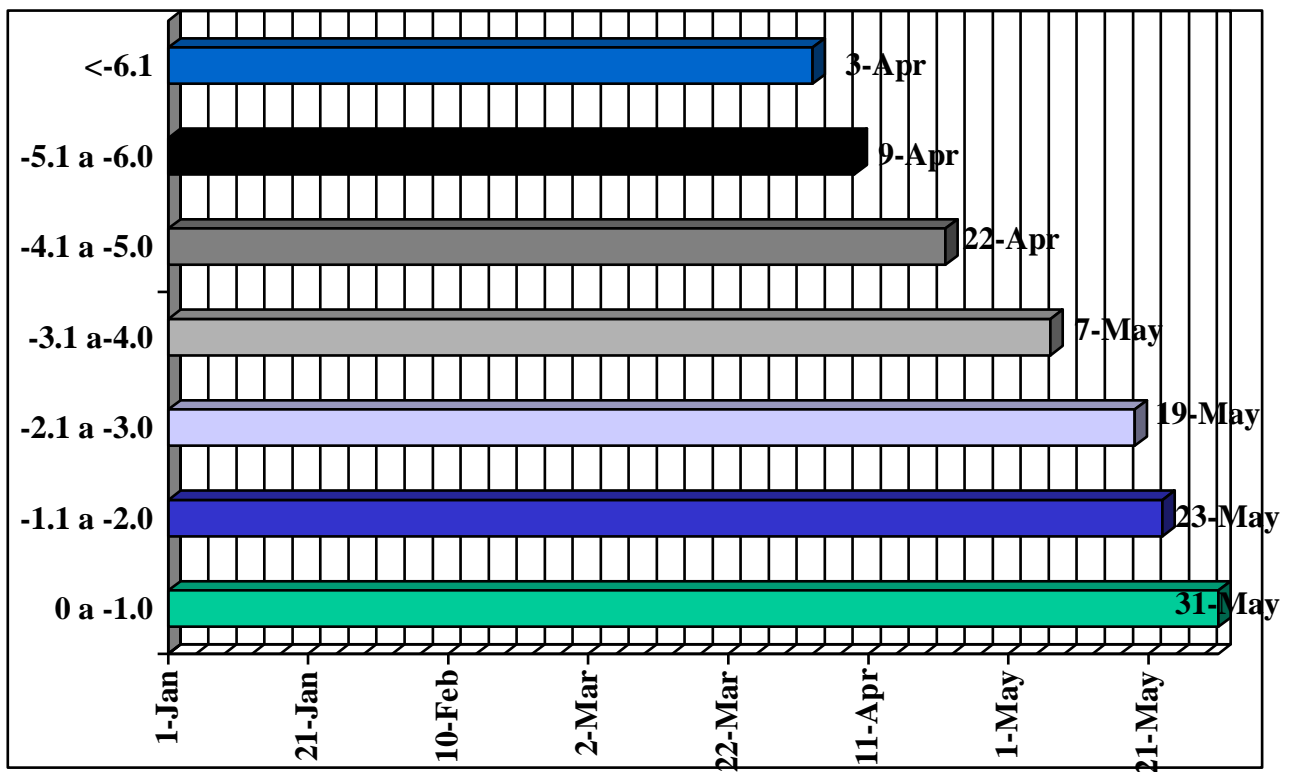
<b>MES</b>	<b>ETP (mm)</b>	<b>Kc</b>	<b>ETR (mm)</b>	<b>PP (mm)</b>	<b>DEFICIT HÍDRICO (mm)</b>
ENERO	83.5	0.20	16.7	2.4	14.3
FEBRERO	80.4	0.25	20.1	6.7	13.4
MARZO	93.7	0.35	32.8	32.6	0.2
ABRIL	97.6	0.65	63.4	48.6	14.8
MAYO	105.4	0.85	89.6	106.3	0
JUNIO	103.8	0.95	98.6	151.2	0
JULIO	107.8	0.98	105.6	110.7	0
AGOSTO	103.1	0.85	87.6	116.6	0
SEPTIEMBRE	96.0	0.50	48.0	165.2	0
OCTUBRE	93.7	0.30	28.1	82.9	0
NOVIEMBRE	85.8	0.20	17.2	24.0	0
DICIEMBRE	84.3	0.20	16.9	9.0	7.9
<b>ANUAL</b>	<b>1135.1</b>		<b>624.6</b>	<b>856.2</b>	<b>50.6</b>

**ANEXO 5.**

**PERÍODO DE OCURRENCIA DE HELADAS CON EL 99% DE PROBABILIDADES,  
EN RELACIÓN A LA TEMPERATURA CRÍTICA DE LA ETAPA FENOLÓGICA  
DEL CULTIVO**



TC10	-7.4°C	-6.1°C	-4.8°C	-4.5°C	-4.1°C	-3.3°C	-2.7°C	-2.5°C
TC90	-17.9°C	-15.7°C	-14.2°C	-12.1°C	-9.2°C	-5.9°C	-4.9°C	-3.9°C

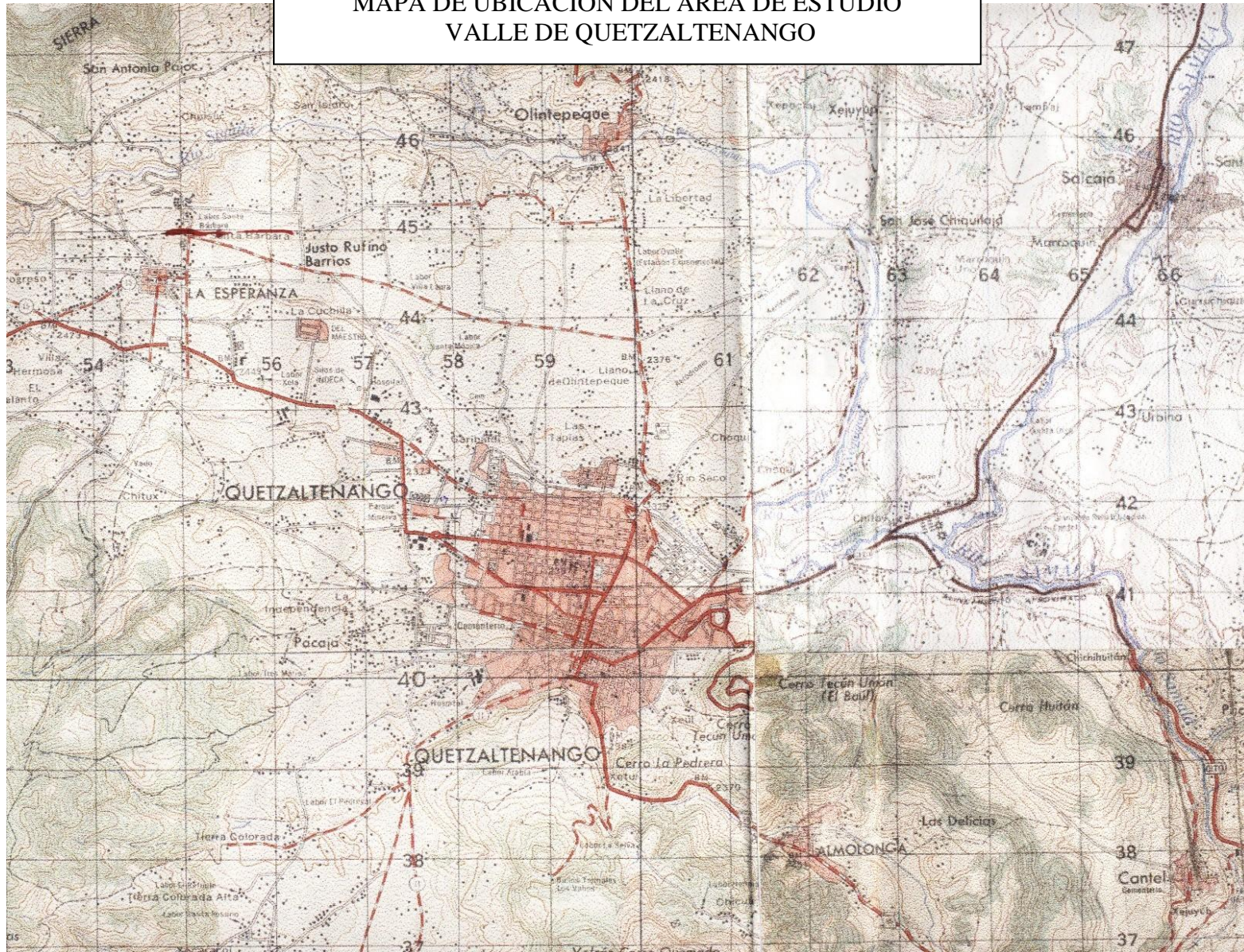


**ANEXO 6.**  
**INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA PARA EL VALLE DE QUETZALTENANGO, PERIODO 1975 – 2000.**

PARAMETRO	TEMPERATURA °C			ABSOLUTAS		PP	BRILLO SOLAR	HUMEDAD RELATIVA	VELOCIDAD VIENTO	EVAPORACION INTEMPERIE
	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima					
Enero	21.7	1.0	11.5	28.0	-11.5	2.4	251.2	70	8.3	135.7
Febrero	22.7	1.7	12.5	28.4	-10.0	6.7	239.5	70	9.9	132.1
Marzo	23.3	3.4	13.2	28.8	-6.5	32.6	278.5	69	8.6	169.1
Abril	23.6	5.9	14.5	20.4	-5.6	48.6	245.1	70	8.1	159.0
Mayo	22.5	9.0	14.8	20.5	2.0	106.3	203.6	76	6.3	136.8
Junio	21.0	9.4	15.0	27.5	2.0	151.2	173.6	80	5.7	136.8
Julio	20.9	8.6	15.0	24.8	1.4	110.7	222.6	76	7.0	128.1
Agosto	20.9	8.5	14.7	29.6	1.2	116.6	217.2	78	6.3	112.2
Septiembre	20.6	8.4	14.3	23.6	-0.2	165.2	169.8	83	4.7	155.9
Octubre	21.0	7.2	13.8	24.4	-1.7	82.9	182.4	81	5.4	99.2
Noviembre	21.3	5.2	12.7	26.0	-4.5	24.0	203.8	75	6.6	109.0
Diciembre	21.3	1.2	11.7	25.4	-8.5	9.0	240.3	72	7.7	118.6
<b>ANUAL</b>	<b>21.7</b>	<b>5.8</b>	<b>13.6</b>	<b>29.6</b>	<b>-11.5</b>	<b>856.2</b>	<b>219.0</b>	<b>75.0</b>	<b>7.1</b>	<b>132.7</b>

**Fuente: Tabulación de información registro meteorológico INSIVUMEH.**

ANEXO 7  
MAPA DE UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO  
VALLE DE QUETZALTENANGO



FUENTE: Instituto Geográfico Nacional.