



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



**PROGRAMA DE CONSORCIOS REGIONALES DE INVESTIGACION AGROPECUARIA
CRIA OCCIDENTE
CADENA DE MELOCOTÓN**

**“REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DEL VALLE DE
QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN, PARA EL
CULTIVO DE FRUTALES CADUCIFOLIOS”**

**Héctor Alvarado Quiroa
Hugo García Hernández
Víctor José Alvarado Soto**

Quetzaltenango, agosto de 2019



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria





CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



**PROGRAMA DE CONSORCIO REGIONALES DE INVESTIGACION AGROPECUARIA
CRIA OCCIDENTE
CADENA DE MELOCOTÓN**

**REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DEL VALLE DE
QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN, PARA EL
CULTIVO DE FRUTALES CADUCIFOLIOS**

**Ing. Agr. Héctor Alvarado Quiroa Ph, D.¹
Ing. Agr. MSc. Hugo García Hernández.²
T.U.A Víctor José Alvarado Soto.³**

Quetzaltenango, agosto de 2019

¹ Investigador principal. Ingeniero Agrónomo, Maestro en Ciencias en Gerencia de la Agricultura Sostenible y de los Recursos Naturales, Maestro en Ciencias en Administración de Tierras para el Desarrollo Sostenible, Doctor en Ciencias Naturales con énfasis en Gestión Ambiental. Profesor de la División de Ciencia y Tecnología, Centro Universitario de Occidente, Universidad de San Carlos de Guatemala.

² Investigador adjunto. Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, Master en Ciencias de la Geoinformación y Observación de la Tierra, con énfasis en Recursos Hídricos. Profesor de la División de Ciencia y Tecnología, Centro Universitario de Occidente, Universidad de San Carlos de Guatemala

³ Investigador Auxiliar. Técnico Universitario en Agrimensura, Estudiante de la Ingeniería en Administración de Tierras de la División de Ciencia y Tecnología del Centro Universitario de Occidente, Universidad de San Carlos de Guatemala.



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). El contenido de esta publicación es responsabilidad de su(s) autor(es) y de la institución(es) a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



CONTENIDO

SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes del problema.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación del estudio	3
1.4. Hipótesis de investigación.....	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. General.....	4
1.5.2. Específicos	4
II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Frutales caducifolios, deciduos o de hoja caduca	5
2.2. Problemas de la Fruticultura de caducifolios en regiones subtropicales. ...	5
2.3. El período de reposo en los frutales caducifolios	6
2.4. El papel de la temperatura en los frutales caducifolios.....	7
2.5. La necesidad de frío invernal	7
2.6. El valor del concepto de horas frío	7
2.6.1. Las unidades frío	8
2.6.2. Medida y cuantificación de horas frío.....	9
2.7. Las heladas.....	10
2.7.1. Daños causados por heladas.	11
2.8. Precipitación pluvial	13
2.9. Regionalización.....	15
2.10. Geoestadística	15
2.11. Sistema de información geográfica (SIG).....	16
2.12. Interpolación de datos	16
2.13. Modelo digital del terreno (MDT)	16



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



III.	MARCO METODOLÓGICO.....	17
3.1.	Método de investigación.....	17
3.2.	Contexto espacial y temporal	17
3.3.	Variables de la investigación.....	19
3.3.1.	Horas frío (hf)	19
3.3.2.	Riesgo a heladas	21
3.3.3.	Déficit hídrico.....	24
3.3.4.	Altitud (msnm)	27
3.3.5.	Pendiente	28
IV.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	30
4.1.	Regiones con rangos similares de acumulación de horas frío	30
4.2.	Regiones con rangos similares de temperaturas críticas al riesgo por heladas en el valle de Quetzaltenango y Totonicapán	32
4.3.	Regiones con rangos similares de déficit hídrico en el valle de Quetzaltenango y Totonicapán	34
4.4.	Pisos altitudinales en el valle de Quetzaltenango y Totonicapán.....	36
4.5.	Pendiente en porcentaje en el valle de Quetzaltenango y Totonicapán ..	38
4.6.	Regionalización climática del valle de Quetzaltenango y Totonicapán, para el cultivo de frutales deciduos.....	39
4.6.1.	Región 1	40
4.6.2.	Región 2.....	41
4.1.3.	Región 3.....	42
4.1.4.	Región 4	42
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
5.1.	Conclusiones	44
5.2.	Recomendaciones	46
	BIBLIOGRAFÍA.....	47
	ANEXOS.....	49



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1.</i> VALOR DE LAS TEMPERATURAS PARA CÁLCULO DE UNIDADES FRÍO	8
<i>Cuadro 2.</i> CLASES PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA VARIABLE HORAS FRÍO ...	21
<i>Cuadro 3.</i> CLASES PARA LA CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PARA LA VARIABLE RIESGO A HELADAS	23
<i>Cuadro 4.</i> RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE EN mm/día.....	25
<i>Cuadro 5.</i> VALOR DE KC PARA FRUTALES CADUCIFOLIOS DE ACUERDO A LA ETAPA FENOLÓGICA Y MES DEL AÑO	25
<i>Cuadro 6.</i> CLASES PARA LA CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PARA LA VARIABLE DÉFICIT HÍDRICO	27
<i>Cuadro 7.</i> CLASES PARA LA CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PARA LA VARIABLE PISOS ALTITUDINALES	28
<i>Cuadro 8.</i> CLASES PARA LA CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PARA LA VARIABLE PENDIENTE	29
<i>Cuadro 9.</i> DATOS ESTADÍSTICOS DE LA VARIABLE HORAS FRÍO EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN	30
<i>Cuadro 10.</i> DATOS ESTADÍSTICOS DE LA VARIABLE RIESGO A HELADAS EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN	32
<i>Cuadro 11.</i> DATOS ESTADÍSTICOS DE LA VARIABLE DÉFICIT HÍDRICO EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN	34
<i>Cuadro 12.</i> DATOS ESTADÍSTICOS DE LA VARIABLE ALTITUD EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN	37
<i>Cuadro 13.</i> DATOS ESTADÍSTICOS DE LA VARIABLE PENDIENTE EN PORCENTAJE EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN	38
<i>Cuadro 14.</i> MATRIZ DE DECISIÓN PARA LA REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DE FRUTALES CADUCIFOLIOS, VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN	40



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



INDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1.</i> TEMPERATURAS CRÍTICAS PARA DIFERENTES ESPECIES Y ETAPAS FENOLÓGICAS, AL DAÑO OCASIONADO POR HELADAS.....	13
<i>FIGURA 2.</i> UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE DONDE SE OBTUVIERON LOS DATOS CLIMÁTICOS...	18
<i>FIGURA 3.</i> PROCEDIMIENTO PARA GENERAR EL SHAPE PARA DETERMINAR LAS REGIONES CON SIMILAR ACUMULACIÓN DE HORAS FRÍO	20
<i>FIGURA 4.</i> PROCEDIMIENTO DE INTERPOLACIÓN DE DATOS PARA OBTENER LAS ÁREAS DE ACUMULACIÓN DE HORAS FRÍO	20
<i>FIGURA 5.</i> PROCEDIMIENTO DE INTERPOLACIÓN DE DATOS PARA OBTENER LAS ÁREAS CON RIESGO A HELADAS.....	23
<i>FIGURA 6.</i> PROCEDIMIENTO DE INTERPOLACIÓN DE DATOS PARA OBTENER LAS ÁREAS CON DÉFICIT HÍDRICO.....	26
<i>FIGURA 7.</i> MODELO DE ELEVACION DIGITAL, PARA OBTENER LAS AREAS HOMOGENEAS EN ALTITUD	28
<i>FIGURA 8.</i> REGIONES CON RANGOS SIMILARES DE ACUMULACIÓN DE HORAS FRÍO EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN	31
<i>FIGURA 9.</i> REGIONES CON RANGOS SIMILARES DE TEMPERATURAS CRÍTICAS AL RIESGO POR HELADAS EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN	33
<i>FIGURA 10.</i> REGIONES CON RANGOS SIMILARES DE DÉFICIT HÍDRICO EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN	35
<i>FIGURA 11.</i> PISOS ALTITUDINALES EN EL EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN	37
<i>FIGURA 12.</i> MAPA DE PENDIENTES EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN	39
<i>FIGURA 13.</i> MAPA DE REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DEL VALLE DE QUETZALTENANGO, PARA EL CULTIVO DE FRUTALES CADUCIFOLIOS.....	43



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ANACAFE	Asociación Nacional del Café
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CRIA	Consortios Regionales de Investigación Agropecuaria
CUNOC	Centro Universitario de Occidente
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FRUTAGRU	Asociación Fruticultores Agrupados
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
ILWIS	Integrated Land and Water Information System
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
SIG	Sistema de Información Geográfica
TNC	The Nature Conservancy
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USDA	The United States Department of Agriculture

RESUMEN

Los productores nacionales de frutales deciduos enfrentan grandes desafíos debido a los requerimientos climáticos de estos cultivos. Por ello, es importante determinar qué áreas son las más indicadas para establecer plantaciones de caducifolios, lo cual requiere considerar diversas variables climáticas. Por tal motivo, la presente investigación se desarrolló con el propósito de identificar las diferentes zonas climáticas homogéneas en el Valle de Quetzaltenango y Totonicapán para la producción de estos frutales, utilizando las variables: acumulación de horas frío, riesgo a heladas, déficit hídrico, pisos altitudinales y pendiente. Los datos utilizados se obtuvieron de 12 estaciones meteorológicas ubicadas en la región. El análisis de los datos geospaciales se realizó con el software libre ILWIS (por sus siglas en Inglés). Las variables horas frío, riesgo a heladas y déficit hídrico se prepararon por medio de interpolación a partir de las mediciones puntuales de las estaciones climáticas, para ello, se probaron seis métodos y se utilizó el error medio cuadrático para seleccionar el mejor. Las variables pisos altitudinales y pendiente se obtuvieron a partir de las curvas de nivel generadas por el Instituto Geográfico Nacional, las cuales se interpolaron para obtener el modelo digital de elevación, y de este se obtuvo la capa de pendientes. Posteriormente, todas las variables mencionadas se reclasificaron en cuatro clases utilizando el método de Jenks. El análisis de estas variables climáticas permitió determinar que: a) el 90% de la producción de caducifolios se enmarca en un rango de acumulación de 401 a 550 horas frío, b) el 46% del área es afectada por temperaturas críticas que van desde los $-6.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $-11.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, estas temperaturas dañan estados fenológicos de los frutales deciduos tales como pétalos visibles en melocotón y caída de pétalos, c) el área con mayor probabilidad de déficit hídrico se ubica hacia las llanuras al sur del valle de Totonicapán; esta zona se caracteriza por un déficit hídrico menor a 1 mm/día, el que puede acentuarse durante las épocas de canícula. Finalmente, las variables climáticas se integraron en una matriz de decisión, de donde se identificaron cuatro regiones climáticas de acuerdo las condiciones potenciales para el cultivo de frutales deciduos.

Palabras clave: horas frío, riesgo a heladas, déficit hídrico, altitud, pendiente.



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



ABSTRACT

The national producers of deciduous fruits face significant challenges due to the climatic requirements of these crops. For this reason, it is important to determine the best areas to produce deciduous fruits, which requires to consider diverse climatic variables. Therefore, this research aimed to identify the diverse homogeneous climatic zones in the Valley of Quetzaltenango and Totonicapán to produce these crops, considering the following variables: accumulation of chill hours, frost risk, water deficit, altitude and slope. The research data was obtained from 12 meteorological stations located in the region. The analysis of the geo-spatial data was performed using the free software ILWIS. The variables chill hours, frost risk and water deficit were prepared through interpolation of the measurements from the climatic stations, to this end, six interpolation methods were tested and the mean square error (MSE) was used to determine which one was the best. The altitude and slope variables were derived from the level curves produced by the National Geographic Institute. The level curves were interpolated to produce a digital elevation model (DEM), and the slope was computed from it. Later, all the variables were reclassified into four classes using the Jenks' method. The analysis of these climatic variables allowed to determine that: a) 90% of the deciduous crops get an amount that ranges between 401 and 550 of accumulated chill hours, b) 46% of the cultivated area suffer critical temperatures that ranges from -6.1 °C to -11.8 °C, these temperatures produce damage to the phenological states of the deciduous fruits, such as visible petals and petals falling in peach crops, c) the area with higher probability of water deficit is the prairie to the south of the valley of Totonicapán; this area is characterized by a water deficit lower than 1 mm/day, which can be more prominent during the drought season. Finally, the climatic variables were integrated into a decision matrix, and from it, four climatic regions were identified based on their potential to grow deciduous fruit crops.

Keywords: chill hours, frost risk, water deficit, altitude, slope.



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes del problema

La importancia económica del melocotón en Guatemala se centraliza principalmente en la zona del altiplano central y occidental. En la actualidad se cuenta con 1,080 hectáreas de melocotón distribuidas en doce departamentos del país, de donde el 85.42% de esta área corresponde a plantaciones con la variedad Salcajá. Debido a la creciente demanda tanto para consumo en fresco como para la industrialización, los productores nacionales se han visto obligados a buscar alternativas para propiciar óptimos rendimientos de las plantaciones ya establecidas (López M., 2007).

Desde hace más de tres décadas se surte el mercado nacional y se exporta hacia Centro América, no obstante, cada día los mercados se vuelven más exigentes en la calidad del producto y debido a las evidentes variaciones en las condiciones edafoclimáticas del área de producción, las plantaciones sufren retrasos en sus ciclos productivos ya que no logran cumplir con sus requerimientos en horas frío (González & Alvarado, 1999).

En Guatemala, los departamentos de Quetzaltenango y Chimaltenango, son los principales productores de la variedad Salcajá que hacen el 50% del área cultivada a nivel nacional. En cada ciclo productivo, se afronta una serie de problemas dentro de los que resaltan: el alto requerimiento de horas de frío de esta variedad (800 hf), las cuales no se alcanzan (Alvarado Q., 2001). Este factor influye considerablemente en los bajos rendimientos del cultivo, que para el valle de Quetzaltenango se reporta en un promedio de 12 tm/ha, alcanzándose para otros países, rendimientos superiores a las 45 tm/ha (Ruano Hernández, 2002).

En investigaciones realizadas para poder encontrar formas de suplir este requerimiento de horas frío, se ha determinado que la cianamida hidrogenada al ser aplicada en diferentes épocas de acuerdo a la acumulación de frío, incrementa el porcentaje de brotación de yemas, reduce el período de cosecha e incrementa el rendimiento, existiendo una reducción del período de flor a cosecha de 14 días cuando el árbol ha acumulado 400 horas frío. Esto demuestra que el aplicar la cianamida hidrogenada en cualquiera de las épocas evaluadas incrementa el rendimiento del cultivo, sin embargo, su alto costo y la alta toxicidad que representa durante su aplicación, ha reducido su uso de manera drástica (Ola Huitz, 2005).



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



1.2. Planteamiento del problema

Actualmente las zonas productoras de melocotón en el país, se ubican a altitudes entre los 1500 a 2300 msnm, encontrándose dispersas ya que no se centraliza en un área productiva. Quetzaltenango ocupa el primer puesto con alrededor de 400 hectáreas sembradas y en producción, seguido del departamento de Chimaltenango con 206 hectáreas (Escobar H., 2008). De acuerdo a López, M. (2007) el 90% de las plantaciones establecidas de melocotón son de la variedad Salcajá, la cual se limita a una cosecha por año (agosto y septiembre) con requerimiento de 800 horas frío y cuya etapa de floración a cosecha se extiende a 180 días, lo que exige mayor control de plagas, enfermedades y a los elementos del clima durante su ciclo de producción.

Con la variación climática en el país, y particularmente en el valle de Quetzaltenango, los productores se enfrentan a una serie de incertidumbres causadas por los elementos del clima. De acuerdo al análisis de datos climáticos que Alvarado Q., (2001) realiza durante 25 años de registro (del año 1976 a 2000), determina que existe una variabilidad anual en la acumulación de horas frío que va de 429 a 599 horas frío, estimadas por el método de Da Mota. Otro elemento climático es el riesgo a las heladas, que son las responsables hasta de la pérdida total de una cosecha. Determina que es a partir del 4 de mayo cuando existe el 95% de probabilidades de que ya no ocurra una helada de entre 0 °C a -1 °C. Por otro lado, determinó que existen períodos prolongados con déficit hídrico dentro de la época lluviosa que han alcanzado los 25 días, especialmente durante los meses de julio y agosto.

Actualmente en Guatemala, se cuenta con dos variedades de melocotón, Diamante y Salcajá, ambas se adaptan a las características edafo-climáticas que brinda el altiplano occidental y central de Guatemala, sin embargo, no existe una estratégica distribución de las plantaciones actuales, por lo que son susceptibles a daños por heladas, falta de agua y pocas horas frío (Escobar H., 2008).

Con la presente investigación se respondieron las siguientes preguntas de investigación ¿Cuáles son las diferentes zonas climáticas que pueden identificarse en el valle de Quetzaltenango para la producción de melocotón? Las preguntas secundarias que se formulan son: ¿Cuáles son las diferentes áreas homogéneas que pueden identificarse en el valle de Quetzaltenango en función a la acumulación de frío? ¿Cuáles son los espacios geográficos que tienen las mismas probabilidades de ocurrencia de heladas en el valle de Quetzaltenango? ¿Qué regiones pueden identificarse en base a la precipitación pluvial y al requerimiento hídrico del melocotón en el valle de Quetzaltenango?

1.3. Justificación del estudio

Los requerimientos climáticos del cultivo de melocotón, han puesto grandes desafíos a los productores nacionales de este cultivo. El determinar qué áreas son las más indicadas para establecer plantaciones de melocotón, requiere de una recopilación de diferentes variables climáticas, las cuales al entrecruzarlas pueden definir áreas homogéneas tales como: horas frío, áreas con menos riesgo a heladas e identificación de zonas con déficit hídrico. Por lo cual, al definir estas áreas, proporcionará al agricultor información valiosa para poder establecer nuevas variedades de melocotón e inclusive para otras especies de frutales deciduos, en función de la acumulación de frío, identificación de áreas con menos riesgo al efecto de las heladas y determinar los períodos de déficit hídrico para la aplicación de riego suplementario a la precipitación pluvial.

Ante tal situación, en una reunión efectuada entre personeros de IICA, ANAPDE-FRUTAGRU, CUNOC-USAC y el Dr. Salvador Pérez consultor para la cadena de melocotón, se determinó fundamental la realización de una regionalización, la cual sería base para la diversificación genética del melocotón ya que sin ello se estaría elevando el riesgo de fracaso en la diversificación en el valle de Quetzaltenango, en donde no solo se perdería dinero y tiempo, sino el valioso material genético que pueda importarse de otras partes.

La diversificación de las variedades del cultivo de melocotón y otras especies de frutales deciduos, traería consigo nuevas oportunidades de comercialización para los productores de la zona, ya que se estaría ampliando la ventana de cosecha, pues con la variedad Salcajá se limita la temporada de cosecha a solo dos meses (agosto y septiembre), lo que traería el mejoramiento de la rentabilidad del cultivo e introduciéndose a la dinámica de comercialización para mercados internacionales y el nacional. Una regionalización del territorio de Quetzaltenango, de acuerdo a las variables climáticas que el cultivo de melocotón requiere para su producción, ayudaría a optimizar los recursos naturales y genéticos con los que cuenta para la producción de este frutal.

En conclusión, el presente estudio es fundamental, ya que se busca potencializar la producción de melocotón mediante la clasificación de áreas con condiciones homogéneas específicas para determinar el establecimiento de variedades en función de estas variables climáticas, facilitando el manejo agronómico y buscando reducir al máximo las pérdidas ocasionadas por las variaciones ambientales y a las cuales las variedades Diamante y Salcajá no logran resistir en su totalidad. Como

resultado de este estudio deberían obtenerse mapas que permitan observar y clasificar las diferentes subregiones y con ello poder dictar que variedades se adaptarían con mayor facilidad a dichas condiciones medio ambientales, proporcionando al agricultor y productor de este frutal mejores alternativas para producir.

1.4. Hipótesis de investigación

Ho: Todo el valle de Quetzaltenango es una sola zona climática en función de las variables acumulación de frío, riesgo a heladas y déficit hídrico.

Ha: En el valle de Quetzaltenango pueden identificarse diferentes zonas climáticas en función de las variables acumulación de frío, riesgo a heladas y déficit hídrico.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Identificar las diferentes zonas climáticas homogéneas que se delimitan en el Valle de Quetzaltenango para la producción de frutales caducifolios.

1.5.2. Específicos

- a. Establecer diferentes áreas homogéneas en el área objeto de estudio en función a la acumulación de frío.
- b. Determinar espacios geográficos con las mismas probabilidades de ocurrencia de heladas en el área objeto de estudio.
- c. Identificar áreas homogéneas en base a la precipitación pluvial y al requerimiento hídrico de frutales caducifolios en el área objeto de estudio.



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



II. MARCO TEÓRICO

2.1. Frutales caducifolios, deciduos o de hoja caduca

Son árboles propios de regiones frías y templadas, aun 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 las mismas (Westwood, 2009).

2.2. Problemas de la Fruticultura de caducifolios en regiones subtropicales.

En regiones tropicales la ausencia del período de reposo y su rompimiento es el principal factor limitante, lo que provoca una constante pero disminuida 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 (Alvarado Q., 2001).

Durante el invierno, solamente se desprenden las hojas de mayor edad, persistiendo las más jóvenes, 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 se practica 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 controlar (Alvarado Q., 2001).

De acuerdo con Alvarado Q., (2001) 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.
- 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, fisiológicas e insectos lo que contribuye todavía más a restarles valor comercial (Alvarado Q., 2001).

2.3. El período de reposo en los frutales caducifolios

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. 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. 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 (Westwood, 2009).

2.4. 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 (Alvarado Q., 2001).

2.5. 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 (Calderon Alcazar, 1993). Para que el balance inhibidor-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 (Alvarado Q., 2001).

2.6. El valor del concepto de horas frío

Los requerimientos de frío se miden o se expresan comúnmente por el término “horas 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 al índice expresado, de gran duración, con un gran número de horas en esa situación (Calderon Alcazar, 1993).

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 (Calderon Alcazar, 1993).

2.6.1. 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 (Calderon Alcazar, 1993). 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 de frío se considera como la acumulación de frío que tiene lugar durante una hora en la que la temperatura es de 7.0 °C, sin embargo, se da igual valor a las temperaturas comprendidas entre los rangos citados (Alvarado Q., 2001) (ver cuadro 1).

Cuadro 1. VALOR DE LAS TEMPERATURAS PARA CÁLCULO DE UNIDADES FRÍO

TEMPERATURA	UNIDADES FRÍO
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 Alcaraz, 1993)



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



De acuerdo al modelo de Richardson, citado por Calderón (1993) 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.

2.6.2. Medida y cuantificación de horas frío

Las horas frío que en un lugar se presentan, se miden mediante el uso del termógrafo y actualmente a través de sensores digitales. 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 (Calderón Alcaraz, 1993).

Los principales procedimientos de cálculo de horas frío presentes en un lugar determinado son los siguientes:

2.6.2.1. 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 (Calderon Alcazar, 1993) (Diaz Montenegro, 1987).

La fórmula que se usa, es la siguiente:

$$H_f = 485.1 - 28.52X$$

Dónde: **H_f** = Cantidad mensual de horas frío.

X = 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 dará 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 (Calderon Alcazar, 1993).

2.6.2.2. 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 (Calderón Alcazar, 1993).

2.7. 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 agro meteorológico, se considera que se produce una helada cuando la temperatura ha disminuido lo suficiente, al punto tal, que produce daños en los órganos vegetales (Calderon Alcazar, 1993).

1. 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 (Calderon Alcazar, 1993).



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



2. 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 (Calderon Alcazar, 1993).

Estas heladas pueden presentarse en algunas zonas, mientras que en otras relativamente cercanas no ocurren y de allí su nombre de heladas locales. (Alvarado Q., 2001).

3. Heladas por evaporación.

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 (Alvarado Q., 2001).

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 (Alvarado Q., 2001).

2.7.1. 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 (Alvarado Q., 2001).

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 (Calderon Alcazar, 1993).

Dentro de los principales factores que tienen influencia en los daños de heladas se encuentran los siguientes (Alvarado Quiroa, 1999):

a. Especie y variedad del frutal.

En forma general, puede decirse que los frutales de hueso son más susceptibles que los frutales de pepita, al daño de heladas, en este orden: almendro, albaricoque, ciruelo, melocotón 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 °C a -8 °C. Las temperaturas críticas (TC) en las cuales se inicia el daño, se presentan en la **figura 1** (Westwood, 2009).

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 (Westwood, 2009).

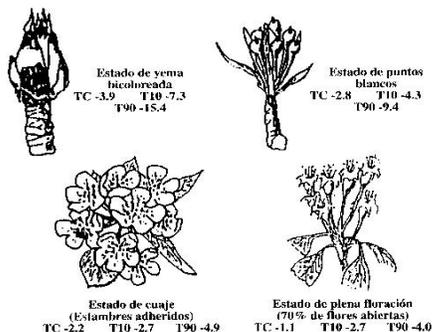


Fig. 1 A. TC PARA PERA

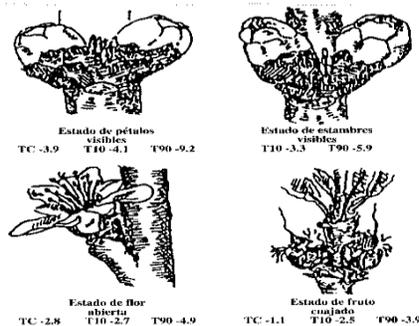


Fig. 1 B. TC PARA MELOCOTÓN

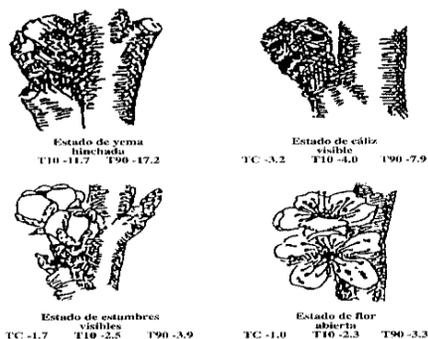


Fig. 1 C. TC PARA CIRUELO

Fuente: Westwood, (2009).

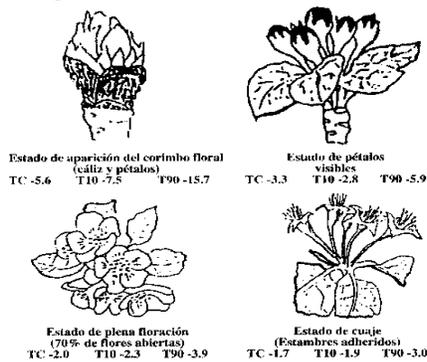


Fig. 1 D. TC PARA MANZANA

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

2.8. 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 (Calderón Alcaraz, 1993).

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 (Calderón Alcaraz, 1993).

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 (Castro Loarca, 1996).

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 (Torres Ruiz, 1997).

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 (Castro Loarca, 1996):

- **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: 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 (Castro Loarca, 1996).

2.9. Regionalización

Es una metodología, un procedimiento o una intervención para modificar el orden territorial de una zona en unidades territoriales más pequeñas. La regionalización implica la división de un territorio en áreas menores con características comunes y representa una herramienta metodológica básica en la planeación ambiental y agrícola, pues permite el conocimiento de los recursos para su manejo adecuado. La importancia de regionalización es de tipo ambiental estriba en que se consideran análisis basados en ecosistemas, cuyo objetivo principal es incluir toda la heterogeneidad ecológica que prevalece dentro de un determinado espacio geográfico para, así, proteger hábitats y áreas con funciones ecológicas vitales para la biodiversidad, las cuales no hubiesen sido consideradas con otro tipo de análisis (Carter Saavedra, 2009).

2.10. Geoestadística

Subdivisión de la geografía matemática que se centra en los conjuntos de datos de la superficie terrestre, conocidos también como datos espaciales o espacio-temporales. Inicialmente se desarrolló para predecir las distribuciones de la probabilidad de las leyes de mineral para las operaciones mineras, se aplica en la actualidad en diversas disciplinas geográficas como la hidrología, la ecología del paisaje, la pedología, la climatología, entre otras. Así mismo, está siendo aplicada en la agricultura moderna, especialmente en la agricultura de precisión, la cual busca la optimización de los recursos naturales y económicos (Giraldo Henao).



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



2.11. Sistema de información geográfica (SIG)

La utilización de un SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) la cual se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De tal forma, se pueden conocer sus atributos mediante la señalización del objeto dentro del mapa, y a su vez su localización cartográfica. Para la gestión de información espacial, es útil la realización de mapas por medio de SIG. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y poniendo a la disponibilidad la capacidad de utilizar dicha información para análisis de otras variables (Andalucía, 2010).

2.12. Interpolación de datos

Es un procedimiento que predice valores numéricos de los atributos en sitios donde no se ha realizado muestreo desde mediciones hechas en localizaciones puntuales de la misma área. Es importante comprender que la interpolación no es lo mismo que la extrapolación, ya que el primero es convertir datos puntuales a campos continuos (Alvarado Q., 2001).

2.13. Modelo digital del terreno (MDT)

Es el conjunto de capas (generalmente raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Aunque algunas definiciones incluyen dentro de los MDT prácticamente cualquier variable cuantitativa regionalizada, aquí se prefiere limitar el MDT al conjunto de capas derivadas del MDE (Felicísimo, 1994).

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Método de investigación

Por el enfoque teórico metodológico, esta investigación se tipifica como cuantitativa no experimental, transversal, retrospectiva, relacional causal.

3.2. Contexto espacial y temporal

La investigación se llevó a cabo en los municipios de: Quetzaltenango, La Esperanza, Salcajá y Cantel del departamento de Quetzaltenango, San Cristóbal Totonicapán, parte sur del municipio de Totonicapán, y la parte sur del municipio de San Francisco el Alto, del departamento de Totonicapán.

La información climática para la realización de la presente investigación, fue tomada de dos estaciones meteorológicas del INSIVUMEH, cuatro estaciones meteorológicas de ANACAFE, tres estaciones administradas por el Centro Universitario de Occidente y la estación meteorológica ubicada en las instalaciones de FRUTAGRU, San Cristóbal, Totonicapán. Para la validación de los modelos se utilizó la información climática de las dos estaciones meteorológicas adquiridas con recursos del programa CRIA, ubicada una en el campus del CUNOC y la otra en la entrada a la cabecera municipal de Cantel (**ver figura 2**).

Se gestionó la descarga de los datos climáticos de tres estaciones administradas por el Centro Universitario de Occidente, a través del departamento de Informática de dicho centro, quien facilitó los datos horarios en formato *.RAR*. Así mismo para la descarga de los datos de las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH, se descargaron a través de su página oficial *INSIVUMEH.GOB.GT*, en su apartado *RED HIDROMET*. En el caso de las cuatro estaciones de ANACAFE, se descargaron los datos a través de su página oficial *ANACAFE.ORG*. Finalmente se visitaron las oficinas centrales de FRUTAGRU, en San Cristóbal Totonicapán quienes proporcionaron los datos de la estación meteorológica que ellos administran.



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria

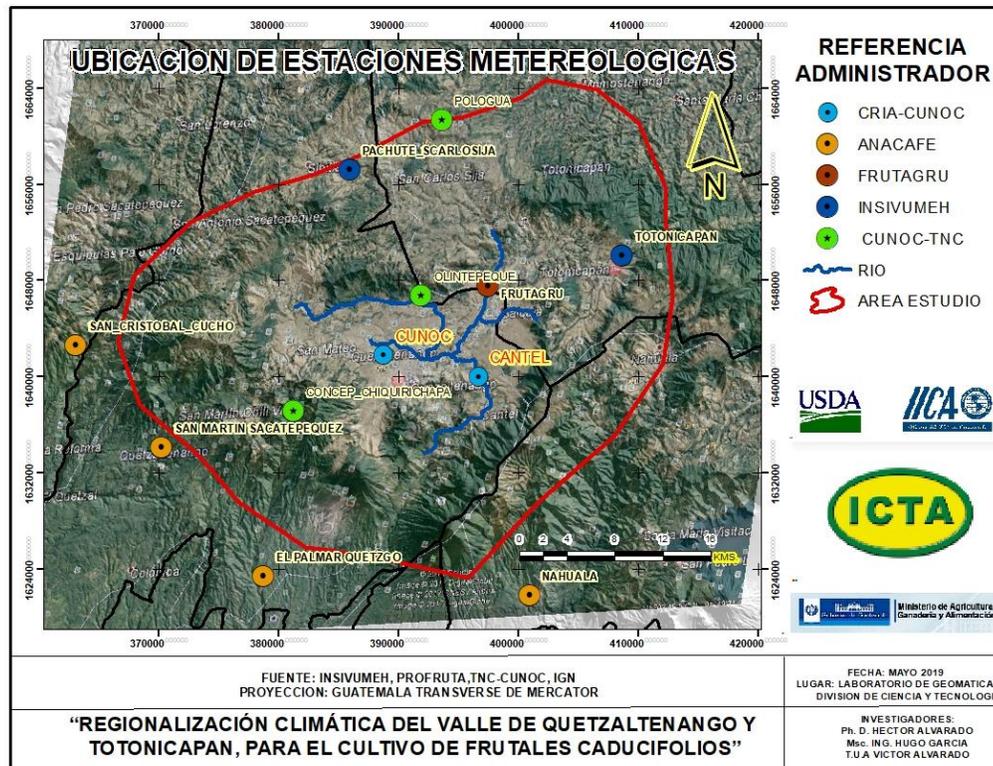


FIGURA 2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE DONDE SE OBTUVIERON LOS DATOS CLIMÁTICOS.

Dicha información climática se recabó a partir del mes de noviembre del año 2012 al mes de febrero de 2019. La realización del proyecto tuvo una duración de quince meses, tiempo durante el cual se efectuaron las fases de gabinete inicial, fase de campo y gabinete final, iniciando en septiembre de 2017 y finalizando en junio del año 2019. Los softwares SIG que se utilizaron para desarrollar la metodología espacio-temporal, fueron *ILWIS 3.3* y *ArcGis*. Para el análisis estadístico se complementó con el software *Microsoft Excel*.

3.3. Variables de la investigación

3.3.1. Horas frío (hf)

- Definición conceptual:

Es la acumulación de frío por los frutales caducifolios, por debajo de 7 °C, siendo cada hora frío una hora por debajo de esa temperatura. La suma de todas ellas permite salir del reposo invernal al frutal, teniendo cada especie y variedad sus necesidades específicas (Calderón Alcaraz, 1993).

- Definición operacional:

En este aspecto se descargaron los datos históricos de seis años provenientes de estaciones meteorológicas indicadas y la información climática de las estaciones ubicadas en el CUNOC y Cantel de octubre 2018 a marzo 2019. Estas estaciones cuentan con registros mínimos horarios, por lo que, por cada estación, en hojas de *Excel*, se cuantificaron las horas que se encuentran con temperaturas menores a 7 °C. Este procedimiento se realizó para cada año en la temporalidad propuesta, para obtener la media del período de estudio.

Al obtener las horas cuantificadas por estación, se procedió a generar un “*shape*” de entidad tipo punto, con un sistema de referencia GTM (Guatemala Transverse de Mercator). Este “*shape*” se procedió a georeferenciar, de acuerdo a la información brindada por las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH, ANACAFE, así como por la información brindada por las estaciones del CUNOC y ANAPDE (**ver figura 3**).

Luego se procedió a crear un campo de dominio “*value*”, para ingresar los valores de horas frío acumuladas.

Utilizando el programa de “*Ilwis 3.3*” se procedió a utilizar la herramienta “*interpolation*”, en donde los datos de las horas frío de las 10 estaciones meteorológicas se interpolaron a través de seis métodos (*Nearest Point, Moving average inverse distance, Moving average linear decrease, Trend Surface, Moving Average, Kriging*), con lo cual se obtuvieron seis “*layers*” tipo “*raster*” (**Ver figura 4**).

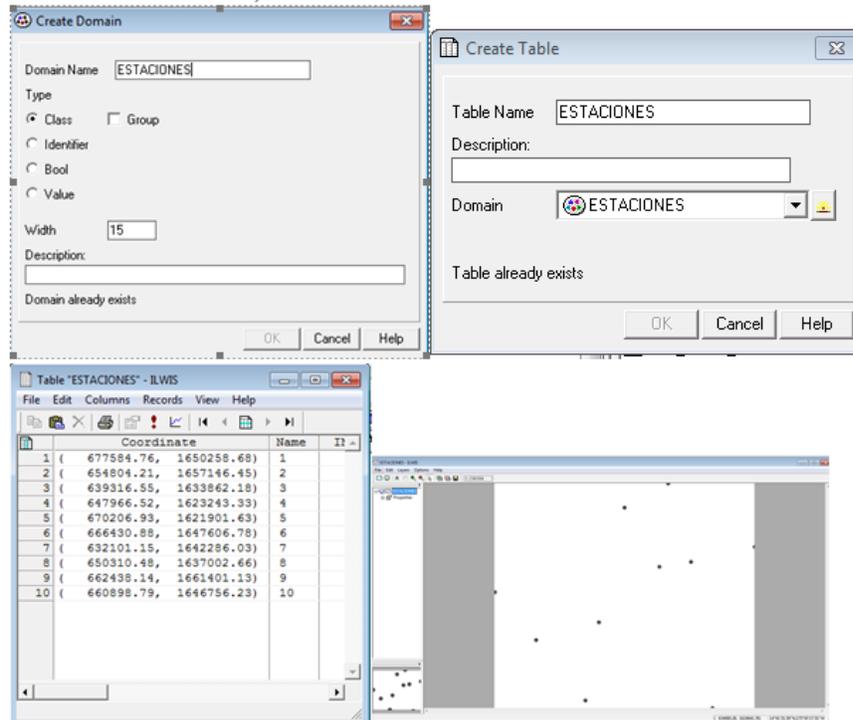


FIGURA 3. PROCEDIMIENTO PARA GENERAR EL SHAPE PARA DETERMINAR LAS REGIONES CON SIMILAR ACUMULACIÓN DE HORAS FRÍO

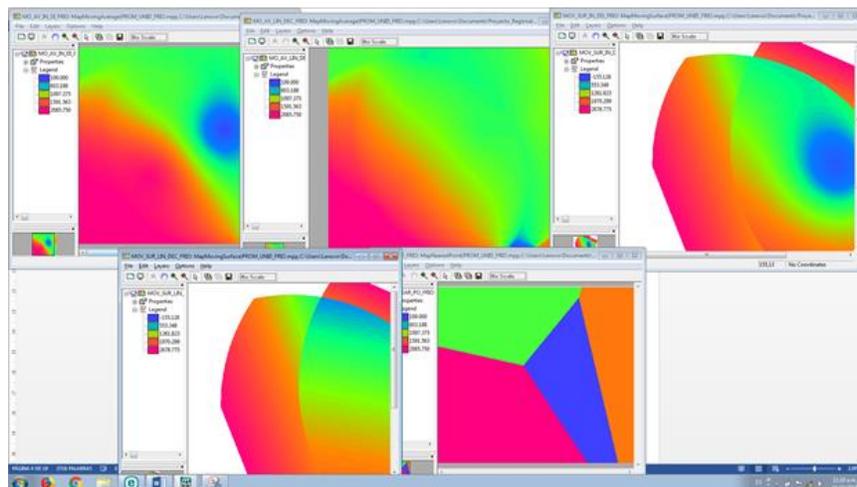


FIGURA 4. PROCEDIMIENTO DE INTERPOLACIÓN DE DATOS PARA OBTENER LAS ÁREAS DE ACUMULACIÓN DE HORAS FRÍO



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



- **Evaluación de las interpolaciones a través del factor de bondad de ajuste:**

Para determinar que capa “*raster*” interpolada era la que mejor se ajustaba para el análisis de horas frío, se procedió a ejecutar el comando interno de “*Ilwis mapvalue (map, coordinate)*”, el cual tiene la función de devolver el valor, la clase y/o el identificador de un mapa basado en la certeza de las coordenadas X,Y de algún punto. Es decir, se extrajo el valor de horas frío de la capa interpolada, para compararlo con el dato real de la estación meteorológica, de esta manera se calculó el error medio cuadrático de cada método de interpolación, determinando que el método “*Moving Average Inverse Distance*” presentó el menor error, siendo este de **0.05**.

- **Clasificación de horas frío:**

Para determinar las clases o rangos de horas frío, se procedió a aplicar el método de clasificación por quiebres naturales (*jenks*), el cual se sustentó en las agrupaciones naturales inherentes de los datos. En este caso los cortes de clases se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. En este sentido se establecieron las siguientes clases para la variable horas frío (**Ver cuadro 2**):

Cuadro 2. CLASES PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA VARIABLE HORAS FRÍO

Clase	Valor de horas frío	Color interpretativo
1	600 a 703	
2	550 a 599	
3	500 a 549	
4	450 a 499	

3.3.2. Riesgo a heladas

- Definición conceptual:

Helada es el descenso de la temperatura hasta un punto tal que produce daño a los órganos vegetales. El riesgo a heladas, es aquel período dentro del año calendario, en el cual existen probabilidades de que ocurra una helada agrometeorológica que ocasione un daño económico al cultivo (Alvarado Q., 2001).



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



- Definición operacional:

En el caso del riesgo de heladas, con los mismos registros descargados de temperatura se evaluaron en una hoja de *Excel*, aquellas horas que cumplían con los parámetros enmarcados en el apartado 2.9.1 inciso b (estado fisiológico del cultivo y de los diferentes órganos). Este procedimiento se realizó cada año en la temporalidad propuesta, para luego sumar las horas críticas de los años y dividirla seguidamente entre el total de años planteados y así obtener una media del período de estudio.

Seguidamente se procedió a crear un nuevo campo en el “*shape*” organizado en la variable de horas frío, este campo es de dominio “*doublé*”, pues se necesitó ingresar los datos acumulados de temperaturas críticas.

Ya con los datos en la tabla de atributos del “*shape*” se procedió a interpolar por los seis métodos propuestos para las horas frío (**ver figura 5**).

- **Evaluación de las interpolaciones a través del factor de bondad de ajuste:**

Para determinar que capa “*raster*” interpolada era la que mejor se ajusta para el análisis de riesgo a heladas, se procedió a ejecutar el comando interno de “*!wis mapvalue (map, coordinate)*”, el cual tiene la función de devolver el valor, la clase o el identificador de un mapa basado en la certeza de las coordenadas X,Y de algún punto.

Es decir, se extrajo el valor de temperaturas críticas de la capa interpolada, para compararlo con el dato real de la estación meteorológica, de esta manera se calculó el error medio cuadrático de cada método de interpolación, determinando que el método “*Moving Average Inverse Distance*” presentó el menor error, siendo este de **0.07**



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria

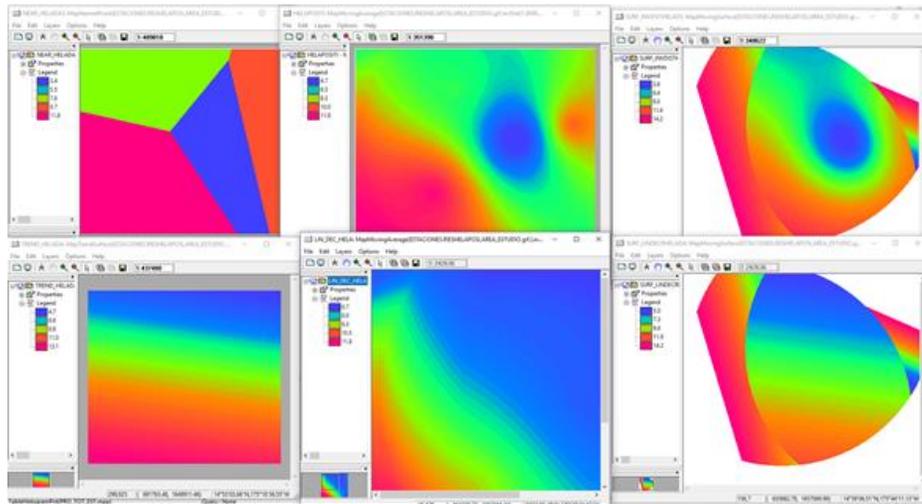


FIGURA 5. PROCEDIMIENTO DE INTERPOLACIÓN DE DATOS PARA OBTENER LAS ÁREAS CON RIESGO A HELADAS

- **Clasificación de riesgo a heladas:**

Para determinar las clases o rangos de riesgo a heladas, se procedió a aplicar el método de clasificación por quiebres naturales (*jenks*), ya que se basa en las agrupaciones naturales inherentes de los datos. En este caso los cortes de clases se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. En este sentido se establecieron las siguientes clases para temperaturas que producen un riesgo a heladas (**Ver cuadro 3**):

Cuadro 3. CLASES PARA LA CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PARA LA VARIABLE RIESGO A HELADAS

Clase	Valor temperaturas	Color interpretativo
1	> -1 °C	Blue
2	-1.1 °C a -3.0 °C	Green
3	-3.1 °C a -6 °C	Yellow
4	< a -6 °C	Red

3.3.3. Déficit hídrico

- Definición conceptual:

Puede conceptualizarse como la diferencia entre la precipitación (pp) y la evapotranspiración real (ETR) y cuando esta diferencia es negativa, ocurre una falta o escasez de agua al cultivo (Castro Loarca, 1996).

- Definición operacional:

De acuerdo a los datos de precipitación pluvial descargados de las estaciones meteorológicas indicadas, se determinó la cantidad de lluvia acumulada por día, para luego totalizar el acumulado anual de precipitación en una hoja de *Excel*. De la misma manera en otra hoja de *Excel* se procedió a calcular la evapotranspiración real del cultivo esto a través de las siguientes fórmulas:

$$ETR = ETP \times Kc,$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real

Kc. = Coeficiente del cultivo

La evapotranspiración potencial fue calculada por el método de Hargreaves (Hargreaves & Allen, 2003), para lo cual determinamos la temperatura media diaria, lo cual se hizo sumando la temperatura horaria por día para luego dividirla entre 24 horas.

$$ET_0 = 0.0135(t_{med} + 17.78) R_s$$

Donde:

ET_0 = Evapotranspiración potencial diaria en mm/día

t_{med} = Temperatura media en °C

R_s = Radiación solar incidente convertida en mm/día

Para el cálculo del factor de R_s se estimó a través de Allen et. al. 1998, citado por Castro Loarca, 1996 (ver **cuadro 4**). Como Guatemala se encuentra en Latitud 15° Norte, por lo cual, para cada mes, se procedió a interpolar los valores de Latitud 14° y 16°, de donde dichos valores se ingresaron a la fórmula para poder estimar la evapotranspiración potencial diaria.

Para el Kc del cultivo se determinó mensualmente por referencia al **cuadro 5** de la FAO (Steduto, Hsiao, Fereres, & Raes, 2012), sobre Kc, para frutales deciduos. Al obtener tanto el coeficiente de cultivo Kc y la evapotranspiración se procedió a utilizar la fórmula de $ETR=ETP \cdot Kc$. De esta forma se obtuvo la evapotranspiración diaria, y de ésta la acumulación anual, durante el período de estudio establecido.

Cuadro 4. RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE EN mm/día

Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) (Original en MJ·m⁻²·día⁻¹; 1 mm/día = 2.45 MJ·m⁻²·día⁻¹)

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Fuente: Allen et. al. 1998, citado por Castro Loarca, 1996

Cuadro 5. VALOR DE KC PARA FRUTALES CADUCIFOLIOS DE ACUERDO A LA ETAPA FENOLOGICA Y MES DEL AÑO

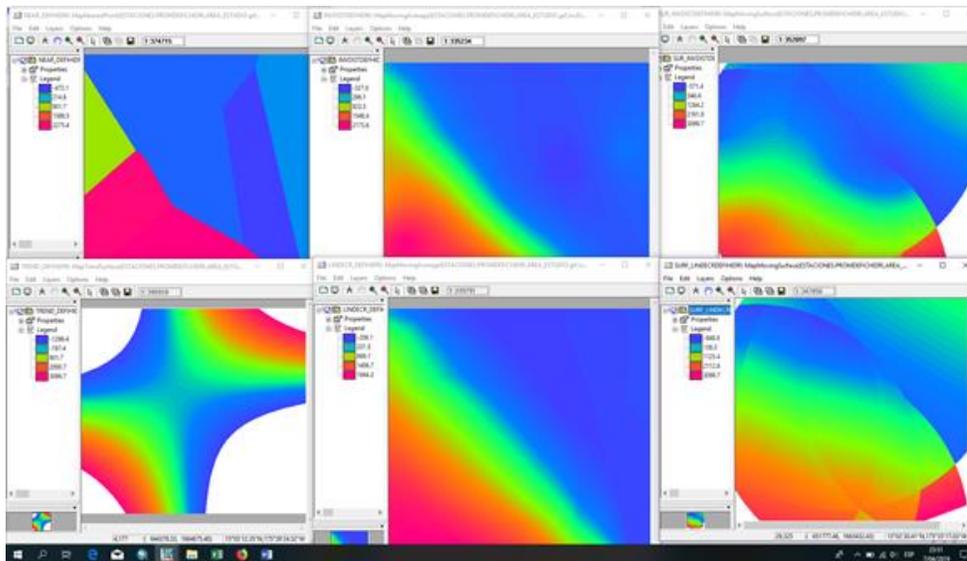
ETAPA FENOLOGICA PROBABLE ²	MES	Kc
1. DORMANCIA - YEMA HINCHADA	ENERO	0.20
2. PUNTA VERDE - PUNTA ROSADA	FEBRERO	0.25
3. PUNTA ROSADA – INICIO FLORACION	MARZO	0.38
4. FLORACION – CAIDA DE PETALOS	ABRIL	0.65
5. CRECIMIENTO FRUTO ETAPA I (Cuajado fruto)	MAYO	0.85
6. CRECIMIENTO FRUTO ETAPA II	JUNIO	0.95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

En una hoja de *Excel*, se procedió a restar los datos de evapotranspiración real de la precipitación pluvial, lo cual dio como resultado los valores de déficit hídrico diario para obtener el déficit anual y con ello estimar una media de déficit hídrico para los años de estudio. Los valores negativos significan déficit hídrico. Utilizando el “*shape*” generado anteriormente, se procedió a crear un campo de dominio “*double*” en donde se ingresaron los datos promedio de déficit hídrico por estación meteorológica. En el programa “*Ilwis 3.3*” se interpolaron a través de los seis métodos propuestos (ver figura 6).

- Evaluación de las interpolaciones a través del factor de bondad de ajuste:**
 Para determinar que capa “*raster*” interpolada era la más adecuada para el análisis de déficit hídrico, se procedió a ejecutar el comando interno de “*Ilwis mapvalue (map, coordinate)*”, el cual tiene la función de devolver el valor, la clase de identificador de un mapa basado en la certeza de las coordenadas X, Y de algún punto. Es decir, se extrajo el valor déficit hídrico de la capa interpolada, para compararlo con el dato real de la estación meteorológica, de esta manera se calculó el error medio cuadrático de cada método de interpolación, determinando que el método “*Moving Average Inverse Distance*” presente el menor error, siendo este de **0.04**



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 6. PROCEDIMIENTO DE INTERPOLACIÓN DE DATOS PARA OBTENER LAS ÁREAS CON DÉFICIT HÍDRICO



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



• **Clasificación del déficit hídrico:**

Para determinar las clases o rangos a déficit hídrico, se procedió a aplicar el método de clasificación por quiebres naturales (*jenks*), ya que el mismo se sustenta en las agrupaciones naturales inherentes de los datos. En este caso los cortes de clases se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. En este sentido se establecieron las siguientes clases para la variable déficit hídrico (**Ver cuadro 6**):

Cuadro 6. CLASES PARA LA CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PARA LA VARIABLE DÉFICIT HÍDRICO

Clase	Valor pp – ETR	Color interpretativo
1	> a 1600 mm/añual	Blue
2	801 a 1600 mm/añual	Green
3	2 a 800 mm/añual.	Yellow
4	< a 1 mm/añual	Red

3.3.4. Altitud (msnm)

• **Definición conceptual:**

Es la distancia vertical de un punto de la superficie terrestre respecto al nivel medio del mar.

• **Definición operacional:**

Para obtener la altitud se procedió a utilizar el modelo de elevación digital de Guatemala, el cual se recortó al área de estudio, por medio del comando “*ifnotunder*”, con lo cual se obtuvieron los límites máximo y mínimo de altitud, para luego segmentar este rango en regiones, asignándoles pesos de influencia, de acuerdo a la regionalización predefinida (**ver figura 7**).

• **Clasificación de altitud:**

Para determinar las clases o rangos de altitud, se procedió a aplicar el método de clasificación por quiebres naturales (*jenks*), ya que se sustenta en las agrupaciones naturales inherentes de los datos. En este caso los cortes de clases se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Se establecieron las siguientes clases para la variable altitud (**Ver cuadro 7**):



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



Cuadro 7. CLASES PARA LA CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PARA LA VARIABLE PISOS ALTITUDINALES

Clase	Valor	Color interpretativo
1	1800 a 2100 msnm	Blue
2	2101 a 2400 msnm	Green
3	2401 a 2700 msnm	Yellow
4	>2700 msnm	Red

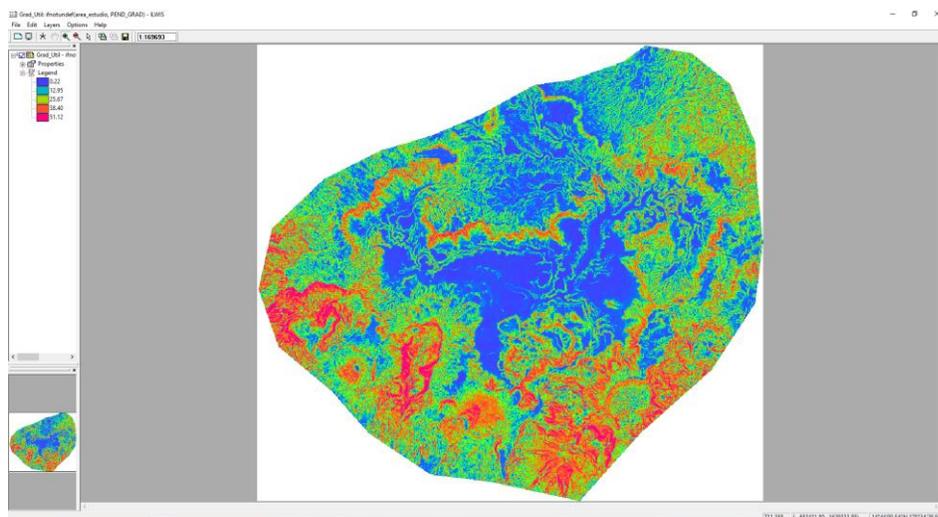


FIGURA 7. MODELO DE ELEVACION DIGITAL, PARA OBTENER LAS AREAS HOMOGENEAS EN ALTITUD

3.3.5. Pendiente

- Definición conceptual:

Se define como el grado de inclinación del terreno.

- Definición operacional:

Para la determinación de esta variable, se utilizó como base el mapa de altitud concerniente al área de estudio. Con el software "Iswis 3.3", se aplicó un filtro lineal en X (primera derivada en X) y un filtro lineal en Y (primera derivada en Y), obteniendo así la pendiente en porcentaje a través de la siguiente fórmula, la cual se ejecutó en la línea de comando de "Iswis":

$$SLOPEPCT = 100 * HYP(DX, DY) / PIXSIZE(DEM)$$

De donde:

HYP es un cálculo interno por el programa

Dx y Dy, corresponden a los filtros lineares X e Y

PIXSIZE(DEM) corresponde al tamaño de pixel referente al tamaño de pixel del modelo de elevación digital

- **Clasificación de la pendiente en porcentaje:**

Para determinar las clases o rangos de la pendiente en grados, se procedió a aplicar el método de clasificación por quiebres naturales (*jenks*), ya que se sustenta en las agrupaciones naturales inherentes de los datos. En este caso los cortes de clases se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. En este sentido se establecieron las siguientes clases para los valores de pendiente (**Ver cuadro 8**):

Cuadro 8. CLASES PARA LA CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PARA LA VARIABLE PENDIENTE

Clase	Valor pendiente en %	Color interpretativo
1	50 a 80	Blue
2	30 a 50	Green
3	10 a 30	Yellow
4	0 a 10 y > 80	Red



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Regiones con rangos similares de acumulación de horas frío

De acuerdo al análisis de los datos de temperatura proporcionado por las estaciones meteorológicas, se estimaron las horas frío acumuladas por estación a través del método Da Mota. Al realizar la interpolación de las mismas, se determinaron los siguientes datos estadísticos (**ver cuadro 9**):

Cuadro 9. DATOS ESTADÍSTICOS DE LA VARIABLE HORAS FRÍO EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN

Horas frío mínimas registradas	457
Horas frío máximas registradas	703
Horas frío promedio	580.3
Desviación estándar	71.2

Al analizar estos resultados, podemos inferir a través de la desviación estándar de los datos de horas frío (la cual es de 71.2), una alta heterogeneidad en la acumulación de las mismas en el área de estudio, pues como podemos encontrar regiones con una acumulación de 457 horas frío y regiones que pueden acumular hasta las 703 horas frío. Esta información varía con la establecida por Alvarado Q., (2001), quien determinó que el promedio de horas frío histórico de 25 años de registro (1975 a 2000), para el Valle de Quetzaltenango es de 518 horas, con un rango de 419 a 594. Esta variación se debe a que la estimación realizada por Alvarado Q., (2001) son únicamente con datos de la estación ubicada en la Labor Ovalle y el presente estudio abarco áreas con mayor altitud.

Estos datos también demuestran la influencia que tiene la orografía sobre la acumulación de horas frío, pues como sabemos, él área de producción de caducifolios se da en terrenos con una topografía ondulada a escarpada.

Geoespacialmente a continuación se presenta el siguiente mapa (**figura 8**), en donde se muestra el comportamiento de la acumulación de horas frío y su relación con las unidades de producción en el área de estudio.

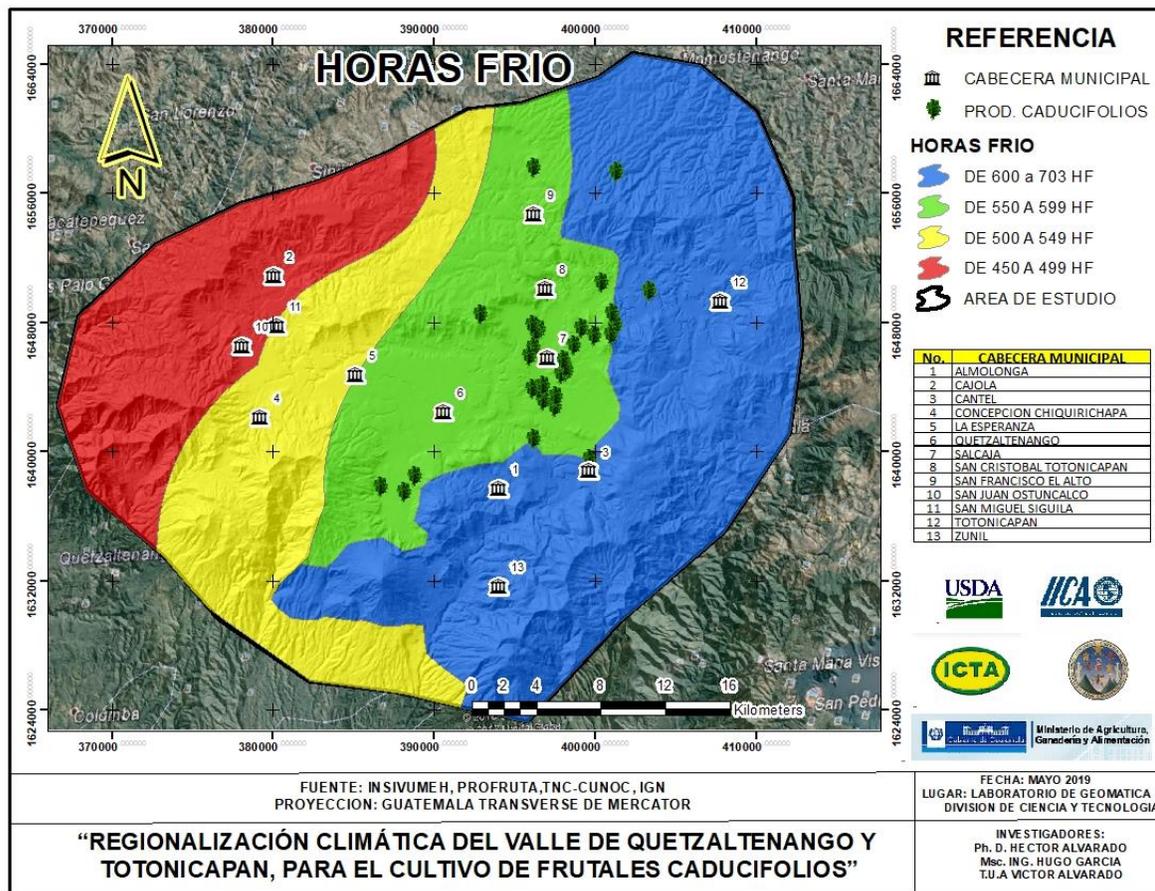


FIGURA 8. REGIONES CON RANGOS SIMILARES DE ACUMULACIÓN DE HORAS FRÍO EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN

En el mapa se evidencia que el 90% de la producción de caducifolios se enmarca en un rango de acumulación de horas frío de 550 a 599 horas frío (región con color verde), la cual representa una extensión de 27804 ha, es decir el 21.4% del área total del estudio. Cabe recordar que el 80% de las plantaciones de melocotón establecidas en esta región son de la variedad Salcajá, la cual tiene un requerimiento de 800 horas frío, por lo que existe un déficit en la acumulación de horas frío, lo cual repercute directamente en la calidad y producción de los frutos y en la vida productiva de la plantación.

La región marcada con el color azul, con una acumulación de 600 a 703 horas frío, abarca un área de 54,931ha (42.2%), mientras que la región con acopio entre las 500 a 549 horas frío (color amarillo en el mapa), ocupa un área de 22,158 ha, equivalente al 19.3%. Esta última región debe considerarse como potencial para la plantación de especies y variedades de frutales caducifolios con bajo requerimiento de frío. La otra zona de color rojo en el mapa, en la que la acumulación de horas frío es menor a las 500 horas (450 a 499 horas frío), representa el 17.1% del área en estudio.



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



Este mapa puede brindar una orientación al fruticultor sobre donde establecer sus plantaciones de frutales caducifolios en función del requerimiento de horas frío de los cultivares y variedades.

4.2. Regiones con rangos similares de temperaturas críticas al riesgo por heladas en el valle de Quetzaltenango y Totonicapán

Al observar los datos estadísticos del comportamiento de las temperaturas que producen heladas agro meteorológicas en el área de estudio (**ver cuadro 10**), se puede apreciar que existe poca variabilidad entre las regiones establecidas. Se determinaron temperaturas críticas entre los $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $-11.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, es decir que el área tiende a presentar temperaturas extremas de forma uniforme en el área de investigación.

Cuadro 10. DATOS ESTADÍSTICOS DE LA VARIABLE RIESGO A HELADAS EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN

Temperatura crítica mínima registrada	$-11.8\text{ }^{\circ}\text{C}$
Temperatura crítica máxima registrada	$-3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$
Temperatura crítica promedio registrada	$-7.6\text{ }^{\circ}\text{C}$
Desviación standard	2.5

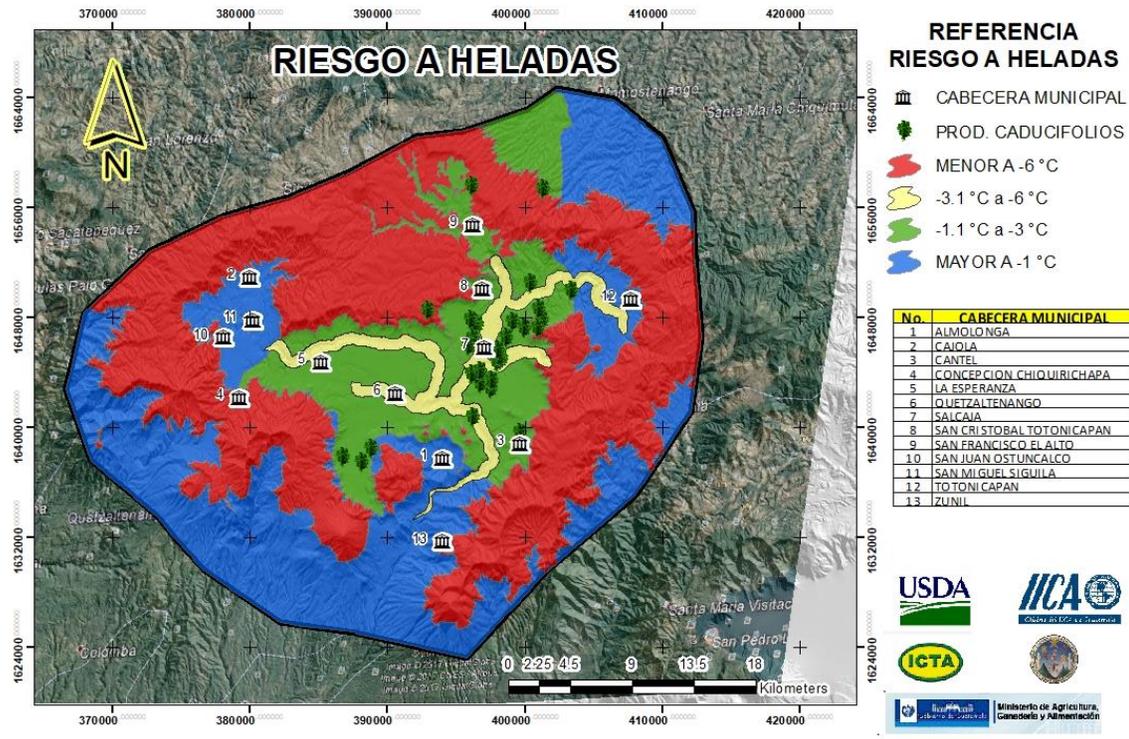
De acuerdo con Westwood (2009), las etapas fenológicas de los frutales deciduos, con mayor susceptibilidad al daño por heladas, ocurren en los estados de pétalos visibles y cuajado de fruta, siendo ésta última la etapa más susceptible. Un ejemplo de este caso es el cerezo, que es uno de los cultivos con mayor susceptibilidad, ya que a temperaturas de $-2.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ con exposición por una hora o más, provoca la muerte del 10% de la fruta recién cuajada (TC10). Para el caso del melocotón la temperatura crítica ocurre en el cuajado de fruta y es de $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En el siguiente mapa (**figura 9**) podremos observar la ubicación geográfica de las unidades de producción de frutales caducifolios y su relación con el riesgo a heladas.



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



FUENTE: INSIVUMEH, PROFRUTA, TNC-CUNOC, IGN
PROYECCION: GUATEMALA TRANSVERSE DE MERCATOR

FECHA: MAYO 2019
LUGAR: LABORATORIO DE GEOMATICA
DIVISION DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

“REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DEL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN, PARA EL CULTIVO DE FRUTALES CADUCIFOLIOS”

INVESTIGADORES:
PH. D. HÉCTOR ALVARADO
Msc. ING. HUGO GARCIA
T.U.A VICTOR ALVARADO

FIGURA 9. REGIONES CON RANGOS SIMILARES DE TEMPERATURAS CRÍTICAS AL RIESGO POR HELADAS EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN

Al analizar geoespacialmente el mapa, se infiere que el valle de Quetzaltenango se ve afectado por temperaturas críticas que pueden provocar daños severos a las plantaciones como consecuencia de la presencia de heladas. En las zonas demarcadas con color rojo pueden registrarse temperaturas que van desde los -6.1 °C hasta los -11.8 °C. Estas temperaturas afectan estados fenológicos de los frutales deciduos como pétalos visibles en melocotón, donde el TC90 es de -9.2 °C.

Esta área abarca una extensión de 60,555 ha, es decir el 46.5% de la extensión total. También se puede apreciar que la mayoría de unidades de producción de frutales caducifolios, especialmente melocotón, se encuentran en dos zonas: las zonas demarcadas con el color amarillo, con un área de 5821 ha (4.5%), que coinciden con la ribera del río Samalá, donde se pueden registrar temperaturas críticas entre -3.1 °C y -6.0 °C. La otra zona es la demarcada con color verde con rangos de temperaturas entre -1.1 °C a -3.0 °C, que es la menos afecta por la presencia de heladas, la que ocupa una extensión de 21,094 ha, es decir el 16.2%.



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



Como referencia para la toma de decisiones en el momento de establecer plantaciones de melocotón, se puede indicar que la TC10 para el melocotón en el estado fisiológico de flor abierta es de $-2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y para cuajado de fruto de $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para el caso de la ciruela que es aún más susceptible, la TC10 para los mismos estados fisiológicos es de -2.5 y $-2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

4.3. Regiones con rangos similares de déficit hídrico en el valle de Quetzaltenango y Totonicapán

Como el déficit hídrico es la diferencia entre la precipitación pluvial (pp) y la evapotranspiración real (ETR) y cuando esta diferencia es negativa, ocurre una falta o escasez de agua al cultivo (Castro Loarca, 1996). Las etapas fenológicas de los frutales caducifolios con mayor requerimiento de agua de acuerdo a su coeficiente (K_c), son caída de pétalos y cuajado de fruto (la que para el caso de melocotón Salcajá, ocurre durante los meses de abril y mayo) y la etapa de crecimiento de fruto (donde el K_c es el más alto), ocurre para el caso de melocotón Salcajá durante los meses de junio y julio.

En el siguiente cuadro (11) se observan los datos estadísticos estimados del déficit hídrico, de donde resalta la gran variabilidad que se da en el área de estudio, ya que se registran áreas con un alto déficit hídrico (-471 mm) y áreas con una alta precipitación pluvial la cual supera el requerimiento hídrico del cultivo determinado a través de la evapotranspiración real (2101 mm).

También se presenta en el mapa (FIGURA 10) la relación entre la ubicación de las unidades de producción de frutales caducifolios (particularmente el melocotón) en la zona de estudio y las diferentes regiones identificadas en función al déficit hídrico, en la que se diferencian cuatro regiones.

Cuadro 11. DATOS ESTADÍSTICOS DE LA VARIABLE DÉFICIT HÍDRICO EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN

Déficit hídrico máximo	-471.8 mm
Déficit hídrico mínimo (valor positivo)	2101.2 mm
Promedio (valor positivo)	822 mm
Desviación standard	735

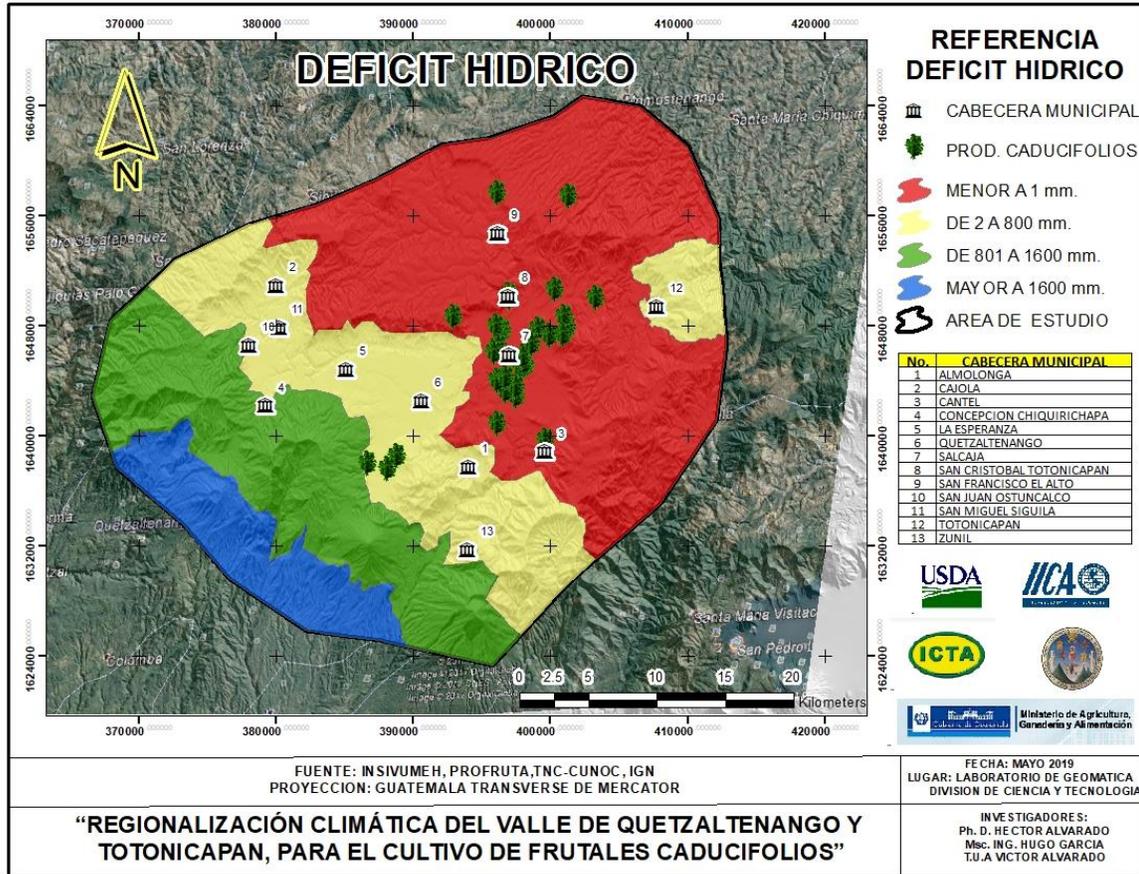


FIGURA 10. REGIONES CON RANGOS SIMILARES DE DÉFICIT HÍDRICO EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN

Como se puede apreciar en este mapa, la mayoría de unidades de producción se encuentra situadas en áreas con déficit hídrico (zona con color rojo en el mapa), es decir que la evapotranspiración real supera en la mayoría de los casos a la precipitación pluvial, por lo cual necesariamente las plantaciones de frutales deberían recibir agua suplementaria a través del riego. Este déficit afecta grandemente en la producción, tanto en cantidad como calidad del fruto, si no se tomaran las medidas necesarias.

Cabe recordar que el presente estudio no determina como ocurre la distribución de la precipitación pluvial a lo largo del año (régimen hídrico), en donde los períodos de canícula pueden afectar más drásticamente la deficiencia de agua en los cultivos. En este sentido Alvarado Q., (2001), determinó en su estudio que históricamente han ocurrido canículas bastante prolongadas desde la tercera semana de julio a la cuarta semana de agosto. También determinó que han ocurrido períodos de déficit hídrico desde la primera semana de enero hasta la segunda semana de junio y de la cuarta semana de septiembre a la cuarta semana de diciembre.

La única zona identificada con mayor probabilidad de déficit hídrico se ubica a lo largo de la depresión que forma el río Samalá hacia las llanuras al sur del valle de Totonicapán; esta zona se caracteriza por un déficit hídrico menor a 1 mm/día, el que puede acentuarse durante las épocas de canícula. La otra zona se ubica en el rango del déficit hídrico positivo entre los 2 a los 800 mm/día, la cual va de la ribera del río Samalá hacia el valle de Quetzaltenango llegando a las laderas de las cordilleras que rodean al valle de Quetzaltenango. Luego hay dos zonas con una alta precipitación pluvial lo que genera un déficit hídrico positivo, que va de los 8001 a más de 1,600 mm/día, estas se ubican en las partes altas de la cordillera que rodean al valle de Quetzaltenango y la falda sur de estas cordilleras.

4.4. Pisos altitudinales en el valle de Quetzaltenango y Totonicapán

Otra variable que es importante analizar para la toma de decisiones antes del establecimiento de una plantación frutícola, es la variable altitudinal, ya que esta influye principalmente en el riesgo a heladas y en la acumulación de horas frío.

La mayoría de unidades de producción de frutales caducifolios en el área de estudio, especialmente melocotón, se encuentran establecidas en un rango de altitud que van de los 2001 msnm a los 2400 msnm, lo cual tiene una relación directa por ser la zona con menor riesgo a heladas y a la acumulación de horas frío, factores que inciden con la producción.

Hay que recordar que la temperatura disminuye con la altitud, esta disminución puede ser de alrededor de los 0.5 °C por cada 100 m. Por lo que la periodicidad de las temperaturas por debajo de los 0 °C es más frecuente en las zonas de mayor altitud. Pero la teoría de la gradiente puede verse afectada por otros factores. Hay que considerar que la altitud influye especialmente en las heladas por radiación o locales, en donde ocurre el fenómeno de inversión térmica, en el cual la temperatura del aire aumenta con la altitud. En este tipo de heladas la temperatura sobre la superficie del suelo es más fría que en las capas superiores (Alvarado Quiroa, 1999).

Para el caso de la acumulación de horas frío, por el fenómeno de la gradiente térmica se esperarían mayor acumulación a mayor altitud. Esto debe considerarse en el momento del establecimiento de frutales deciduos, ya que aquellos frutales con bajo requerimiento de frío entrarían a florecer más temprano, lo que coincidiría con un mayor riesgo a heladas.

Al analizar los datos estadísticos de la altitud, vemos una gran variabilidad en el área de estudio, lo cual es revelado por la desviación estándar, ya que el rango de altitud varía entre los 980 msnm y los 3720 msnm (**ver cuadro 12**).



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



Cuadro 12. DATOS ESTADÍSTICOS DE LA VARIABLE ALTITUD EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN

Altitud mínima	980 msnm
Altitud máxima	3720 msnm
Promedio de altitud	2493 msnm
Desviación standard	445

En la **figura 11**, se aprecia la relación entre la ubicación de las unidades de producción de frutales caducifolios y los pisos altitudinales. En ella se aprecia que la mayoría de las unidades de producción se encuentran establecidas en un rango de altitud que van de los 2001 msnm a los 2400 msnm, lo cual tiene una relación directa por ser la zona con menor riesgo a heladas y a la acumulación de horas frío.

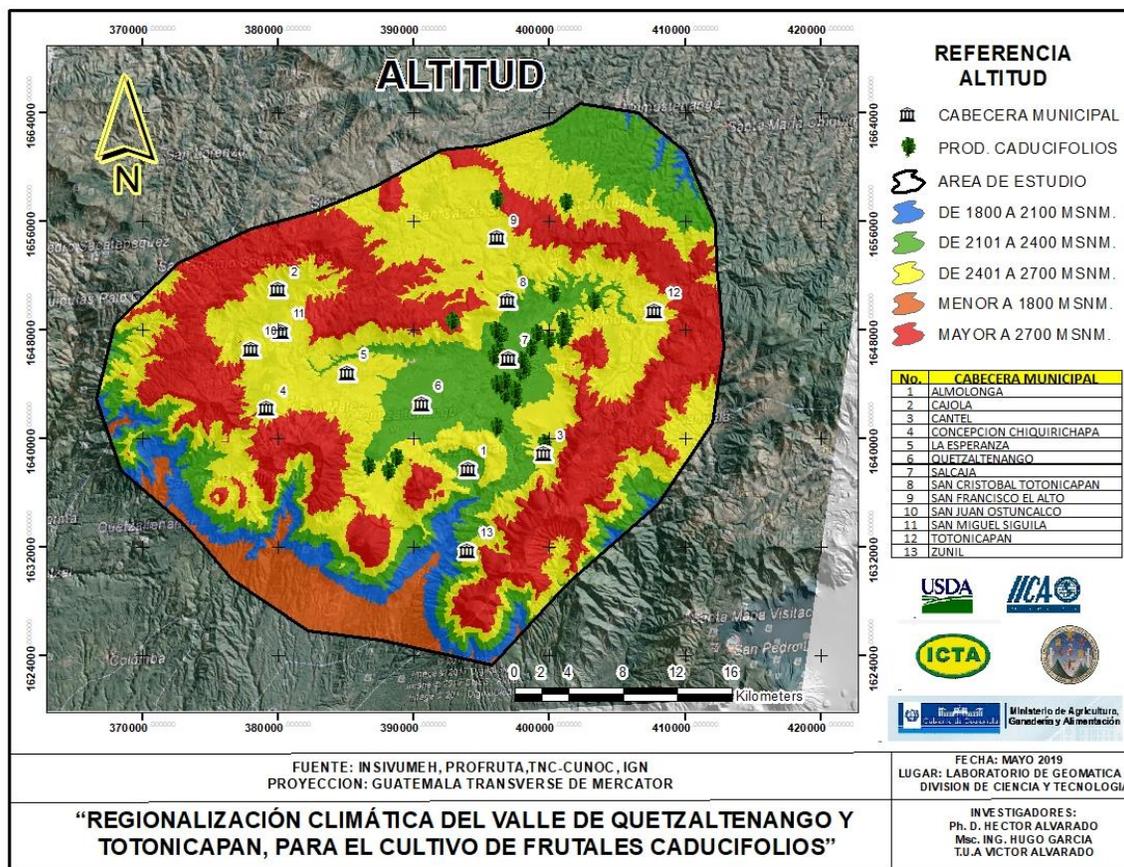


FIGURA 11. PISOS ALTITUDINALES EN EL EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



4.5. Pendiente en porcentaje en el valle de Quetzaltenango y Totonicapán

La pendiente también es un factor que debe considerarse al momento del establecimiento de plantaciones frutícolas. Hay que recordar que según el ángulo con que incidan los rayos solares sobre un determinado territorio aumentará o disminuirá su temperatura. Esta condición afecta positiva o negativamente la acumulación de frío y el riesgo a heladas, especialmente las de radiación.

Desde el punto de vista de la calidad de las frutas, durante las fases fenológicas de crecimiento y maduración, se requiere de radiación solar directa sobre los frutos para mejorar su concentración de sólidos totales y acentuar el color característico de variedad. En este sentido, las pendientes con dirección norte-sur son las que reciben mayor radiación solar.

Las pendientes con dirección norte-sur reducen el riesgo a las heladas por radiación, esto es debido a la mayor acumulación de energía durante el día, lo que posibilita el almacenamiento de una mayor reserva de calor para la noche, por lo que el balance de energía durante este período sea positivo, evitando los procesos de inversión térmica y con ello el menor riesgo a que ocurra una helada local.

Para el caso de las heladas por advección, hay que considerar que el aire frío es más pesado que el caliente, por lo que tiende a descender a las partes más bajas, acumulándose en ellas, provocando mayor daño a la vegetación. En este sentido debe evitarse la plantación de frutales en hondonadas y establecerse preferentemente en terrenos con pendiente suave y como ya se mencionó orientadas de norte a sur.

En el **cuadro 13**, vemos que la dispersión o variabilidad de la pendiente en porcentaje en el área de estudio es grande, ya que como podemos encontrar áreas relativamente planas, también encontramos terrenos con una fuerte pendiente hasta de 229 %.

Cuadro 13. DATOS ESTADÍSTICOS DE LA VARIABLE PENDIENTE EN PORCENTAJE EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN

Pendiente mínima	0%
Pendiente máxima	229 %
Pendiente promedio	52.21 %
Desviación standard	44



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



También en la **figura 12**, podemos observar la relación entre la pendiente en grados del área de estudio y su relación con la ubicación de las unidades de producción de frutales caducifolios. En este mapa podemos apreciar que la mayoría de unidades de producción de frutales caducifolios se encuentran ubicadas en áreas relativamente planas y otras asentadas en inclinaciones suaves.

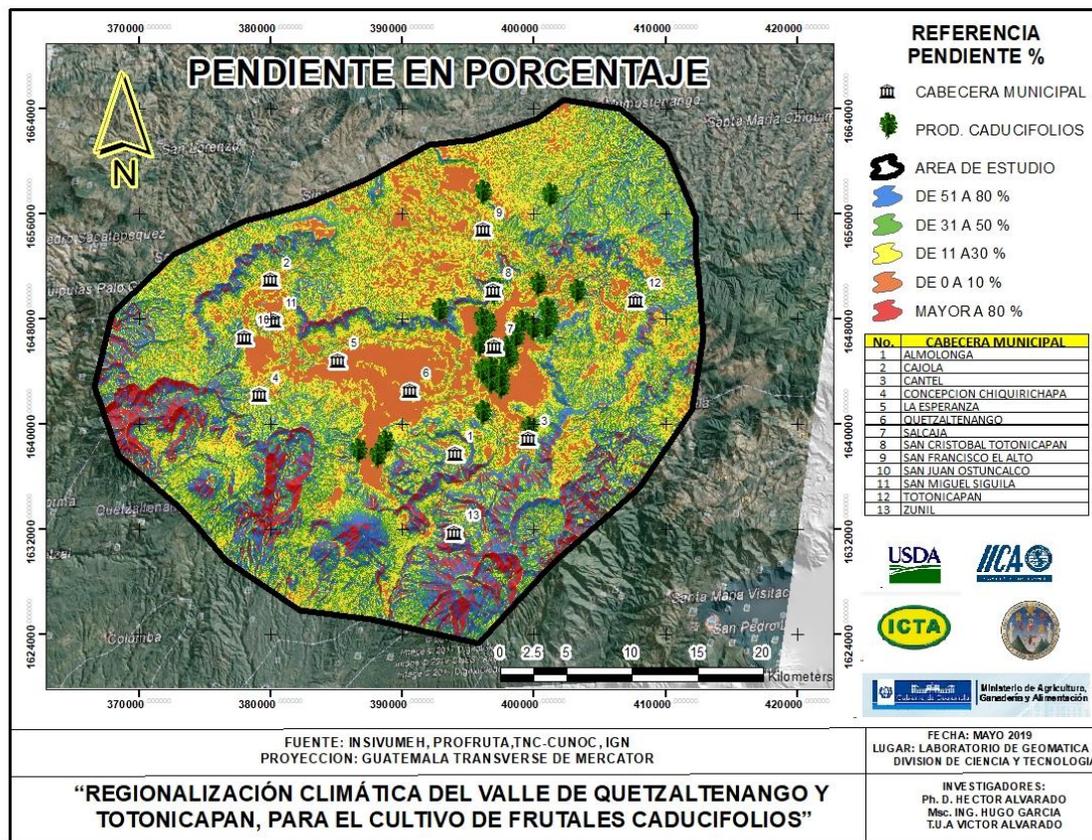


FIGURA 12. MAPA DE PENDIENTES EN EL VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN

4.6. Regionalización climática del valle de Quetzaltenango y Totonicapán, para el cultivo de frutales deciduos

Para obtener el mapa de la regionalización climática del Valle de Quetzaltenango y Totonicapán para el cultivo de frutales deciduos, se integraron las variables: acumulación de horas frío, riesgo a heladas, déficit hídrico, altitud sobre el nivel del mar y pendiente del terreno. Al integrar estas variables se definieron cuatro regiones de acuerdo a los criterios establecidos en la matriz de decisiones (**ver cuadro 14**).

Sin embargo, la interpretación por separado de cada una de las variables puede servir para tomar decisiones en función de los requerimientos climáticos de los frutales caducifolios, especialmente considerando el requerimiento de horas frío y riesgo a heladas.

Cuadro 14. MATRIZ DE DECISIÓN PARA LA REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DE FRUTALES CADUCIFOLIOS, VALLE DE QUETZALTENANGO Y TOTONICAPÁN

Región	Horas frío (hf)	Riesgo a helada	Déficit hídrico (mm/año)	Altitud (MSNM)	Pendiente (%)	Color interpretativo
1	600 a 703	> -1 °C	> a 1600	1800 a 2100	30.1 a 50	
2	550 a 599	-1.1 a -3.0 °C	801 a 1600	2101 a 2400	10.1 a 30	
3	500 a 549	-3.1 a -6 °C	2 a 800	2401 a 2700	50.1 a 80	
4	450 a 499	< a -6 °C	< a 1	>2700 < 1800	0 a 10% y > 80	

4.6.1. Región 1

La región 1, puede considerarse como aquella área homogénea en la que, de acuerdo a la combinación de las variables incluidas en este estudio, presenta condiciones potenciales para el establecimiento de frutales caducifolios. Esta región abarca un área de 21,744 ha, equivalente al 17% del área de estudio y se ubica principalmente en una franja a lo largo de la ribera del río Samalá y sus afluentes.

La ubicación de esta región se presenta en la **figura 13**, la cual se presenta en el mapa con el color azul. La región 1 presenta las siguientes características:

- Puede acumular desde las 600 horas frío hasta las 703 (requerimiento propio para especies y variedades de frutales caducifolios con mediano requerimiento de horas frío) (Calderón Alcaraz, 1993).
- Para el caso de riesgo a heladas, esta área tiene bajas probabilidades de alcanzar temperaturas críticas que ocasionen daños a las diferentes etapas fenológicas. Por ejemplo, para el caso de las flores abiertas en pera y cuajado de fruta en melocotón la temperatura crítica es de -1.1°C (Westwood, 2009). Por lo tanto, en esta región se espera que no se registren temperaturas menores a los -1°C.
- Para la variable de déficit hídrico, esta región se caracteriza porque la precipitación pluvial anual es mayor que la evapotranspiración real, obteniendo valores positivos arriba de los 1600 mm anuales. Es importante tomar en cuenta el régimen de lluvia y considerar los períodos de canícula que pueden provocar déficit hídrico en estos períodos.

- La altitud para esta región se encuentra entre los 1800 a los 2100 msnm.
- El relieve del terreno es un factor que influye en las probabilidades de ocurrencia de heladas. Cabe recordar que el aire frío es más pesado que el aire caliente y por lo tanto tiende a descender a las partes más bajas acumulándose en ellas y provocando daños a las etapas fenológicas susceptibles. En este sentido la región 1, está comprendida en áreas con pendientes entre el 30.1 y el 50%, lo que posibilita el drenado del aire frío.

4.6.2. Región 2.

La región dos presenta las mejores características climáticas para la producción de frutales caducifolios. Esta se ubica en la llanura de la parte central del valle de Quetzaltenango, otra área se ubica a lo largo de la depresión que forma el río Samalá y una tercera zona importante se encuentra en las llanuras al sur del valle de Totonicapán, abarca un área de 44,656 ha, la que representa un 34% del área de estudio. Por las características de esta región y por el área que abarca, es una de las zonas con mejor potencial para la siembra de caducifolios. Esta región se identifica en la **figura 13** de color verde y presenta las siguientes características:

- Puede acumular entre 550 a 559 horas frío (requerimiento propio para especies y variedades de frutales caducifolios con mediano requerimiento de horas frío) (Calderón Alcaraz, 1993).
- Esta región tiene probabilidades de alcanzar temperaturas críticas, en las que ya pueden ocasionar daños a las diferentes etapas fenológicas, ya que se esperan descensos de temperatura entre los $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a los $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los mayores descensos de temperaturas pueden registrarse principalmente en la depresión formada por el río Samalá y sus afluentes, debido a la acumulación de frío en las partes bajas.
- Para la variable de déficit hídrico, esta región se caracteriza porque la precipitación pluvial anual es mayor que la evapotranspiración real, obteniendo valores positivos entre los 801 a 1600 mm anuales.
- Las altitudes para esta región se encuentran entre los 2101 a los 2400 msnm.
- El relieve se caracteriza por pendientes onduladas que oscilan entre el 10.1 y el 30%, con características propias de las llanuras (extensiones de tierra plana o con leves ondulaciones, que en algún punto se ponen en contacto con zonas montañosas). Esta región al igual que la anterior, debido a las pendientes que presenta, posibilita el drenaje del aire frío a las partes más bajas.



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



4.1.3. Región 3

La región 3, identificada con el color amarillo en la **figura 13**, se localiza en las laderas de las cordilleras que rodean al valle de Quetzaltenango. Abarca un área de 35,300 ha equivalente al 27% del total del área de estudio y presenta las siguientes características:

- Puede acumular entre 500 a 549 horas frío, en el cual pueden establecerse especies y variedades de frutales caducifolios con bajo requerimiento de horas frío (Calderón Alcaraz, 1993).
- Para el caso de riesgo a heladas, esta área tiene altas probabilidades de alcanzar temperaturas críticas entre los $-3.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $-6.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperaturas que pueden ocasionar daños severos, inclusive en etapas fenológicas relativamente resistentes a las bajas temperaturas. Por ejemplo, para el caso de melocotón la TC10 para el estado fenológico de pétalos visibles es de $-4.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y para el estado de estambres visibles el TC10 es de $-3.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Westwood, 2009).
- El rango del déficit hídrico para esta región es de 2 a 800 mm/día. Aunque sigue siendo positivo, períodos de canícula prolongada puede producir serias consecuencias en el rendimiento de la producción.
- La altitud para esta región se encuentra entre los 2401 a 2700 msnm. Esta altitud tiene una relación directa con las probabilidades de ocurrencia de heladas.
- La región 3, manifiesta pendientes comprendidas entre el 50.1% y el 80%.

4.1.4. Región 4

La región 4 abarca las partes altas de las cordilleras que rodean al valle de Quetzaltenango. Abarca un área de 28,481 ha (22% del área), se representa en la **figura 13**, con el color rojo y presenta las siguientes características:

- Se puede acumular entre las 450 a 499 horas frío (requerimiento propio para especies y variedades de frutales caducifolios con bajo requerimiento de horas frío (Calderón Alcaraz, 1993).
- Esta región presenta dos diferentes zonas altitudinales: áreas ubicadas arriba de los 2,700 msnm y áreas inferiores a los 1,800 msnm.

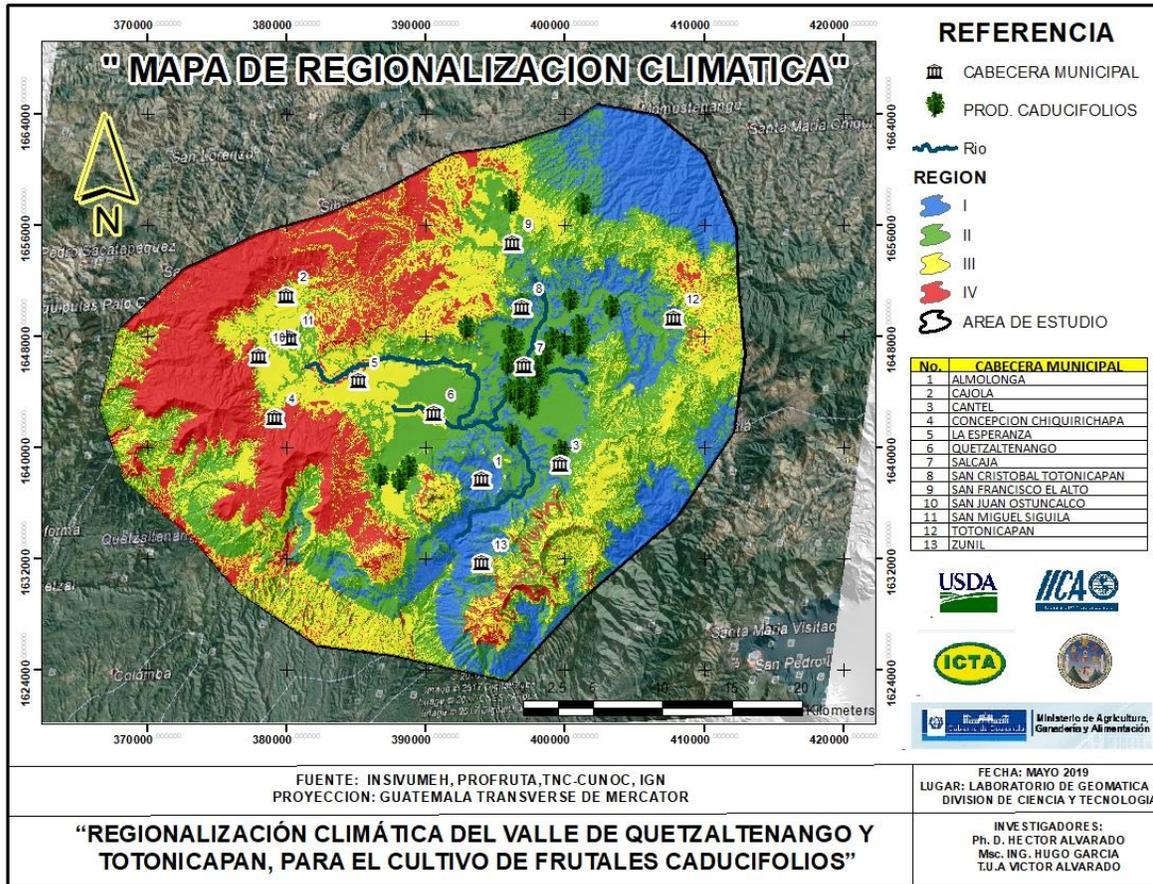


FIGURA 13. MAPA DE REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DEL VALLE DE QUETZALTENANGO, PARA EL CULTIVO DE FRUTALES CADUCIFOLIOS

- Para el caso de riesgo a heladas, esta área tiene altas probabilidades de alcanzar temperaturas críticas que ocasionen daños a las diferentes etapas fenológicas ya que pueden registrarse temperaturas inferiores a los $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ en las zonas ubicadas a más de 2,700 msnm,
- Por la posición orográfica, esta zona es la única que presenta déficit hídrico, la que puede acentuarse durante las épocas de canícula.
- La región 4 presenta dos diferentes características de pendiente. Áreas con pendientes superiores a 80% y topografías bastante planas entre el 0 y el 10% de pendiente, ubicadas en las altiplanicies de las cordilleras. La topografía plana incrementa el riesgo del daño por heladas, debido a la concentración en las partes bajas de las masas de aire frío.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- a. Se establecieron cuatro regiones en función a la acumulación de horas frío. La primera es en la que se espera que se acumule entre 600 a 703 horas frío, la cual abarca un área de 54,931ha (equivalente al 42.2%). En la segunda región se estima la acumulación entre las 550 a las 599 horas frío, comprende una extensión de 27,804 ha, es decir el 21.4%, y en ella se ubica el 90% de la producción de caducifolios del valle de Quetzaltenango y Totonicapán. En la tercera región se espera el acopio entre las 500 a 549 horas frío, ocupa un área de 22,158 ha, equivalente al 19.3%; esta región debe considerarse como potencial para la plantación de especies y variedades de frutales caducifolios con bajo requerimiento de frío. La cuarta región está constituida por aquella zona en la que la acumulación de horas frío esperada es menor a las 499 horas (con un rango de 450 a 499 horas frío), la cual ocupa una extensión de 22,288 ha la que representa el 17.1% del área en estudio.

- b. El valle de Quetzaltenango y Totonicapán, se ve afectado por temperaturas críticas que pueden provocar daños severos a las plantaciones como consecuencia de la presencia de heladas. En una de las regiones identificadas, pueden registrarse temperaturas que van desde los -6.1 °C hasta los -11.8 °C, la cual abarca una extensión de 60,555 ha, es decir el 46.5%. La mayoría de unidades de producción de frutales caducifolios, especialmente melocotón, se encuentra en dos zonas: una con probabilidades de ocurrencia de heladas con temperaturas críticas entre los -3.1 °C y los -6.0 °C que ocupa un área de 5,821 ha (4.5%), la cual coinciden con la depresión en la ribera del río Samalá. La otra zona es la que presenta rangos de temperaturas entre los -1.1 °C a -3.0 °C, que es la menos afectada por la presencia de heladas, la que ocupa una extensión de 21,094 ha, es decir el 16.2% y se ubica en la llanura de la parte central del valle de Quetzaltenango y la parte sur del valle de Totonicapán.

- c. Aunque la mayoría de unidades de producción se encuentra situadas en áreas sin déficit hídrico, en este estudio no se consideró el régimen pluvial. La única zona identificada con mayor probabilidad de déficit hídrico se ubica a lo largo de la depresión que forma el río Samalá hacia las llanuras al sur del valle de Totonicapán, esta zona se caracteriza por un déficit hídrico menor a 1 mm/día, el que puede acentuarse durante las épocas de canícula. La otra zona se ubica en el rango del déficit hídrico positivo entre los 2 a los 800 mm/día, la cual va de la ribera del río Samalá hacia el valle de Quetzaltenango llegando a las laderas de las cordilleras que rodean al valle de Quetzaltenango. Luego hay dos zonas con una alta precipitación pluvial lo que genera un déficit hídrico positivo, que va de los 8001 a más de 1,600 mm/día, estas se ubican en las partes altas de la cordillera que rodean al valle de Quetzaltenango y la falda sur de estas cordilleras.
- d. Con el presente estudio se pudieron delimitar cuatro regiones climáticas homogéneas para el cultivo de frutales caducifolios. La primera región es una franja que se ubica principalmente a lo largo de la ribera del río Samalá y sus afluentes, esta región abarca un área de 21,744 ha, equivalente al 17% del área de estudio. La región dos se ubica en la llanura de la parte central del valle de Quetzaltenango, otra área se ubica a lo largo de la depresión que forma el río Samalá y una tercera zona importante se encuentra en las llanuras al sur del valle de Totonicapán, incluye un área de 44,656 ha, la que representa un 34% del área de estudio; por las características de esta región y por el área que encierra, es una de las zonas con mejor potencial para la siembra de caducifolios. La región tres se localiza en las laderas de las cordilleras que rodean al valle de Quetzaltenango, contiene un área de 35,300 ha equivalente al 27% del total del área de estudio. La región 4 abarca las partes altas de las cordilleras que rodean al valle de Quetzaltenango, abarca un área de 28,481 ha (22% del área).
- e. La regionalización climática generada en el presente estudio puede brindar una orientación al fruticultor sobre donde establecer sus plantaciones de frutales caducifolios en función de las variables climáticas utilizadas para generarla, como el requerimiento de horas frío, riesgo a heladas, déficit hídrico, pisos altitudinales y pendiente del terreno

5.2. Recomendaciones

A productores, profesionales que brindan asistencia técnica e investigadores involucrados en la producción de frutales caducifolios, considerar las siguientes recomendaciones:

- a. Para la introducción de frutales deciduos y sus variedades, se debe considerar que el máximo de horas frío que se pueden presentar en el área de estudio es de 703, las cuales se presentan en los pisos altitudinales arriba de los 2,700 msnm; 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. En la región dos pueden establecerse plantaciones de caducifolios y sus variedades, cuyo requerimiento de horas frío este entre las 401 a las 550 horas frío.
- b. Se infiere que el valle de Quetzaltenango se ve afectado por temperaturas críticas que pueden provocar daños severos a las plantaciones como consecuencia de la presencia de heladas, ya que pueden registrarse temperaturas que van desde los -6.1 °C hasta los -11.8 °C. Estas temperaturas afectan estados fenológicos de los frutales deciduos como pétalos visibles en melocotón, donde el TC90 es de -9.2 °C. Por lo tanto, se recomienda ubicar las plantaciones de frutales deciduos especialmente en la región 2 identificada en este estudio, además efectuar un control integrado de heladas, por los diferentes métodos, ya sean indirectos o directos, poniéndoles especial atención a las heladas que ocurran con temperaturas menores a -3.0 °C.
- c. Considerar el déficit hídrico, pero especialmente el régimen pluvial para el establecimiento de frutales caducifolios, por lo que existe un alto riesgo de cultivar supeditado exclusivamente a la precipitación pluvial, por lo que se recomienda la aplicación de agua suplementaria, por medio de riego suplementario. Para ello es necesario realizar trabajos de investigación agroeconómicos sobre épocas, frecuencias y láminas de riego y su efecto en el rendimiento de los frutales.
- d. Se recomienda utilizar el mapa de regionalización climática generada en el presente estudio, como una guía para brindar una orientación al fruticultor sobre donde establecer sus plantaciones de frutales caducifolios en función de las variables climáticas utilizadas, así como validar la información a las características propias a su parcela de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado Q., H. (2001). *Factibilidad agroclimática de la producción de frutales deciduos, en el valle de Quetzaltenango*. Quetzaltenango, Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- Alvarado Quiroa, H. O. (1999). *Guía Práctica para la protección contra heladas*. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, PROFRUTA. Guatemala: PROFRUTA.
- Andalucía, C. d. (2010). *Sistemas de información Geográfica*. Obtenido de <http://sig.cea.es/SIG>
- Barrientos G., R. d. (2004). *Experiencias en la producción y comercialización del durazno (Prunus perisca) en la comunidad de Santa María, Jalapa*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Calderón Alcaraz, E. (1993). *Fruticultura General* (Tercera ed.). México: Limusa.
- Calderon Alcazar, E. (1993). *Fruticultura General*. México: Limusa.
- Carter Saavedra, S. (22 de abril de 2009). *Blog Universitario*. Obtenido de Regionalización: <http://wwwsebaregionalizacion.blogspot.com/2009/04/regionalizacion-concepto.html>
- Castro Loarca, O. (1996). *El balance hídrico en la experimentación agrícola*. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola. Quetzaltenango: ICTA.
- Díaz Montenegro, D. (1987). *Requerimiento de frío de Frutales Caducifolios*. México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agrícolas.
- Escobar H., E. (2008). *Evaluación de 10 tratamientos para extender la vida de anaquel del fruto del melocotonero (Prunus persica L cultivar Salcajá)*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Felicísimo, A. M. (1994). *Modelos digitales del terreno*. Cáceres, España.
- Felicísimo, A. M. (1999). *La utilización de los MDT en los estudios del medio físico*. Cáceres, España.
- Giraldo Henao, R. (s.f.). *Introducción a la Geostatística*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- González, I., & Alvarado, H. (1999). *Manual del cultivo de melocotón*. Guatemala: MAGA, PROFRUTA.
- Gratacós N., E. (2007). *El cultivo del duraznero Prunus persica (L.) Batsch*. Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Hargreaves, G. H., & Allen, R. G. (2 de Febrero de 2003). History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration. *JOURNAL OF IRRIGATION AND DRAINAGE ENGINEERING*, 129(1), 53-63. doi:10.1061/~ASCE!0733-9437~2003!129:1~53!
- Hernández Palma, J. (2011). Procesamiento digital de imágenes. *Percepción remota*. Chile.
- INSIVUMEH. (18 de agosto de 2011). *Boletines Meteorológicos*. Obtenido de INSIVUMEH: <http://www.insivumeh.gob.gt/principal/alertas.htm>
- López M., O. H. (2007). *Recomendaciones para el cultivo del melocotón (Prunus perisca Stokes) en el occidente de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- MAGA. (2013). *El agro en cifras 2013*. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Ola Huitz, R. B. (2005). *Efecto de la época de aplicación de cianamida hidrogenada como compensador de frío sobre la producción del melocotón (Prunus persica) variedad Salcajá, bajo condiciones del Valle de Quetzaltenango*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ruano Hernández, J. (2002). *El cultivo del melocotón (Prunus persica Stokes) en los departamentos de Chimaltenango y Sacatepequez y sus perspectivas de desarrollo*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Roma, Italia: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>
- Torres Ruiz, E. (1997). *Agrometeorología*. México: Trillas.
- Westwood, M. N. (2009). *Temperature-Zone Pomology, Physiology and Culture*. Oregon, USA: Timber Press.



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



ANEXOS

1. Datos climáticos promedio de la estación meteorológica FRUTAGRU

MES	TEMPERATURA PROMEDIO	PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO
ENERO	13.42	0
FEBRERO	14	0
MARZO	15	5.83
ABRIL	15	52
MAYO	14.33	138
JUNIO	14	118.7
JULIO	15	195.8
AGOSTO	14	86.69
SEPTIEMBRE	14.85	154.7
OCTUBRE	14.5	219.7
NOVIEMBRE	14.1	2.01
DICIEMBRE	14.23	2.5

2. Datos climáticos promedio de la estación meteorológica Pachuté

MES	TEMPERATURA PROMEDIO	PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO
ENERO	12	0.9
FEBRERO	12	4.7
MARZO	14	5
ABRIL	15	2
MAYO	12	149
JUNIO	12	245
JULIO	12	200
AGOSTO	12	265
SEPTIEMBRE	12	225
OCTUBRE	13	15
NOVIEMBRE	12	24
DICIEMBRE	12	18

3. Datos climáticos promedio de la estación meteorológica San Martín Sacatepéquez

MES	TEMPERATURA PROMEDIO	PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO
ENERO	7	3
FEBRERO	8	2
MARZO	9	7
ABRIL	12	5
MAYO	8	75
JUNIO	9	237
JULIO	8	200
AGOSTO	8	175
SEPTIEMBRE	9	264
OCTUBRE	8	175
NOVIEMBRE	7	30
DICIEMBRE	6	13

4. Datos climáticos promedio de la estación meteorológica Pologúa

MES	TEMPERATURA PROMEDIO	PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO
ENERO	8	4
FEBRERO	13	0
MARZO	14	13
ABRIL	15	25
MAYO	14	115
JUNIO	13	231
JULIO	13	97
AGOSTO	13	200
SEPTIEMBRE	13	231
OCTUBRE	13	100
NOVIEMBRE	8	50
DICIEMBRE	7	13



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



5. Datos climáticos promedio de la estación meteorológica Olintepeque

MES	TEMPERATURA PROMEDIO	PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO
ENERO	13	3
FEBRERO	14	1
MARZO	15	10
ABRIL	18	7
MAYO	15	175
JUNIO	14	237
JULIO	14	200
AGOSTO	13	180
SEPTIEMBRE	13	265
OCTUBRE	12	175
NOVIEMBRE	11	25
DICIEMBRE	9	13

6. Datos climáticos promedio de la estación meteorológica Totonicapán

MES	TEMPERATURA PROMEDIO	PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO
ENERO	8	8
FEBRERO	14	0
MARZO	15	0
ABRIL	15	14
MAYO	13	60
JUNIO	15	121
JULIO	15	100
AGOSTO	13	200
SEPTIEMBRE	12	265
OCTUBRE	13	170
NOVIEMBRE	12	40
DICIEMBRE	10	15



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria



7. Datos climáticos promedio de la estación meteorológica San Cristóbal Cuchu

MES	TEMPERATURA PROMEDIO	PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO
ENERO	17	2
FEBRERO	17	0
MARZO	18	0
ABRIL	19	0
MAYO	17	25
JUNIO	18	150
JULIO	17	250
AGOSTO	17	225
SEPTIEMBRE	16	266
OCTUBRE	15	180
NOVIEMBRE	14	80
DICIEMBRE	13	3

8. Datos climáticos promedio de la estación meteorológica El Palmar

MES	TEMPERATURA PROMEDIO	PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO
ENERO	15	3
FEBRERO	16	3
MARZO	18	13
ABRIL	19	50
MAYO	20	150
JUNIO	20	238
JULIO	19	200
AGOSTO	19	210
SEPTIEMBRE	20	263
OCTUBRE	20	180
NOVIEMBRE	18	50
DICIEMBRE	16	13

9. Datos climáticos promedio de la estación meteorológica Concepción Chiquirichapa

MES	TEMPERATURA PROMEDIO	PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO
ENERO	7	3
FEBRERO	10	1
MARZO	12	13
ABRIL	15	8
MAYO	12	115
JUNIO	11	237
JULIO	10	200
AGOSTO	10	210
SEPTIEMBRE	10	265
OCTUBRE	9	180
NOVIEMBRE	7	50
DICIEMBRE	6	13

10. Datos climáticos promedio de la estación meteorológica Nahualá

MES	TEMPERATURA PROMEDIO	PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO
ENERO	9	4
FEBRERO	10	2
MARZO	12	13
ABRIL	15	45
MAYO	14	150
JUNIO	12	238
JULIO	11	200
AGOSTO	12	225
SEPTIEMBRE	10	264
OCTUBRE	10	180
NOVIEMBRE	9	25
DICIEMBRE	7	10



CRIA

Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria

