



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN  
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO  
HIDROCIENCIAS**

**AGROCLIMA DE MANGO (*Mangifera indica* L.)  
CULTIVARES: *MANILA*, *ATAULFO* Y *TOMMY ATKINS*  
EN VARIOS ESTADOS DE LA REPÚBLICA MEXICANA**

**JORGE LUIS MARTÍNEZ FONSECA**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2007**

La presente tesis titulada: **Agroclima de mango (*Mangifera indica* L.) cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins en varios Estados de la República Mexicana**, realizada por el alumno Jorge Luis Martínez Fonseca bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS  
HIDROCIENCIAS**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO



Dr. Leonardo Tijerina Chávez

ASESOR



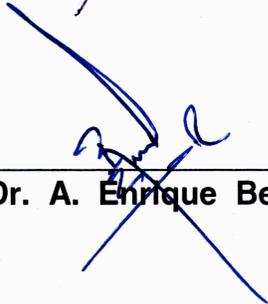
Dr. Ramón Arteaga Ramírez

ASESOR



Dr. Mario Alberto Vázquez Peña

ASESOR



Dr. A. Enrique Becerril Román

## **AGRADECIMIENTOS**

Al pueblo de México, que con sus contribuciones me permitió realizar estudios de postgrado, mi más sincero agradecimiento.

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA) por las facilidades brindadas y haberme propuesto para realizar estudios doctorales a través del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 158, de Santo Domingo Zanatepec, Oax.

Al Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica (COSNET) por el apoyo brindado para la autorización de licencia por beca-comisión para efectuar mis estudios doctorales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado par la realización de mis estudios doctorales.

A todos los maestros que me enseñaron y brindaron su consejo y apoyo, gracias.

Al Dr. Leonardo Tijerina Chávez por su incondicional apoyo y orientación para la realización de mis estudios doctorales y el desarrollo de esta investigación, gracias.

Al Dr. Ramón Arteaga Ramírez por su invaluable e incondicional apoyo en todo momento para la realización de mis estudios doctorales, por sus valiosas y acertadas sugerencias que enriqueció y permitió concluir el presente trabajo y especialmente por su gran amistad, gracias.

Al Dr. Mario Alberto Vázquez Peña por el apoyo brindado de manera desinteresada en el desarrollo y culminación del presente trabajo, gracias.

Al Dr. A. Enrique Becerril Román por el asesoramiento y acertadas sugerencias aportadas al presente trabajo, gracias.

Al Dr. Abel Quevedo Nolasco por la motivación de continuar con mi superación personal, por las acertadas sugerencias al presente trabajo y por su gran amistad y apoyo desinteresado durante la realización de mis estudios doctorales, gracias.

Al Dr. Enrique Mejía Sáenz por el valioso apoyo brindado al inicio de mis estudios doctorales.

A todo el personal académico y de apoyo del Programa de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados por las facilidades brindadas durante mi estancia en mis estudios doctorales.

## DEDICATORIA

Al pueblo de Santo Domingo Zanatepec, Oax., por todas las vivencias y recuerdos.

A mis padres como testimonio de amor, respeto y cariño:

Fausto Martínez Sales  
Isabel Fonseca López †

A mi madre adoptiva: Isabel Martínez García

A quienes forman parte de mi vida con mucho amor y cariño por todos los momentos que hemos vivido juntos, gracias:

María Teresa  
Jorge Luis  
Ángel Alberto

A la memoria de mis abuelos por los recuerdos inolvidables que perduran:

Ángela † y Abelardo †  
Fidela † y Lorenzo †

A mis hermanas, hermanos, cuñados y cuñadas:

Eida y Roberto  
Luz Elena  
Abelardo †

Olivia y Fredy  
Miriam  
Gabriela y Zenaido  
Fausto y Magali

A mis cuñadas y cuñados: Elba, Irma, Heriberto, Jacobo y Rosita

A mis sobrinos: Carlos Roberto, César Enrique, César Jesús, Hanz Onil  
Ximena, David Levi, Emily Isabel  
Lupita, Fernando Gabriel y Juan Diego

Delfina, Hannia y Rodrigo

A mis suegros: Adricula y José Manuel, así como a la memoria de la Tía Epifania

A mis tíos paternos: Victoria, Juana, Basilio †, Catalina †, Leonila † y Constantina †

A mis tíos maternos: Agustina, Fidela, Elena, Virginia, Juana, Teresa, Elpidia y Lorenzo.

A la memoria de mis primos: Marlene Cabrera Martínez † y Leonel Martínez González †

A los amigos por la amistad de siempre: José Galdamez, Jesús Amado, Maidaly, Carlos Arturo, Rusbel Castro, Porfirio Ríos, Antonio Quevedo, Ivet Quevedo, Hector Tovar, Francisco Cobos y a todos los amigos y compañeros del Cbta No. 158 de Zanatepec, Oax.

Al Dr. Javier Hernández y su esposa la Dra. Yolanda Ruiz por su gran amistad, incondicional ayuda y amena charla durante la estancia de mis estudios doctorales.

ÍNDICE GENERAL	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	4
2.1. Planteamiento del problema.....	4
2.2. Objetivos e hipótesis de trabajo.....	5
2.2.1. Objetivo general.....	5
2.2.1.1. Objetivos Particulares.....	5
2.2.2. Hipótesis.....	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
3.1. La zonificación.....	7
3.1.1. Las zonificaciones de cultivos.....	7
3.1.2. Las zonificaciones agroclimáticas.....	8
3.1.3. Métodos de zonificación.....	9
a). Zonificación agroclimática.....	10
b). Zonificación agroecológica.....	11
c). Zonificaciones Integrales.....	11
3.1.4. Herramientas de zonificación.....	12
a). Requerimientos y recursos bioclimáticos.....	12
b). Analogía climática.....	13
c). Análisis de Componentes Principales (ACP).....	13
d). Gráficas hidro-termales.....	15
3.1.5. Trabajos de zonificación de especies perennes tropicales en México....	16
3.2. Generalidades sobre el cultivo del mango ( <i>Mangifera indica</i> L.).....	18
3.2.1 Características botánicas.....	18
3.2.2. Origen, distribución e introducción en México.....	19
3.2.3. Variedades o cultivares en México.....	20
a). Cultivares de maduración temprana.....	20
b). Cultivares de maduración intermedia.....	22
c). Cultivares de maduración tardía.....	22
3.2.4. Requerimientos bioclimáticos del mango.....	23
3.2.4.1. Altitud y latitud.....	23
3.2.4.2. Temperatura.....	24
a). La temperatura y la floración.....	26

	Página
b). La temperatura y el cultivar Manila.....	28
c). La temperatura y el cultivar Tommy Atkins.....	28
d). La temperatura y el cultivar Ataulfo.....	29
3.2.4.3. Precipitación.....	31
3.2.4.4. Luminosidad.....	32
3.2.4.5. Vientos.....	33
3.2.5 Zonas productoras de mango.....	33
a). En el Mundo.....	33
b). En México.....	33
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
4.1. Materiales.....	39
4.2. Métodos.....	41
4.2.1. Estimación de variables.....	43
4.2.2. Generación de índices agroclimáticos.....	44
4.2.3. Definición de tipos agroclimáticos.....	46
4.2.4. Definición de límites de los intervalos del índice agroclimático para su clasificación.....	46
4.2.5. Cartografía de las zonas agroclimáticas.....	47
V. RESULTADOS.....	48
5.1. Temperaturas cardinales del cultivo de mango.....	48
5.2. Zonificación del cultivar Manila.....	49
5.2.1. Estimación de variables.....	49
5.2.2. Generación de índices agroclimáticos.....	51
5.2.3. Definición de tipos agroclimáticos.....	56
5.3. Zonificación del cultivar Ataulfo.....	65
5.3.1. Estimación de variables.....	65
5.3.2. Generación de índices agroclimáticos.....	65
5.3.3. Definición de tipos agroclimáticos.....	69
5.4. Zonificación del cultivar Tommy Atkins.....	80
5.4.1. Estimación de variables.....	80
5.4.2. Generación de índices agroclimáticos.....	80
5.4.3. Definición de tipos agroclimáticos.....	87

	Pagina
5.4.3.1. Estado de Oaxaca.....	91
5.4.3.2. Estado de Guerrero.....	100
5.4.3.3. Estado de Morelos.....	104
5.4.3.4. Estado de Michoacán.....	107
5.4.3.5. Estado de Colima.....	111
5.4.3.6. Estado de Jalisco.....	114
5.4.3.7. Estado de Nayarit.....	118
5.4.3.8. Estado de Sinaloa.....	121
5.4.3.9. Estado de Tabasco.....	124
5.4.3.10. Estado de Campeche.....	127
5.4.4. Aspectos relevantes de los resultados.....	130
VI. DISCUSIÓN.....	132
VII. CONCLUSIONES.....	140
VIII. LITERATURA CITADA.....	142

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
3-1.	Efecto de las temperaturas sobre el mango según Galán (2000).	26
3-2.	Resumen del efecto de la temperatura en el cultivo de mango según diferentes autores.	29
3-3.	Superficie cosechada con mango en ha en los años de 1994 a 2004 en los principales países productores de mango en el mundo.	34
3-4.	Incremento en porcentaje de superficie cosechada con mango, porcentaje de superficie, producción y rendimiento en el año 2004 en los principales países productores de mango en el mundo.	34
3-5.	Superficie plantada con mango en ha en los años de 1993 a 2004 en doce Estados productores de mango en México.	36
5-1.	Series de datos observados y estimados en tres estaciones climatológicas del Estado de Veracruz y el error de la validación del modelo empírico generado para estimar la evaporación total mensual.	50
5-2.	Información geográfica, climática y rendimiento de mango cultivar Manila, que se utilizó en el Análisis de Componentes Principales (ACP) para la zonificación agroclimática del estado de Veracruz.	52
5-3.	Matriz de correlación entre las variables climáticas originales (de las 28 estaciones climatológicas) del estado de Veracruz.	53
5-4.	Resumen del Análisis de Componentes Principales (ACP) para las 12 variables climáticas de 28 estaciones del estado de Veracruz.	54
5-5.	Variables climáticas y rendimiento promedio para los dos grupos de localidades productoras de mango cultivar Manila definidos con el ACP en el estado de Veracruz.	56
5-6.	Valores promedios de temperatura mínima mensual, precipitación total mensual y rendimiento promedio de mango cultivar Manila para los grupos de localidades definidos mediante ACP en el estado de Veracruz.	56
5-7.	Zonas agroclimáticas para producción de mango cultivar Manila en el estado de Veracruz, en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie estatal.	58
5-8.	Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Manila en los Municipios del estado de Veracruz.	61
5-9.	Información geográfica, climática y rendimiento de mango cultivar Aaulfo, que se utilizó en el Análisis de Componentes Principales (ACP) para la zonificación agroclimática del estado de Chiapas.	66

Cuadro	Página
5-10. Matriz de correlación entre las siete variables climáticas originales de las 20 estaciones climatológicas del estado de Chiapas.	68
5-11. Resumen del Análisis de Componentes Principales (ACP) para las siete variables climáticas (de 20 estaciones del estado de Chiapas).	68
5-12. Valores promedios de temperatura mínima mensual, precipitación total mensual y rendimiento promedio de mango cultivar Ataulfo para los grupos de localidades definidos mediante ACP en el estado de Chiapas.	70
5-13. Variables climáticas, rendimiento promedio, superficie plantada y los dos primeros componentes principales para los grupos de localidades productoras de mango cultivar Ataulfo, en el estado de Chiapas.	72
5-14. Promedio de variables climáticas y rendimiento para los grupos de localidades productoras de mango cultivar Ataulfo definidos con el ACP en el estado de Chiapas.	73
5-15. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Ataulfo en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Chiapas.	75
5-16. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Ataulfo en los Municipios del estado de Chiapas.	77
5-17. Información geográfica, climática y rendimiento de mango cultivar Tommy Atkins, que se utilizó en el Análisis de Componentes Principales (ACP) para la zonificación agroclimática de los estados de: Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit y Campeche.	81
5-18. Matriz de correlación entre las variables climáticas originales de las 43 estaciones climatológicas de siete Estados productores de mango cultivar Tommy Atkins en la República Mexicana.	84
5-19. Resumen del Análisis de Componentes Principales (ACP) a partir de doce variables climáticas de 43 estaciones.	85
5-20. Promedio de variables climáticas y rendimiento, para los grupos de localidades productoras de mango cultivar Tommy Atkins definidos, en el ACP para siete Estados productores de la República Mexicana.	86
5-21. Valores de temperatura mínima promedio mensual, precipitación total mensual y rendimiento promedio del mango cultivar Tommy Atkins para los grupos de localidades definidos mediante ACP en los estados de: Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit y Campeche.	88
5-22. Modelos lineales empíricos para estimar la temperatura mínima en función de la altura sobre el nivel del mar, para varios Estados productores de mango cultivar Tommy Atkins en la República Mexicana.	90

Cuadro	Página
5-23. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual y grado de aptitud.	91
5-24. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Oaxaca.	91
5-25. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Oaxaca.	94
5-26. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Guerrero.	100
5-27. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Guerrero.	103
5-28. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Morelos.	104
5-29. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Morelos.	105
5-30. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Michoacán.	107
5-31. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Michoacán.	110
5-32. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Colima.	111
5-33. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Colima.	112
5-34. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Jalisco.	114
5-35. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Jalisco.	115
5-36. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Nayarit.	118

Cuadro	Página
5-37. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Nayarit.	119
5-38. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Sinaloa.	121
5-39. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Sinaloa.	122
5-40. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Tabasco.	124
5-41. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Tabasco.	125
5-42. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Campeche.	127
5-43. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Campeche.	128
6-1. Resumen del ACP, porcentaje de variación explicada y variable con mayor índice de asociación por cultivar.	133
6-2. Resumen del grado de aptitud agroclimática, altitud (en metros), temperatura mínima promedio anual y temperatura media anual por cultivar en los Estados productores de mango en la República Mexicana.	134
6-3. Aptitud agroclimática por altitud (en metros), por cultivar y por Estado productor de mango en la República Mexicana.	135
6-4. Resumen de los tipos climáticos según Köppen modificado por García (1973) y obtenidos de CONABIO (1998), por: cultivar, grado de aptitud y Estado productor de mango en la República Mexicana.	136
6-5. Promedios de variables climáticas y rendimiento de las regiones con los diferentes tipos agroclimáticos definidos para la producción de mango en doce Estados de la República Mexicana.	138

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
3-1. Distribución de zonas de cultivo y zonas marginales de mango en el mundo (Galán, 2000).	35
3-2. Ubicación geográfica de los 14 principales países productores de mango en el mundo que representan el 91.5% de la superficie cosechada y el 89% de la producción mundial de mango en 2004 (FAO, 2006).	35
3-3. Superficie plantada con mango en hectáreas, total nacional durante el periodo de 1993 a 2004 en doce Estados de la República Mexicana.	36
3-4. Superficie plantada con mango en 12 Estados productores para el año 2004 en la República Mexicana.	37
3-5. Superficie plantada con mango de temporal y de riego en 12 Estados productores de la República Mexicana.	37
3-6. Incremento anual de superficie plantada con mango por Estado productor en la República Mexicana de 1990 a 2004.	38
4-1. Localización geográfica de los Estados de la República Mexicana considerados en el área de estudio de zonificación agroclimática de mango.	40
4-2. Diagrama del procedimiento generado para definir las zonas agroclimáticas productoras de mango.	41
5-1. Localización geográfica de las estaciones climatológicas que se utilizaron en el Análisis de Componentes Principales (ACP) y en la zonificación agroclimática en el estado de Veracruz.	53
5-2. Diagrama de dispersión de los componentes principales Prin1 (temperatura mínima promedio anual) y Prin2 (precipitación total anual) para 28 localidades productoras de mango cultivar Manila en el estado de Veracruz, resultados del ACP. El número dentro del cuadro o círculo indica el número de la localidad del Cuadro 5-2.	55
5-3. Gráficas hidro-termales de los dos grupos de localidades productoras de mango cultivar Manila obtenidos mediante ACP.	57
5-4. Temperatura mínima promedio anual y rendimiento para los grupos de localidades, productoras, así como, límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Manila en el estado de Veracruz.	58
5-5. Temperatura mínima promedio anual y rendimiento para las localidades, productoras, así como, límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Manila en el estado de Veracruz.	59

Figura	Página
5-6. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Manila en el estado de Veracruz, México.	64
5-7. Localización geográfica de las estaciones climatológicas que se utilizaron en el Análisis de Componentes Principales (ACP) y en la zonificación agroclimática en el estado de Chiapas, México.	67
5-8. Diagrama de dispersión de los componentes principales Prin1 (temperatura mínima promedio anual) y Prin2 (radiación solar global promedio anual) para 20 localidades productoras de mango cultivar Ataulfo en el estado de Chiapas, resultados del ACP. El número dentro del cuadro o círculo indica el número de la localidad del Cuadro 5-9.	69
5-9. Gráficas hidro-termales de los dos grupos de localidades productoras de mango cultivar Ataulfo obtenidos mediante ACP.	70
5-10. Temperatura mínima promedio anual y rendimiento para los grupos de localidades, productoras, y los límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Ataulfo en el estado de Chiapas.	73
5-11. Temperatura mínima anual y rendimiento para las localidades, productoras, así como, límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Ataulfo en el estado de Chiapas.	74
5-12. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Ataulfo en el estado de Chiapas, México.	79
5-13. Localización geográfica de las estaciones climatológicas que se utilizaron en el Análisis de Componentes Principales (ACP) y en la zonificación agroclimática en los estados de: Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit y Campeche.	83
5-14. Diagrama de dispersión de los componentes principales Prin1 (temperatura mínima promedio anual) y Prin2 (temperatura máxima promedio anual) para 43 localidades productoras de mango cultivar Tommy Atkins en los estados de Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit y Campeche. El número dentro del cuadro o círculo indica el número de la localidad del Cuadro 5-17.	86
5-15. Gráficas hidro-termales de los dos grupos de localidades productoras de mango cultivar Tommy Atkins que se obtuvo del ACP.	88
5-16. Temperatura mínima promedio anual y rendimiento promedio para los grupos de localidades productoras, así como, límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en siete estados de la República Mexicana.	89

Figura	Página
5-17. Temperatura mínima promedio anual y rendimiento para las localidades productoras, así como, límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en siete Estados productores de la República Mexicana.	89
5-18. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Oaxaca, México.	92
5-19. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins para el estado de Guerrero, México.	102
5-20. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Morelos, México.	106
5-21. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Michoacán, México.	109
5-22. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Colima, México.	113
5-23. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Jalisco, México.	117
5-24. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Nayarit, México.	120
5-25. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Sinaloa, México.	123
5-26. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Tabasco, México.	126
5-27. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Campeche, México.	129

## RESUMEN

El mango (*Mangifera indica* L.) es un frutal de importancia económica en México. Sus perspectivas de cultivo son favorables, ya que en los últimos 15 años, la superficie sembrada y cosechada ha mostrado de manera general un incremento promedio anual de 65%, pasando de 17 778 ha en el año de 1990 a 173 508 ha en el 2004, con un rendimiento promedio de 9.7 t ha<sup>-1</sup> (INEGI, 2005a-ñ). Para este cultivo se han realizado muy pocos trabajos de caracterización agroclimática que permita definir su potencial, identificar sus riesgos, y definir zonas con potencial productivo, así como asegurar su sostenibilidad. El objetivo del presente estudio consistió en determinar las regiones agroclimáticas para el cultivo de mango en los cultivares: Manila en Veracruz, Ataulfo en Chiapas y Tommy Atkins en diez estados de la República Mexicana, por medio del Análisis de Componentes Principales (ACP) con variables climáticas (temperatura, precipitación, evaporación y radiación solar) y gráficas hidro-termales (precipitación total y temperatura mínima promedio mensual). Se utilizó además, información de rendimiento promedio de las regiones productoras de mango. Se definió un índice agroclimático simple, la temperatura mínima anual que es un elemento necesario para inducir la floración y determina el rendimiento en este cultivo.

En los tres cultivares de mango se definieron dos grupos de localidades, cada uno con agroclimas similares, en función de la altitud y la temperatura del aire. Se determinaron cuatro categorías con diferentes grados de aptitud agroclimática, para el establecimiento y desarrollo de plantaciones de mango (*Mangifera indica* L. cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins) y se realizó la cartografía de las mismas zonas geográficas potenciales.

Los diferentes tipos agroclimáticos presentan límites de intervalos muy similares en los tres cultivares: para Manila los intervalos de temperatura mínima anual y altitud, en la categoría Apta van: de 15 a 19 °C y 250 a 950 m; en la Moderadamente apta: mayor de 19 °C y de 0 a 250 m. Para el cultivar Ataulfo, en la categoría Apta: de 15 a 20 °C y de 200 a 1200 m; en la Moderadamente apta: de 20 a 24 °C y de 0 a 200 m. Para el cultivar Tommy Atkins, en la categoría Apta: de 14 a 20 °C y de 250 a 1120 m; en la Moderadamente apta: de 20 a 25 °C y de 0 a 250 m.

El grado de aptitud de un lugar, para el desarrollo del cultivo de mango, puede estimarse con el conocimiento de la altitud, y los modelos empíricos que relaciona ésta con la temperatura mínima anual, generados para cada Estado.

Palabras claves: Agroclima, mango, Análisis de Componentes Principales (ACP), gráficas hidro-termales, temperatura mínima anual.

**Agroclimate of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars: Manila, Ataulfo and Tommy Atkins in several states of the Mexican Republic.**

**ABSTRACT**

The mango (*Mangifera indica* L.) is a fruit species of economic importance in Mexico. Its perspectives of cultivation are favourable, given that in the past 15 years, the sown and harvested surface has shown, in general, an average annual increase of 65%, increasing from 17,778 ha in 1990 to 173,508 ha in 2004, with an average yield of 9.7 t ha<sup>-1</sup> (INEGI, 2005a-ñ). Few studies have been made of the agroclimatic characterization of this crop which would make it possible to define its potential, identify its risks, and define zones with productive potential, as well as to insure its sustainability. The objective of the present study was to determine the agroclimatic regions for the cultivation of mango in the following cultivars: Manila in Veracruz, Ataulfo in Chiapas and Tommy Atkins in ten states of the Mexican Republic, by means of the Principal Components Analysis (PCA) with climatic variables (temperature, precipitation, evaporation and solar radiation) and hydro-thermal graphs (total precipitation and monthly average minimum temperature). Information of average yield of the mango producing regions was also included. A simple agroclimatic index was defined, with the minimum annual temperature required for inducing florescence, a factor which determines the yield of this crop.

In the three mango cultivars, two groups of localities were defined, each with similar agroclimates, as a function of altitude and air temperature. Four categories were determined with different degrees of agroclimatic aptitude for the establishment and development of mango plantations (*Mangifera indica* L. cultivars: Manila, Ataulfo and Tommy Atkins), and cartography was carried out of the same potential geographic zones.

The different types of agroclimates present limits of intervals that are very similar in the three cultivars: for Manila, the intervals of minimum annual temperature and altitude are as follows: in the Apt category, from 15 to 19 °C and 250 to 950 m; in Moderately Apt, over 19 °C and from 0 to 250 m. For the Ataulfo cultivar, the categories are: Apt, from 15 to 20 °C and from 200 to 1200 m; Moderately Apt, from 20 to 24 °C and from 0 to 200 m. For the Tommy Atkins cultivar, the categories are as follows: Apt, from 14 to 20 °C and from 250 to 1120 m; Moderately Apt, from 20 to 25 °C and from 0 to 250 m.

For the development of the mango crop, the degree of aptitude of a location can be estimated according to altitude, and the empirical models that relate it to the minimum annual temperature, generated by each state.

**Key words:** Agroclimate, mango, Principal components Analysis (PCA), hydrothermal graphs, minimum annual temperature.

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El clima influye en la producción agropecuaria y forestal, debido a que los procesos biológicos y fisiológicos de las plantas y animales inciden en la cantidad y calidad de la producción, por otra parte, condiciona el desarrollo de insectos y enfermedades que afectan negativamente a las cosechas.

La República Mexicana posee áreas geográficas tropicales, que cuentan con un potencial agrícola para la producción exitosa de los cultivos, sin embargo, se desconoce el recurso agroclimático de estas zonas, por lo que el conocimiento de éste, permitirá hacer una ponderación de las áreas geográficas para hacer una expansión más racional de los cultivos a otras zonas.

A todos aquellos valores numéricos, simples o complejos, que sirven para cuantificar algún tipo de relación entre elementos del complejo climático con los diversos procesos y componentes de la producción agropecuaria, se les conoce con el nombre de “*Índices agroclimáticos*” (Pascale y Damario, 2004).

En algunos trabajos de aplicación agrícola o forestal, para probar la aptitud de una localidad, se refiere al tipo climático que le corresponde de acuerdo con las clasificaciones climáticas tradicionales. Debido a las limitaciones que presentan estas aplicaciones directas a problemas biológicos, muchos autores se han interesado en lograr clasificaciones climáticas que sirvan para apreciar las posibilidades agrícolas, así se tienen a De fina *et al* (1962) y Papadakis (1966) que realizan amplios estudios para ubicar cultivos en la República de Argentina relacionando los elementos del clima y otros del complejo ambiental. Ellos definieron índices climáticos fijos ordenados sistemáticamente, atribuyéndoles una mejor o peor significación agrícola.

Papadakis (1966) trata de tipificar el régimen térmico en su amplitud anual, para ello utiliza como parámetro característico del invierno, la temperatura mínima promedio anual y los tipos estivales se definen de acuerdo a la temperatura media del mes más cálido; además las regiones hídricas se establecen por medio de un índice hídrico, derivado del déficit de saturación del aire y que equivale a la suma de los índices mensuales, también emplea la evapotranspiración potencial. Se observa que este tipo de clasificaciones pretenden definir los tipos climáticos que tienen la misma aptitud agrícola, ya sea al usar parámetros climatológicos o índices agroclimáticos.

El mango (*Mangifera indica* L.) frutal de importancia económica a nivel mundial, se cosecho 26.3 millones de toneladas en el año 2004, donde la India ocupó el primer lugar con 41.1%, segundo lugar China con 13.8%, tercer lugar Tailandia con 6.6%, México ocupó el cuarto

lugar con 5.7% del total. Las exportaciones mundiales de mango del 2003 alcanzaron un valor de 560.4 millones de dólares, donde México destaca como primer exportador con 23.5% del total exportado (FAO, 2006).

Las perspectivas del cultivo de mango son favorables, ya que de acuerdo a los datos de INEGI durante varios años, la superficie sembrada y cosechada ha mostrado de manera general un incremento en los últimos 15 años, pasando de 17 778 ha en el año de 1990 a 173 508 ha en el 2004, distribuidas principalmente en doce Estados de la República, con un rendimiento promedio de 9.7 t ha<sup>-1</sup> (INEGI, 2005a-ñ).

Aunque en el país, de manera general se reportan incrementos de superficie cultivada con mango, como los estados de Sinaloa, Guerrero y Chiapas, en otros como Veracruz después de 1996 se ha registrado disminución de la superficie plantada. Sin embargo cada Estado productor presenta diferencias en la dinámica del incremento de superficie, ya que, en la mayoría de los Estados en algunos años se presentan disminuciones de superficie, principalmente por sustitución por otros cultivos y en el año siguiente se reportan incrementos de superficie, en otra o en la misma zona del Estado, pero con un cultivar de mango diferente; lo anterior sugiere que los productores realizan ajustes de las áreas plantadas buscando los mejores cultivares para cada zona y las mejores zonas en cada Estado, todo como resultado de las experiencias productivas y de las demandas de los mercados.

El incremento de la demanda de frutas tropicales frescas por parte de los mercados de Norte América y Europa, brinda la oportunidad de incrementar las divisas mediante la exportación. Además se prevé un aumento importante del mercado de conservas de mango, principalmente el de jugos, concentrados, mangos congelados y orejones que son rebanadas de mango deshidratado cuyos principales consumidores son los países que integran la Comunidad Europea, Japón y Estados Unidos, siendo actualmente los principales proveedores: India, Tailandia, Filipinas, Taiwán y Malasia. Actualmente el mango deshidratado se importa en forma de cubos, gránulos, rodajas, pedazos, laminas y polvo, con la particularidad que se prefieren los de color amarillo-naranja, (Yahia *et al*, 2006).

El mango es una fruta que se cultiva en zonas tropicales, de las cuales, en la República Mexicana, no se han realizado estudios agroclimáticos, el presente trabajo realiza una aportación en el estudio del agroclima de estas zonas, cabe resaltar que la mayoría de los estudios agroclimáticos, así como los métodos para la realización de éstos, se han generado para cultivos perennes de latitudes medias, de ahí la importancia del presente trabajo. También la importancia que cada vez más adquiere la industria frutícola, se hace necesario la realización de estudios que conduzcan a un ordenamiento agroeconómico de esta rama de la producción, que se ajuste al

marco, físico y social, pero para lograrlo, es necesario incrementar y mejorar la producción mediante la incorporación ordenada de nuevas áreas frutícolas previamente estudiadas.

En el presente estudio se definen índices agroclimáticos para las plantaciones de mango de los cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins, mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP). De acuerdo con Pascale y Damario (2004), un índice agroclimático es cualquier elemento climatológico simple o derivado que influye en los diversos aspectos de la producción agrícola y se busca de preferencia que estos índices reúnan las siguientes características: que se refieran a los elementos meteorológicos de mayor importancia, fáciles de medir y computar; que utilicen elementos comunes incluidos en las estadísticas climatológicas comunes, que a pesar de ser simples de expresión mantengan suficiente sensibilidad a las variaciones regionales.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETIVOS E HIPÓTESIS.

#### 2.1. Planteamiento del problema

Para definir el clima de una región, en la actualidad se cuenta con diferentes métodos ampliamente difundidos, que se eligen de acuerdo con los objetivos del estudio y a la información climatológica que se disponga en la región. Con respecto a las caracterizaciones y zonificaciones agroclimáticas, tanto a nivel mundial como nacional se han generado un gran número de métodos; en el primer caso a partir de la información climatológica disponible se generan variables agroclimáticas con las cuales se caracteriza el recurso agroclimático de la región, en tanto que la zonificación parte de comparar el recurso agroclimático de una región con los requerimientos agroclimáticos de un cultivo o grupo de cultivos y seleccionar cual o cuales de éstos satisfacen plenamente sus requerimientos para ser implantados en esa región.

En México no ha habido trabajos de investigación que permita establecer los mejores cultivos en los mejores ambientes. Normalmente la superficie establecida de un cultivo, depende más del mercado, de los apoyos de gobierno, de las inquietudes propias de un productor o de la Industria de la transformación. Específicamente para el cultivo de mango se han realizado muy pocos trabajos de caracterización agroclimática que permita definir su potencial, identificar sus riesgos, y definir zonas con potencial productivo, así como asegurar su sostenibilidad (Brajcich, 2005).

En el presente trabajo, a partir de las condiciones climáticas de las regiones donde se produce el mango y los requerimientos agroclimáticos, obtenidos a partir de la literatura especializada, se define el agroclima de éste. Con los requerimientos agroclimáticos definidos y la variabilidad climática de las regiones se generan uno o varios índices agroclimáticos que se agrupan según favorezcan o limiten el crecimiento, desarrollo y producción del mismo cultivo. Con estos índices se evalúa el agroclima de cada una de las regiones geográficas donde se produce, definiéndose para cada una de las regiones la aptitud de su agroclima con respecto al cultivo. Además, estos índices sirven para definir áreas geográficas potenciales donde el cultivo puede ser establecido con éxito.

## **2.2. Objetivos e hipótesis de trabajo**

En función de lo expuesto en el planteamiento del problema, se proponen los siguientes objetivos e hipótesis de trabajo:

### **2.2.1. Objetivo general**

- Generar un procedimiento para definir el agroclima del Mango (*Mangifera indica* L.) por medio del Análisis de Componentes Principales (ACP) de información climática y rendimiento promedio de regiones productoras del cultivo.

#### **2.2.1.1. Objetivos particulares**

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- Determinar índices agroclimáticos, para el cultivo de mango, mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP).
- Determinar con índices agroclimáticos los diferentes “agroclimas” que presentan las regiones geográficas productoras de mango (*Mangifera indica* L. cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins) en la República Mexicana.
- Definir las zonas geográficas potenciales para la producción del cultivo de mango (*Mangifera indica* L. cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins) a partir de los tipos agroclimáticos previamente definidos.
- Realizar la cartografía de la variabilidad espacial del agroclima del mango (*Mangifera indica* L. cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins) en la República Mexicana.

### **2.2.2. Hipótesis**

- Con el Análisis de Componentes Principales se determinan los índices agroclimáticos y permite definir áreas con agroclimas diferentes, en las regiones productoras de mango (*Mangifera indica* L.).

- Los índices agroclimáticos de las diferentes regiones donde se produce mango (*Mangifera indica L.*) son la base para identificar el agroclima de éste.
- Se determinan zonas potenciales para el establecimiento de plantaciones de mango (*Mangifera indica L.*) en función de: latitud, altitud, temperatura del aire, precipitación, evaporación y radiación solar global.

## **CAPÍTULO III**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1. La zonificación**

La zonificación es un proceso de sectorización de un territorio en unidades espaciales relativamente homogéneas, de acuerdo al criterio que se utilice, estos criterios pueden variar, de acuerdo a los propósitos de la zonificación, y generalmente están relacionados a factores biofísicos, sociales, económicos, culturales, políticos o administrativos.

##### **3.1.1. Las zonificaciones de cultivos**

Las zonificaciones de cultivos consisten en definir zonas propicias para el desarrollo de uno o varios cultivos específicos; también se puede entender como la búsqueda de cultivos para un área determinada, tratando de optimizar el rendimiento de los mismos.

La importancia de los estudios de zonificación de cultivos, radica, en la elaboración de planes y proyectos de desarrollo agropecuario en cualquier nivel (nacional, estatal, regional, distrital, municipal o un área específica), el inicio de una zonificación es el análisis económico y social de los productos agropecuarios que son deficitarios, la balanza del mercado nacional, internacional y las perspectivas de exportación; como resultado de este diagnóstico de mercados, se pueden elaborar listas de especies agrícolas cuya expansión ofrece buenas perspectivas económicas. Sin embargo, la primera interrogante que se plantean los planificadores, es la localización de las áreas cuyas condiciones ecológicas sean adecuadas para establecer, expandir y tener éxito el cultivo de esas especies. Otro caso de importancia puede ser que en un área específica se desee determinar cuales son las especies de cultivos que presenten las mejores perspectivas ecológicas en función de los recursos disponibles de esa área, en ambos casos la zonificación de cultivos es importante al proporcionar elementos indispensables para la toma de decisiones relativas al establecimiento y fomento de las especies cultivadas (García, 1979).

El uso de la zonificación de cultivos se considera como una estrategia para incrementar la producción agrícola a través del manejo de los cultivos ya existentes relacionados con nuevas técnicas de producción y control de plagas y enfermedades, para optimizar su área de producción o introducir otras variedades o nuevos cultivos en lugares con características ambientales bien definidas (Bárcenas, 2002).

La zonificación de cultivos es una de las principales herramientas para disminuir los riesgos a que esta sometida la agricultura. De acuerdo con Campos (2005), algunas de las aplicaciones de la zonificación de cultivos son las siguientes:

- Seleccionar uno o un grupo de cultivos que se pueden establecer en un área determinada.
- Como estrategia para incrementar la producción agrícola a través del manejo de los cultivos ya existentes.
- Optimización de las áreas que actualmente se encuentran en producción.
- Introducir nuevos cultivos en lugares con características ambientales bien definidas.
- Introducir nuevas técnicas de producción agrícola.
- Prevención y control de plagas y enfermedades.
- Reorientar la ubicación de las áreas de cultivo de especies que se necesita incrementar.
- Conocer el potencial agroclimático de un área específica para uno o un grupo de cultivos.
- Ayuda a tomar decisiones, sobre el uso de los terrenos y la selección de tipos de cultivo.
- Contribuye a definir medidas de protección ambientales y de control de enfermedades de los cultivos.
- Ayuda a la estimación de productividad sostenida, su variabilidad y riesgo de falla.
- Obtención de rendimientos potenciales probables en temporal y bajo riego.
- Auxilia en la formulación de programas de fertilización y control de plagas.

### **3.1.2. Las zonificaciones agroclimáticas**

El Agroclima se define como el conjunto de las condiciones principales, determinantes de otras que son su consecuencia, en sus valores de intensidad, duración, frecuencia y época de ocurrencia, que posibilitan el cultivo económico de una especie determinada (Burgos, 1960). Sin embargo para Van Eimers (1968) “El agroclima” es la síntesis de todas las condiciones atmosféricas y procesos meteorológicos cercanos a la superficie del suelo, que están influenciando la producción de plantas y animales sea directa o indirectamente, y los cuales son típicos para un lugar, un área o una región. Esta última definición es conceptualmente más amplia, y caracteriza al agroclima en forma general para cualquier aplicación agrícola, asignándole el sentido geográfico que es su característica principal.

Páscale y Damario (2004) menciona que las zonificaciones agroclimáticas, consisten en la división de un área geográfica en unidades más pequeñas, con características similares de elementos climatológicos (térmicos, hídricos, iluminación y radiación solar) y agroclimáticas, relacionados con los cultivos que están influenciando la producción agropecuaria, y tienen un rango específico de limitaciones y potencialidades agroclimáticas para su utilización productiva;

de acuerdo a los objetivos también se utilizan algunas variables edáficas relacionadas con la retención de humedad del suelo como la textura y profundidad del suelo, estas áreas pueden definir una similar aptitud agrícola para un determinado grupo de especies de cultivos, o bien para una sola especie o variedad en particular; entre otras cosas, también se usa para definir probables rendimientos potenciales similares en temporal y bajo riego. Los índices agroclimáticos seleccionados, según los objetivos de la zonificación se les clasifican y jerarquizan en categorías, para ubicar y cartografiar en un plano, zonas con tipos agroclimáticos similares.

### **3.1.3. Métodos de zonificación**

Seeman *et al* (1979) citado por Romo (1985) señala que establecer con certeza las áreas geográficas donde prosperen con mayor éxito los cultivos, no es un problema aislado que dependa solo del clima o del suelo, sino que se conjugan múltiples factores, entre los que destacan por su importancia los factores climáticos y edáficos del cultivo, el factor agrotécnico y factores socioeconómicos. Según Primault (1979) citado por Romo (1985) la determinación de dichas áreas se puede realizar a través de dos grupos de métodos, los agroclimáticos y los agroecológicos, sustentándose estos últimos en los primeros; es decir, primero se realizan los reconocimientos agroclimáticos con escalas relativamente grandes para dar seguimiento a parámetros meteorológicos básicos y su relación con grupos de cultivos con la misma capacidad de respuesta al clima, para enseguida continuar con estudios agroclimáticos más detallados de unos cuantos kilómetros cuadrados, donde se analizan parámetros meteorológicos más específicos en relación a una especie vegetal o grupo de variedades, después de este nivel las variaciones espaciales dependen en mayor grado de factores ecológicos, como el suelo y la topografía entre otros, y de factores agrotécnicos, a partir de este nivel toman importancia los métodos agroecológicos que pueden proporcionar información de los mejores sitios para que prospere un cultivo.

Los métodos agroclimáticos y agroecológicos incluyen el marco biofísico de la zonificación dejando los aspectos socioeconómicos que constituyen el segundo marco de referencia que debe tomarse en cuenta en estos trabajos, por lo tanto, un tercer grupo de métodos de zonificación lo constituyen los métodos integrales, que toman en cuenta los dos marcos de referencia, el biofísico (clima-suelo-cultivo-agrotecnia) y el socioeconómico.

Las metodologías existentes para llevar a cabo una zonificación son muy numerosas y varían de acuerdo a la información disponible, los cultivos por analizar, las características de la zona en cuestión, el impacto ambiental que implica el establecimiento de un cultivo en una región, así como los objetivos, nivel de intensidad y detalle que se persigan en la investigación, también

de los recursos económicos, humanos, y el tiempo con que se disponga para realizar el estudio. A continuación se presentan algunas características de cada uno de los tipos de zonificación.

**a). Zonificación agroclimática.** Una zona agroclimática es un área que presentan las mismas características atmosféricas en relación con un cultivo dado y sirve de orientación para coordinar las actividades que tienden a una adaptación más perfecta del cultivo al ambiente y a mejorar este último. La zonificación agroclimática ayuda en la elección de medidas agrotécnicas y prácticas agronómicas adecuadas para disminuir la acción desfavorable de los factores ambientales. De la misma manera, al efectuar el balance de años de cosechas rendidoras y negativas, se puede obtener la pauta a seguir, genéticamente hablando, para combinar los caracteres de producción y resistencia que aseguren buenos rendimientos (Azzi, 1959). La zonificación agroclimática presenta como objetivos definir la aptitud agrícola de una región con base en los efectos que tienen los factores y elementos del clima en los cultivos; ayudar en la estimación de los rendimientos y tender a optimizar la producción (OMM, 1984).

En general la variabilidad de las condiciones climáticas influyen en prácticamente todos los aspectos de la agricultura y deben por lo tanto estudiarse en cada una de las fases por los que pasa todo proyecto de inversión y desarrollo agrícola, para cumplir con tales requisitos, los estudios agroclimáticos de cultivos tienen como objetivo fundamental, evaluar la aptitud agrícola de una zona o región con base a los factores y elementos del clima en los cultivos, intentando la estimación de rendimientos potenciales y reales, y con tendencia a optimizar su productividad. Debido a los anterior Campos (1995) propone dos tipos de estudios agroclimáticos: preliminares y definitivos, además de definir tres niveles para los alcances de los resultados:

- Nivel A. Panorama de cultivos (Que cultivos son factibles en la zona o región)
- Nivel B. Potencial agroclimático. (Obtención de los rendimientos potenciales probables en temporal y bajo riego).
- Nivel C. Pronóstico de la producción (uso combinado de la información histórica del clima y los rendimientos observados).

La WMO (1963) Citado por Pascale y Damario (2004), distingue a las zonificaciones agroclimáticas en cuatro grupos:

- Las que usan elementos climáticos simples.
- Las que usan índices agroclimáticos.
- Las que se realizan para cultivos particulares.
- Las zonificaciones agrobotánicas.

Para la zonificación de cultivos existen varias metodologías que presentan diferencias básicamente por los objetivos que se persiguen, por la cantidad y calidad de la información disponible, y por la forma como se eligen los índices agroclimáticos, utilizados en la zonificación, como se agrupan las localidades y se logra la cartografía de las zonas, estas metodologías pueden llegar a complementarse unas con otras en un determinado estudio de zonificación dependiendo de los objetivos.

Para las zonificaciones agroclimáticas se mencionan las siguientes metodologías:

- Síntesis cartográfica sucesiva.
- Analogía climática.
- Uso de Análisis estadístico de: Análisis por agrupación (Cluster), Análisis por factores y Análisis de Componentes Principales para la obtención de índices agroclimáticos y en agrupación de localidades con agroclimas similares.

**b). Zonificación agroecológica.** Es la que se realiza para definir regiones que tienen características similares relacionadas con la aptitud de las tierras, la producción potencial y el impacto ambiental (FAO, 1997). Para este tipo de zonificación de cultivos existen las siguientes metodologías:

- La del proyecto FAO/UNESCO/OMM (FAO, 1960) citado por Barcenás *et al*, 2002.
- La zonificación de las zonas agroecológicas (ZAE; FAO, 1978)
- La zonificación de las zonas agroecológicas (ZAE; FAO, 1978) modificada por Ortiz (1981), y Ortiz, Pájaro y Ojeda (1987).
- La del Instituto Interamericano de Ciencias agrícolas en su Centro de enseñanza e investigación en Turrialba Costa Rica (Rojas, 1985).

**c). Zonificaciones Integrales.** Son estudios de zonificaciones más completas, ya que incluye tanto el marco biofísico (clima-suelo-cultivo), manejo agrotécnico, así como, el marco socioeconómico, los estudios agroclimáticos y agroecológicos solo contemplan el marco biofísico de la zonificación, descuidando los aspectos agrotécnicos y socioeconómicos que constituyen un marco de referencia importante a considerar en estos trabajos (Romo, 1985). Según García (1972 y 1979) a este tipo de zonificación se le plantean dos casos fundamentales: el primero que en base a una lista de cultivos que se deben fomentar por condiciones socioeconómicas, se necesita las mejores áreas para su establecimiento, segundo dada un área geográfica, se deben determinar los cultivos más aptos que se puedan desarrollar en dicha área, este tipo de zonificación se puede lograr con metodologías de tipo deductivo o bien con las de tipo inductivo dependiendo de la información disponible.

Una zonificación deductiva parte de la hipótesis fundamental de que los cultivos darán la misma respuesta en cualquier área con climas y suelos similares y consiste en caracterizar los cultivos por sus tipos agroclimáticos y edáficos, para su posterior ubicación en los espacios geográficos que mejor cubran sus requerimientos de clima y suelo, sin embargo para conocer los probables rendimientos potenciales y reales es necesario utilizar un proceso de zonificación inductiva, también llamada cuantitativa la cual consiste en obtener una función de producción en áreas más o menos restringidas con base en experimentos agrícolas o con datos estadísticos, con un espectro de variación suficiente y poder extrapolar geográficamente dicha función a áreas mucho más extensas cuantificando el incremento o disminución del rendimiento probable. Las zonificaciones de tipo deductiva e inductiva se pueden complementar, lo importante es lograr que sea flexible, fácil en su aplicación y con precisión aceptable.

Romo (1985) propone como una primer aproximación de la metodología para este tipo de zonificaciones integrales como primer paso lograr zonificaciones agroclimáticas (análisis del complejo clima-cultivo), que al llevarlas a las cartas edafológicas y de uso actual y potencial del suelo, conduzca a una caracterización agroecológica (clima-suelo-cultivo), que muy bien puede complementarse con estudios de niveles tecnológicos (factores agrotécnicos) y aspectos socioeconómicos para lograr una zonificación agrícola integral.

### **3.1.4. Herramientas de zonificación**

**a). Requerimientos y recursos bioclimáticos.** Los requerimientos bioclimáticos de una especie en estudio al compararse con el recurso bioclimático de una región, se puede determinar las áreas geográficas que cubren de manera satisfactoria la demanda del cultivo; esta información es fundamental en los diversos procedimientos de zonificación, y generalmente es la más difícil de obtener, ya que su definición requiere de estudios detallados a lo largo de las diferentes etapas fenológicas del cultivo; este tipo de información se puede obtener de referencias bibliográficas, sin embargo si el objetivo de la zonificación es estimar rendimientos, la información debe ser obtenida de trabajos experimentales en el campo (Barcenás, 2002). Según De fina y Rabelo (1975), los elementos del clima que mayor influencia ejercen en la producción de los fenómenos periódicos de las plantas son: el régimen de temperatura a través del año, el régimen pluviométrico, el régimen hídrico y la variación periódica de la duración del día.

Medina (1995) indica que la temperatura afecta el desarrollo de las plantas a través de su influencia sobre la velocidad de los procesos metabólicos; temperaturas bajas retardan el desarrollo, mientras que altas temperaturas (hasta un cierto límite) aceleran el desarrollo y acortan el ciclo vegetativo de las plantas. Cada proceso fisiológico es posible sólo dentro de un

determinado rango de temperatura, en donde se dan un valor mínimo, un valor óptimo y un valor máximo; estos valores pueden variar con la edad, el estado de desarrollo, la especie y la interacción con otros factores, así, la temperatura es una variable climática que puede favorecer o limitar la distribución, el desarrollo y el rendimiento de las especies vegetales, además la temperatura es posiblemente, uno de los índices bioclimáticos de uso más antiguo, tanto porque varía muy poco de un ciclo anual a otro, como por la facilidad y precisión con que se puede tomar este dato, en sus diferentes formas de caracterización, como valores promedio, extremos o de amplitud térmica.

Por su parte Ortiz (1987), menciona que la mayoría de las especies vegetales sobreviven a temperaturas que varían de los cero a los 50 °C, por lo que la producción de cultivos usualmente ocurre cuando la temperatura media del período de crecimiento varía entre 10 y 41 °C; sin embargo, la respuesta de cada cultivo y aun de cada genotipo puede variar teniendo diferentes requerimientos entre especies y aún entre variedades. Grajeda *et al* (2003) señala que desde el punto de vista del desarrollo y producción de las plantas y animales, es muy importante conocer las condiciones climáticas que afectan a procesos como: receso invernal, brotación, polinización, amarre y desarrollo de frutos, calidad de la producción, índice de madurez, predicción de fechas de cosecha, desordenes fisiológicos y ataques de enfermedades e insectos entre otros.

**b). Analogía climática.** Consiste en la determinación de zonas potenciales para la producción a través de la búsqueda de características, similares a las descritas en las zonas de origen o productoras, es decir, se buscan lugares en donde se presenten, con magnitudes y características similares, las variables que están directamente relacionadas con el cultivo en el lugar de estudio. La analogía climática se puede determinar por medio de regresiones lineales simples de elementos climáticos de las estaciones de las zonas productoras con las estaciones de las zonas potenciales. Para determinar la analogía climática entre las estaciones, se toma en cuenta el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) el coeficiente de regresión ( $\beta_1$ ) y la ordenada al origen ( $\beta_0$ ), (Romo, 1985).

**c). Análisis de Componentes Principales (ACP).** Este método fue primeramente descrito por Karl Pearson en 1901 y desarrollado por Hotelling en 1933 tal como se conoce ahora (Manly, 1994). Este método es uno de los más difundidos entre las técnicas multivariadas, la fase esencial consiste en hacer combinaciones lineales estandarizadas de las  $p$  variables cuantitativas originales, correlacionadas en alguna medida y transformándolas en  $p$  nuevas variables cuantitativas no correlacionadas entre si, conocidas como “Componentes Principales” (CP) (Zamudio y Alvarado, 2000).

Vivanco (1999) menciona que este análisis estadístico multivariado tiene el objetivo de convertir un problema de información estadística muy compleja (muchas variables de tipo cuantitativo medidas en cada unidad de observación) en otro casi equivalente pero más manejable (pocas variables nuevas) sin pérdida significativa de información. El método obtiene combinaciones lineales de todas las variables originales que sean ortogonales entre sí. De esta forma se obtiene un subconjunto de nuevas variables que son independientes entre sí, pero que están altamente correlacionadas con las variables originales, denominadas Componentes Principales, las que ordenadas en forma decreciente según su varianza, permiten explicar el porcentaje de variabilidad de los datos por cada componente. Los valores y vectores característicos se obtienen diagonalizando la matriz de varianza y covarianza o alternativamente la matriz de correlaciones cuando se tienen variables con diferentes unidades de medidas, y cada variable aporta con la misma importancia, consecutivamente, cada observación de la muestra obtiene una puntuación en cada una de las componentes principales seleccionadas, lo que permite ordenar las observaciones en base a información multivariada.

Zarate y Ramírez (2004) señalan que algunos de los usos del ACP son:

- La reducción de la cantidad de variables, mediante la generación de combinaciones lineales de las variables originales y por medio de la eliminación de variables cuya contribución en la explicación de la varianza total sea mínima.
- La generación de índices, cuya interpretación facilita la explicación del fenómeno bajo estudio.
- El análisis de agrupaciones o la comprobación de agrupaciones previas.

El método de ACP ha sido aplicado en distintos tipos de estudios climáticos, así se puede citar los siguientes:

Paterson *et al* (1978) en la región del Oeste de Australia realizan una clasificación de ambientes, con datos climáticos: precipitación anual, precipitación invernal, almacenamiento potencial de la humedad del suelo, función de vernalización, función de crecimiento, radiación solar y duración de la estación de crecimiento, mediante ACP encuentran como vectores principales la radiación solar y la cantidad de agua almacenada en el suelo, que juntos explican el 90% de la variación ambiental, estos vectores fueron utilizados para construir un plano y realizar estudios en la ecología de la avena silvestre (*Avena sp.*).

Varela *et al* (2002) aplican el método de ACP para analizar las precipitaciones mensuales en la provincia de Buenos Aires, Argentina, utilizan dos estaciones meteorológicas con diferentes periodos de registros y en ambos casos obtuvieron dos componentes principales que explican el 90 y el 87% de la varianza de los datos originales, estos componentes representan dos patrones

de precipitaciones extremos en la región y obtienen la definición de dos regiones fuertemente asociadas a estos dos patrones de precipitación extremos y una zona de transición.

Felicísimo y Álvarez (1982) en Asturias realizan tres ACP con los datos de 163 estaciones del Instituto Nacional de Meteorología en Asturias. En el primer análisis se introdujeron como variables las precipitaciones mensuales medias en el segundo las temperaturas medias de las máximas y de las mínimas a nivel mensual de 47 estaciones y, finalmente, en el tercer análisis, se analizó el régimen termopluviométrico donde se introducen conjuntamente las variables anteriores. Se realizó una división por grupos en función de la afinidad geográfica entre las estaciones y con vistas a una sectorización climática dentro de la región.

Mallants y Reyen (1990), también mediante el ACP definen regiones homogéneas de precipitación en el oeste de Bélgica y el norte de Francia utilizan datos de precipitación de tres años: 1973 (seco), 1977 (húmedo) y 1978 (promedio), se realizó un análisis con los tres años juntos y otro separadamente. Los resultados mostraron que el primer componente principal explica más del 75% de la varianza total y está distribuido uniformemente en toda la región; los patrones de los componentes expresan de alguna manera efectos marítimos y topográficos, además sirvió de base para dividir el área de estudio en cuatro subregiones coherentes, también se obtuvieron tres series de tiempo representativas de precipitación diaria en cada región.

Por su parte, Rodríguez (1993) en los Andes Venezolanos, utiliza ACP y logra la clasificación de 339 estaciones meteorológicas según patrones pluviométricos, con base a 132 datos de las precipitaciones mensuales durante once años para cada estación, los grupos encontrados reflejan unidades geográficas homogéneas, desde el punto de vista pluviométrico, sirvieron para escoger una estación representativa de cada zona encontrada y posteriormente proponer un rediseño de la red de estaciones meteorológicas.

En México, se han realizado trabajos de investigación donde se han aplicado el ACP, en las áreas social y económica, como el realizado por Ordoño (1980), quien mediante el uso del ACP y correlación canónica, analiza las variables socioeconómicas del estado de Tlaxcala. También se utilizó el ACP en estudios de salud pública como la creación de índices de gestión hospitalaria, realizado por Almenara-Barrios y García-Ortega (2002). Sin embargo el ACP no se ha utilizado para realizar trabajos de zonificación agroclimática de cultivos.

**d). Gráficas hidro-termales.** Pert (1991) menciona que aunque hay algunas interacciones del clima que son específicas para un cultivo en particular, existen otros elementos climáticos, como las características hidro-térmicas (precipitación y temperatura) en un área determinada, que se pueden aplicar a la mayoría de los cultivos. Sweeney and Fealy (2003) citados por Holden y Brereton (2003) definen regiones climáticas, utilizan análisis estadístico de la distribución de los

datos climáticos de precipitación y temperatura. Sin embargo, los mismos autores Holden y Brereton (2004) en Irlanda definen siete regiones agroclimáticas, para lo cual utilizan las gráficas de clima hidro-termales, a partir de promedios mensuales de temperatura media del aire y precipitación total del mes, para los cultivos de: pasto, cebada, maíz, papa y soya.

### **3.1.5. Trabajos de zonificación de especies perennes tropicales en México**

Se han realizado trabajos de zonificación agroecológica y agroclimática para diferentes cultivos perennes tropicales, utilizando diversos esquemas metodológicos:

Pérez (1989) en una zonificación agroecológica para el cultivo del café realiza el análisis de variables ambientales seleccionadas mediante una revisión bibliográfica tales como: promedio de temperatura mínima extrema, temperatura máxima del periodo de floración, deficiencia de humedad y calidad del suelo, utiliza los métodos de síntesis cartográfica y análisis de varianza en donde encontró que de las cuatro variables seleccionadas, la temperatura promedio de máxima del periodo de floración afecta la productividad del café de manera inversa y la calidad del suelo la afecta de manera directa.

Puebla (1990) realiza la zonificación del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) para el estado de Tabasco, utiliza el método de analogía climática con datos de temperatura y precipitación, mediante el procedimiento propuesto por Boshell y Neild (1975), concluye que de acuerdo a los resultados del análisis de temperatura, no existe similitud climática entre los países productores de cacao y las localidades estudiadas en Tabasco, además encontró que el factor climático que más limita la producción de cacao en Tabasco es la temperatura mínima, y que por el contrario no existen limitantes hídricas para la producción de este cultivo.

Martínez (1994) realiza una zonificación agroecológica para limón mexicano (*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle) y naranjo (*Citrus sinensis* (L) (Osbeck) en el estado de Oaxaca, hace la estimación de algunas variables como evaporación, evapotranspiración, radiación teórica, temperaturas máximas y mínimas mensuales, y a partir de estimación de índices de eficiencia por cultivo, se ejecutó una analogía climática entre las principales zonas productoras de limón y naranja en México. Las variables edáficas consideradas fueron la profundidad del suelo y salinidad de las fases presentes en la región de estudio. Finalmente se efectuó una sobreposición de mapas escala 1:1000 000 con lo que se definieron las zonas y los niveles de aptitud presentes.

Flores (2000) en un estudio de las zonas con potencial agroecológico para el cultivo del olivo en el estado de Zacatecas, determina la adaptabilidad del olivo a partir de la temperatura que inducen la floración, temperatura que pueden causarle daño al árbol, los grados-día de desarrollo,

la precipitación anual y la lluvia de verano, así como el pH y la textura del suelo. Mediante algebra de mapas de un SIG se genera la cartografía para determinar las zonas con mayor potencial agroecológico para el cultivo del olivo. De acuerdo con la precipitación define cinco categorías de adaptabilidad, y encuentra que en el 85.1% de la superficie del estado de Zacatecas el árbol de olivo puede crecer libremente sin que la presencia de temperaturas bajas le puedan causar graves daños y en el 10.8% de la superficie del Estado se presentan suficientes días de vernalización para que ocurra la fase fenológica de floración, en forma adecuada en el olivo y considerando tanto la precipitación anual como la lluvia de verano el 86.3% de la superficie de la región de estudio presenta condiciones aptas para el cultivo del olivo.

Landa (2001) realiza una zonificación agroecológica de guanábana en la región central del estado de Veracruz con el objetivo de determinar su potencial regional de expansión territorial y comercial. La zonificación se lleva a cabo en base a un análisis edafomorfométrico de la región, se definen cuatro categorías de potencialidad: alto, medio, bajo y muy bajo. Además se encontró que las plantaciones comerciales de guanábana establecidas se encuentran en zonas de potencial de clase medio y bajo.

Barcenas (2002), determina el potencial de aptitud para el establecimiento de plantaciones de pitahaya (*Hilocereus spp*) en 32 Estados de la República Mexicana por el método de la analogía climática. Primero evaluó los intervalos de temperatura del aire y salinidad edáfica que permiten el crecimiento de la pitahaya y después utilizó información climática del Valle de Tehuacan, Puebla (temperatura nocturna, precipitación anual y frecuencia de heladas) como referencia para el proceso de analogía, se definieron tres niveles de aptitud: Totalmente Apto, Moderadamente Apto y Poco Apto.

Zamarripa (2003) realiza una zonificación de aptitud edafoclimática para el cultivo de Hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) y determinación de la zona de escape a la incidencia de la enfermedad sudamericana de la hoja en el estado de Tabasco, México, llegó a la conclusión de que las variables climáticas analizadas, la temperatura promedio anual, la temperatura máxima de mayo y la precipitación anual no fueron limitantes para el cultivo, en cambio la precipitación mensual fue la que más influencia tuvo en la determinación de las zonas con aptitud agroclimática y en el factor edáfico, la variable más limitante fue el nivel de manto freático, además el régimen de precipitación mensual que presentan determinadas zonas con una aptitud edafoclimática apta es limitante a la incidencia de la enfermedad sudamericana de la hoja, define cuatro categorías de aptitud: Muy apta, Apta, No apta y restricción por altitud.

### **3.2. Generalidades sobre el cultivo del mango (*Mangifera indica* L.)**

### 3.2.1. Características botánicas

El mango *Mangifera indica* L., desde el punto de vista económico, es el frutal más importante de la familia *Anacardiaceae*. Según Galán (2000) su posición taxonómica es la siguiente:

Clase	<i>Dicotiledóneas</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Sapindales</i>
Suborden	<i>Anacardineae</i>
Familia	<i>Anacardiaceae</i>
Género	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>indica</i>

La familia de las *Anacardiaceae* comprende 64 géneros, citándose entre ellos a: *Anacardium occidentale* (marañón); *Pistacea vera* (pistache) y *Spondias purpurea* (ciruela mexicana) considerados como frutales de menor importancia económica que el mango (Mata y Mosqueda, 1998).

El género *Mangifera* tiene 69 especies nativas en el sudeste asiático e islas circunvecinas y el árbol de mango es una planta de hoja perenne que puede alcanzar hasta 40 m de altura en los trópicos, pero difícilmente supera los 10 m en los subtropicos, (Galán, 2000). El árbol de mango típico es de tamaño mediano, de 10 a 30 m de altura; su tronco o fuste es más o menos recto, cilíndrico de 75 a 100 cm de diámetro (aunque los árboles adultos de los cultivares: Haden, Irwin, Kent, Keitt y otros, presentan un diámetro menor a 75 cm); su corona o copa es densa, siempre verde y ampliamente oval o globular, las ramas son gruesas y robustas, frecuentemente con grupos alternos de entrenudos cortos y largos (Ochse *et al*, 1985); la corteza es gris oscura, gruesa, rugosa, con pequeñas fisuras y escamas; en general las raíces pueden crecer hasta seis metros de sentido vertical, aunque la mayor parte está concentrada alrededor de los tres metros, mientras que las raíces laterales pueden crecer hasta ocho metros o un poco más fuera del área de goteo (Mosqueda, 1983). Las hojas del árbol de mango son alternas, dispuestas en espiral, simples enteras algo coriáceas, de forma variable entre elípticas y lanceoladas y oscilan entre 8 y 40 cm de longitud. El color de las hojas varía en gran manera según los cultivares, pudiendo utilizarse esta diferencia de color para la identificación varietal. La inflorescencia de mango es un tirso compuesto, formado por un eje principal que lleva varios ejes secundarios ramificados en ejes terciarios. El número total de flores y la proporción de flores hermafroditas, varían en función del cultivar, condiciones climáticas, el emplazamiento dentro del árbol, época de emisión de la misma

y productividad del árbol. Las flores de mango son pequeñas 10-15 mm de diámetro, pentámeras; el ovario es muy reducido o inexistente en las flores masculinas y supero, globoso, brillante y de color amarillo en las flores hermafroditas. El fruto de mango es una drupa grande y carnosa que puede contener uno o más embriones. La semilla es ovoide, oblonga, alargada y se encuentra cubierta por un endocarpio fibroso; existen mangos poliembriónico y monoembriónicos, (Lahav, 1970 citado por Galán, 2000).

### **3.2.2. Origen, distribución e introducción en México**

El centro de origen del mango se ubica en el continente asiático posiblemente en la zona comprendida entre Assam (India) y la antigua Birmania (hoy Myanmar), pero también puede ser nativo de las laderas bajas de Himalaya o de zonas cercanas a Nepal o Butan ( Kosterman y Bompard, 1993). El mango es uno de los tres o cuatro frutos tropicales más finos y antiguo que cultiva el hombre. En la India las sagradas escrituras mencionan el cultivo del mango como de origen antiguo (Ochse *et al*, 1985); por lo que se considera que se cultiva desde hace aproximadamente 6000 años (Hulme, 1971; Singh, 1977).

La dispersión del mango por el subcontinente hindú y por el archipiélago malayo fue sin duda muy rápida, hacia los siglos IV y V tras haber sido distribuida por los monjes budistas, esta especie ya se encuentra en todos los países tropicales del Sudeste Asiático (Singh, 1960b). Sin embargo la dispersión del mango a otras zonas tropicales fue muy lenta y fue llevado por los marineros españoles y portugueses siguiendo dos rutas distintas. Así los españoles introdujeron los mangos desde Filipinas, por el Océano Pacífico a los puertos comerciales del continente americano más probablemente en el siglo XVII, el nombre “Manila” del cultivar tradicional mexicano es una indicación de este origen (Mata y Mosqueda, 1995). Por el contrario los portugueses utilizaron la vía africana, llevando el mango en el siglo XVI, y a Brasil en 1700 (Popenoe, 1920 citado por Galán, 2000). Según Valmayor (1962) citado por Galán (2000) la fecha de introducción en otros lugares del continente americano es: Puerto Rico (1740), Barbados (1742), Jamaica (1782), Costa Rica (1796). En México fue introducido por los portugueses en el siglo XVII, procedente de la Isla de Barbados a la costa del Golfo de México (estado de Veracruz), por otro lado los españoles introducen el cultivo vía Océano Pacífico de las Isla Filipinas a México (costas del estado de Guerrero) en 1779, y de nuestro país se introduce a la florida (Estados Unidos) en 1883. Actualmente el mango se cultiva en todo el mundo, donde las condiciones climáticas tropicales y subtropicales lo permiten (Mata y Mosqueda, 1998).

### 3.2.3. Variedades o cultivares en México

Como consecuencia de su gran antigüedad como cultivo y la naturaleza de su reproducción se ha originado un gran número de cultivares de mango. Así se han ido seleccionando según los diferentes criterios locales diferentes tipos de mangos. Mosqueda *et al* (1996) hace una descripción detallada de los cultivares de mango plantados en México y menciona que se dividen en dos grupos: monoembriónicos y poliembriónicos. El grupo monoembriónico es de origen hindú y necesita de la fecundación cruzada para formar su embrión. Si se les propaga por semilla originan una sola planta heterocigótica o híbrida, por lo que se requiere de métodos de propagación vegetativa para conservar las buenas características de estos materiales. La mayoría de los cultivares procedentes de Florida o petacones pertenecen a este grupo.

El grupo poliembriónico procede de Indochina, Tailandia, Malasia, Indonesia y Filipinas; las semillas de cultivares poliembriónicos producen más de una plántula y sólo una de ellas es de origen cigótico o híbrido, el resto son nucleares, es decir, provienen de tejido genéticamente igual al de la planta madre, esta propiedad les permite propagarse por semilla con poca variación genética en la mayoría de las plantas germinadas; el mango cultivar Manila pertenece a este grupo y a ello se debe que en las plantaciones comerciales establecidas por semilla, el 72% de los árboles conserven las características de la planta madre.

Los cultivares que en México se encuentran en plantaciones comerciales, se clasifican de acuerdo con su época de maduración en: tempranos, intermedios y tardíos.

#### a). Cultivares de maduración temprana

Se consideran tempranos aquellos que se cosechan antes o en el mes de mayo y primera quincena de junio. Entre ellos están los siguientes cultivares: Ataulfo, Sin semilla o Perla, Manila, Kensington y Haden.

**Ataulfo.** Se supone que este cultivar se originó por una cruce fortuita por ser de polinización libre, el primer árbol de este cultivar apareció en la ciudad de Tapachula Chiapas, de donde se inició su explotación comercial, actualmente ocupa el 80% de la superficie de mango en el estado de Chiapas. Su importancia económica se ha incrementado en los últimos años por ser de cosecha muy temprana, su resistencia al transporte, larga vida de anaquel (21 a 25 días a 13 -15 °C), alta productividad un peso promedio de 200 g por fruto y excelente calidad al no tener fibra. Su época de cosecha en Chiapas varía desde enero a junio pero el 94% se concentra de marzo a mayo. En

Veracruz se cosecha casi en la misma época que el “Manila”. Es el cultivar más nuevo en el mercado de exportación y tiene muy buena aceptación sobre todo entre latinos y asiáticos. Es susceptible a trips y ácaros y puede presentar pudrición en el pedúnculo.

**Manila.** Es el cultivar poliembriónico cultivado en 90% de la superficie con mango en el estado de Veracruz y el primero en importancia económica por el volumen comercializado en el mercado nacional. El árbol es de producción alternante, con un período juvenil de ocho a nueve años cuando se propaga por semilla. Si se injerta comienza a producir comercialmente al sexto año después de plantarse. Hay evidencia de que este cultivar es el mismo que se conoce como “Carabao” en Filipinas. Durante 1989, en el Campo Experimental Cotaxtla se obtuvieron dos clones llamados Manila Cotaxtla-1 y Manila Cotaxtla-2, cuyos rendimientos promedio son de 544 y 503 kg por árbol, por año, respectivamente.

**Sin Semilla o Perla.** Poliembriónico, seleccionado por productores de mango en el estado de Veracruz, produce dos tipos de fruto: "desarrollados" (con semilla) y "subdesarrollados" en los que la semilla no se desarrolla, pero la fruta madura bien. Este tipo de mango produce una gran cantidad de fruto sin semilla cuando está intercalado con el cultivar Manila. En cambio, intercalado con otros cultivares, la mayoría de sus frutos producen semilla ya que algunos de ellos deben ser polinizadores eficientes, lo cual ocasiona pérdida de calidad en la fruta, pues el interés del productor es obtener frutos sin semilla.

**Kensington.-** Poliembriónico, seleccionado en Australia donde también se le conoce como “Kensington Pride”.

**Haden.-** Monoembriónico, originado en Florida. Es un árbol muy vigoroso de copa abierta y alto rendimiento, pero presenta alternancia, es un cultivar muy aromático, susceptible a las quemaduras del sol, a las plagas y a las enfermedades. En Florida se cosecha en junio y principios de julio. Es el segundo cultivar en importancia de México por su volumen de exportación y se cultiva con ese fin en los estados de Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco. En Veracruz cultivado en suelo vertisol y condiciones de temporal, se cosecha a fines de mayo y junio. En la República Mexicana el mismo cultivar presenta diferentes características, dependiendo de la región donde se produce, siendo más débil en algunas que en otras. El Mango Haden de la Tierra Caliente tiene características de mayor resistencia y vida de anaquel que los mangos Haden de las costas húmedas de Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco.

### **b). Cultivares de maduración intermedia**

Se cosechan entre la segunda quincena de junio y primera de julio; entre estos se encuentra el cultivar Tommy Atkins.

**Tommy Atkins.** Cultivar monoembriónico, originado en Florida; es un árbol vigoroso con abundante follaje, poco alternante, con frutos de tamaño mediano a grande con un peso de 450 a 700 gramos, con muy buena calidad y apariencia exterior. El fruto en ocasiones presenta un ligero ahuecamiento interno de origen fisiológico en la unión del fruto con el pedúnculo, que demerita su calidad, pero puede reducirse si se cosecha apenas se alcance la madurez fisiológica, en el caso de Florida se cosecha a principios de agosto. Es el cultivar de mayor importancia de México por su volumen exportado principalmente a los E U A, se cultiva con ese fin en los estados de: Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco y Nayarit. En la zona central de Veracruz en suelo vertisol y condiciones de temporal, se cosecha en junio. Es el de mayor preferencia en los Estados Unidos por su color rojo y sabor dulce, su pulpa fibrosa lo hace ser rechazado en algunos países de Europa y Japón. Es menos susceptible a la roña y trips que el Haden.

### **c). Cultivares de maduración tardía**

Estos cultivares se cosechan en el estado de Veracruz durante la segunda quincena de julio y primera de agosto, pero en los Estados del Pacífico norte se cosechan en agosto y septiembre, entre ellos se encuentran Kent y Keitt.

**Kent.** Monoembriónico, originado en Florida, se cosecha en julio y agosto, si no se corta con oportunidad se germina el hueso. Es el tercer cultivar en importancia de México por el volumen exportado principalmente a los E U A, y se cultiva con ese fin en Nayarit y Sinaloa. En el centro del estado de Veracruz en suelo vertisol y condiciones de temporal, se cosecha en julio y principios de agosto. Los consumidores europeos, sobretodo los de Francia, Inglaterra, los Países Bajos y Japón prefieren frutos de este cultivar ya que su pulpa casi no contiene fibra y tiene un alto contenido de azúcares. El fruto de este cultivar es de gran demanda industrial.

**Keitt.** Monoembriónico, originado en Florida. Es el cuarto cultivar de importancia en México por su volumen exportado y se cultiva con ese fin en los estados de Nayarit y Sinaloa, donde se cosecha de agosto a septiembre. En el estado de Veracruz, en un suelo vertisol y bajo condiciones de temporal, se cosecha en julio y principios de agosto. Los datos sobre rendimiento son muy variables ya que están influenciados por: el clima, el suelo y el manejo del cultivo. Este cultivar se considera como el mejor de los mangos tardíos. Pulpa jugosa y sin fibra excepto en la zona cercana al hueso,

es de buen sabor y dulce. Su calidad se califica de muy buena y la mayor parte de este mango se exporta a Norteamérica. Su demanda es para hacer cachetes y cubos congelados no así para jugos, es rendidor y en ocasiones puede carecer de pigmentación.

De los Santos y Mosqueda (1988) al evaluar el comportamiento de 21 cultivares y 12 selecciones mexicanas de mango por su rendimiento y época de cosecha, concluyeron que la cosecha de cultivares de mango se presenta de mayo a agosto formando tres grupos: precoces: (mayo a junio) sobresalen los cultivares: Sin semilla, Diplomático, Edgard y Haden; intermedios: (16 de junio a 15 de julio), destacando: Tommy Atkins, Springfels, Davis, Haden y Fabián; tardíos: (16 de julio en adelante) destacaron: Kent y Keitt.

### **3.2.4. Requerimientos bioclimáticos del mango**

#### **3.2.4.1 Altitud y latitud**

El mango es un frutal de clima tropical, y se distribuye entre los trópicos de cáncer y capricornio, se planta desde lugares cercanos al nivel del mar, hasta lugares con altitudes no mayores a los 600 m (Mosqueda, 1983; Ochse *et al*, 1985), por su parte, Guzmán (1988) indica que se puede considerar como ideal la altitud de 0 a 1000 m, que en el caso de la República Mexicana corresponde a las llanuras del Golfo de México y del Océano Pacífico, y Hayes (1970) señala que en México, India y otros países el mango prospera hasta alturas de alrededor de 1500 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Por otro lado, se indica que el mango se adapta de manera natural a tierras bajas subtropicales ubicadas entre los 25° de latitud al Norte y Sur del ecuador y puede desarrollarse a altitudes de 915 m, pero puede sufrir daños por frío (Morton, 1987), aunque Davenport y Núñez-Elisea, (1997) señalan que el cultivo del mango se concentra entre las latitudes 27° N y 27° S. Singh (1960b) señala que por cada grado de latitud, o por cada 120 m de altitud en el trópico, se tiene una variación de cuatro días en el inicio de la floración. Mata y Mosqueda, (1998) mencionan que el mango es una planta que se desarrolla desde zonas montañosas y Marginales que tienen un severo periodo de sequía y con suelos pobres donde sus producciones son muy bajas, sin embargo, para plantaciones comerciales y redituables se debe evitar las zonas frías por exceso de altitud.

#### **3.2.4.2. Temperatura**

Las mejores regiones para el cultivo de mango son aquellas cuya temperatura media anual oscila entre 20 y 25 °C, pudiendo llegar en invierno a 15 °C. Cuando los árboles tienen un buen desarrollo pueden soportar durante algunas horas temperaturas de hasta -2 °C; sin embargo los árboles jóvenes de menos de cinco años pueden morir al estar expuestos a temperaturas de 1 °C, (Ibar, 1979).

Este elemento climático juega, sin duda, el papel dominante en el crecimiento y desarrollo del mango, una temperatura de 0 a 3 °C por un periodo prolongado causa problemas de desarrollo en el mango que pueden ir desde la detención del crecimiento hasta la muerte del árbol (Popenoe, 1920; Singh y Singh, 1955 y Singh, 1960b). La presencia de heladas es el factor limitante para el cultivo de mango, indicándose -6 °C como límite extremo por debajo del cual se produce la muerte de los árboles adultos, ocurriendo la muerte de los mangos jóvenes tras trece horas de exposición a -4 o -6 °C (Campbell *et al*, 1977). Ireta y Guzmán (2002) indican que los daños que pueden sufrir los árboles de mango por bajas temperaturas dependen de su edad y estado fenológico. Así en árboles adultos pueden soportar hasta -3.9 °C por unas horas, pero con sus consecuencias: daños en hojas y en ramas delgadas; en cambio árboles jóvenes pueden morir a temperaturas de -1.7 a -1.1 °C. Las flores y frutos pequeños expuestos por varias horas a 4.4 °C pueden morir. Se pueden señalar como condiciones ideales de temperatura para su cultivo las siguientes: invierno moderadamente frío (mínimas en torno a los 10 °C), primavera moderadamente cálida (mínimas superiores a 15 °C, verano y otoño calientes y ligeras variaciones de temperatura entre el día y la noche (Galán, 2000). El mango puede desarrollarse en climas donde la media del mes más frío no sea menor de 15 °C (Ochse *et al*, 1972). Brunini y Alfonsi (1980) señalan como zonas Marginales para el mango aquellas con temperaturas medias anuales menores de 21 °C y como inadecuadas aquellas en que éstas sean inferiores a 19 °C. Mata y Mosqueda, (1998) considera que el crecimiento se detiene entre 4 y 6 °C. Por su parte Purseglobe (1968), señala que para el crecimiento del mango la temperatura media anual óptima es de 24 a 26.5 °C. Mosqueda (1983) indica que la temperatura óptima promedio anual de crecimiento del mango oscila de 23 a 26 °C, y las temperaturas mínima y máxima extremas de crecimiento son de 6 y 43 °C respectivamente, aunque otros investigadores mencionan que las temperaturas mínima y máxima extrema que tolera el mango, son de 0 a 7 °C y de 40 a 48 °C respectivamente (Sing, 1960a; Chandler, 1962; Corbineau *et al*, 1987; Purseglobe, 1987; Parisot, 1988; García, 1992). Por su parte Donadio (1980) señala que acompañadas de viento y humedad el mango tolera temperaturas de 50 °C durante la fase de fructificación, Chachko (1986) considera que para la floración y maduración del fruto el rango de temperatura ideal está entre 30 a 33 °C. Anon (1991) citado por Galán (2000) señala que durante la fase de crecimiento del fruto la temperatura debe estar comprendida entre 27 y 36 °C.

El efecto de la temperatura se hace más evidente en zonas subtropicales en donde la emergencia de la inflorescencia se produce poco después del periodo de temperaturas medias más bajas del año (Whiley *et al*, 1989 y Issarakraisila *et al*, 1992), aunque las temperaturas bajas son benéficas para la inducción floral, cuando éstas son muy bajas cercanas a 5 °C pueden producirse inflorescencias con elevado porcentaje de flores masculinas (Chiaikiattiyos *et al*, 1997). Así mismo, la incidencia de temperaturas inferiores a 15.6 °C durante la floración puede originar diversos problemas como baja germinación del polen, reducción del crecimiento del tubo polínico y aborto de embriones (Young y Sauls, 1979). Taylor y Rowley (1971) y Graham y Patterson (1982) indican que cuando la temperatura desciende de los 10 °C se inhibe la fotosíntesis y otros procesos metabólicos por lo que aparecen síntomas cloróticos.

Se espera que la brotación de yemas de cualquier cultivar de mango en un periodo determinado pueda adelantarse o retrasarse al disminuir o aumentar la temperatura, además las temperaturas superiores a 43 °C afectan el desarrollo de la hoja; así como la permanencia del fruto en el árbol de mango, también se acelera la maduración del fruto cuando la temperatura es de 21.5 °C y se retarda a temperaturas más bajas (Singh, 1960a); la temperatura ideal para una buena fructificación oscila de 25 a 30 °C (Singh, 1960a; Ireta y Guzmán 2002). Otro aspecto importante relacionado con la temperatura son los grados días o unidades calor que las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo cuando los demás factores de producción están en condiciones óptimas.

Whiley *et al* (1988) determinan como temperatura media para el cero vegetativo 15 °C y señalan que el número de brotes vegetativos emitidos a una temperatura dada varía según el cultivar. Chávez *et al* (2001) indican que temperaturas promedio entre 23.7 y 26 °C permiten acumular alrededor de 1000 unidades calor durante la estación de crecimiento.

En el Cuadro 3-1 se indica el efecto de las temperaturas sobre el cultivo de mango, según Galán (2000) y en el Cuadro 3-2 se presenta un resumen del efecto de la temperatura en el cultivo de mango según diferentes autores.

Cuadro 3-1. Efecto de las temperaturas sobre el mango según Galán (2000).

Efecto de la temperatura en el mango	Temperatura (°C)
--------------------------------------	------------------

Límite extremo de tolerancia al calor	48 a 50
Umbral a partir del cual pueden ocurrir daños para el mango	40
Óptimo para floración y maduración	30
Óptimo para crecimiento vegetativo	24.5 a 26.5
Problemas de germinación de polen; reducción del crecimiento del tubo polínico. Inhibición del crecimiento vegetativo. Fenómenos de aborto de embrión (Se considera cero vegetativo)	15
Temperaturas idóneas para inducción floral	10 a 15
Inhibición de fotosíntesis y otros procesos metabólicos. Aparición de clorosis tras exposición prolongada	9
Daños en brotes tiernos y muerte en árboles jóvenes	0
Límite extremo de tolerancia al frío	- 6

Fuente: Galán (2000)

**a). La temperatura y la floración.** El crecimiento y el desarrollo del mango y, por tanto su ciclo fenológico están controlados fundamentalmente por el clima. Así, en los climas de estaciones bien definidas existe una marcada separación de las fases vegetativa, de latencia y reproductiva. Por el contrario, en los de estaciones indefinidas se produce simultaneidad en las mismas al menos a nivel de árbol. El conocimiento del ciclo fenológico del árbol de mango, de su comportamiento en función de las variaciones climáticas a lo largo del año, es de vital importancia para el manejo correcto de los árboles de mango y para obtener mejores rendimientos (Galán, 2000).

En condiciones subtropicales, con inviernos que presenten temperaturas nocturnas inferiores a 15 °C el estímulo inductor de la floración hace que todas las ramas de los árboles produzcan flores de forma simultánea e igualmente hace que posterior a la floración, se produzcan subsiguientes crecimientos vegetativos (Shu y Sheen, 1987; Whiley *et al*, 1989; Núñez-Elisea y Davenport, 1991a, 1991b y 1994). Por el contrario en los trópicos debido al escaso estímulo floral (temperaturas relativamente altas) se origina fenómenos de erratismo a nivel de árbol debido a la producción de floraciones y crecimiento vegetativo asincrónico (Verheij, 1986). Por su parte Singh (1954) reporta que las bajas temperaturas influyen en gran medida sobre la apertura y dehiscencia de las flores en mango. Si la temperatura disminuye por debajo de 15.5 °C durante varias horas, se reduce la viabilidad del polen de mango (Young, 1965).

Tomando en cuenta que las giberelinas juegan un papel importante en la fisiología de reproducción del mango, la naturaleza trata de promover los cambios hormonales, ya sea estimulando o inhibiendo el crecimiento vegetativo o reproductivo, mediante sus elementos climáticos, sobre todo la temperatura y precipitación. Es decir, altas temperaturas y lluvias estimulan la producción de giberelinas y promueve el crecimiento vegetativo; mientras que las bajas temperaturas y estrés hídrico disminuyen el contenido de estas hormonas, estimulando la diferenciación floral. En estudios realizados se observaron que plantas de mango cultivar Haden sometidas a bajas temperaturas (día 19 °C y noche 13 °C) por dos o más semanas, presentaron floración abundante. Cuando la temperatura se mantuvo constante, el porcentaje de floración en los siguientes tratamientos: día 19 °C y noche 13 °C, día 25 °C y noche 19 °C y día 31 °C y noche 25 °C, fue de, 87, 60 y 0% respectivamente, de esta forma, se puede concluir que las bajas temperaturas disminuyeron el contenido de giberelinas en las ramas terminales y sufrieron diferenciación floral (Shu y Sheen, 1987). Temperaturas entre 13 y 18 °C inducen y aceleran el proceso de floración en mango. La señal floral inductiva en el mango, puede presentarse antes de la iniciación de la brotación vegetativa y deberá estar todavía presente al tiempo de la inducción floral, de lo contrario, la señal inductiva puede ser cambiada de reproductiva a vegetativa o de vegetativa a reproductiva por alteración de temperaturas a las cuales los árboles son expuestos durante el temprano desarrollo de los retoños (Batten y McConchie, 1995). Se puede presentar falta de floración cuando las plantas se someten a tratamientos de estrés hídrico sin ser acompañados de temperaturas bajas. En el invierno, las temperaturas bajas inductoras de la floración combinada con deficiencia de humedad en el suelo provocan brotación temprana de yemas florales (Núñez-Elisea y Davenport, 1994 y Wiley, 1993). Las temperaturas diurnas inferiores a 20 °C son esenciales para la inducción de la floración del mango y éstas no pueden ser remplazadas por el estrés hídrico (Chiaikiattiyos *et al*, 1994; Ravishankar *et al*, 1979). El estrés provocado por temperaturas diurnas menores o iguales a 19 °C son determinantes para la inducción e iniciación floral en mango (Shu y Sheen, 1987; Núñez-Elisea, 1994). Se considera que dentro de los factores ambientales la temperatura es una de las responsables de activar mecanismos hormonales implicados en el proceso de floración, además para que inicie la floración del mango se requieren temperaturas diurnas de 19 °C y nocturnas de 13 °C durante siete semanas, es decir una acumulación de unidades calor menor a 50, considerando una temperatura base de 15 °C. En el trópico una mayor inducción floral se presenta cuando se alternan temperaturas diurnas de 25 °C y nocturnas de 19 °C (Mata y Mosqueda, 1998).

**b). La temperatura y el cultivar Manila.** Guzmán (1988) realiza lecturas diarias de temperatura durante los años 1986 en huertas de mango cultivar Manila en el estado de Veracruz,

los resultados muestran una temperatura mínima promedio anual de 20.8 °C, la temperatura media anual de 24.6 °C, además se acumularon 9161 unidades calor durante todo el año. León-Arteta y Pérez (1996), señalan que en experimentos con mango del cultivar Manila realizados en el estado de Veracruz, las temperaturas de las primeras y segundas quincenas del mes de diciembre afectan la diferenciación floral y por ende la producción del mango. Singh (1965) menciona, que para inducir la floración en mango la temperatura mínima promedio debe ser de 15 a 16 °C, la temperatura media anual óptima para el mango debe ser de 24 a 27 °C y sugiere que se necesitan tres meses con temperatura media de 15 °C.

Osuna *et al* (1999) indican que en experimentos realizados en el estado de Veracruz, México, en condiciones de campo, las yemas de mango cultivar Manila presentan un periodo de letargo (diciembre-enero) durante el cual ocurre la iniciación floral y además existe una coincidencia entre el descenso de temperatura media menor a 20 °C y los procesos de iniciación y diferenciación floral en este cultivar. La información climatológica mostró que las temperaturas bajas nocturnas menores de 20 °C fueron más frecuentes de noviembre a marzo que durante los otros siete meses. Mosqueda y De los Santos (1993) determinaron que para que se presente las fases fenológicas de elongación de la inflorescencia (desde la brotación de la yema hasta la formación del fruto) y el desarrollo del fruto (desde la formación del fruto hasta su maduración) en el mango cultivar Manila, se necesitan 434.7 y 2292.7 grados día respectivamente, con una temperatura base de 12 °C. Las temperaturas de las primeras y segundas quincenas de diciembre y las aplicaciones de nitrógeno al suelo, afecta la diferenciación floral y, por ende, la producción del mango.

**c). La temperatura y el cultivar Tommy Atkins.** Este cultivar de mango es capaz de iniciar floración con temperaturas nocturnas de alrededor de los 15 °C en condiciones tropicales, y en condiciones subtropicales lo hace con temperaturas día/noche de 18 °C/10 °C, mientras que si la temperatura día/noche es de 30 °C/25 °C con 11 o 13 horas de fotoperíodo solamente ocurre crecimiento vegetativo, (Núñez-Elisea *et al*, 1993 y Núñez-Elisea y Davenport 1995) Por su parte Moreira (2001) en un estudio realizado en el estado de Guerrero con el cultivar Tommy Atkins para conocer el efecto de promotores de floración en la fisiología y desarrollo del mango, encontró que la inducción floral se sobrevino en mayor grado, cuando la temperatura media descende hacia finales del año.

**d). La temperatura y el cultivar Ataulfo.** Lerma (2001) realiza un estudio de diagnóstico fenológico y nutricional del mango cultivar Ataulfo en la región del Soconusco, en el estado de

Chiapas, con un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, siendo junio el mes más caluroso, los sitios de estudio presentan un promedio de temperatura mínima anual de 19.7 °C y un promedio de temperatura máxima de 35.6 °C, encontró que las frecuencias de temperaturas mínimas de 18 °C a 14 °C regulan las excitaciones de las yemas a brotar y su transformación en yema vegetativa o floral está en función del balance nutrimental y hormonal que tiene el árbol, además esta frecuencia de temperaturas mínimas produce varios flujos vegetativos y florales. Observó que se registraron frecuentes temperaturas mínimas por debajo de los 20 °C y máximas arriba de 38 °C. Las temperaturas mínimas provocaron que en el ciclo (1999-2000) casi todas las huertas de mango del Soconusco, Chiapas, florearán prácticamente desde octubre de 1999 hasta febrero del 2000.

En el Cuadro 3-2 se tiene un resumen de las temperaturas y su efecto en el cultivo de mango que presentan los diferentes autores consultados.

Cuadro 3-2. Resumen del efecto de la temperatura en el cultivo de mango según diferentes autores.

<b>Efecto de la temperatura en el mango</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>A u t o r ( e s )</b>
Límite extremo de tolerancia al frío	-6	Galán (2000)
En árboles adultos pueden soportar hasta por unas horas, pero con daños en hojas y ramas delgadas.	-3.9	Ireta y Guzmán (2002)
En árboles jóvenes pueden morir	-1.7 a -1.1	Ireta y Guzmán (2002) y Galán (2000)
Problemas de desarrollo en el mango: desde la detención del crecimiento hasta la muerte del árbol	0 a 3	Popenoe (1920) Singh y Singh (1955) y Singh (1960b)
Las flores y frutos pequeños expuestos por varias horas pueden morir	4.4	Ireta y Guzmán (2002)
El crecimiento se detiene	4 a 6	(Mata y Mosqueda, 1998)
Mínima extrema que tolera el mango para su crecimiento	6 7	Mosqueda (1983) Chandler (1962) y Sing (1960a)

Cuadro 3-2. Continuación...

<b>Efecto de la temperatura en el mango</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>A u t o r ( e s )</b>
Pueden producirse inflorescencias con elevado porcentaje de flores masculinas	5	Chiaikiattiyos <i>et al</i> (1997)
Se inhibe la fotosíntesis y otros procesos metabólicos por lo que aparecen síntomas cloróticos	Inferior a 10	Taylor y Rowley (1971) y Graham y Patterson (1982)
Ideal Invierno moderadamente frío mínimas en torno a	10	Galán (2000)
Ideal en primavera moderadamente cálida Temperatura mínima anual superior a	15	Galán (2000)
Temperaturas idóneas para inducción floral	10 a 15	Galán (2000)
Temperatura media para el cero vegetativo	15	Whiley <i>et al</i> (1988)
Se reduce la viabilidad del polen, reducción del crecimiento del tubo polínico y aborto de embriones	Inferior a 15.5	Young (1965) Young y Sauls (1979)
Desarrolla bien en climas con temperatura media del mes más frío.	Superior a 15	Ochse <i>et al</i> (1972)
Temperatura media mas baja	15 a 16	Singh (1965)
Zonas inadecuadas para el mango, aquellas que presenten temperaturas medias anuales	Inferiores a 19	Brunini y Alfonsi (1980)
Son determinantes para la inducción e iniciación floral en mango	Inferior o igual a 19	Shu y Sheen (1987) y Núñez-Elisea (1994)
Zonas Marginales para el mango, aquellas que presenten temperaturas medias anuales	Inferiores a 21	Brunini y Alfonsi (1980)
Se acelera la maduración del fruto	Superior a 21.5	Singh (1960a)
Temperatura media anual ideal para una buena fructificación	25 a 30	Singh (1960a), Ireta y Guzman (2002)

Cuadro 3-2. Continuación...

Efecto de la temperatura en el mango	Temperatura (°C)	Autor(es)
Óptima durante la fase de crecimiento del fruto	27 a 36	Anon (1991) Citado por Galán (2000)
Temperatura media anual óptima de crecimiento	20.0 a 25.0	Ibar (1979)
	23.0 a 26.0	Mosqueda (1983)
	24.0 a 26.5	Purseglobe (1968) y Galán (2000)
	24.0 a 27.0	Singh (1965)
Ideal para la floración y maduración del fruto	30 a 33	Chachko (1986)
Se afectan el desarrollo de la hoja y permanencia del fruto en el árbol	Superior a 43	Singh (1960a)
Máxima extrema que tolera el mango para su crecimiento	43	Mosqueda (1983)
	40 a 48	Chandler (1962), Sing (1960a) Corbineau <i>et al</i> (1987), Purseglobe (1987), Parisot (1988),
	50	García (1992) y Galán (2000) Donadio (1980)

### 3.2.4.3. Precipitación

El mango progresa mejor en lugares con una época seca definida que en lugares con lluvia todo el año, y dicha época seca debe coincidir de preferencia con la etapa de floración ya que de presentarse lluvias en esta etapa fenológica se reduce la polinización y el cuajado de las flores, por esta razón se propone como zonas aptas para su cultivo las calientes con lluvias en verano e invierno seco  $Aw(w)$  o bien calientes con régimen de lluvias de monzón e inviernos secos  $Am(w)$ , pero no se consideran adecuadas aquellas con clima lluvioso todo el año, como sería el caso de los climas  $Af$  en México (Reyna 1975, citado por Reyna, 1982).

El mango es una planta de clima monzónico, para vegetar y fructificar normalmente necesita de una estación seca alternándose con una estación lluviosa; soporta la sequía y puede desarrollarse en áreas donde la precipitación varía de 240 a 5000 mm anuales (Mata y Mosqueda, 1998), en la India el mango crece en donde la precipitación anual es de 254 mm, pero también desarrolla en regiones con precipitación máxima anual de 2540 mm (Singh, 1960b). Pero más que la cantidad importa el periodo en que ocurre, ya que con bajas precipitaciones durante el tiempo de fructificación, la producción puede ser satisfactoria y a veces excelente. Se considera como ideal

una precipitación anual mayor 1000 mm acompañada de una sequía de cuatro a seis meses en la cual la precipitación mensual no exceda de 60 mm (Mata y Mosqueda, 1998 y Ochse *et al*, 1985).

Las lluvias intensas lavan el polen en tiempos de floración, y en los días con lluvias los insectos permanecen inactivos, disminuyendo la polinización y la fructificación (Singh, 1960b; Alvim y Kozlowski, 1977). La incidencia de periodos de déficit hídrico es beneficiosa para el mango en algunas etapas de su ciclo fenológico. Así en las regiones tropicales el estrés hídrico parece ser el factor ambiental responsable de la inducción floral (Singh y Jawanda, 1961; Chachko, 1986; Whiley, 1986; Whiley y Schaffers 1997). La baja humedad relativa puede causar quemaduras en los frutos y la alta humedad relativa causa problemas de enfermedades (Mata y Mosqueda, 1998).

El mango se considera moderadamente resistente al encharcamiento. Por otro lado la incidencia de periodos de déficit hídrico es beneficiosa para el mango en algunos momentos de su ciclo fenológico. Por el contrario en el momento del cuajado y crecimiento del fruto, la sequía es muy dañina disminuyendo tanto la retención del fruto como el tamaño de los mismos (Galán, 2000).

#### **3.2.4.4. Luminosidad**

El fotoperíodo no es determinante para la producción de mango, pero interactúa con la temperatura y humedad, aunque se ha observado que en tiempo húmedo y nublado produce oleadas de floración. Sin embargo el mango es muy exigente en radiación solar para su floración y fructificación por ello se debe tener cuidado en las densidades y marco de plantación, junto a una buena orientación de la huerta asegura productividad, maduración y una buena coloración de los frutos (Mata y Mosqueda, 1998). El mango debe recibir 2000 horas de sol al año para satisfacer todas sus funciones fisiológicas (Maderos, 1988). Schaffer y Gaye (1989) determinaron que la mayor acumulación neta de CO<sub>2</sub> ocurrió con alta intensidad lumínica, con 100% de exposición al sol. La duración del día no parece influir sobre la iniciación floral del mango, ya que ésta se obtuvo en experimentos con fotoperíodos de 11 hasta 24 horas, con temperaturas inductivas de floración (18 °C/10 °C día/noche), mientras que a temperaturas elevadas (30 °C/25 °C) ningún fotoperíodo indujo floración (Núñez-Elisea y Davenport, 1995). La retención del fruto por el árbol, está condicionado por la variación, duración e intensidad de la luz recibida durante el curso del día (Chadha y Singh, 1963).

#### **3.2.4.5. Vientos**

El mango es sensible al viento particularmente entre la floración y la cosecha, donde los daños son directamente proporcional a la intensidad de los mismos, la protección con cortinas rompevientos, aumenta la productividad y disminuye la incidencia de algunas enfermedades. En algunas regiones de México el viento es una limitante para la producción de mango ya que ocasiona pérdidas en la floración y en la fruta próxima a ser cosechada.

### **3.2.5. Zonas productoras de mango**

**a). En el Mundo.** El mango es el tercer fruto tropical en términos de producción e importación a nivel mundial, tras el plátano y la piña tropical y el quinto de todos los frutos (superado en volumen también por la manzana y la uva); el mango se cultiva en numerosos países tanto en los trópicos como en los subtropicos, mundialmente se distribuye desde los 36° de latitud Norte en España hasta los 33° de latitud Sur en Sudáfrica, en la Figura 3-1 se indican las zonas de cultivo y las zonas Marginales de producción de mango en el mundo; actualmente se cultiva en más de 100 países (Galán, 2000). En los Cuadros 3-3 y 3-4 se enlistan y en la Figura 3-2 se ubican geográficamente los principales países productores de mango en el mundo.

**b). En México.** El cultivo de mango en forma comercial se extiende a 12 de los 32 Estados que comprende la República Mexicana, (Cuadro 3-5 y Figura 3-3) con una superficie plantada de 173,508 ha en los estados de: Veracruz, Oaxaca, Nayarit, Guerrero, Michoacán, Sinaloa, Chiapas, Jalisco, Colima, Morelos, Campeche y Tabasco (Figura 3-4) con un rendimiento promedio de 9.7 toneladas por hectárea. El 67.5% de la superficie plantada es de temporal y el 32.5% de riego (Figura 3-5), en la Figura 3-6 se observa que el estado de Veracruz desde 1990 hasta el 2003 es el Estado que reporta mayor superficie plantada, presentando incrementos desde el año 1990 hasta 1996, sin embargo a partir de este año tiene un decremento de la superficie plantada, siendo superado por el estado de Sinaloa en el año 2004, principalmente porque los productores están sustituyendo el mango por otros cultivos o por pastizales para ganadería; los estados de: Oaxaca, Guerrero, Chiapas, Michoacán, Nayarit y Sinaloa muestran un incremento anual significativo, y los estados de: Colima, Morelos, Tabasco, Campeche y Jalisco se mantienen con incrementos muy leves e incluso decrementos como en el caso de Tabasco en el periodo de 1993 a 2004 (INEGI, 2005).

Cuadro 3-3. Superficie cosechada con mango en hectareas en los años de 1994 a 2004 en los principales países productores de mango en el mundo.

País	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
India	1230.0	1280.0	1300.0	1200.0	1400.0	1400.0	1490.0	1520.0	1580.0	1600.0	1600.0
China	190.8	286.1	319.5	313.1	398.9	418.7	478.9	388.6	394.0	408.9	418.5
Indonesia	133.5	196.6	148.8	148.3	133.5	137.0	144.2	144.2	184.7	158.9	312.2
Tailandia	195.0	195.0	197.9	221.9	227.3	244.7	269.9	270.0	270.0	270.0	270.0
México	128.0	134.9	138.6	149.5	153.9	155.3	154.3	162.3	161.9	173.8	173.8
Filipinas	65.0	80.4	87.7	92.9	115.1	132.2	133.8	136.9	150.5	155.2	159.0
Nigeria	102.0	106.0	110.0	115.0	122.0	122.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0
Pakistán	84.8	88.3	89.5	90.4	92.8	93.5	94.1	97.0	99.0	102.8	103.1
Guinea	51.0	40.0	40.2	40.0	45.0	45.0	45.0	60.0	78.0	80.0	82.0
Brasil	55.4	56.5	62.1	64.7	66.8	61.2	67.6	67.2	66.7	68.1	68.0
Vietnam	20.1	21.1	26.2	31.2	37.1	43.1	46.7	47.1	58.7	68.0	51.5
Bangladesh	49.5	49.9	50.1	50.3	50.4	50.6	50.6	50.6	50.6	50.6	51.0
Egipto	19.7	21.1	21.8	23.2	25.4	36.1	38.9	43.0	28.8	30.7	34.2
Haití	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	33.0	33.5	34.0
Otros países	276.4	283.5	293.6	291.6	319.9	314.6	329.4	326.7	337.4	343.1	322.1

Fuente: FAO, 2006

Cuadro 3-4. Incremento en porcentaje de superficie cosechada con mango, porciento de superficie, producción y rendimiento en el año 2004 en los principales países productores de mango en el mundo.

Países	Incremento de superficie (1994-2004) (%)	Superficie cosechada 2004 (%)	Producción 2004 (%)	Rendimiento 2004 (t ha <sup>-1</sup> )
India	30.1	42.1	39.9	6.75
China	119.4	11.0	13.2	8.56
Indonesia	134.0	8.2	5.3	4.60
Tailandia	38.5	7.1	6.3	6.30
México	35.8	4.6	5.6	8.65
Filipinas	144.5	4.2	3.6	6.09
Nigeria	22.5	3.3	2.7	5.84
Pakistán	21.6	2.7	3.9	10.24
Guinea	60.8	2.2	0.6	2.00
Brasil	22.6	1.8	3.1	12.50
Vietnam	156.6	1.4	1.2	6.10
Bangladesh	3.1	1.3	0.9	4.76
Egipto	73.8	0.9	1.4	10.98
Haití	6.3	0.9	1.0	7.65
Otros países	16.5	8.5	11.3	9.50
<b>Total</b>		<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>Promedio 7.40</b>

Fuente: FAO, 2006

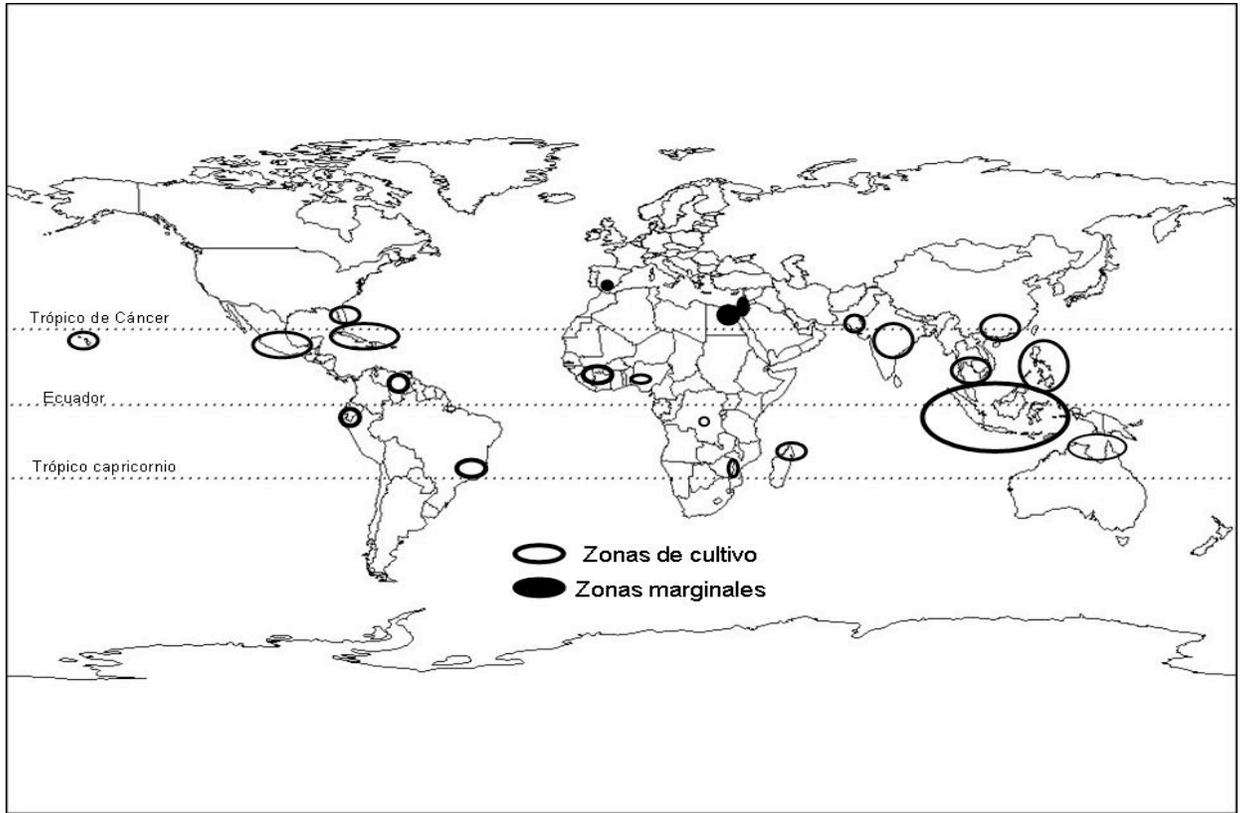


Figura 3-1. Distribución de zonas de cultivo y zonas marginales de mango en el mundo (Galán, 2000).

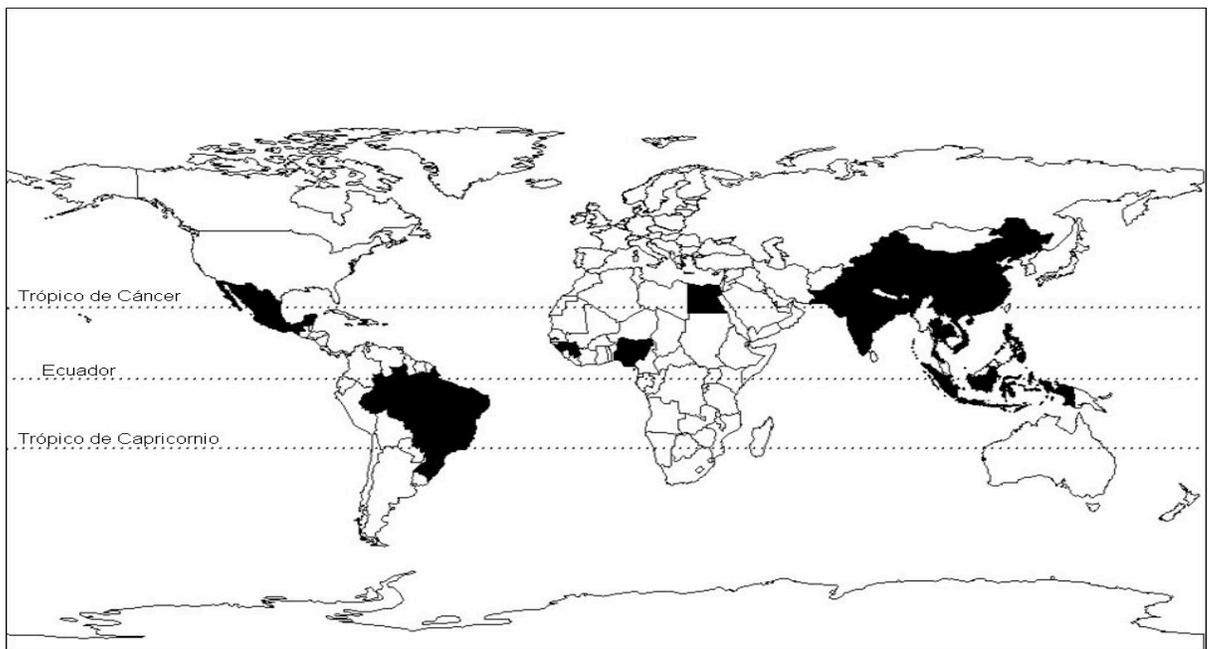


Figura 3-2. Ubicación geográfica de los 14 principales países productores de mango en el mundo que representan el 91.5% de la superficie cosechada y el 89% de la producción mundial de mango en 2004 (FAO, 2006).

Cuadro 3-5. Superficie plantada con mango en hectareas en los años de 1993 a 2004 en doce Estados productores de mango en México.

Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Colima	3499	4202	5047	5546	4141	5358	5059	4552	4409	4471	3960	4382
Campeche	1899	2275	2399	2659	2669	2711	2869	2650	3029	3024	2825	2825
Chiapas	13 049	13 048	13 048	16 101	16 816	18 138	19 385	17 038	17 523	17 851	22 487	23 606
Guerrero		13 952	13 952	14 281	14 433	14 063	17 191	18 553	22 084	22 120	23 016	23 256
Jalisco		3997	4978	4396	5178	5179	5417	5191	4 940	5148	5112	4954
Michoacán										23 777	23 967	23 893
Morelos	467	127	407	455	415	475	470	470	474	520	457	422
Nayarit	10 390	12 362	12 905	16 755	18 061	17 341	18 051	18 622	19 123	20 517	19 410	19 394
Oaxaca			15 383	14 437	15 442	17 031	17 406	17 406	17 394	17 959	17 935	17 244
Sinaloa	14 095	12 926	14 768	15 740	16 441	16 441	16 441	16 441	21 921	21 896	22 104	27 648
Tabasco	617	513	515	472	464	475	473	465	458	459	346	341
Veracruz	29 671	32 284	33 630	34 517	33 587	33 253	31 890	31 526	30 093	27 227	27 370	25 545
<b>Total</b>	<b>73 687</b>	<b>95 686</b>	<b>117 031</b>	<b>125 359</b>	<b>127 647</b>	<b>130 464</b>	<b>134 651</b>	<b>132 914</b>	<b>141 446</b>	<b>164 969</b>	<b>168 988</b>	<b>173 508</b>

Fuente: INEGI (1994-2005)

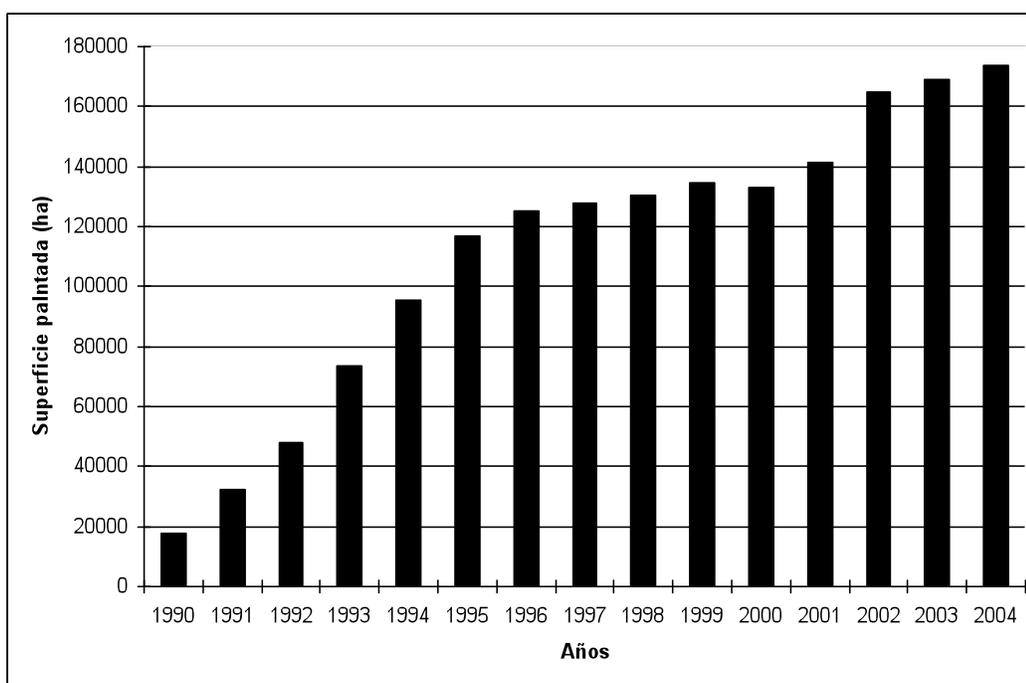


Figura 3-3. Superficie plantada con mango en hectáreas, total nacional durante el periodo de 1993 a 2004 en doce Estados de la República Mexicana.

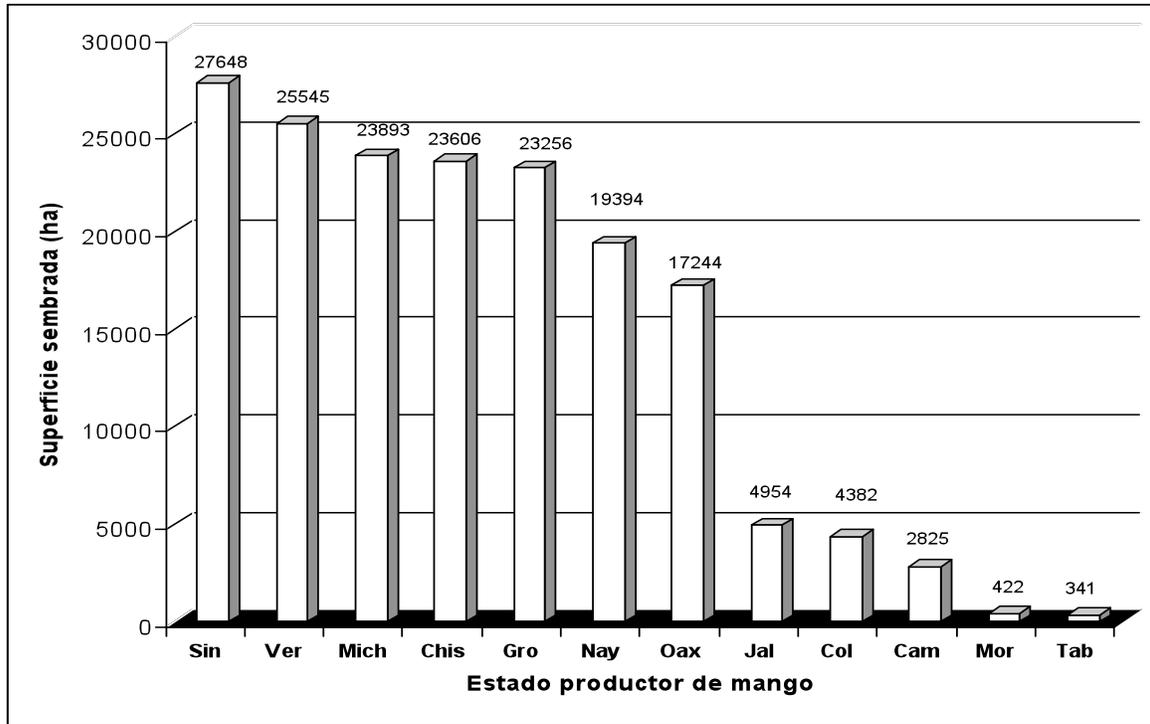


Figura 3-4. Superficie plantada con mango en 12 Estados productores para el año 2004 en la República Mexicana.

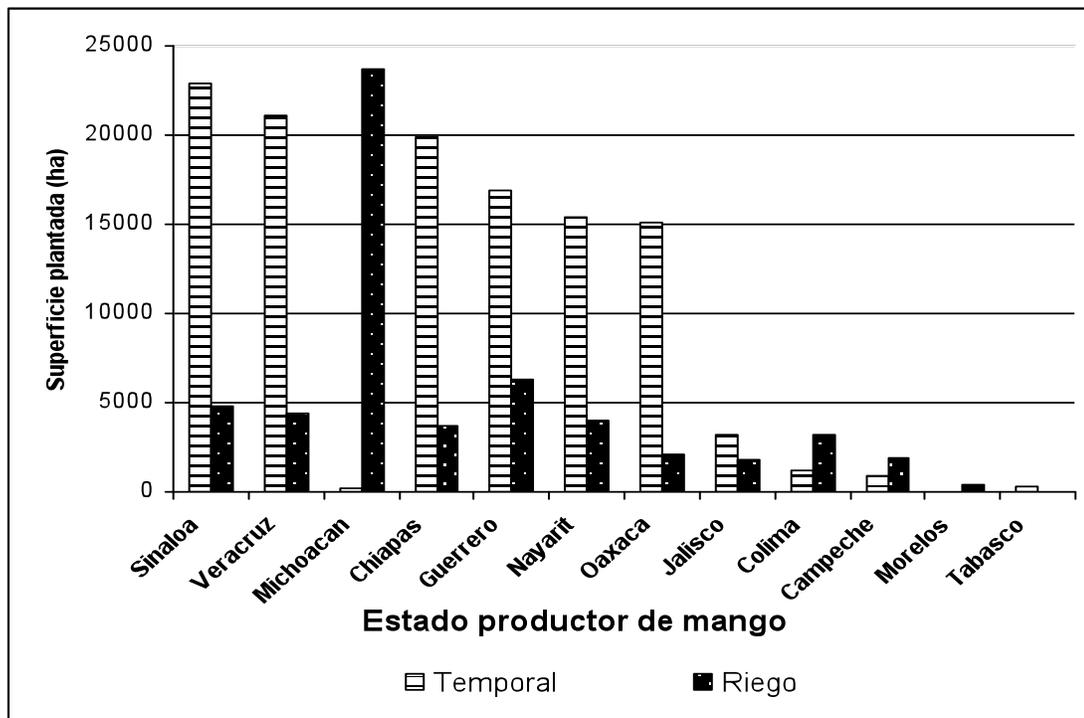


Figura 3-5. Superficie plantada con mango de temporal y de riego en 12 Estados productores de la República Mexicana.

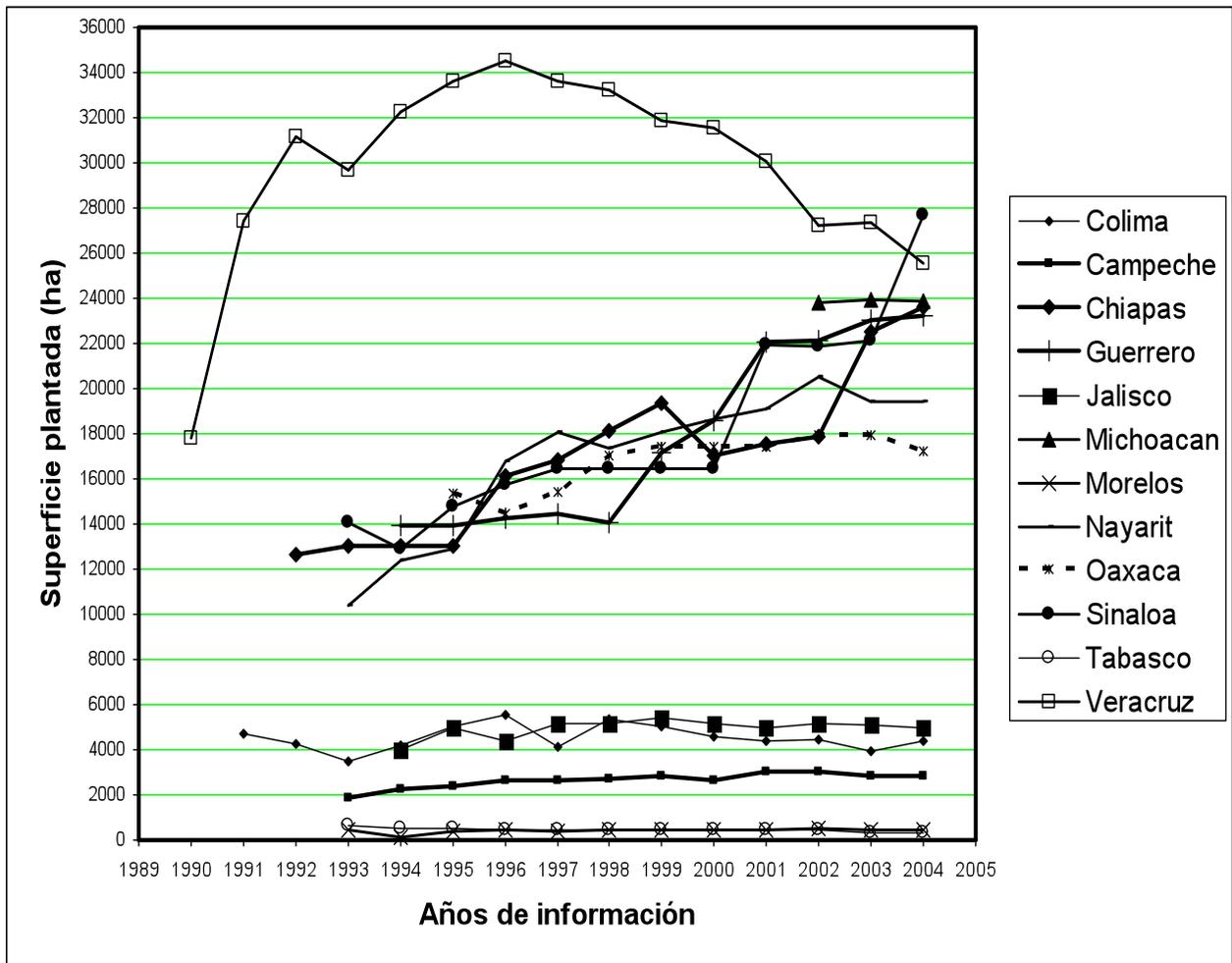


Figura 3-6. Incremento anual de superficie plantada con mango por Estado productor en la República Mexicana de 1990 a 2004.

## **CAPÍTULO IV**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

La simple relación de los elementos climáticos puros con el desarrollo de las plantas no soluciona satisfactoriamente el problema, se debe en este caso abandonar el concepto de clima y tomar el de agroclima. Según García (1968), este concepto no implica el de clima, ya que dos localidades de clima diferente pueden tener el mismo agroclima o que climas generales muy parecidos pueden provocar condiciones agroclimáticas distintas para un mismo cultivo. Fundamentalmente se tienen que determinar los tipos agroclimáticos de los cultivos, los cuales están íntimamente ligados a los equivalentes meteorológicos. Estos equivalentes se refieren, por ejemplo, a los grados de temperatura y la cantidad de lluvia que separan las condiciones climáticas normales de las anormales y que son específicos para cada cultivo; cabe mejor llamarlos índices agroclimáticos ya que relacionan el fenómeno climatológico sobre el cultivo.

#### **4.1. Materiales**

El estudio de zonificación agroclimática se realizó en doce Estados, principales productores de mango en la República Mexicana: Campeche, Colima, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Tabasco y Veracruz (Figura 4-1). Los cultivares de mango seleccionados en función de la superficie que ocupan en la zona de estudio son: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins.

Para la obtención de la información utilizada en la zonificación agroclimática se consultaron las siguientes fuentes de información:

- Anuarios estadísticos estatales del INEGI, durante el periodo de 1991 al 2005.
- Base de datos del Censo Nacional de productores de mango de ASERCA (2004).
- Normales Climatológicas de 1941-1970 SARH (1988) y Normales Climatológicas de 1960-1990 CNA (2006).
- Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen por García (1973).
- Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC.2) (IMTA, 2000)
- Sistema de Información Climática (SICLIM) (IMTA, 2000),
- Información solicitada a la Comisión Nacional del Agua (CNA) del estado de Chiapas.
- Sistema de Generador de Modelo Altimétricos, SIGMA Ver. 1.0 (Pedraza -Oropeza *et al*, 2005).

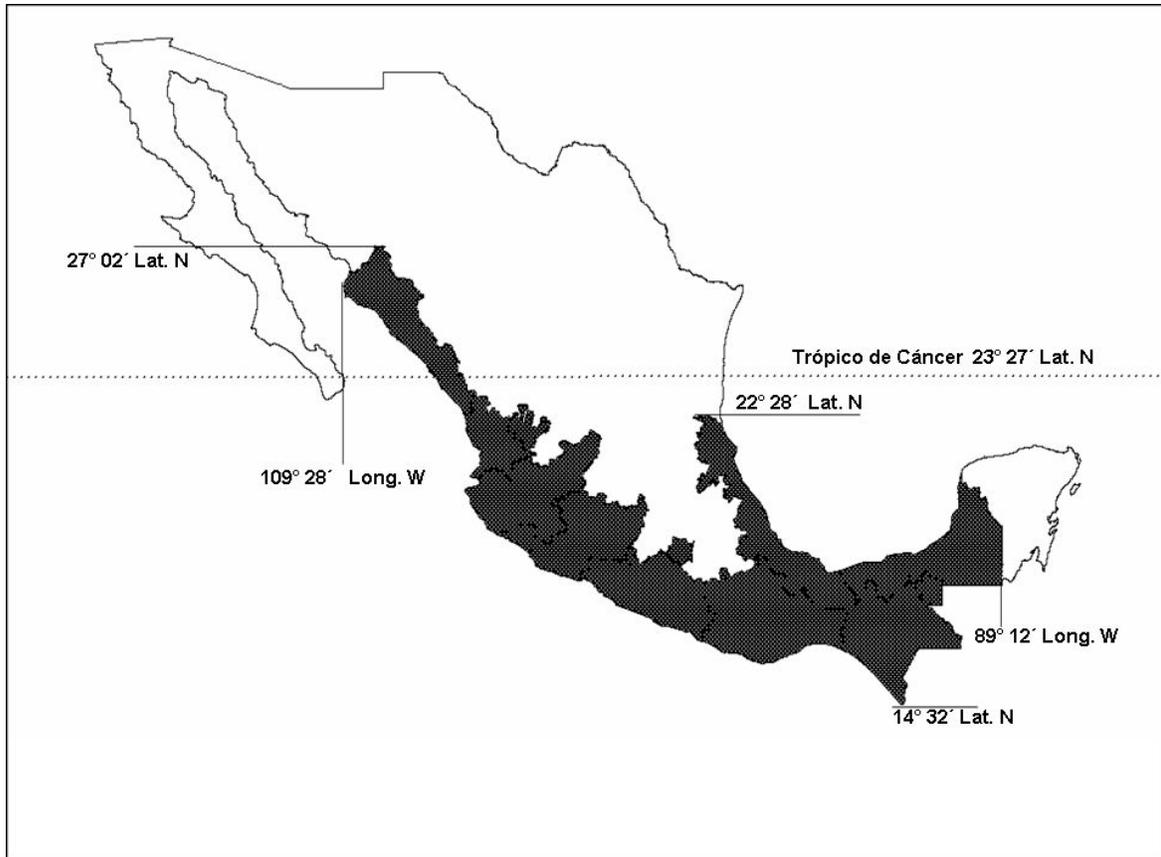


Figura 4-1. Localización geográfica de los Estados de la República Mexicana considerados en el área de estudio de zonificación agroclimática de mango.

La información que se usó en el análisis fueron valores promedios mensuales y anuales, reportados por las normales climatológicas para el estado de Veracruz y los siete Estados productores de mango cultivar Tommy atkins y promedios que se obtuvieron de datos diarios de la información climatológica del estado de Chiapas, para Municipios productores de mango cultivar Ataulfo. El presente trabajo se realizó con base en la información climática de las áreas productoras de mango, y se estimaron los datos para las variables evaporación y radiación global en las estaciones que no los registran, en la primer variable, porque algunas estaciones climatológicas que están ubicadas en zonas productoras cuentan con suficiente información de variables térmicas e hídricas, pero les falta datos de evaporación que fue una variable de análisis, y para la radiación global se estimó en todas las estaciones debido a que ninguna la mide directamente y también fue una variable de análisis de importancia en el rendimiento del mango.

## 4.2. Métodos

El procedimiento que se generó para definir zonas agroclimáticas productoras de mango en cada uno de los Estados se presenta en la Figura 4-2 y para cumplir con el mismo se realizaron las siguientes actividades:

- Revisión bibliográfica sobre la fenología del cultivo de mango, y de los cultivares en estudio, sobre el efecto de los elementos climáticos en el crecimiento y desarrollo, así como la forma en que limitan la producción del cultivo.
- Se recopilaron para diez Estados de la República Mexicana a nivel de municipio datos de: superficie plantada, cosechada, producción total y rendimiento en toneladas por hectárea de mango (*Mangifera indica* L.) en riego y temporal para 10 años de producción (1995-2004) (INEGI, 1990-2005 y ASERCA, 2004).

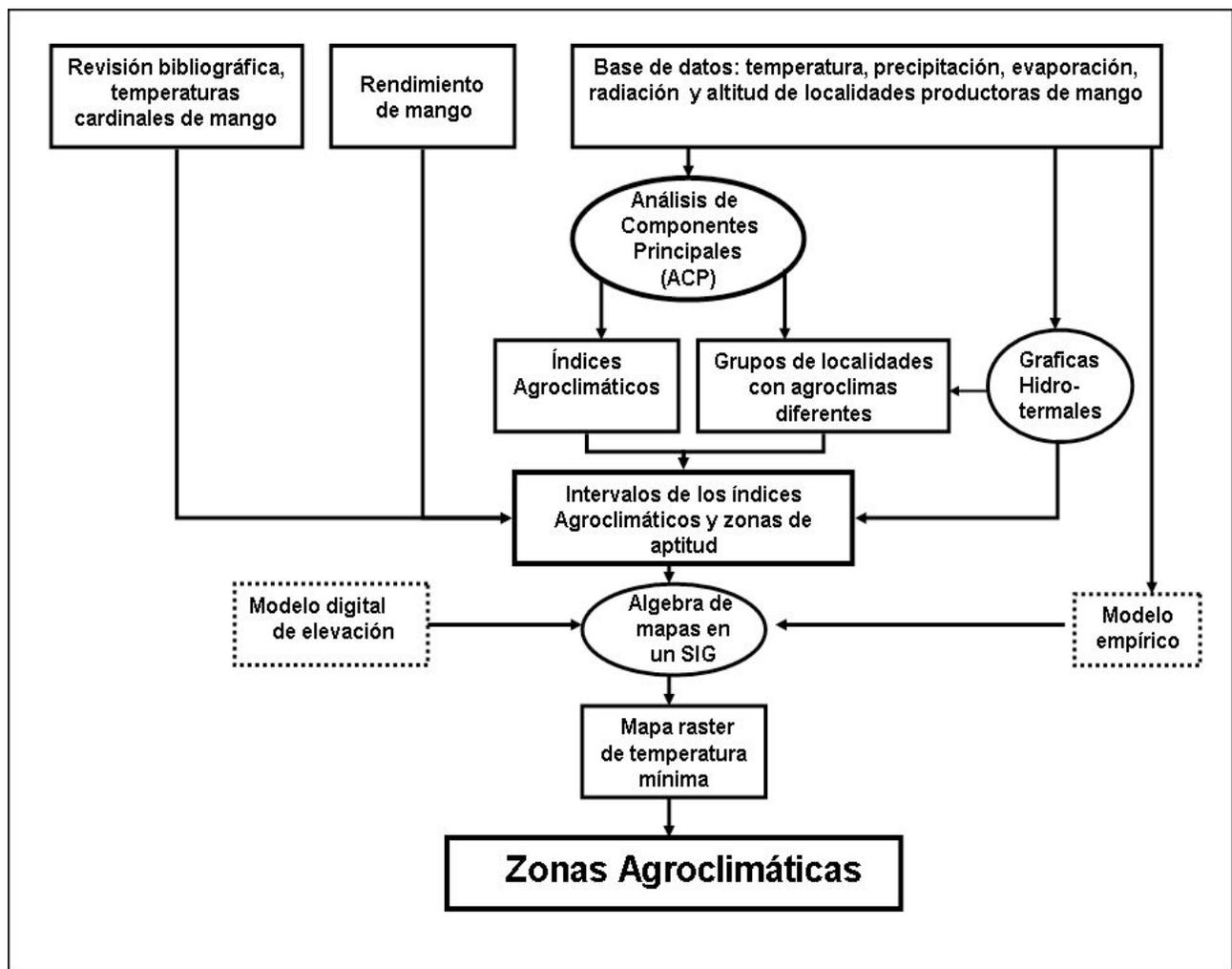


Figura 4-2. Diagrama del procedimiento generado para definir las zonas agroclimáticas productoras de mango.

- Se seleccionaron los Municipios productores, de acuerdo a la consistencia y continuidad de la información y se realizó la ubicación cartográfica de zonas productoras de mango a nivel municipal, a partir de la información de ASERCA (2004) y del Marco Geoestadístico Municipal (INEGI, 2005o).
- De la información climatológica se obtuvo información de variables seleccionadas en función de los efectos del clima sobre el cultivo de mango reportados por la literatura.
- Se ubicaron geográficamente, las estaciones climatológicas (latitud, longitud y altitud) en un mapa de la República Mexicana con división municipal, al mismo tiempo se verificó la ubicación de las mismas con el modelo digital de elevación, con ayuda de un SIG.
- Se seleccionaron las estaciones climatológicas representativas para cada Municipio y zona productora de mango, de acuerdo a su ubicación geográfica y a la cantidad y calidad de la información en cuanto a consistencia, continuidad y números de años de registro.
- Para cada estación climatológica se obtuvo datos de las siguientes variables climatológicas seleccionadas:

Temperatura:

Mínima promedio mensual (°C)

Máxima promedio mensual (°C)

Mínima promedio mensual de los siguientes meses: octubre, noviembre, diciembre y enero (°C)

Mínima promedio de los meses de: octubre, noviembre, diciembre y enero (°C)

Máxima anual (°C)

Mínima anual (°C)

Media anual (°C)

Media mensual (°C)

Precipitación:

Total mensual (mm)

Total anual (mm)

Evaporación:

Total mensual (mm)

Total anual (mm)

Número de días: nublados, medio nublados y despejados (usados para estimar la radiación solar global a nivel mensual)

#### 4.2.1. Estimación de variables

La radiación solar global no disponible en las estaciones, se estimó en función de la nubosidad. La evaporación no disponible, o que por alguna razón en algunas estaciones no se midió en un periodo, se estimó a partir de la temperatura, precipitación y la radiación solar global.

**Estimación de la Radiación solar global.** Los valores anuales de las variables, se obtuvo a partir de los promedios mensuales, para el estado de Veracruz se usaron datos de las Normales climatológicas 1940-1970 y para los demás Estados se usaron todos los datos de observación disponibles en cada estación siempre mayor de 10 años y con menos del 10% de datos faltantes obtenidos del SICLIM (IMTA, 2000). La insolación media mensual para cada estación se estimó con el procedimiento que propone Tejeda y Vargas (1996) mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{n} = N_{15} \left[ 0.31 + 0.48 \left( \frac{X_3 + 0.5X_2}{X_1 + X_2 + X_3} \right) \right] \dots\dots\dots ( 1 )$$

Donde:

$\bar{n}$  = Horas brillo (número real de horas día<sup>-1</sup>)

$N_{15}$  = Horas brillo teórica mensual (duración astronómica promedio del día, horas día<sup>-1</sup>)

$X_1$  = Días nublados promedio del mes

$X_2$  = Días medios nublados promedio del mes

$X_3$  = Días despejados promedio del mes

Este valor de  $\bar{n}$  estimado se introduce en la ecuación del método de Prescott (1940), para estimar la radiación solar a nivel mensual y obtener el valor anual.

**Estimación de la Evaporación.** Para estimar la evaporación total en algunas estaciones que no cuentan con este dato, se generaron modelos lineales empíricos con datos de estaciones climatológicas de la región que si miden la evaporación, se consideraron las variables: temperatura máxima mensual (°C), precipitación total mensual (mm) y radiación solar global promedio mensual estimada (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>).

#### 4.2.2. Generación de índices agroclimáticos

Se buscó generar índices agroclimáticos simples que determinen en un mayor porcentaje el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de mango, por lo que se utilizó el procedimiento conocido como Análisis de Componentes Principales (ACP), según Vivanco (1999), este análisis estadístico multivariado tiene el objetivo de convertir un problema de información estadística muy compleja (muchas variables de tipo cuantitativo medidas en cada unidad de observación) en otro casi equivalente pero más manejable (pocas variables nuevas) sin pérdida significativa de información. El ACP obtiene combinaciones lineales de todas las variables originales que sean ortogonales entre sí; de esta forma se obtiene un subconjunto de nuevas variables que son independientes entre sí, pero que están altamente correlacionadas con las variables originales, denominadas Componentes Principales, las que ordenadas en forma decreciente según su varianza, permiten explicar el porcentaje de variabilidad de los datos por cada componente. Los valores y vectores característicos se obtienen diagonalizando la matriz de correlaciones, cuando, como en este caso, se tienen variables con diferentes unidades de medidas. Zarate y Ramírez (2004) señalan que, entre otras cosas el ACP permite la generación de índices, cuya interpretación facilite la explicación del fenómeno bajo estudio, y la agrupación de unidades experimentales en subgrupos de tipo semejantes.

El ACP consta de los siguientes pasos de acuerdo al método descrito por Paterson *et al* (1978).

- Estimación de medias y varianzas de cada variable
- Estimación de la matriz de correlación  $R$

$$R = (D_{si})^{-1/2} (X'X)(D_{si})^{-1/2} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:  $X'X$  = Matriz de momento

$(D_{si})^{-1/2}$  = Inversa de la raíz cuadrada de los elementos de la diagonal de  $X'X$

- Estimación de la raíz característica de la matriz:  $|R - \lambda| = 0 \dots\dots\dots(3)$   
Donde los posibles valores de  $\lambda$  se les denominan raíces características o eigen-valores.
- Resolviendo el polinomio en  $\lambda$  de orden "n" de la ecuación (3) se obtiene las raíces características o eigen-valores.

- Estimación del vector de ponderación asociado con la máxima raíz característica o máximo eigen-valor ( $\lambda_m$ ) del sistema estructural, para ello se resuelve la ecuación:

$$(R - \lambda_m) \underline{a} = 0 \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

$\underline{a}$  es el vector de ponderación

- Estimación del puntaje compuesto  $Pc$  para cada variable original.

$$Pc = \underline{a}' X_j = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{Donde: } X_j = \frac{(X_i - \bar{X})}{S_i} \dots \dots \dots (6)$$

$X_j$  = Variable normalizada correspondiente a la observación  $X_i$

$\underline{a}'$  = Transpuesta del coeficiente de ponderación.

El Análisis de Componentes Principales se realizó con el paquete estadístico SAS (1990), con las variables climáticas, para las localidades productoras de mango. Estas variables se eligieron de acuerdo a los requerimientos agroclimáticos para el cultivo de mango y se utilizaron doce variables climáticas:

- $Y_1$  = Altura sobre el nivel del mar (m)
- $Y_2$  = Temperatura mínima promedio de octubre ( °C )
- $Y_3$  = Temperatura mínima promedio de noviembre ( °C )
- $Y_4$  = Temperatura mínima promedio de diciembre ( °C )
- $Y_5$  = Temperatura mínima promedio de enero ( °C )
- $Y_6$  = Temperatura mínima promedio de los meses: oct, nov, dic y ene (°C)
- $Y_7$  = Temperatura mínima promedio anual (°C)
- $Y_8$  = Temperatura media anual (°C)
- $Y_9$  = Temperatura máxima promedio anual (°C)
- $Y_{10}$  = Precipitación total anual (mm)
- $Y_{11}$  = Evaporación total anual (mm)
- $Y_{12}$  = Radiación solar global promedio anual (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

El procedimiento de Análisis de Componentes Principales proporciona la máxima raíz característica (primer eigen-valor), y también el segundo eigen-valor, que mediante la matriz de vectores característicos (eigen-vectores), muestra las variables que tienen mayor grado de asociación y que explican el mayor porcentaje de la varianza total de las variables originales, es decir, son las variables que explican la diferencia climática entre las localidades productoras de

mango en la zona de estudio. De esta manera se definen estas variables como índices agroclimáticos, que con apoyo de la revisión de literatura y los rendimientos medios reportados por cada localidad, se utilizan en la clasificación, jerarquización y zonificación del área de estudio por grado de aptitud para este cultivo. El Análisis de Componentes Principales también permite obtener un diagrama de dispersión de las localidades productoras, en función de los dos vectores que tienen sus respectivas variables con mayor grado de asociación y con un mayor porcentaje de explicación de la variabilidad total, en este diagrama se realizó la agrupación preliminar de las localidades, agrupando las similares y separando los grupos de las localidades que se forman.

#### **4.2.3. Definición de tipos agroclimáticos**

Para confirmar la agrupación de localidades productoras de mango, obtenidas con el ACP, se realizó un análisis de las gráficas hidro-termales como lo propone Monkhouse y Small, (1978) y que fueron utilizadas por Fussel (1992), Holden y Brereton (2004), estas gráficas hidro-termales se construyen mediante dos elementos climáticos: la precipitación total promedio mensual en el eje de las abscisas (X) contra la temperatura mínima promedio mensual en el eje de las ordenadas (Y), para cada uno de los grupos de estaciones climatológicas que representan a cada uno de los grupos de localidades. De acuerdo con la forma y posición de la gráfica hidro-termal, se puede distinguir si los grupos de localidades son similares o son diferentes.

#### **4.2.4. Definición de límites de los intervalos del índice agroclimático para su clasificación**

En la determinación de los límites de los valores de la variable temperatura mínima promedio anual que se utilizó como índice agroclimático, para definir las diferentes categorías de aptitud, se consideran sus valores promedios de dicha variable en los grupos de localidades definidos con el ACP, para estos grupos se graficaron sus valores de precipitación total mensual y temperatura mínima mensual, en una gráfica hidro-termal, confirmando así la separación entre grupos en los tres cultivares. Sin embargo en virtud de no contar con información de las temperaturas cardinales para cada uno de los cultivares estudiados, se utilizaron los valores reportados para la especie mango, así se considera como temperatura media anual óptima de crecimiento de 21 °C a 27 °C (Ibar, 1979; Mosqueda, 1983; Purseglobe, 1968; Galán, 2000 y Singh, 1965). Se consideran zonas Marginales para el cultivo de mango, aquellas que presenten temperatura media anual inferior a 21 °C y como zonas No aptas para el mango, aquellas que presenten temperaturas media anual inferior a 19 °C (Brunini y Alfonsi, 1980).

#### **4.2.5. Cartografía de las zonas agroclimáticas**

Para la cartografía de las zonas agroclimáticas, se buscó una relación entre el índice agroclimático (temperatura mínima anual) para la zonificación y la altura sobre el nivel del mar, ya que, al contar con un modelo digital de elevación en formato raster, se logró realizar la cartografía con ayuda de un SIG. Para la obtención de los datos de temperaturas mínimas anuales se utilizó la base de datos Sistema de Información Climatológica SICLIM (IMTA, 2000), así mediante análisis de regresión simple, se obtuvo un modelo lineal empírico de la forma ( $Y = a + bX$ ) para el “índice agroclimático”, utilizando éste como variable dependiente (Y), en función de la altura sobre el nivel del mar como variable independiente (X). Con este modelo empírico, mediante operaciones de álgebra de mapas de un SIG, se obtuvo primero una imagen raster de temperatura mínima anual, misma que se reclasificó según los límites de los intervalos del índice agroclimático utilizado, para obtener una imagen de zonas de temperaturas mínimas, misma que se identificó con las zonas agroclimáticas y grado de aptitud correspondientes a cada intervalo.

La ubicación, distribución y proporción de superficie sembrada de cada uno de los cultivares de mango seleccionados en los Estados productores, permitió definir en que Estados se analizaron cada una de los cultivares estudiados.

En la zonificación agroclimática para el cultivar Manila se seleccionaron Municipios productores del estado de Veracruz, y para el cultivar Ataulfo Municipios productores del estado de Chiapas, por ser estos cultivares los que en mayor proporción de superficie se encuentran plantados respectivamente en estos Estados. Para el cultivar Tommy Atkins se seleccionaron Municipios y localidades productoras de siete Estados: Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit y Campeche, de donde se obtuvo información de: rendimiento promedio y localización geográfica de las parcelas productoras de mango de este cultivar. Para la cartografía de las zonas agroclimáticas se utilizó un modelo de elevación digital, por lo que se generaron modelos lineales empíricos para cada Estado productor de mango en estudio.

Para el cultivar Tommy Atkins la zonificación agroclimática se extendió a los estados de Tabasco en el sureste, Morelos en el centro y Sinaloa en las costas del Pacífico norte, de los cuales aunque no se obtuvo información de la localización geográfica de las parcelas productoras de mango de este cultivar, sí, se contó con información de rendimiento promedio a nivel municipal, el modelo empírico de temperatura mínima anual, el modelo de elevación digital a nivel estatal e igualmente se aplicó el procedimiento para la cartografía de las zonas agroclimáticas en estos otros tres Estados productores.

## CAPÍTULO V RESULTADOS

### 5.1. Temperaturas cardinales del cultivo de mango

De la revisión de literatura realizada se propone que las temperaturas cardinales para el mango como especie cultivada son las siguientes:

Temperatura mínima extrema que tolera con daños en hojas y ramas delgadas, - 4 °C

Temperatura media para el cero vegetativo, 15 °C

Temperaturas media mínima, de 15 a 16 °C

Temperatura media anual óptima de crecimiento, desde 21 y hasta 27 °C

Máxima extrema que tolera para su crecimiento, de 48 a 50 °C

Desarrolla bien en climas con media del mes más frío, superior a 15 °C

Temperaturas para inducción floral, de 10 a 15 °C

Temperatura que induce y acelera la floración, de 13 a 18 °C

Temperaturas para inicio de la floración, diurna de 19 °C y nocturna de 13 °C durante siete semanas

Zonas No aptas para el mango, donde la temperatura media anual es inferior a 19 °C

Zonas Marginales para el mango donde la temperatura media anual es inferior a 21 °C

Precipitación anual ideal de 1000 mm, acompañada de una sequía de cuatro a seis meses con precipitación mensual menor de 60 mm, en la etapa de floración y fructificación.

Para los cultivares estudiados se mencionan algunas particularidades:

**Cultivar Manila**, la mayor inducción floral se presenta con temperaturas diurnas de 25 °C y nocturnas de 19 °C y los procesos de iniciación y diferenciación floral se presentan cuando la temperatura desciende a 20 °C.

**Cultivar Tommy Atkins**, es capaz de iniciar floración con temperaturas nocturnas de alrededor de los 15 °C en condiciones tropicales, mientras que en condiciones subtropicales lo hace con temperaturas diurnas de 18 °C y nocturnas de 10 °C, respectivamente.

**Cultivar Ataulfo**, Las frecuencias de temperaturas mínimas de 18 °C a 14 °C regulan la activación de las yemas a brotar, además esta frecuencia de temperaturas mínimas produce varios flujos vegetativos y florales.

A continuación se describen los resultados obtenidos en el proceso de zonificación agroclimática realizado para cada uno de los cultivares de mango estudiados.

## 5.2. Zonificación del cultivar Manila

### 5.2.1. Estimación de variables

De las variables que normalmente miden y reportan las estaciones climatológicas en la República Mexicana, en este trabajo se utilizaron las siguientes: temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura media, precipitación total, evaporación total, número de días nublados, medio nublados y despejados. Sin embargo en las publicaciones de las Normales Climatológicas de 1941-1970 (SARH, 1988) y 1961-1990 (CNA, 2006), así como, en las bases de datos climáticos ERIC.2 (IMTA, 2000) y SCLIM (IMTA, 2000), hay estaciones que no contienen registros de evaporación y ninguna reporta radiación solar global, para estimarlos, se generaron modelos empíricos o mediante métodos indirectos; para el presente trabajo se seleccionaron estaciones que estuvieran cercanas a las áreas con parcelas productoras de mango de acuerdo al cultivar seleccionado y que en las bases de datos climáticos reportaran información de un periodo mayor de 10 años, con menos del 10% de datos faltantes.

Para el cultivar Manila se seleccionaron 28 estaciones cercanas a las localidades con parcelas productoras de mango del estado de Veracruz, donde el 85% de las plantaciones de mango son de este cultivar (Mosqueda *et al*, 1996).

En el caso de la variable evaporación total anual (mm), sólo en cinco de las estaciones ubicadas en zonas productoras de mango cuentan con información, para las 23 estaciones restantes se generó un modelo empírico en función de: la temperatura máxima mensual, precipitación total mensual y radiación solar global promedio mensual estimada, con datos de 18 estaciones de la región, el modelo empírico generado se muestra en la ecuación (7).

$$Ev = 0.0912 (T_{\text{máxima}}^{1.1811}) (PT^{-0.0256}) (RG^{1.0978}) \dots \dots \dots (7)$$

Con:  $R^2 = 0.8199$  ; Número de datos (n) = 216 y Cuadrado Medio del Error (CME) = 0.02

Donde: Ev = Evaporación total mensual estimada (mm)

$T_{\text{máxima}}$  = Temperatura máxima mensual (°C)

PT = Precipitación total mensual (mm)

RG = Radiación solar global promedio mensual estimada ( $MJm^{-2} día^{-1}$ )

El modelo se validó con datos de evaporación total mensual de tres estaciones del estado de Veracruz, que no se incluyeron, en la obtención de dicho modelo empírico pero cuyos valores de evaporación se encuentran dentro del rango de valores estudiados: Bellaco San Juan

Evangelista, Cuichapa y Zempoala Úrsulo Galván, (Cuadro 5-1), el error medio mensual (EMM) que se obtuvo fue de 15.1% y se calculó con la ecuación ( 8 ).

$$EMM = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left| \frac{OS_i - ES_i}{OS_i} \right| \times 100 \dots\dots\dots ( 8 )$$

Donde:  $OS_i$  = Dato observado;  $ES_i$  = Dato estimado; Número de datos (n) = 36

Cuadro 5-1. Series de datos observados y estimados en tres estaciones climatológicas del estado de Veracruz y el error de la validación del modelo empírico generado para estimar la evaporación total mensual.

Estación	No.	Mes	$OS_i$ (mm)	$ES_i$ (mm)	Error	
					$ OS_i - ES_i $	EMM
Bellaco Bella Vista	1	Ene	63.5	83.3	19.8	31.1
	2	Feb	79.9	110.6	30.7	38.4
	3	Mar	122.9	145.6	22.7	18.5
	4	Abr	164.7	184.8	20.1	12.2
	5	May	170.7	192.5	21.8	12.8
	6	Jun	142.3	166.5	24.2	17.0
	7	Jul	117.1	142.6	25.5	21.7
	8	Ago	118.8	150.8	32.0	26.9
	9	Sep	99.1	135.9	36.8	37.1
	10	Oct	83.2	109.6	26.4	31.8
	11	Nov	65.8	90.8	25.0	38.0
	12	Dic	57.9	80.0	22.1	38.2
					<b>Error</b>	<b>EMM</b>
					<b>27.9</b>	<b>29.4</b>
Cuichapa	13	Ene	63.0	69.0	6.0	9.6
	14	Feb	77.1	85.6	8.5	11.0
	15	Mar	104.4	108.3	3.9	3.7
	16	Abr	125.7	133.2	7.5	6.0
	17	May	139.2	135.0	4.2	3.0
	18	Jun	135.7	123.8	11.9	8.7
	19	Jul	128.4	113.0	15.4	12.0
	20	Ago	139.7	111.7	28.0	20.1
	21	Sep	115.1	101.6	13.5	11.7
	22	Oct	92.0	87.6	4.4	4.7
	23	Nov	62.9	73.7	10.8	17.2
	24	Dic	52.5	66.0	13.5	25.7
					<b>Error</b>	<b>EMM</b>
					<b>11.5</b>	<b>12.1</b>
Zempoala Úrsulo Galván	25	Ene	100.4	87.4	13.0	13.0
	26	Feb	115.6	106.6	9.0	7.8
	27	Mar	142.8	130.0	12.8	9.0
	28	Abr	155.7	166.4	10.7	6.9
	29	May	165.4	172.1	6.7	4.1
	30	Jun	142.3	147.9	5.6	3.9
	31	Jul	139.2	136.7	2.5	1.8
	32	Ago	139.6	146.8	7.2	5.1
	33	Sep	127.8	137.2	9.4	7.3
	34	Oct	127.5	125.8	1.7	1.3
	35	Nov	112.0	104.2	7.8	7.0
	36	Dic	93.7	89.8	3.9	4.1
					<b>Error</b>	<b>EMM</b>
					<b>8.2</b>	<b>6.4</b>

EMM = 15.0 mm 15.1%

Desviación estandar = 9.5 11.5

EMM = Error medio mensual;  $OS_i$  = Dato observado;  $ES_i$  = Dato estimado

Para la estimación de la radiación solar global, los valores anuales se obtuvieron a partir de los promedios mensuales y las horas brillo que para cada estación se estimó con el procedimiento que propone Tejeda y Vargas (1996), estos valores estimados se muestran en las columnas correspondientes del Cuadro 5-2, para las estaciones del estado de Veracruz.

### 5.2.2. Generación de índices agroclimáticos

Para generar un índice agroclimático que determine el desarrollo y producción de la especie mango en los cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins, se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP), ya que permite obtener valores asociados con la variable que explica el mayor porcentaje de la variación climática entre las localidades productoras del cultivo en la zona de estudio, así, para el cultivar Manila se utilizaron 28 estaciones climatológicas (Figura 5-1) con 12 variables climáticas que se eligieron de acuerdo a los requerimientos agroclimáticos para el cultivo de mango y son las siguientes:

$Y_1$  = Altura sobre el nivel del mar (m)

$Y_2$  = Temperatura mínima promedio de octubre ( °C )

$Y_3$  = Temperatura mínima promedio de noviembre ( °C )

$Y_4$  = Temperatura mínima promedio de diciembre ( °C )

$Y_5$  = Temperatura mínima promedio de enero ( °C )

$Y_6$  = Temperatura mínima promedio de los meses: oct, nov, dic y ene (°C)

$Y_7$  = Temperatura mínima promedio anual (°C)

$Y_8$  = Temperatura media anual (°C)

$Y_9$  = Temperatura máxima promedio anual (°C)

$Y_{10}$  = Precipitación total anual (mm)

$Y_{11}$  = Evaporación total anual (mm)

$Y_{12}$  = Radiación solar global promedio anual ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

Los datos originales de las variables climáticas utilizadas en el ACP se presentan en el Cuadro 5-2.

Con base en la matriz de correlaciones (Cuadro 5-3) se realizó el ACP, y resultó que el primer componente principal (Prin1) tiene como valor característico 8.729 y explica el 72.74% de la varianza total y el segundo componente principal (Prin2) tiene como valor característico 1.231 y explica el 10.26% de la varianza total (Cuadro 5-4), los dos valores característicos juntos explican el 83% de la varianza total contenida en la matriz de datos originales.

Cuadro 5-2. Información geográfica, climática y rendimiento de mango cultivar Manila, que se utilizó en el Análisis de Componentes Principales (ACP) para la zonificación agroclimática del estado de Veracruz.

No.	Localidad	Clave	Latitud	Longitud	Altura m	Temperatura media mensual												Promedio O.N.D.E <sup>1</sup> °C	Ene °C	Dic °C	Nov °C	Oct °C	Tmin_A <sup>2</sup> °C	Tmed_A <sup>3</sup> °C	Tmax_A <sup>4</sup> °C	Ppt_A <sup>5</sup> mm	Evpt_A <sup>6</sup> mm	Rg_A <sup>7</sup> Mjm <sup>2</sup> ·dia <sup>-1</sup>	Ren_P <sup>8</sup> tha <sup>-1</sup>
						°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C												
1	Actopan	290862	19° 30'	96° 30'	25	21.8	19.3	17.7	16.7	19.6	20.7	25.8	30.9	1116.4	1562.0	20.03	6.92												
2	Tierra Blanca	290858	18° 27'	96° 21'	60	22.0	19.6	18.4	17.2	20.0	20.8	27.6	34.5	1463.8	1610.2	20.70	3.60												
3	Jalcomulco	290845	19° 21'	96° 33'	313	19.4	17.2	15.7	14.8	17.4	18.7	24.7	30.8	903.9	1590.7	20.58	5.78												
4	Emiliano Zapata	290840	20° 27'	97° 19'	298	20.4	17.5	15.4	14.3	17.8	19.7	24.0	28.4	1066.0	1371.4	19.59	5.84												
5	San Andrés Tuxtla	290852	18° 27'	96° 18'	210	19.8	17.6	16.5	16.0	18.0	19.4	24.4	29.4	2272.7	1450.7	19.06	6.78												
6	Soledad de Doblado	290851	19° 03'	96° 25'	183	20.9	18.7	17.3	16.8	19.0	20.2	25.9	31.7	1022.7	1626.0	20.38	6.46												
7	Chacaltianguis	290814	18° 22'	95° 49'	96	21.9	19.8	18.6	17.4	20.1	21.2	25.8	30.5	1419.2	1741.4	20.49	4.61												
8	Cotaxtla	290863	18° 46'	96° 13'	37	20.5	18.2	16.5	15.6	18.4	19.9	25.3	30.8	1290.0	1499.7	19.94	6.41												
9	Alto Lucero de G.B.	290823	19° 50'	96° 41'	810	19.3	17.1	21.7	14.6	19.4	19.2	22.7	26.2	1666.3	1262.7	20.14	6.21												
10	Manlio F. Altamirano	290830	19° 09'	96° 20'	44	21.9	19.8	18.1	17.4	19.9	21.3	26.7	32.1	1076.0	1143.1	20.87	5.61												
11	Tlaxcoyan	290859	18° 48'	96° 03'	84	21.5	19.8	18.0	16.9	19.8	20.9	25.8	30.8	1408.7	1334.4	17.67	7.87												
12	Tlacojalpan	290811	18° 46'	95° 45'	9	23.5	21.5	19.8	19.0	21.6	22.5	26.4	30.3	1655.0	1626.7	18.59	4.21												
13	Teocelo	290857	19° 23'	96° 58'	1218	14.5	12.5	11.3	10.5	12.8	13.9	19.2	24.6	2108.0	1150.9	19.51	5.22												
14	Olatitlan	290839	18° 11'	96° 01'	10	22.0	19.8	18.1	17.4	20.0	21.2	25.8	30.5	2058.0	1472.9	19.73	4.48												
15	Medellin	Obs.Ver.	19° 12'	96° 08'	2	22.9	21.0	19.1	18.4	21.0	22.1	25.3	28.4	1757.0	1841.7	20.85	5.35												
16	Playa Vicente	290842	17° 50'	95° 49'	95	21.3	19.7	18.6	18.1	19.9	20.9	26.5	32.1	1934.8	1454.6	18.81	8.05												
17	Yanga	290850	18° 52'	96° 50'	817	17.5	15.6	13.7	12.9	15.6	16.3	22.2	28.1	2557.1	1256.5	19.56	19.25												
18	Sayula de Alemán	280810	17° 57'	94° 55'	88	21.3	19.2	18.0	16.7	19.5	20.4	25.2	30.0	1777.8	1443.1	18.87	5.45												
19	Úrsulo Galván	290861	19° 23'	96° 23'	29	20.7	18.6	16.8	15.9	18.7	20.2	25.3	30.4	1296.0	1542.6	19.75	5.93												
20	Paso del Macho	290841	18° 58'	96° 43'	479	18.7	16.5	15.1	14.1	16.8	17.8	24.3	30.9	1112.4	1518.8	19.09	19.12												
21	Hueyapan de Ocampo	290815	18° 08'	95° 18'	14	21.4	19.0	17.6	16.8	19.3	20.7	26.3	31.8	1346.4	1419.6	20.58	4.42												
22	Pajapan	290821	17° 58'	94° 43'	46	21.6	19.6	18.4	17.5	19.9	21.1	25.9	30.8	1868.9	1572.2	20.19	3.81												
23	Omealca	290836	18° 44'	96° 45'	430	18.4	16.4	14.7	14.0	16.5	17.5	23.2	29.0	2557.3	1408.0	20.07	15.58												
24	Naranjos Amatlan	290853	21° 20'	97° 50'	282	20.5	17.5	15.7	13.9	17.9	19.6	23.7	27.9	1810.1	1367.7	20.46	3.85												
25	S. Juan Evangelista	290813	17° 48'	95° 12'	39	20.7	18.3	17.4	16.0	18.8	20.3	25.7	31.2	1584.0	1285.9	20.71	4.84												
26	Panuco	290838	22° 03'	98° 10'	60	19.7	17.3	15.2	13.8	17.4	19.1	24.2	29.4	921.7	1531.0	19.62	7.04												
27	Zongolica	290860	18° 49'	97° 01'	836	16.5	14.5	12.8	12.2	14.6	15.6	21.2	26.9	2098.0	1254.8	17.85	11.64												
28	Naolinco	290848	19° 47'	97° 02'	547	15.5	13.3	11.4	10.6	13.4	14.9	19.8	24.7	1697.7	1047.4	18.85	4.67												

O.N.D.E<sup>1</sup> = Temperatura mínima promedio de los meses de Oct, Nov, Dic y Ene; Tmin\_A<sup>2</sup> = Temperatura mínima promedio anual; Tmed\_A<sup>3</sup> = Temperatura media anual; Tmax\_A<sup>4</sup> = Temperatura máxima promedio anual; Ppt\_A<sup>5</sup> = Precipitación total anual; Evpt\_A<sup>6</sup> = Evaporación total anual; Rg\_A<sup>7</sup> = Radiación solar global promedio anual; Ren\_P<sup>8</sup> = Rendimiento promedio de mango

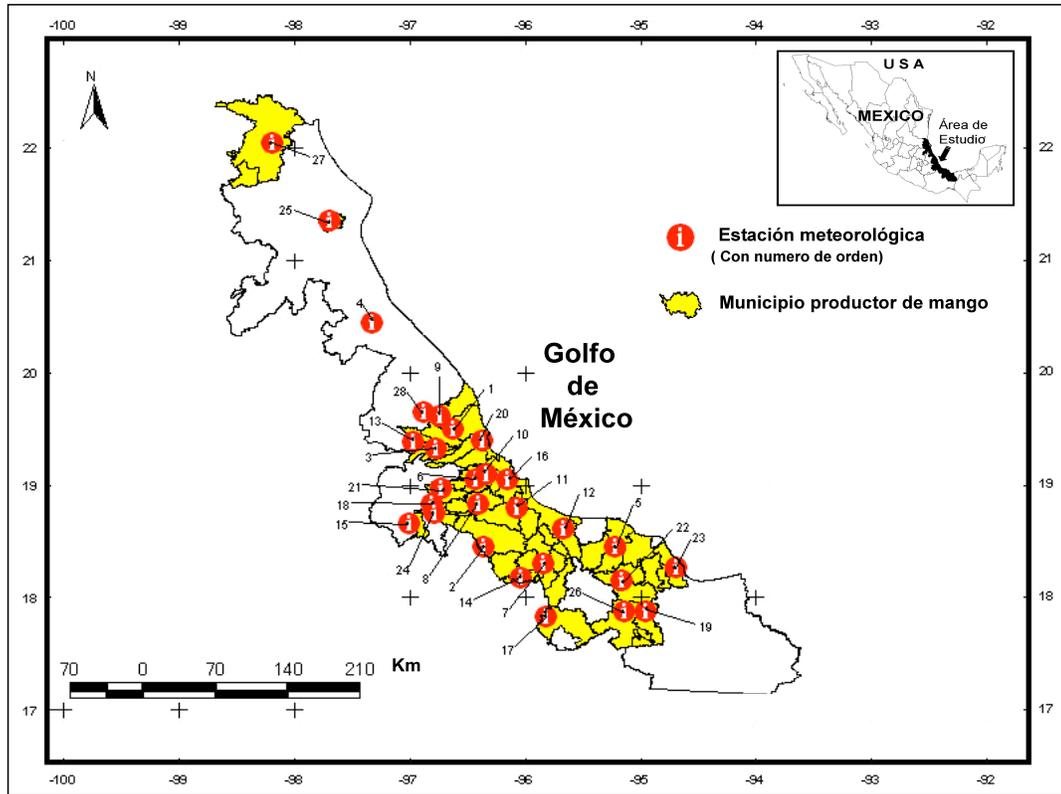


Figura 5-1. Localización geográfica de las estaciones climatológicas que se utilizaron en el Análisis de Componentes Principales (ACP) y en la zonificación agroclimática en el estado de Veracruz.

Cuadro 5-3. Matriz de correlación entre las variables climáticas originales (de 28 estaciones climatológicas) del estado de Veracruz.

	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>9</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>
Y <sub>1</sub>	1.0000											
Y <sub>2</sub>	-0.8798	1.0000										
Y <sub>3</sub>	-0.8623	0.9903	1.0000									
Y <sub>4</sub>	-0.6134	0.8549	0.8665	1.0000								
Y <sub>5</sub>	-0.8215	0.9540	0.9787	0.8678	1.0000							
Y <sub>6</sub>	-0.8036	0.9769	0.9815	<b>0.9434</b>	0.9633	1.0000						
Y <sub>7</sub>	-0.8795	<b>0.9930</b>	<b>0.9856</b>	0.8812	0.9553	0.9832	1.0000					
Y <sub>8</sub>	<b>-0.8839</b>	0.9315	0.9290	0.7739	0.9266	0.9033	0.9246	1.0000				
Y <sub>9</sub>	-0.7582	0.7344	0.7362	0.5535	0.7599	0.6916	0.7151	0.9272	1.0000			
Y <sub>10</sub>	0.4256	-0.3417	-0.2894	-0.2253	-0.2205	-0.2907	-0.3550	-0.4122	-0.4114	1.0000		
Y <sub>11</sub>	-0.5868	0.6595	0.6621	0.5113	0.6533	0.6283	0.6332	0.6200	0.5185	-0.2819	1.0000	
Y <sub>12</sub>	-0.4233	0.3679	0.3159	0.3538	0.3195	0.3569	0.4064	0.3655	0.2769	-0.4694	0.3246	1.0000

Y<sub>1</sub> = Altura sobre el nivel del mar (m); Y<sub>2</sub> = Temperatura mínima promedio de octubre ( °C ); Y<sub>3</sub> = Temperatura mínima promedio de noviembre ( °C ); Y<sub>4</sub> = Temperatura mínima promedio de diciembre ( °C ); Y<sub>5</sub> = Temperatura mínima promedio de enero ( °C ); Y<sub>6</sub> = Temperatura mínima promedio de los meses: oct, nov, dic y ene ( °C ); Y<sub>7</sub> = Temperatura mínima promedio anual ( °C ); Y<sub>8</sub> = Temperatura media anual ( °C ); Y<sub>9</sub> = Temperatura máxima promedio anual ( °C ); Y<sub>10</sub> = Precipitación total anual (mm); Y<sub>11</sub> = Evaporación total anual (mm); Y<sub>12</sub> = Radiación solar global promedio anual (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>).

Los valores de los coeficientes (Cuadro 5-4) indican que las variables que presentan mayor asociación con el primer componente principal (Prin1), son las temperaturas mínimas mensuales de los meses de: octubre, noviembre, diciembre y enero, la temperatura mínima promedio de estos meses, la temperatura media anual y la temperatura mínima promedio anual; sin embargo, se consideró esta última variable por ser la que presenta el mayor coeficiente de asociación al primer componente principal (0.3326) (Cuadro 5-4), además por ser una variable integradora del efecto de la temperatura mínima sobre el cultivo durante todo el año; el segundo componente principal (Prin2), está asociado con la variable precipitación total promedio anual, su coeficiente tiene un valor de 0.7045 (Cuadro 5-4). Por lo que, estas dos variables: temperatura mínima promedio anual y precipitación total promedio anual, explican el 83% de la varianza total contenida en la matriz de datos originales y determinan en mayor porcentaje las diferencias entre las condiciones agroclimáticas de las localidades donde se produce el mango cultivar Manila.

Cuadro 5-4. Resumen del Análisis de Componentes Principales (ACP) para las 12 variables climáticas de 28 estaciones del estado de Veracruz.

<b>V e c t o r :</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Valores característicos	8.729	1.231
Porcentaje de varianza explicada	72.74	10.26
<b>V a r i a b l e s</b>	<b>C o e f i c i e n t e s</b>	
Altura sobre el nivel del mar (m)	-0.3026	0.1021
Temperatura mínima de octubre ( °C )	0.3323	0.0843
Temperatura mínima de noviembre ( °C )	0.3312	0.1471
Temperatura mínima de diciembre ( °C )	0.2913	0.1712
Temperatura mínima de enero ( °C )	0.3260	0.1816
Temperatura mínima promedio de: oct, nov, dic y ene (°C)	0.3280	0.1426
<b>Temperatura mínima promedio anual (°C)</b>	<b>0.3326</b>	0.0639
Temperatura media anual (°C)	0.3270	-0.0057
Temperatura máxima promedio anual (°C)	0.2736	-0.0787
<b>Precipitación total anual (mm)</b>	-0.1388	<b>0.7045</b>
Evaporación total anual (mm)	0.2363	-0.0473
Radiación solar global promedio anual ( MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	0.1490	-0.6077

A partir de los dos componentes principales y sus variables asociadas, se elaboró un diagrama de dispersión de las localidades productoras de mango en estudio, donde se distinguen dos grupos (Figura 5-2). Se observa que las localidades del grupo uno presentan temperatura mínima anual más bajas que las del grupo dos, éstas favorecen la inducción de la floración del cultivo de mango e incluso son las mejores localidades para la producción de mango en términos de rendimiento (Cuadro 5-5, Figura 5-4). Lo anterior concuerda con lo reportado por Whiley (1993), Chiaikiattiyos *et al* (1994), Núñez-Elisea y Davenport (1994), León-Arteta y Pérez (1996), Mata y Mosqueda (1998) y Galán (2000), quienes encontraron que para la inducción floral del mango se requieren temperaturas bajas, principalmente en los meses de diciembre y enero. Incluso el grupo dos, presenta mayor cantidad de calor, menor aporte de temperaturas bajas y sus rendimientos son menores (Cuadro 5-5, Figuras 5-2 y 5-4).

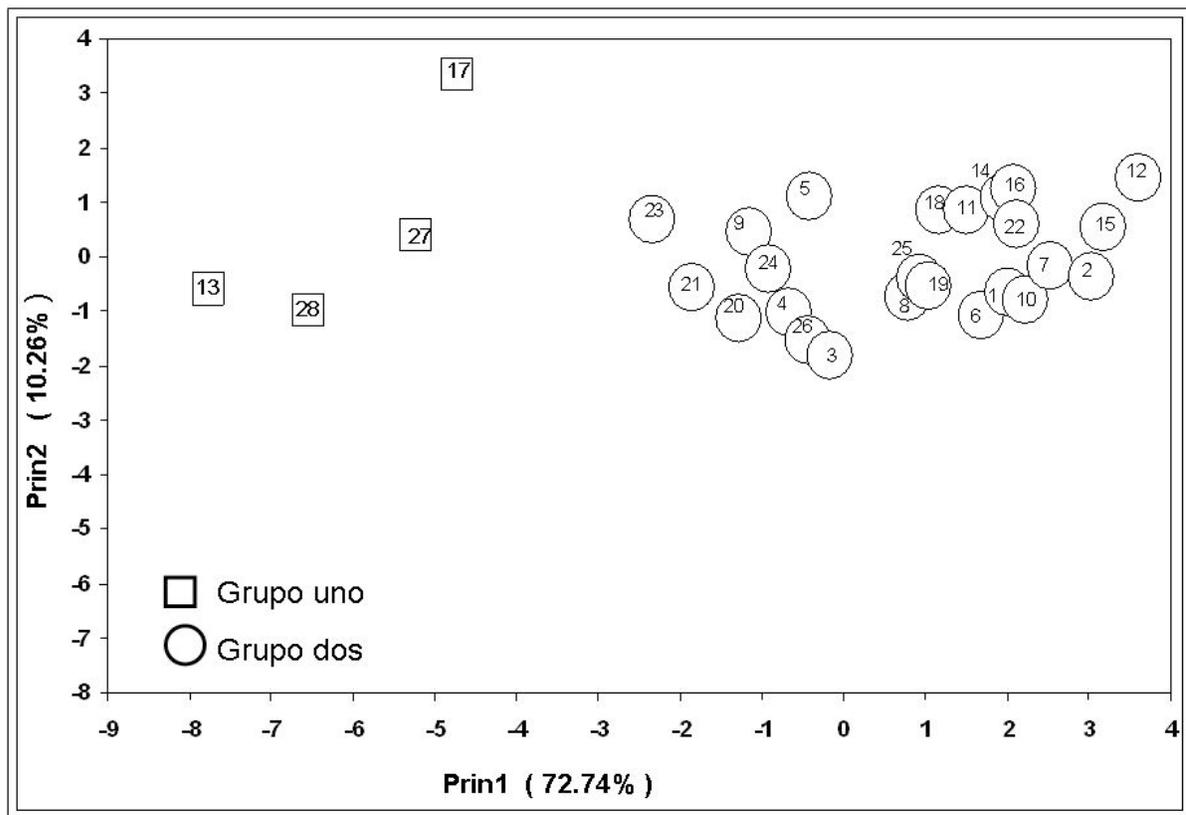


Figura 5-2. Diagrama de dispersión de los componentes principales Prin1 (temperatura mínima promedio anual) y Prin2 (precipitación total anual) para 28 localidades productoras de mango cultivar Manila en el estado de Veracruz, resultados del ACP. El número dentro del cuadro o círculo indica el número de la localidad del Cuadro 5-2.

Cuadro 5-5. Variables climáticas y rendimiento promedio para los dos grupos de localidades productoras de mango cultivar Manila definidos con el ACP en el estado de Veracruz.

Grupo de Localidades	Altitud (m)	T <sub>mínima</sub> <sup>+</sup> (°C)	T <sub>máxima</sub> <sup>++</sup> (°C)	Precipitación anual (mm)	Evaporación anual (mm)	Rad. Global <sup>+++</sup> (MJm <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
1	855	15.2	26.1	2115	1177	18.941	10.2
2	156	20.2	30.4	1516	1487	19.861	6.6

T<sub>mínima</sub><sup>+</sup> = Temperatura mínima promedio anual; T<sub>máxima</sub><sup>++</sup> = Temperatura máxima promedio anual; Rad. Global<sup>+++</sup> = Radiación solar global promedio anual

### 5.2.3. Definición de tipos agroclimáticos

Con el propósito de confirmar la agrupación de las localidades que se obtuvo mediante el ACP (Figura 5-2), se construyeron las gráficas hidro-termales, donde se utilizaron datos de promedios de precipitación total mensual en el eje de las abscisas (X) y temperatura mínima mensual en el de las ordenadas (Y) para cada grupo de localidades, (Cuadro 5-6). Se observa una clara separación en la posición de las gráficas de los dos grupos de localidades inicialmente identificados, por lo que los agroclimas difieren de manera evidente en términos de su temperatura mínima mensual y anual (Figura 5-3). Para determinar las categorías de aptitud de las regiones agroclimáticas definidas para la producción de mango cultivar Manila, se utilizó como variable de clasificación la temperatura mínima promedio anual, que de acuerdo al ACP explica el 72.74% de la varianza total de las variables originales analizadas, y por lo tanto, de la variabilidad agroclimática del área de estudio, además de ser ésta, una variable integradora de la temperatura mínima durante todo el año (Cuadro 5-7, Figura 5-4).

Cuadro 5-6. Valores promedios de temperatura mínima mensual, precipitación total mensual y rendimiento promedio de mango cultivar Manila para los grupos de localidades definidos mediante ACP en el estado de Veracruz.

Temperatura mínima mensual (°C)														
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
<b>Grupo 1</b>	11.6	12.4	13.9	16.2	17.2	17.8	16.9	17.0	17.3	16.0	14.0	12.3	<b>15.2</b>	<b>10.2</b>
<b>Grupo 2</b>	16.2	16.8	18.8	21.2	22.6	23.1	22.3	22.4	22.2	20.9	18.7	17.4	<b>20.2</b>	<b>6.6</b>

Precipitación total mensual (mm)														
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
<b>Grupo 1</b>	54.1	50.2	59.1	59.5	145.0	314.9	345.1	290.8	388.3	234.1	110.2	64.2	<b>2115.2</b>	
<b>Grupo 2</b>	34.3	29.2	27.7	33.0	67.1	234.6	299.2	224.8	289.2	161.0	72.7	43.4	<b>1516.0</b>	

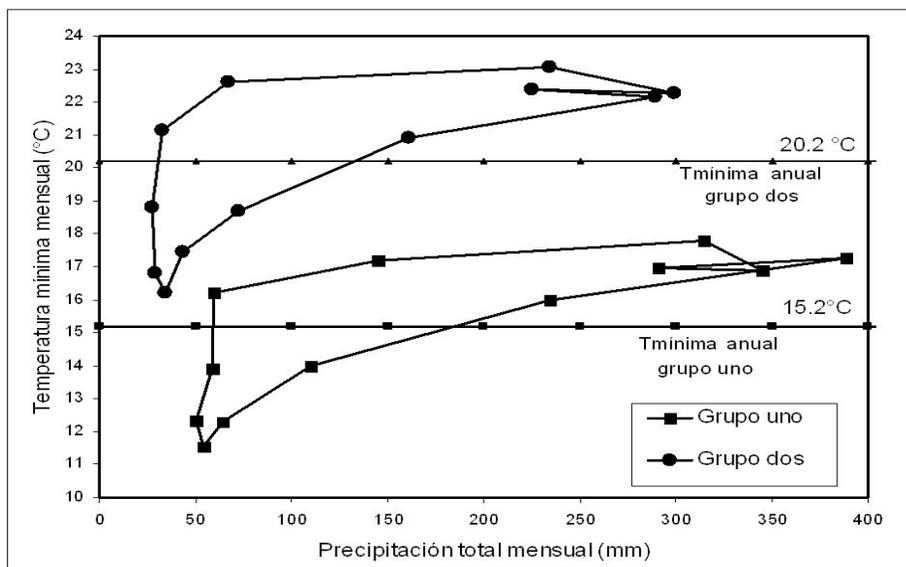


Figura 5-3. Gráficas hidro-termales de los dos grupos de localidades productoras de mango cultivar Manila obtenidos mediante ACP.

Los intervalos de cada categoría se determinaron a partir de los valores promedios de los grupos definidos con la gráfica de dispersión del ACP, que se confirmó con las gráficas hidro-termales, sus rendimientos promedios (Cuadro 5-5, Figura 5-5) y apoyados en los trabajos de diferentes autores como Whiley (1993), Chiaikiattiyos *et al* (1994), Núñez-Elisea y Davenport (1994), León-Arteta y Pérez (1996) y Mata y Mosqueda (1998), quienes indican, que el cultivo de mango, puede desarrollarse en climas donde la temperatura media del mes más frío sea mayor de 15 °C, que la inducción floral del mango, se presenta cuando el promedio de temperatura mínima en un mes cualquiera del año es de 15 a 16 °C. Además se consideran zonas Marginales para el mango, aquellas que presenten temperaturas medias anuales inferiores a 21 °C y zonas inadecuadas las que presenten temperaturas medias anuales inferiores a 19 °C (Brunini y Alfonsi, 1980). Considerando también la temperatura media anual óptima de crecimiento de 20 a 24 °C (Ibar,1979 y Mosqueda,1983).

Para obtener una relación entre la temperatura media y mínima anual que se utilizó como índice agroclimático, se realizó un análisis de regresión lineal simple, para generar un modelo empírico, se utilizaron 153 estaciones climatológicas del estado de Veracruz y se obtuvo el siguiente modelo:

$$T_{\text{mínima anual}} = 1.0752 (T_{\text{media anual}}) - 7.2369 \dots \dots \dots (9)$$

$r^2 = 0.9679$ ; Número de datos (n) = 153; Cuadrado Medio del Error (CME) = 0.5752

Con el modelo lineal empírico y los valores de temperatura media anual de: 18.8 °C, 20.7 °C, 24.5 °C y 29 °C, se obtuvieron los límites de temperatura mínima anual para las cuatro categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Manila (Cuadro 5-7, Figura 5-4).

Cuadro 5-7. Zonas agroclimáticas para producción de mango cultivar Manila en el estado de Veracruz, en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie estatal.

Zona Agroclimática	Intervalo de temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 13.0	No apta	559 844	7.69
2	13.0 – 15.0	Marginal	213 436	2.93
3	15.0 - 19.0	Apta	1 023 705	14.06
4	19.0 - 24.0	Moderadamente apta	5 484 515	75.32
Total			7 281 500	100.00

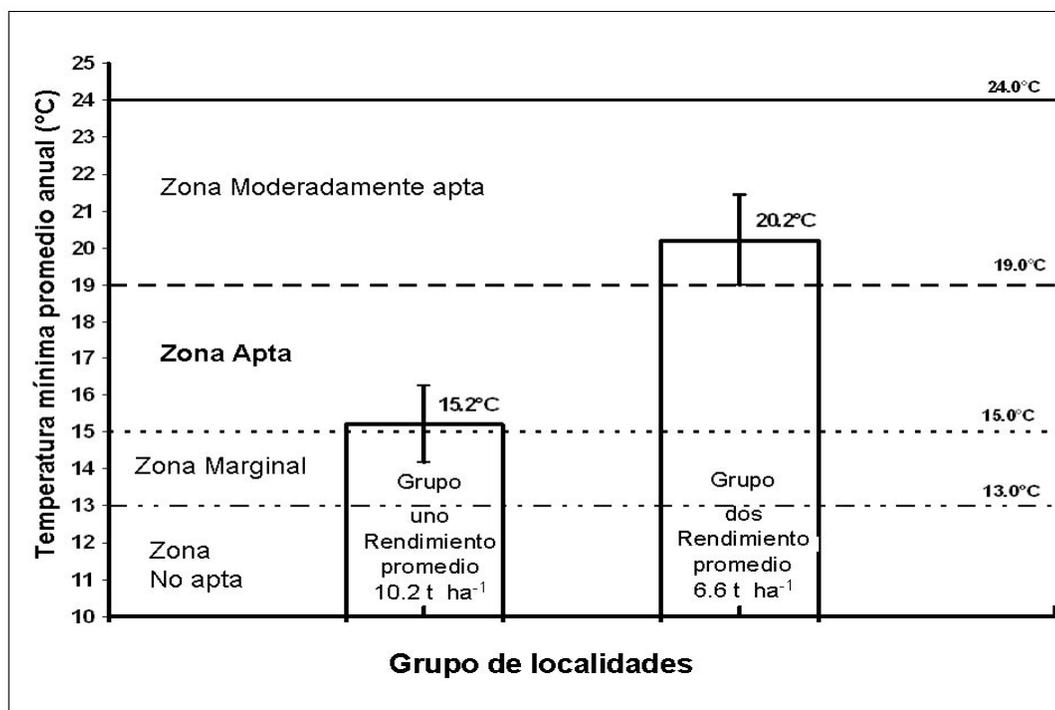


Figura 5-4. Temperatura mínima promedio anual y rendimiento para los grupos de localidades, productoras, así como, límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Manila en el estado de Veracruz.

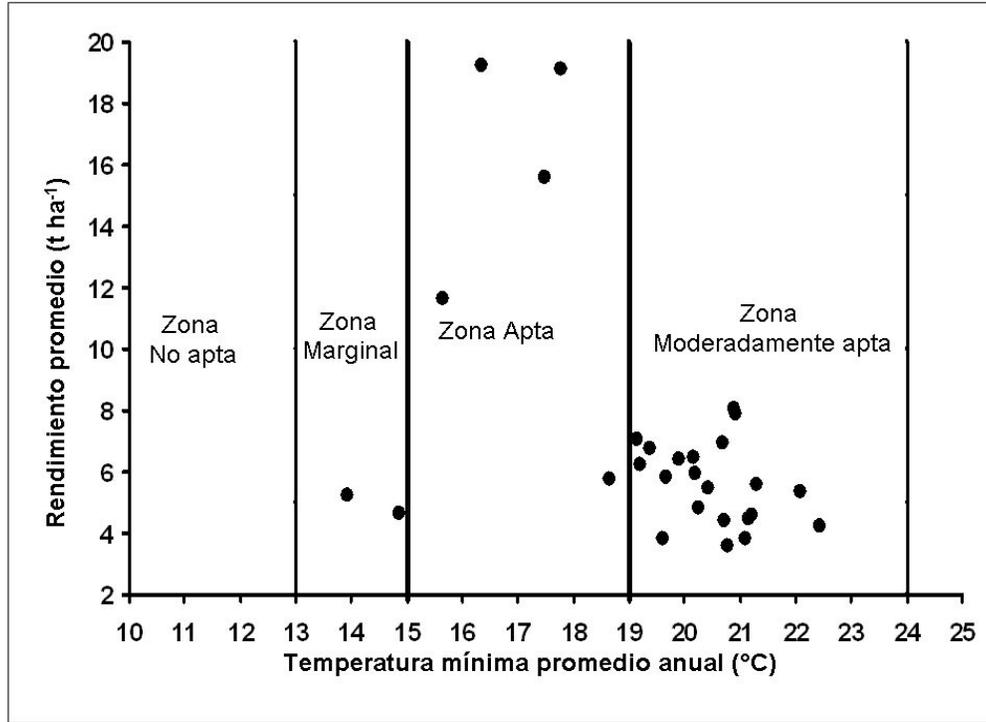


Figura 5-5. Temperatura mínima promedio anual y rendimiento para las localidades, productoras, así como, límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Manila en el estado de Veracruz.

El modelo lineal empírico que se obtuvo para estimar la temperatura mínima anual en función de la altitud es el siguiente:

$$T_{\text{mínima}} = 20.4 - 0.0058 (h) \dots\dots\dots (10)$$

Donde:  $T_{\text{mínima}}$  = Temperatura mínima promedio anual (°C)

$h$  = Altitud (m)

$r^2 = 0.9203$ ; Error promedio = 7.08%;  $n = 134$  y  $CME = 1.575$

Con el modelo de elevación digital, el modelo anterior y junto con un Sistema de Información Geográfica (SIG), se generó un mapa tipo raster de temperaturas mínimas promedios anuales, este mapa se reclasificó de acuerdo a la clasificación agroclimática del Cuadro 5-7, para obtener la cartografía de zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Manila que se presenta en la Figura 5-6.

En este mapa se calculó que la categoría agroclimática Apta ocupa 14.06% de la superficie del Estado (1 023 705 ha); la categoría agroclimática Moderadamente apta ocupa 75.32% de la superficie del Estado (5 484 515 ha); la categoría agroclimática Marginal representa 2.93% de la superficie del Estado (213 436 ha) y, 7.69% de la superficie del Estado (559 844 ha) presenta categoría agroclimática No apta para producir mango cultivar Manila.

Las zonas agroclimáticas encontradas se caracterizaron de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se distribuye en las partes altas de la llanura costera del golfo, donde se inicia los lomeríos y faldas de las montañas de la parte centro del Estado y la región de “Los Tuxtlas”, con alturas que van de 250 a 950 msnm; con temperatura mínima anual entre 15 y 19 °C y, temperatura media anual entre 21 y 24.5 °C. En la mayor parte de la zona agroclimática Apta predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): (A)C(w<sub>1</sub>), (A)C(w<sub>2</sub>), (A)C(m), (A)C(m)(f) y en pequeña proporción el tipo (A)Cf (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Marginal. Se encuentra distribuida en las faldas del cono volcánico del “Pico de Orizaba” y de las montañas de la región centro occidente del Estado y la región de “Los Tuxtlas”, con alturas que van de los 950 a los 1300 msnm; con temperatura mínima anual entre 13 y 15 °C, y temperatura media anual inferior a 21 °C. En la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García(1973): (A)C(m)(f), (A)C(m), (A)C(w<sub>1</sub>), y el tipo (A)Cf (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Moderadamente apta. Se distribuye en las llanuras costeras de las partes: norte, centro y sur-sureste del Estado, con alturas que van de 0 a 250 msnm; con temperatura mínima anual entre 19 y 24 °C, y temperatura media anual entre 24.5 y 29 °C. En la mayor parte de esta zona agroclimática predominan principalmente los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): A(f), Am(f) y Am y en menor proporción de superficie los tipos de climas: Aw<sub>0</sub>, Aw<sub>1</sub>, Aw<sub>2</sub>, (CONABIO, 1998)

Zona agroclimática No apta. Se ubica en las faldas de la parte alta del cono volcánico del “Pico de Orizaba” y las partes altas de las montañas de la región centro occidente del Estado y la región de “Los Tuxtlas”, con alturas superiores a los 1300 msnm con temperatura mínima anual inferior a 13 °C, y temperatura media anual inferior a 19 °C. En la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): Cb'(w<sub>2</sub>) Cb'(m)(f), C(f) C(m)(f) y en menor proporción los tipos climáticos C(w<sub>1</sub>), C(w<sub>2</sub>), C(m) y C(w<sub>0</sub>) (CONABIO, 1998)

Al mapa de zonas de aptitud agroclimática (Figura 5-6) se sobrepuso el mapa de división municipal del estado de Veracruz y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Manila por Municipio (Cuadro 5-8). Tres Municipios tienen en su totalidad la

categoría de Apta; 39 Municipios que además de la categoría Apta también tienen la categoría Moderadamente apta; 27 que en todo su territorio tienen la categoría Moderadamente apta; 52 Municipios que presentan las categorías Apta, Marginal y No apta; 11 Municipios que presentan las categorías Apta, Moderadamente apta, Marginal y No apta; 12 Municipios que presentan las categorías Apta, Moderadamente apta y Marginal; cuatro que presentan las categorías Apta y Marginal; 22 Municipios que presentan las categorías Marginal y No apta de los cuales ninguno reportan superficie cultivada con mango; y por último 26 Municipios con la categoría No apta, mismos que igualmente no reportan superficie cultivada con mango.

Al comparar la zonificación agroclimática encontrada, con la ubicación de las plantaciones actuales en los Municipios, se observa que de los tres Municipios que en su totalidad presentan la categoría de Apta, Cuichapa es un municipio que no reporta superficie sembrada con mango, los municipios de Jalcomulco y Yanga tienen 2034 y 185 ha cultivadas con mango respectivamente, lo que representa el 8.7% de la superficie cultivada con mango en el Estado; Actopan es el municipio con mayor superficie cultivada con mango en el estado de Veracruz, en su mayor parte tiene superficie en la categoría de Apta y una pequeña porción en categoría Moderadamente apta, en este municipio se reportan cultivadas 4,038 ha y además los municipios de Jalcomulco, Yanga y Actopan juntos tienen el 24.5% de la superficie cultivada con mango en el Estado (6257 ha); 14 Municipios que presentan en mayor proporción la categoría Apta y en pequeña proporción Moderadamente apta, tienen plantadas 5755 ha que representa el 22.5% de la superficie cultivada con mango en el Estado; el 53% de la superficie con mango restante (13 533 ha), se ubican en 46 Municipios que en su mayor parte cuentan con categoría Moderadamente apta.

Cuadro 5-8. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Manila en los Municipios del estado de Veracruz.

Apta	Apta, Moderadamente apta, Marginal y No apta	Apta, Moderadamente apta y Marginal	Apta y Marginal	Marginal y No apta	
Cuichapa	Alto Lucero de Gutiérrez Barrios <sup>+</sup>	Actopan <sup>+</sup>	Naranja	Atzacan	Rafael Delgado
Jalcomulco <sup>+</sup>	Atzalan	Catemaco <sup>+</sup>	Tenampa <sup>+</sup>	Ayahualulco	Río Blanco
Yanga <sup>+</sup>	Emiliano Zapata <sup>+</sup>	Comapa	Tlacotepec de Mejía <sup>+</sup>	Banderilla	Sochiapa

<sup>+</sup> Municipios productores de mango

Cuadro 5-8. Continuación...

Apta, Moderadamente apta, Marginal y No apta	Apta, Moderadamente apta y Marginal	Apta y Marginal	Marginal y No apta	Apta
Juchique de Ferrer	Las Choapas	Zontecomatlan	Chocamán	Tatatila
Miahuatlán	Mecayapan <sup>+</sup>		Huayacocotla	Tequila
Misantla	Paso del Macho <sup>+</sup>		Huiloapan	Texhuacán
Omealca <sup>+</sup>	San Andrés Tuxtla <sup>+</sup>		Ixhuacán de los Reyes	Tlacolulan
Tezonapa	Soteapan <sup>+</sup>		Ixhuatlán del Café	Tlilapan
Tlachichilco	Tancoco		Landero y Coss	Tomatlan
Tlaltetela <sup>+</sup>	Tatahuicapan de Juárez <sup>+</sup>		Los Reyes	Xalapa
Zongolica <sup>+</sup>	Tepetzintla		Magdalena	
	Zentla		Orizaba	

<sup>+</sup> Municipios productores de mango

Cuadro 5-8. Continuación...

Apta y Moderadamente apta	Apta, Marginal y No apta	No apta	Moderadamente apta	
Acayucan <sup>+</sup>	Santiago Tuxtla <sup>+</sup>	Altotonga	Acajete	Acula <sup>+</sup>
Angel R. Cabada	Sayula de A. <sup>+</sup>	Amatlán de los R.	Acatlan	Agua Dulce
Apazapan <sup>+</sup>	Soconusco	Atoyac <sup>+</sup>	Acultzingo	Alvarado <sup>+</sup>
Benito Juárez	Soledad de Doblado <sup>+</sup>	Córdoba	Alpatláhuac	Amatitlán <sup>+</sup>
Camarón de Tejeda <sup>+</sup>	Tamalín	Chiconquiaco	Aquila	Boca del Río
Carrillo Puerto <sup>+</sup>	Tamiahua	Coatepec <sup>+</sup>	Astacinga	Carlos A. Carrillo <sup>+</sup>
Castillo de Teayo	Tampico Alto	Coetzala	Atlahuilco	Cazones
Cerro Azul	Tantima	Cosautlán de C.	Calcahualco	Chacaltianguis <sup>+</sup>
Chalma	Tantoyuca	Fortín	Camerino Z. Mendoza	Chinameca
Chiconamel	Tecolutla	Huatusco	Coacoatzintla	Chinampa de Gtiza <sup>+</sup>
Chicontepec	Temapache	Ilamatlán	Coscomatepec	Coatzacoalcos
Chontla	Tempoal	Ixtaczoquitlán	Ixhuatlancillo	Cosamaloapan <sup>+</sup>

<sup>+</sup> Municipios productores de mango

Cuadro 5-8. Continuación...

Apta y Moderadamente apta		Apta, Marginal y No apta	No apta	Moderadamente apta
Chumatlán	Texistepec	Jalacingo	La Perla	Cosoleacaque
Citlaltépetl	Tierra Blanca <sup>+</sup>	Jilotepec	Las Vigas de Ramírez	Cotaxtla <sup>+</sup>
Coahuatlán	Tihuatlan	Las Minas	Maltrata	El Higo <sup>+</sup>
Coatzintla	Tlacojalpan <sup>+</sup>	Mixtla de Altamirano	Mariano Escobedo	Espinal
Colipa	Tlacotalpan <sup>+</sup>	Naolinco <sup>+</sup>	Nogales	Gutiérrez Zamora
Coxquihui	Tlalixcoyan <sup>+</sup>	Tenochtitlán	Perote	Hidalgotitlán
Coyutla	Tlapacoyan	Teocelo <sup>+</sup>	Rafael Lucio	Ignacio de la Llave <sup>+</sup>
Cuitláhuac <sup>+</sup>	Tres Valles <sup>+</sup>	Tepatlxco	San Andrés Tenejapan	Isla
Filomeno Mata	Tuxpan	Tepetlan	Soledad Atzompa	Ixhuatlán
Hueyapan de Ocampo <sup>+</sup>	Tuxtilla <sup>+</sup>	Texcatepec	Tehuipango	Ixmatlahuacan <sup>+</sup>
Ixcatepec	Úrsulo Galván <sup>+</sup>	Totutla	Tlalnelhuayocan	Jáltipan
Ixhuatlán de Madero	Uxpanapa	Xico	Tlaquilpa	Jamapa <sup>+</sup>
Martínez de la Torre	Vega de Alatorre	Yecuatla	Villa Aldama	Jesus Carranza
Mecatlan	Veracruz <sup>+</sup>	Zacualpan	Xoxocotla	José Azueta <sup>+</sup>
Nautla	Zaragoza			J. Rodguez. Clara <sup>+</sup>
Pajapan <sup>+</sup>	Zozocolco			La Antigua <sup>+</sup>
Papantla				Lerdo de Tejada
Paso de Ovejas <sup>+</sup>				Manlio F. Altamirano <sup>+</sup>
Platón Sánchez				Medellín <sup>+</sup>
Playa Vicente <sup>+</sup>				Moloacán
Poza Rica				Nanchital
Pueblo Viejo				Naranjos Amatlán <sup>+</sup>
Puente Nacional <sup>+</sup>				Oluta <sup>+</sup>
S. J. Evangelista <sup>+</sup>				Otatitlán <sup>+</sup>
S. Sochiapan				Oteapan
Saltabarranca				Ozuluama
San Rafael				Pánuco <sup>+</sup>

<sup>+</sup> Municipios productores de mango

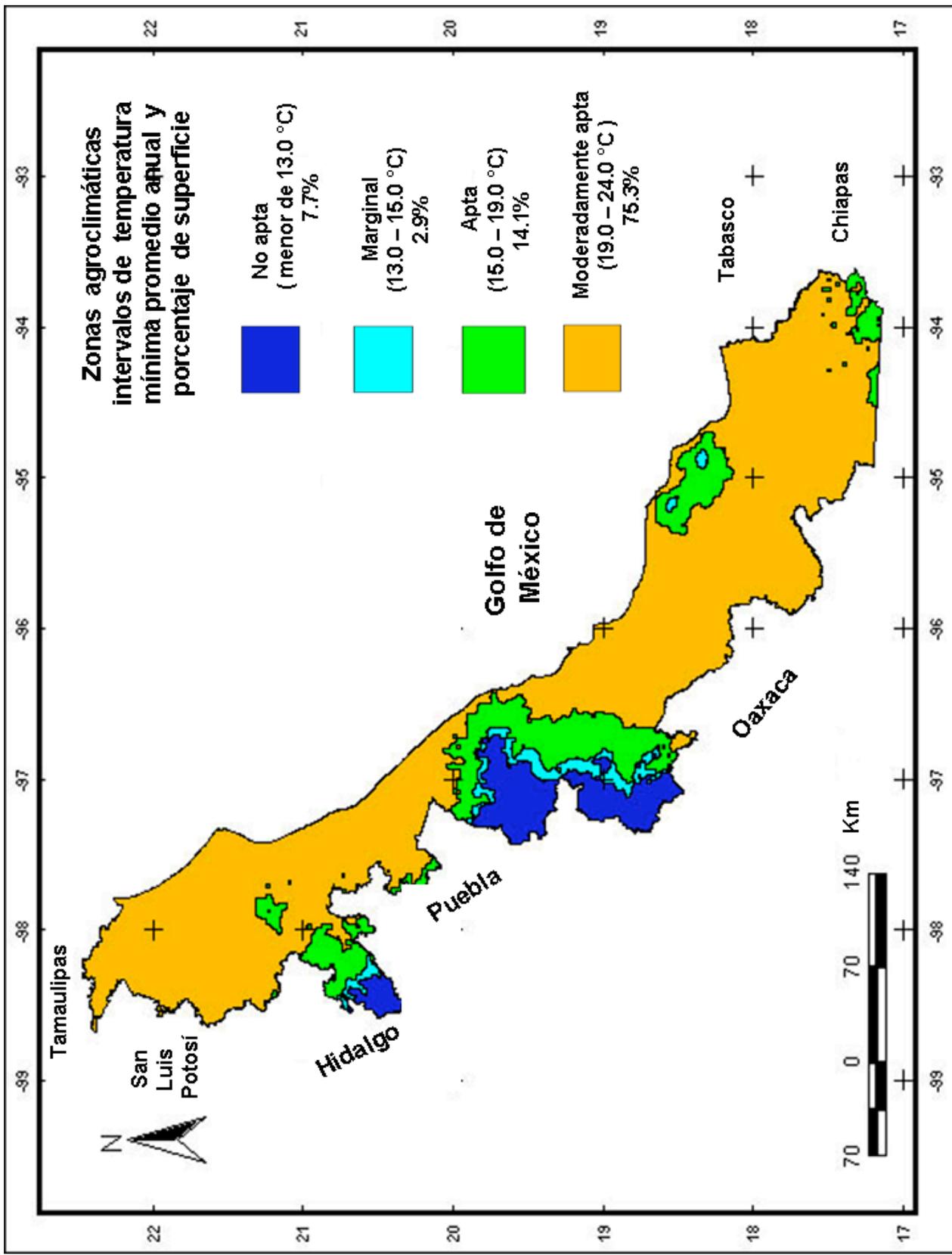


Figura 5-6. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Manila en el estado de Veracruz, México.

### 5.3. Zonificación del cultivar Ataulfo

#### 5.3.1. Estimación de variables

Para el mango cultivar Ataulfo se seleccionaron estaciones cercanas a las localidades con parcelas productoras de mango del estado de Chiapas, donde 80% de las plantaciones de mango son de este cultivar (INIFAP, 2000), en este caso se estimó la radiación solar global ya que todas las demás variables climáticas utilizadas se reportan en las estaciones seleccionadas. Para estimar la radiación solar global, se procedió de manera similar que el análisis realizado para el cultivar Manila, estos valores estimados y las otras variables se muestran en el Cuadro 5-9, para las estaciones del estado de Chiapas.

#### 5.3.2. Generación de índices agroclimáticos

Para generar un índice agroclimático para el mango cultivar Ataulfo, igual que para el cultivar Manila se utilizó el ACP, con 20 estaciones climatológicas cercanas a los Municipios productores de mango, esta información fue solicitada a la Comisión Nacional del Agua en el estado de Chiapas (CNA) (Figura 5-7), en este caso se usaron siete variables climáticas, debido a que el número de estaciones cercanas a los Municipios productores de mango cultivar Ataulfo fué reducido, se decidió disminuir el número de variables tomando en consideración los resultados obtenidos en el ACP realizado para el mango cultivar Manila, a continuación se enlistan las variables utilizadas:

$Y_1$  = Altura sobre el nivel del mar (m)

$Y_2$  = Temperatura mínima promedio anual ( °C)

$Y_3$  = Temperatura mínima promedio de: noviembre y diciembre ( °C)

$Y_4$  = Temperatura máxima promedio anual (°C)

$Y_5$  = Precipitación total anual (mm)

$Y_6$  = Evaporación total anual (mm)

$Y_7$  = Radiación solar global promedio anual ( $\text{MJ m}^{-2} \text{día}^{-1}$ )

Los datos originales de las variables climáticas que se utilizaron en el ACP se presentan en el Cuadro 5-9.

Cuadro 5-9. Información geográfica, climática y rendimiento de mango cultivar Ataulfo, que se utilizó en el Análisis de Componentes Principales (ACP) para la zonificación agroclimática del estado de Chiapas.

No.	Localidad	Clave	Latitud	Longitud	Altura m	Tmin_A <sup>1</sup> °C	Tmin_ND <sup>2</sup> °C	Tmax_A <sup>3</sup> °C	Ppt_A <sup>4</sup> mm	Evpt_A <sup>5</sup> mm	Rg_A <sup>6</sup> Mjm <sup>3</sup> ·dia <sup>-1</sup>	Ren_P <sup>7</sup> tha
1	Acala	7003	16° 34'	92° 48'	420	18.1	15.8	33.3	943.6	1797.8	19.9	9.5
2	Acapetahua	7344	15° 20'	92° 57'	9	19.2	17.9	33.8	1591.5	1593.1	21.6	9.2
3	Acacoyagua y Escuintla	7113	15° 21'	92° 43'	80	21.0	20.3	34.2	2579.7	1637.5	19.7	9.2
4	Chiapa de Corzo	7134	16° 44'	93° 02'	397	19.7	17.3	33.5	972.9	1998.9	19.3	11.6
5	Chiapilla y Totolapa	7034	16° 35'	92° 43'	568	17.8	16.1	31.9	1081.3	1645.5	20.3	9.4
6	Frontera Hidalgo	7068	14° 47'	92° 11'	60	20.6	19.7	33.9	2001.1	1627.9	20.1	7.7
7	Huehuetan	7336	14° 58'	92° 31'	18	21.2	20.8	34.7	1293.8	1379.5	21.4	8.2
8	Huixtla y Tuzantan	7077	15° 08'	92° 29'	40	21.8	20.9	35.5	3219.9	1491.8	19.4	8.0
9	La Concordia	7021	15° 54'	92° 29'	650	17.5	16.8	33.0	1605.7	1860.1	20.6	8.5
10	Mapastepec	7334	15° 25'	93° 00'	50	18.6	18.2	35.3	1847.1	1795.0	21.0	9.8
11	Mazatan	7326	14° 52'	92° 27'	15	23.0	22.9	34.6	1727.5	1588.2	21.6	8.2
12	Metapa	7200	14° 55'	92° 15'	137	19.5	18.7	33.5	2165.7	1540.5	19.2	9.2
13	Pijijapan	7129	15° 42'	93° 13'	54	22.0	21.3	34.4	2168.0	1686.1	20.5	4.7
14	Suchiate	7045	14° 40'	92° 13'	22	21.8	20.8	35.7	1312.6	1627.0	20.0	8.3
15	Tapachula	7136	14° 45'	92° 25'	21	21.2	20.6	31.7	1346.5	1934.5	20.2	9.0
16	Tonala	7074	15° 58'	93° 37'	140	21.7	21.3	33.5	2095.5	1560.0	20.2	8.2
17	Tuxtla Chico	7166	14° 58'	92° 10'	335	19.9	19.4	32.5	4271.2	1543.1	18.3	8.7
18	Villa Comatitlan	7038	15° 12'	92° 34'	50	21.5	20.5	33.8	3295.2	1510.2	18.2	8.1
19	Villa Corzo	7236	16° 10'	93° 05'	540	17.7	15.3	32.4	1152.7	1629.1	19.7	8.0
20	Villa Flores	7065	16° 22'	93° 29'	650	17.7	17.4	31.9	996.6	1544.4	20.9	11.0

Tmin\_A<sup>1</sup>= Temperatura mínima promedio anual; Tmin\_ND<sup>2</sup>= Temperatura mínima promedio de los meses de Noviembre y Diciembre; Tmax<sup>3</sup>= Temperatura máxima promedio anual; Ppt\_A<sup>4</sup>= Precipitación total anual; Evpt\_A<sup>5</sup>= Evaporación total anual; Rg\_A<sup>6</sup>= Radiación solar global promedio anual; Ren\_P<sup>7</sup>= Rendimiento promedio de mango

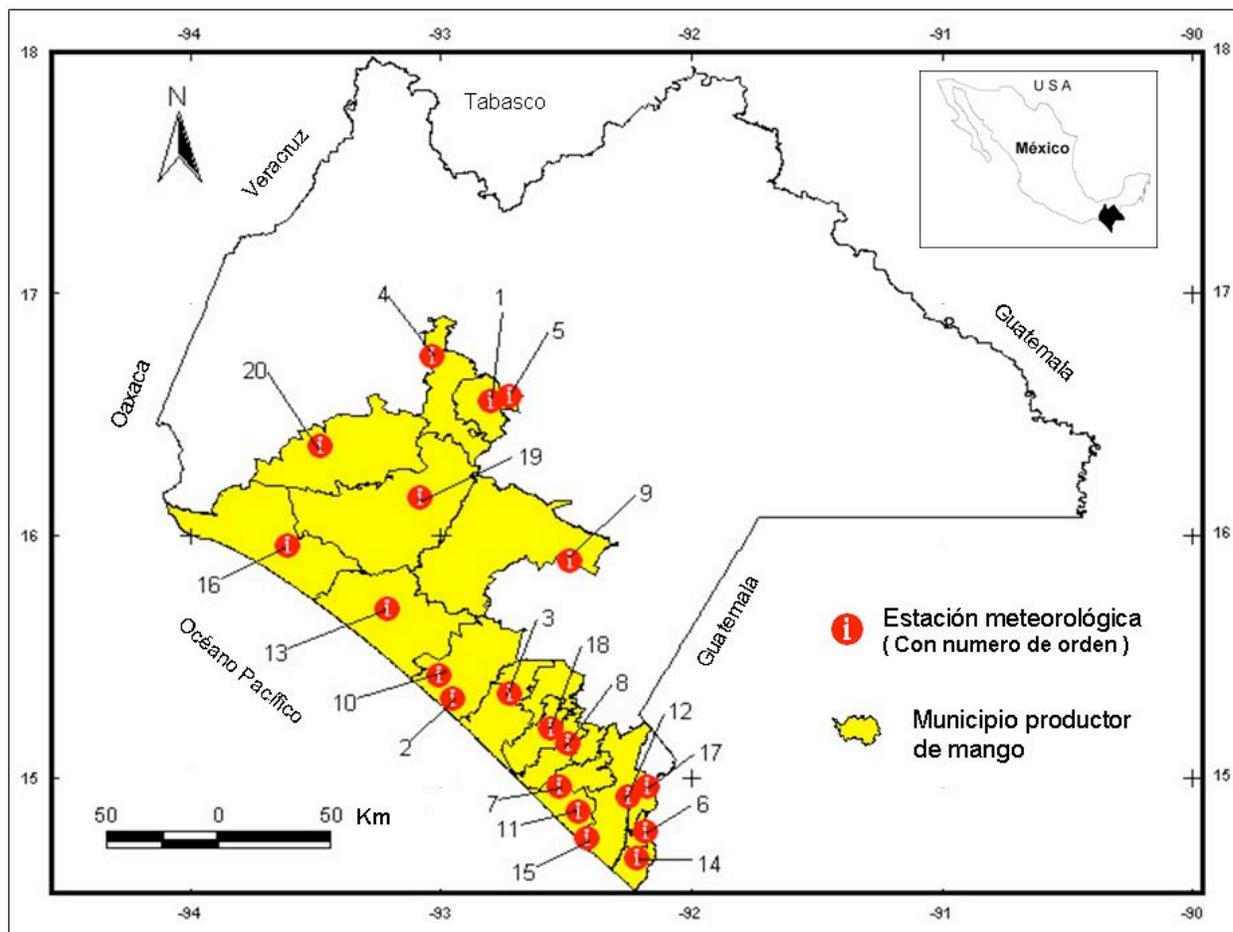


Figura 5-7. Localización geográfica de las estaciones climatológicas que se utilizaron en el Análisis de Componentes Principales (ACP) y en la zonificación agroclimática en el estado de Chiapas, México.

El ACP se realizó con base a la matriz de correlación (Cuadro 5-10) el resultado se presenta en el Cuadro 5-11 y se observa que el primer componente principal (Prin1) tiene como valor característico 3.569, que explica el 51% de la varianza total y está asociado con la temperatura mínima promedio de los meses de noviembre-diciembre y la temperatura mínima promedio anual, tomando en cuenta que el valor de estos dos vectores son muy similares y en virtud de que este último integra de manera más completa el efecto de las temperaturas bajas durante el año, se consideró esta última variable como el vector con mayor grado de asociación al primer componente principal. El segundo componente principal (Prin2) tiene como valor característico 1.570, explica el 22% de la varianza total y está asociado con la radiación solar global promedio anual. De esta manera, estos dos valores característicos juntos explican el 73% de la varianza total contenida en la matriz de datos climáticos originales y determinan las condiciones agroclimáticas para producir mango cultivar Ataulfo en el estado de Chiapas.

Cuadro 5-10. Matriz de correlación entre las siete variables climáticas originales de las 20 estaciones climatológicas del estado de Chiapas.

	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>
Y <sub>1</sub>	1.0000						
Y <sub>2</sub>	<b>-0.8092</b>	1.0000					
Y <sub>3</sub>	-0.7909	<b>0.9571</b>	1.0000				
Y <sub>4</sub>	-0.6728	0.5583	0.5288	1.0000			
Y <sub>5</sub>	-0.3346	0.3938	0.4436	0.2002	1.0000		
Y <sub>6</sub>	0.2665	-0.2954	-0.3645	-0.2514	-0.4097	1.0000	
Y <sub>7</sub>	-0.0986	-0.0436	0.0595	0.1584	-0.5951	0.0102	1.0000

Y<sub>1</sub> = Altura sobre el nivel del mar (m); Y<sub>2</sub> = Temperatura mínima promedio anual ( °C); Y<sub>3</sub> = Temperatura mínima promedio de: noviembre y diciembre ( °C); Y<sub>4</sub> = Temperatura máxima promedio anual (°C); Y<sub>5</sub> = Precipitación total anual (mm); Y<sub>6</sub> = Evaporación total anual (mm); Y<sub>7</sub> = Radiación solar global promedio anual (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)

Cuadro 5-11. Resumen del Análisis de Componentes Principales (ACP) para las siete variables climáticas (de 20 estaciones del estado de Chiapas).

<b>Vector:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Valores característicos	3.56864	1.57003
Porcentaje de varianza explicada	50.98	22.43
<b>V a r i a b l e s</b>	<b>C o e f i c i e n t e s</b>	
Altura sobre el nivel del mar (m)	-0.469055	-0.173295
Temperatura mínima promedio anual ( °C )	<b>0.488977</b>	0.058212
Temperatura mínima promedio de nov y dic ( °C)	<b>0.491914</b>	0.073048
Temperatura máxima promedio anual (°C)	0.377413	0.246916
Precipitación total anual (mm)	0.297689	-0.591286
Evaporación total anual (mm)	-0.259216	0.171083
Radiación solar global promedio anual (MJm <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	-0.025627	<b>0.722072</b>

Con los dos componentes principales y sus variables asociadas (temperatura mínima promedio anual y radiación solar global promedio anual), se elaboró un diagrama de dispersión de las localidades productoras en estudio y de manera visual, se distinguieron dos grupos diferentes (Figura 5-8), similar a lo observado para el mago cultivar Manila en el estado de Veracruz, en este caso, también las localidades del grupo uno presentan temperatura mínima anual más bajas que las del grupo dos, además estas localidades reportan mayor rendimiento promedio (Cuadros 5-13 y 5-14, Figuras 5-10 y 5-11), la diferencia entre los dos grupos, se debe a la aportación de temperaturas bajas necesarias para la inducción de la floración del cultivo de mango; lo anterior concuerda con lo reportado por Whiley (1993), Chiaikiattiyos *et al* (1994), Núñez-Elisea y

Davenport (1994), Lerma (2001) e INIFAP (2000), quienes encontraron que para la inducción floral del mango se requieren temperaturas bajas de 14 a 18 °C, principalmente en los meses de diciembre y enero, ya que éstas favorecen la inducción de la floración del cultivo de mango.

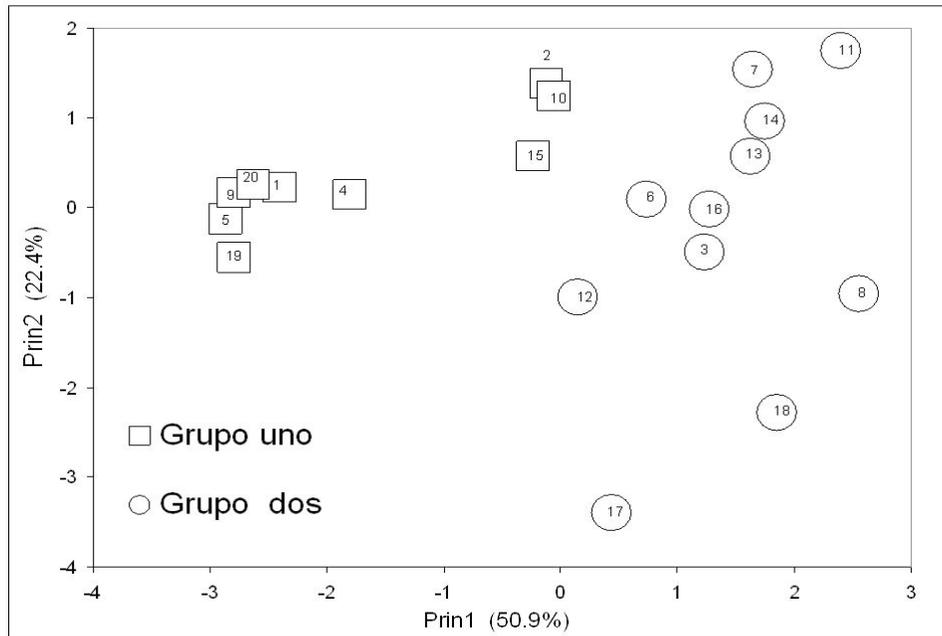


Figura 5-8. Diagrama de dispersión de los componentes principales Prin1 (temperatura mínima promedio anual) y Prin2 (radiación solar global promedio anual) para 20 localidades productoras de mango cultivar Ataulfo en el estado de Chiapas, resultados del ACP. El número dentro del cuadro o círculo indica el número de la localidad del Cuadro 5-9.

### 5.3.3. Definición de tipos agroclimáticos

Como una forma de confirmar la agrupación de las localidades obtenida mediante el ACP, se construyeron para cada grupo de localidades gráficas hidro-termales, relación entre la precipitación total promedio mensual en el eje de las abcisas (X), y temperatura mínima promedio mensual en el eje de las ordenadas (Y) (Cuadro 5-12 y Figura 5-9); en esta gráfica de acuerdo a la forma y disposición de las mismas se observa que los dos grupos de localidades que se identifican son diferentes, en términos de su temperatura mínima mensual y anual.

Para determinar las categorías de aptitud de las regiones agroclimáticas definidas para producir mango cultivar Ataulfo, se utilizó como variable de clasificación la temperatura mínima promedio anual, que de acuerdo al ACP explica el 51% de la varianza total de las variables que se analizaron, y por lo tanto de la variabilidad agroclimática del área de estudio.

Cuadro 5-12. Valores promedios de temperatura mínima mensual, precipitación total mensual y rendimiento promedio de mango cultivar Ataulfo para los grupos de localidades definidos mediante ACP en el estado de Chiapas.

Temperatura mínima mensual (°C)														
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
<b>Grupo 1</b>	15.7	16.4	17.8	19.4	20.4	20.2	19.8	19.8	19.8	19.3	18.0	16.6	18.6	9.6
<b>Grupo 2</b>	19.5	19.8	20.9	22.1	22.5	22.1	21.8	21.8	21.7	21.7	21.1	20.1	21.3	8.1

Precipitación total mensual (mm)														
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
<b>Grupo 1</b>	1.2	1.6	5.2	22.9	104.9	243.8	230.6	228.3	277.6	132.8	27.5	5.7	1282.0	
<b>Grupo 2</b>	6.0	8.6	23.1	69.6	255.6	406.1	353.8	390.4	475.2	292.0	78.6	16.4	2375.5	

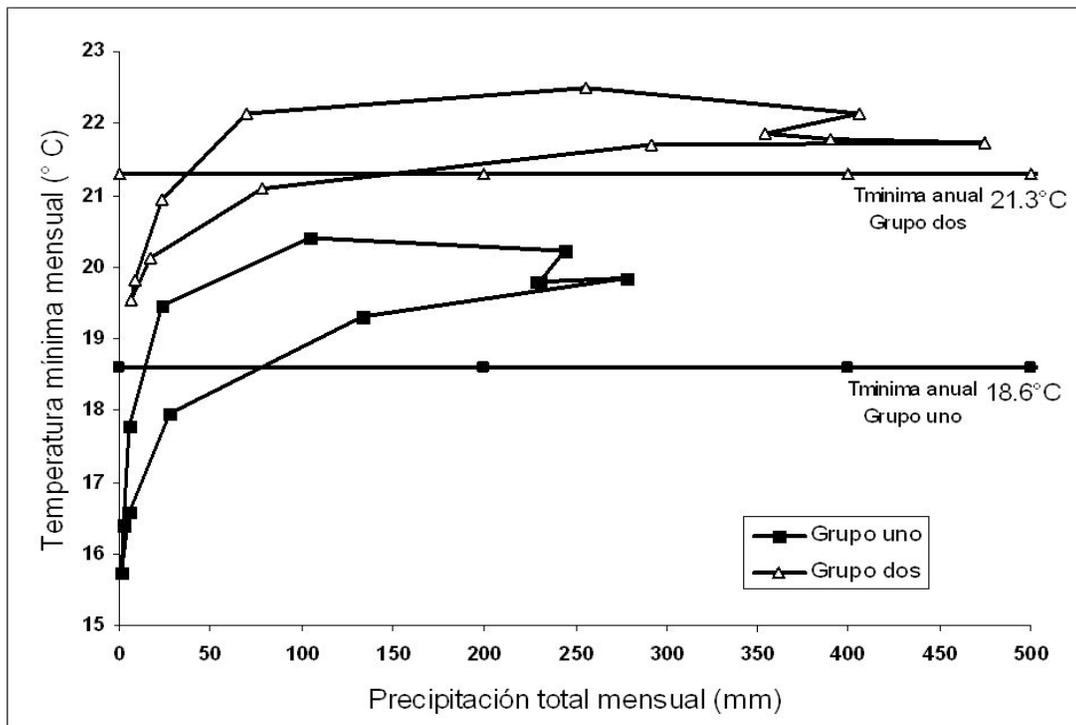


Figura 5-9. Gráficas hidro-termales de los dos grupos de localidades productoras de mango cultivar Ataulfo obtenidos mediante ACP.

Los intervalos de cada categoría se determinó al considerar los valores promedios de los grupos de localidades definidos con la gráfica de dispersión del ACP, que se verificó con las gráficas hidro-termales y sus rendimientos promedios. Además apoyados en los trabajos de diferentes autores como Whiley (1993), Chiaikiattiyos *et al* (1994), Núñez-Elisea y Davenport (1994), León-Arteta y Pérez (1996), Mata y Mosqueda (1998), Lerma (2001), INIFAP (2000), quienes indican, que el cultivo de mango, se puede desarrollar en climas donde la temperatura media del mes más frío sea mayor de 15 °C, que la inducción floral del mango se presenta cuando

la temperatura mínima promedio en un mes cualquiera del año es de 15 a 16 °C. Tomando en cuenta lo señalado por Brunini y Alfonsi (1980), quienes consideran como zonas Marginales para el mango, aquellas que presenten temperaturas medias anuales inferiores a 21 °C y zonas No aptas las que presenten temperaturas medias anuales inferiores a 19 °C. También, Ibar (1979) y Mosqueda (1983) indican que la temperatura media anual óptima de crecimiento es de 20 a 24 °C. Lerma (2001) señala que específicamente para el mango cultivar Ataulfo los periodos de brotación vegetativa y foliar son muy amplios y durante esos periodos se pueden tener uno o varios flujos vegetativos y florales respondiendo a la frecuencia y duración de temperaturas mínimas de 14 °C a 18 °C.

Para obtener una relación entre la temperatura media anual y la temperatura mínima anual que se utilizó como índice agroclimático, se realizó un análisis de regresión lineal simple, para generar un modelo empírico con datos de 73 estaciones climatológicas del estado de Chiapas, se obtuvo el siguiente modelo:

$$T_{\text{mínima}} = 0.9605 (T_{\text{media}}) - 5.2877 \dots \dots \dots (11)$$

Donde:

$$T_{\text{mínima}} = \text{Temperatura mínima promedio anual (°C)}$$

$$T_{\text{media}} = \text{Temperatura media anual (°C)}$$

$$r^2 = 0.9129;$$

$$\text{Cuadrado Medio del Error (CME)} = 0.8004$$

$$\text{Número de datos (n)} = 73$$

En el modelo lineal empírico se sustituyó la temperatura media anual de: 19 °C, 21 °C, 26 °C y 29 °C, para obtener los límites en temperatura mínima anual para las cuatro categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Ataulfo (Cuadro 5-15, Figura 5-10).

El modelo lineal empírico obtenido para estimar la temperatura mínima anual en función de la altura sobre el nivel del mar, es el siguiente:

$$T_{\text{mínima}} = 21.045 - 0.0049 (h) \dots \dots \dots (12)$$

Donde:

$$T_{\text{mínima}} = \text{Temperatura mínima promedio anual (°C)}$$

$$h = \text{Altitud (m)}$$

$$r^2 = 0.7701$$

$$\text{Error promedio} = 6.35\%$$

$$\text{Cuadrado Medio del Error (CME)} = 2.19$$

$$\text{Número de datos (n)} = 60$$

Cuadro 5-13. Variables climáticas, rendimiento promedio, superficie plantada y los dos primeros componentes principales para los grupos de localidades productoras de mango cultivar Ataulfo, en el estado de Chiapas.

No.	Localidad	Grupo	Altura (m)	Temp <sup>1</sup> mínima	T <sub>mínima</sub> <sup>2</sup> (nov-dic)	Temp <sup>3</sup> máxima	Prec <sup>4</sup> total	Evap <sup>5</sup>	Rad <sup>6</sup> global	Rend <sup>7</sup>	Sup <sup>8</sup> plant.	Prin1 <sup>9</sup>	Prin2 <sup>10</sup>
5	Chiapilla y Totolapa	1	568	17.8	16.1	31.9	1081.3	1645.5	20.3	9.4	75	-2.862	-0.128
19	Villa Corzo	1	540	17.7	15.3	32.4	1152.7	1629.1	19.7	8.0	163	-2.791	-0.554
9	La Concordia	1	650	17.5	16.8	33.0	1605.7	1860.1	20.6	8.5	124	-2.789	0.169
20	Villa Flores	1	650	17.7	17.4	31.9	996.6	1544.4	20.9	11.0	188	-2.631	0.253
1	Acalá	1	420	18.1	15.8	33.3	943.6	1797.8	19.9	9.5	172	-2.395	0.228
4	Chiapa de Corzo	1	397	19.7	17.3	33.5	972.9	1998.9	19.3	11.6	86	-1.799	0.139
15	Tapachula	1	21	21.2	20.6	31.7	1346.5	1934.5	20.2	9.0	5508	-0.236	0.565
2	Acapetahua	1	9	19.2	17.9	33.8	1591.5	1593.1	21.6	9.2	1404	-0.115	1.374
10	Mapastepec	1	50	18.6	18.2	35.3	1847.1	1795.0	21.0	9.8	1190	-0.055	1.244
12	Metapa	2	137	19.5	18.7	33.5	2165.7	1540.5	19.2	9.2	35	0.148	-1.003
17	Tuxtla chico	2	335	19.9	19.4	32.5	4271.2	1543.1	18.3	8.7	201	0.435	-3.398
6	Frontera Hidalgo	2	60	20.6	19.7	33.9	2001.1	1627.9	20.1	7.7	491	0.743	0.095
3	Acacoyagua y Escuintla	2	80	21.0	20.3	34.2	2579.7	1637.5	19.7	9.2	756	1.238	-0.500
16	Tonala	2	140	21.7	21.3	33.5	2095.5	1560.0	20.2	8.2	1831	1.276	-0.017
13	Pijjiapan	2	54	22.0	21.3	34.4	2168.0	1686.1	20.5	4.7	936	1.624	0.561
7	Huehuetán	2	18	21.2	20.8	34.7	1293.8	1379.5	21.4	8.2	794	1.644	1.532
14	Suchiate	2	22	21.8	20.8	35.7	1312.6	1627.0	20.0	8.3	388	1.756	0.957
18	Villa Comatitlán	2	50	21.5	20.5	33.8	3295.2	1510.2	18.2	8.1	635	1.849	-2.29
11	Mazatan	2	15	23.0	22.9	34.6	1727.5	1588.2	21.6	8.2	2809	2.401	1.738
8	Huixtla y Tuzantán	2	40	21.8	20.9	35.5	3219.9	1491.8	19.4	8.0	260	2.559	-0.966

Temp mínima<sup>1</sup> = Temperatura mínima promedio anual (°C); T<sub>mínima</sub><sup>2</sup> (nov-dic) = Temperatura mínima promedio de noviembre y diciembre (°C); Temp máxima<sup>3</sup> = Temperatura máxima promedio anual (°C); Prec total<sup>4</sup> = Precipitación total anual (mm); Evap<sup>5</sup> = Evaporación total anual; Rad. Global<sup>6</sup> = Radiación solar global promedio anual (MJm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>); Rend<sup>7</sup> = Rendimiento promedio de temporal (t ha<sup>-1</sup>); Sup<sup>8</sup> plant = Superficie plantada (ha); Prin1<sup>9</sup> = Primer Componente Principal; Prin2<sup>10</sup> = Segundo Componente Principal

Cuadro 5-14. Promedio de variables climáticas y rendimiento para los grupos de localidades productoras de mango cultivar Ataulfo definidos con el ACP en el estado de Chiapas.

Grupos de localidades	Altitud ( m )	T <sub>mínima</sub> <sup>+</sup> anual (°C )	T <sub>máxima</sub> <sup>++</sup> anual (°C )	Precipitación anual (mm )	Evaporación anual (mm)	Rad. Global <sup>+++</sup> (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	Rend. <sup>++++</sup> (t ha <sup>-1</sup> )
1	367.2	18.6	33.0	1182.0	1755.4	20.3889	9.6
2	86.5	21.3	34.2	2375.5	1562.9	19.8727	8.0

T<sub>mínima</sub><sup>+</sup> = Temperatura mínima promedio anual; T<sub>máxima</sub><sup>++</sup> = Temperatura máxima promedio anual. Rad. Global<sup>+++</sup> = Radiación solar global promedio anual (MJm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>); <sup>++++</sup> Rendimiento promedio de mango.

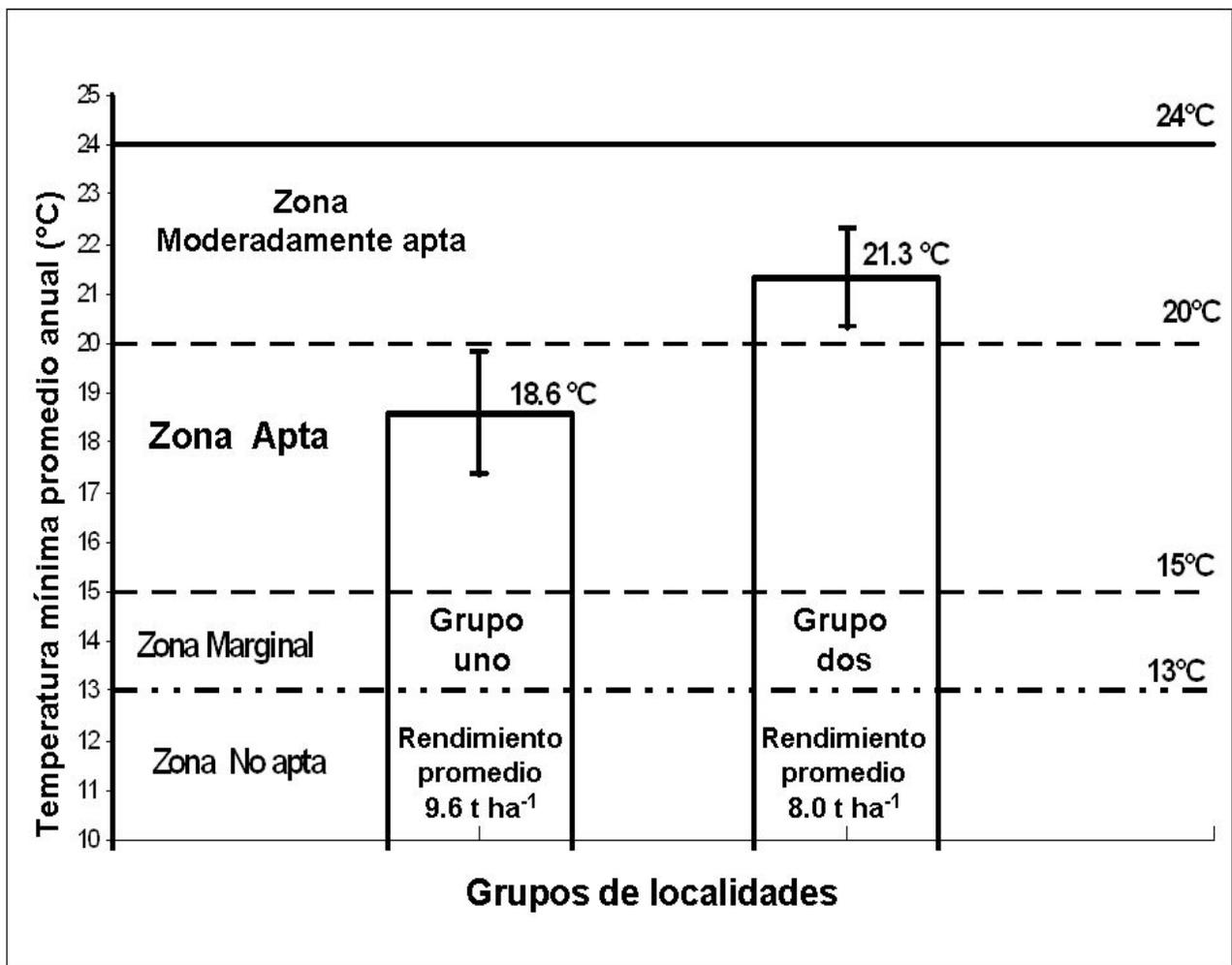


Figura 5-10. Temperatura mínima promedio anual y rendimiento para los grupos de localidades, productoras, y los límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Ataulfo en el estado de Chiapas.

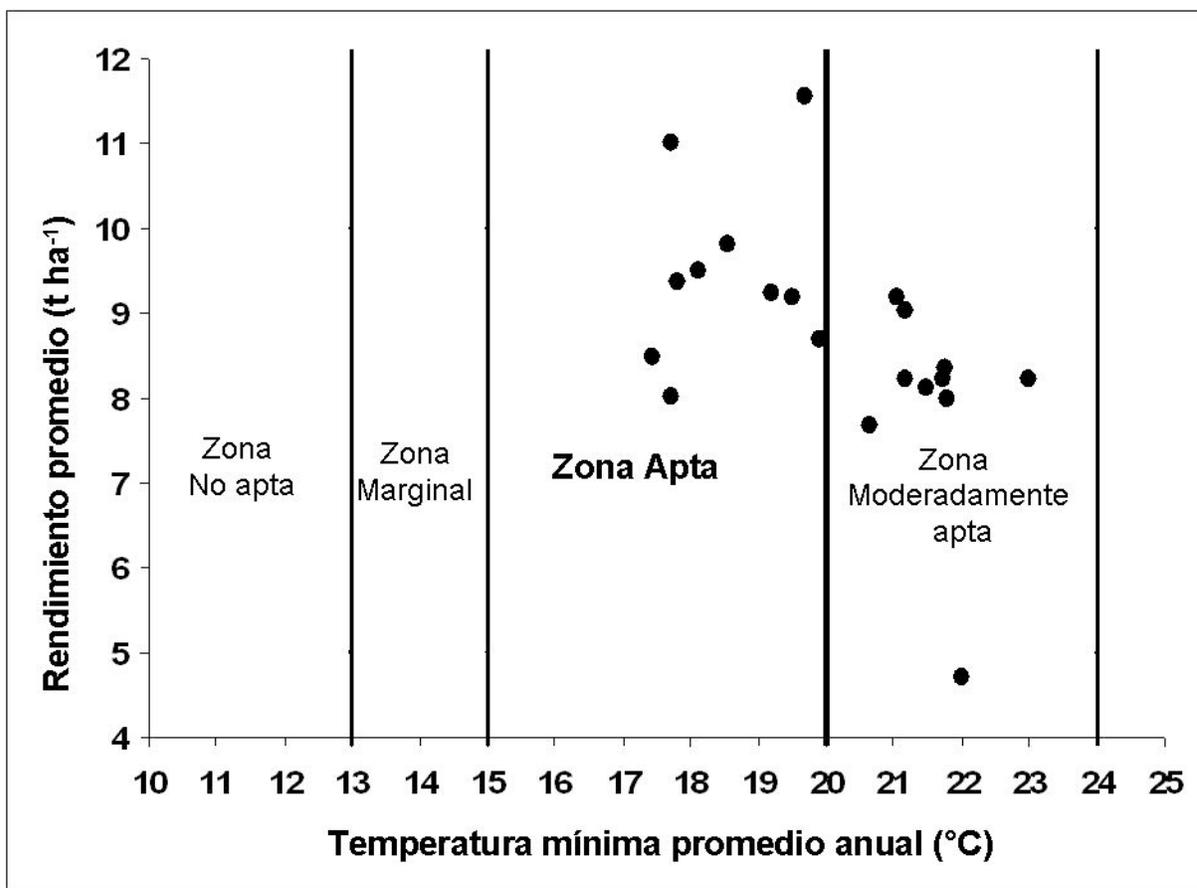


Figura 5-11. Temperatura mínima anual y rendimiento para las localidades, productoras, así como, límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Ataulfo en el estado de Chiapas.

Con los modelos de elevación digital, de temperatura mínima y mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), se generó un mapa tipo raster de temperaturas mínimas promedios anuales, este mapa se reclasificó de acuerdo a la clasificación agroclimática del Cuadro 5-15, y se obtuvo la cartografía de zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Ataulfo (Figura 5-12), en la que se calculó que la categoría agroclimática Apta ocupa el 55.76% de la superficie del Estado (4 120 014 ha); la categoría agroclimática Moderadamente apta ocupa 23.88% de la superficie del Estado (1 764 179 ha); la categoría agroclimática Marginal ocupa 10.80% de la superficie del Estado (798 260 ha) y la categoría agroclimática No apta ocupa 9.56% de la superficie del Estado (706 246 ha).

Cuadro 5-15. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Ataulfo en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Chiapas.

Zona Agroclimática	Intervalo de temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 13.0	No apta	706 246	9.56
2	13.0 – 15.0	Marginal	798 260	10.80
3	15.0 - 20.0	Apta	4 120 014	55.76
4	> 20.0	Moderadamente apta	1 764 179	23.88
T o t a l			7 388 700	100.00

Las zonas agroclimáticas definidas se pueden caracterizar de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se encuentra distribuida en lomeríos y estribaciones de las principales cadenas montañosas del Estado, con alturas de 200 hasta 1200 msnm; con temperatura mínima anual entre 15 y 20 °C y temperatura media anual entre 21 y 26.5 °C. En esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): A(w<sub>1</sub>), Aw<sub>2</sub>, Am, Am(f) y en menor proporción se presentan los tipos: A(C)(m) y (A)Cf (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Moderadamente apta. Se encuentra distribuida en las partes bajas, en la llanura costera del Pacífico y las partes bajas del norte del estado de Chiapas en los límites con los estados de Tabasco y Veracruz, con alturas de 0 a 200 msnm, con temperatura mínima anual superior a los 20 °C y temperatura media anual superior a los 26 °C. En esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): A(w<sub>2</sub>), Aw<sub>1</sub>, Am, Am(f) y en menor proporción se presentan el tipo A(f) (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Marginal. Se encuentra distribuida en las partes altas de las sierras del Estado, con alturas de 1200 a 1600 msnm, con temperatura mínima anual entre 13 y 15 °C y temperatura media anual entre 19 y 21 °C, en la mayor parte de esta zona agroclimática

predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García(1973): (A)C(m)(f), (A)C(m), (A)C(w<sub>1</sub>), en pequeña proporción de superficie, también se encuentran en esta zona los tipos C(W<sub>1</sub>), y C(W<sub>2</sub>) (CONABIO,1998).

Zona agroclimática No apta. Se encuentra distribuida en las partes más altas de las zonas montañosas del Estado, con alturas superiores a los 1600 msnm; con temperatura mínima anual inferior a 13 °C y temperatura media anual inferior a 19 °C, en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): C(W<sub>1</sub>) y C(W<sub>2</sub>), en menor proporción los tipos climáticos: C(m) y C(m)(f) (CONABIO, 1998).

El mapa de zonas de aptitud agroclimática de la Figura 5-12, se superpuso con el mapa de división municipal del estado de Chiapas y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Ataulfo por Municipio (Cuadro 5-16). Se observa que 13 Municipios tienen en la totalidad de su territorio la categoría de Apta, de los cuales tres reportan plantaciones de mango cultivar Ataulfo y cuatro Municipios tienen plantados otros cultivares de mango, en esta categoría agroclimática los siete Municipios con plantaciones de mango, reportan un total de 591 ha, que representa el 2.5% de la superficie cultivada con mango en el Estado.

En 19 Municipios que en su territorio tienen además de la categoría Apta, la categoría Moderadamente apta, de los cuales cinco reportan plantaciones de mango cultivar Ataulfo y dos Municipios tienen plantados otros cultivares de mango, los siete Municipios reportan un total de 2071 ha que representa el 9.0% de la superficie cultivada con mango en el Estado.

En 11 Municipios que en su territorio únicamente tienen la categoría Moderadamente apta, de los cuales, cinco reportan el cultivo de mango con una superficie de 7046 ha que representa el 30.0% de la superficie cultivada con mango en el Estado.

De 38 Municipios que en su territorio presentan las categorías Apta, Marginal y No apta; de los cuales uno reporta el cultivo de mango, este Municipio reporta un total de 123 ha que representa el 0.5% de la superficie cultivada con mango en el Estado.

Cinco Municipios que dentro de su territorio presentan las categorías agroclimáticas: Apta, Moderadamente apta, Marginal y No apta, de los cuales todos reportan plantaciones del frutal y cultivar en estudio, con un total de 11 536 ha que representa el 49.0% de la superficie cultivada con mango en el Estado.

De los dos Municipios que presentan las categorías Apta, Moderadamente apta y Marginal, uno reporta el cultivo de mango en una superficie de 1831 ha, que equivale al 7.5%, de la superficie cultivada con mango en el Estado.

De los 16 Municipios que presentan las categorías Apta y Marginal, uno reporta plantaciones de mango cultivar Ataulfo y cuatro Municipios reportan otros cultivares de mango, en total los cinco Municipios reportan 217 ha plantadas, que representa el 0.8%, de la superficie cultivada con mango en el Estado.

De los 11 Municipios que en su territorio presentan las categorías Marginal y No apta, solamente el municipio de Villa Flores reporta 190 ha plantadas con mango que representa el 0.7% de la superficie cultivada con esta especie en el Estado; y por último, existen cuatro Municipios que en su territorio presentan la categoría No apta mismos que no reportan superficie plantada con mango. El 90% de la producción de mango cultivar Ataulfo se concentra en 17 Municipios de la costa del estado de Chiapas.

Cuadro 5-16. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Ataulfo en los Municipios del estado de Chiapas.

Apta	Apta, Moderadamente apta, Marginal y No apta	Apta, Moderadamente apta y Marginal	Apta y Marginal	Marginal y No apta
Acala <sup>+</sup>	Acacoyagua <sup>+</sup>	Tila	Chapultenango	Amatenango del Valle
Berriozábal	Escuintla <sup>+</sup>	Tonalá <sup>+</sup>	Chiapa de Corzo <sup>+</sup>	Bejucal de Ocampo
Chiapilla <sup>+</sup>	Mapastepec <sup>+</sup>		Chicoasén	Bochil
Francisco León	Pijijiapan <sup>+</sup>		Chicomuselo <sup>++</sup>	Chamula
Frontera Comalapa <sup>++</sup>	Tapachula <sup>+</sup>		Chilón	Chanal
Jiquipilas <sup>++</sup>			Cintalapa <sup>++</sup>	Larráinzar
Nicolás Ruíz			Copainalá	Mitontic
Sabanilla			Huitiupán	Ocotepec
Socoltenango			Ixhuitán	Oxchuc
Suchiapa <sup>++</sup>			La Independencia	Pantepec
Totolapa <sup>++</sup>			Ocozocoautla de Espinosa <sup>+</sup>	
Tuxtla Gutiérrez			Osumacinta	
Villa Corzo			San Lucas <sup>++</sup>	
			Santiago el Pinar	
			Sitalá	
			Tzimol	

<sup>+</sup>Municipio productor de mango cultivar Ataulfo; <sup>++</sup> Municipio productor de mango de otros cultivares

Cuadro 5-16. Continuación...

Apta, Marginal y No apta		Apta, Moderadamente apta	No apta	Moderadamente apta
Aldama	Motuzintla	Amatán	El Porvenir	Acapetahua <sup>+</sup>
Altamirano	Ocosingo	Arriaga <sup>++</sup>	Huixtan	Benemérito de las Américas
Amatenango de la Frontera	Pantelho	Huehuetán <sup>+</sup>	La Grandeza	Catazajá
Angel Albino Corzo	Pueblo Nuevo Solistahuacan	Huixtla <sup>+</sup>	San Cristobal de las Casas	Frontera Hidalgo <sup>+</sup>
Bella Vista	Rayón	Ixtacomitán		Juárez
Cacahoatan	San Andrés Duraznal	Ixtapangajoya		La Libertad
Chalchihuitan	San Juan Cancuc	Maravilla Tenejapa		Marqués de Comillas
Chenalho	Siltepec	Ostuacán		Mazatán <sup>+</sup>
Coapilla	Simojovel	Palenque		Metapa <sup>+</sup>
Comitan de Dominguez	Soyaló	Pichucalco		Reforma
El Bosque	Tapalapa	Salto de Agua		Suchiate <sup>+</sup>
Ixtapa	Tapilula	San Fernando		
Jitotol	Tenejapa	Solosuchiapa		
La Concordia <sup>+</sup>	Teopisca	Sunuapa		
La Independencia	Unión Juárez	Tecpatán <sup>++</sup>		
La Trinitaria	Venustiano Carranza	Tumbalá		
Las Margaritas	Villaflores <sup>+</sup>	Tuxtla Chico <sup>+</sup>		
Las Rosas	Yajalón	Tuzantán <sup>+</sup>		
Mazapa de Madero	Zinacantán	Villa Comaltitlán <sup>+</sup>		
Montecristo de Guerrero				

<sup>+</sup>Municipio productor de mango cultivar Ataulfo; <sup>++</sup> Municipio productor de mango de otros cultivares

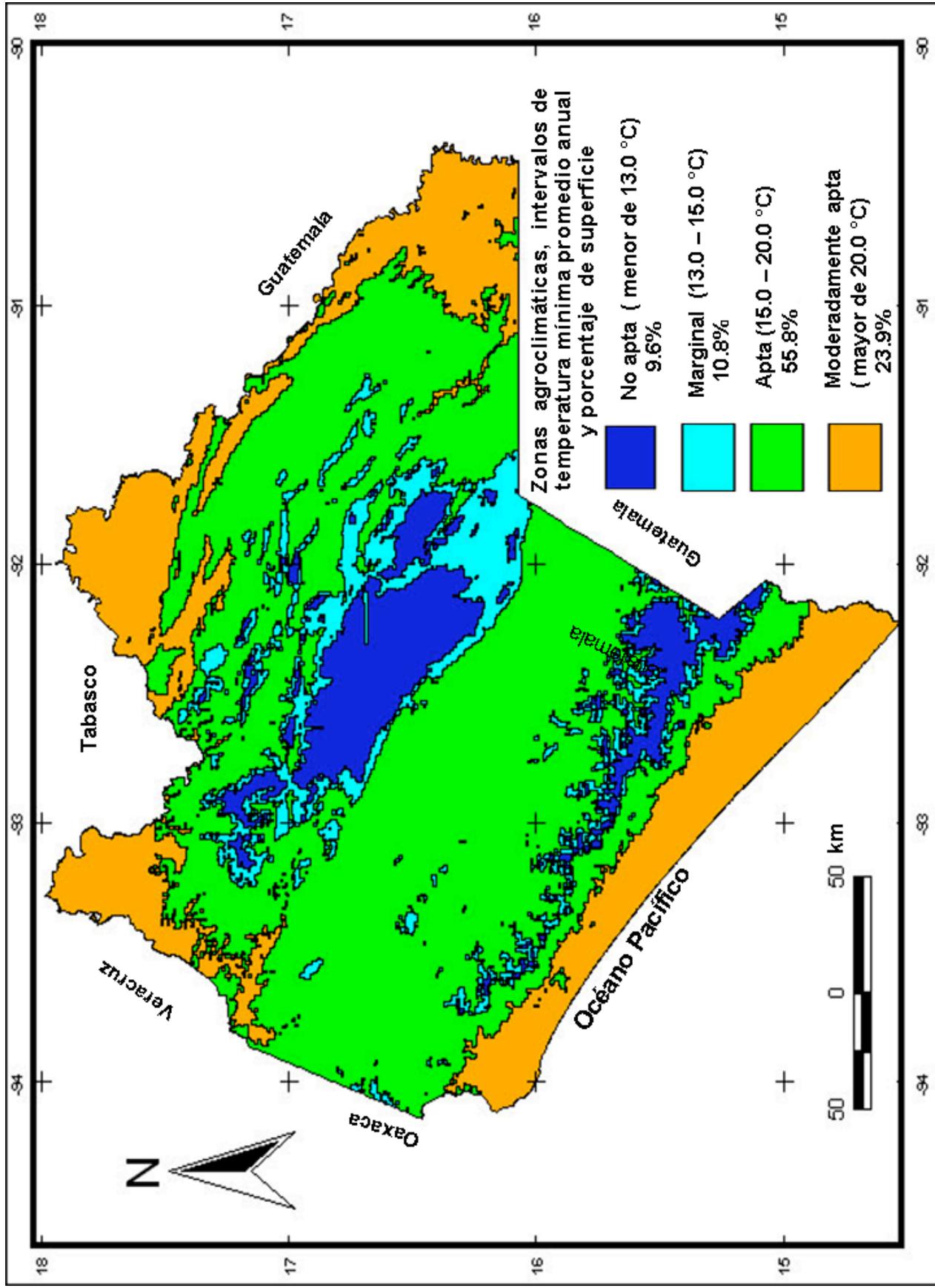


Figura 5-12. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Ataulfo en el estado de Chiapas, México.

## 5.4. Zonificación del cultivar Tommy Atkins

### 5.4.1. Estimación de variables

Para el cultivar Tommy Atkins se seleccionaron estaciones cercanas a las parcelas productoras de mango de este cultivar en siete Estados de la República Mexicana, la información se obtuvo del padrón de productores de mango de la República Mexicana, de la base de datos elaborada por la SAGARPA a través de ASERCA en el año 2004, así, se seleccionaron 43 estaciones climatológicas en las que se estimó la radiación solar global, dado que el resto de las demás variables climáticas se reportan.

La estimación de la radiación solar global, se realizó por el procedimiento indicado en el apartado 4.2.1, estos valores estimados, así como, las demás variables climáticas que se utilizaron en el ACP se presentan en el Cuadro 5-17.

### 5.4.2. Generación de índices agroclimáticos

Para generar un índice agroclimático para el mango cultivar Tommy Atkins, igual que para los cultivares Manila y Ataulfo se utilizó el ACP, con 43 estaciones climatológicas cercanas a los Municipios productores de mango de este cultivar, la información climatológica se obtuvo de la base de datos del SCLIM (IMTA, 2000) y del ERIC II (IMTA, 1991) (Figura 5-13), en este caso se utilizaron doce variables climáticas que a continuación se enlistan:

$Y_1$  = Altura sobre el nivel del mar (m)

$Y_2$  = Temperatura mínima promedio de octubre ( °C )

$Y_3$  = Temperatura mínima promedio de noviembre ( °C )

$Y_4$  = Temperatura mínima promedio de diciembre ( °C )

$Y_5$  = Temperatura mínima promedio de enero ( °C )

$Y_6$  = Temperatura mínima promedio de los meses: oct, nov, dic y ene (°C)

$Y_7$  = Temperatura mínima promedio anual (°C)

$Y_8$  = Temperatura máxima promedio anual (°C)

$Y_9$  = Temperatura media anual (°C)

$Y_{10}$  = Precipitación total anual (mm)

$Y_{11}$  = Evaporación total anual (mm)

$Y_{12}$  = Radiación solar global promedio anual ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )

Cuadro 5-17. Información geográfica, climática y rendimiento de mango cultivar Tommy Atkins, que se utilizó en el Análisis de Componentes Principales (ACP) para la zonificación agroclimática de los estados de: Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit y Campeche.

No.	Localidad	Estado	Clave	Latitud	Longitud	Altura m	Temperatura media mensual												Promedio O.N.D.E <sup>1</sup>	Tmin_A <sup>2</sup> °C	Tmax_A <sup>4</sup> °C	Tmed_A <sup>3</sup> °C	Ppt_A <sup>5</sup> mm	Evp_A <sup>6</sup> mm	Rg_A <sup>7</sup> Mjm <sup>2</sup> día <sup>-1</sup>	Ren_P <sup>8</sup> tha <sup>-1</sup>
							Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep								
1	Hechelctakan (Dge)	Campeche	4011	20° 11'	90° 08'	50	19.9	18.0	16.6	16.0	17.6	19.5	34.3	26.9	1116.8	1754.3	18.7513	12.04								
2	Niichi, Campeche	Campeche	4023	19° 50'	90° 15'	11	18.8	16.7	15.3	14.9	16.4	18.1	34.6	26.4	1094.6	1834.7	20.0300	11.76								
3	Santa Cristina, Campeche	Campeche	4053	19° 49'	90° 24'	3	19.4	17.7	16.5	15.1	17.2	19.2	33.8	26.5	1295.6	1792.4	20.2003	10.61								
4	Armeria, Manzanillo	Colima	6001	18° 57'	103° 57'	30	21.5	19.9	18.5	17.0	19.2	19.3	32.3	25.8	775.7	1678.5	20.8215	17.50								
5	Buenavista, Cuauhtemoc	Colima	6002	19° 13'	103° 57'	859	17.1	15.2	13.1	12.0	14.4	15.4	32.8	24.1	1075.7	1748.9	18.3447	8.71								
6	Cerro de Ortega, Ixtlahua	Colima	6005	18° 44'	103° 43'	380	23.3	21.3	19.0	17.2	20.2	20.9	32.7	26.8	887.1	1730.7	21.3827	9.74								
7	Coquimatlan, Coquimatlan	Colima	6008	19° 12'	103° 49'	400	20.3	18.3	16.5	15.6	17.7	18.2	34.0	26.1	779.9	1887.9	19.9395	26.67								
8	Venustiano Carranza	Colima	6025	19° 00'	104° 07'	50	21.0	19.4	17.3	16.1	18.5	19.3	32.7	25.9	785.4	1682.2	20.7517	12.41								
9	Carrera Larga, Coyuca B.	Guerrero	12016	17° 03'	100° 07'	30	21.3	20.4	19.2	18.7	19.9	20.5	31.3	25.9	1014.9	1897.9	20.7247	9.16								
10	Copala, Copala	Guerrero	12022	16° 37'	98° 57'	30	19.9	18.7	17.7	17.0	18.3	19.1	31.6	25.3	1293.8	1981.9	22.1308	6.50								
11	Coyuquilla, Petatlan	Guerrero	12025	17° 23'	101° 04'	51	22.1	21.5	20.9	20.4	21.2	21.5	31.9	26.7	955.3	1970.4	19.7288	7.83								
12	La Union, La union	Guerrero	12052	17° 54'	101° 47'	190	23.2	22.0	20.7	19.8	21.4	21.7	32.3	27.0	886.5	2012.2	19.7073	7.70								
13	San Jeronimo de Juárez	Guerrero	12099	17° 31'	101° 19'	80	23.2	22.2	21.1	20.2	21.7	22.1	32.8	27.4	932.7	1776.1	19.8134	8.25								
14	san crisobal,ajuchitan	Guerrero	12100	18° 11'	100° 26'	381	22.1	20.5	18.8	18.4	20.0	22.1	36.2	29.1	1019.2	2501.1	21.8260	8.50								
15	ayuita, ayuita	Guerrero	12107	16° 58'	99° 06'	360	20.8	19.8	19.3	18.9	19.7	20.3	31.3	25.8	1602.7	1772.3	20.4746	6.54								
16	zihuatanejo, la union	Guerrero	12127	17° 38'	101° 33'	80	22.5	21.5	19.9	18.5	20.6	21.0	31.7	26.3	1136.2	1739.7	20.3611	7.30								
17	acapulco, acapulco	Guerrero	12142	16° 50'	99° 50'	50	25.3	24.9	24.1	23.4	24.4	24.5	30.9	27.7	1195.8	2174.9	19.7397	5.15								
18	Atoyac, Atoyac (Dge)	Guerrero	12161	17° 12'	100° 26'	240	23.4	22.6	21.7	21.0	22.2	22.4	33.5	28.0	1140.6	1833.4	20.6514	9.40								
19	Chamacua, C. de Catalan	Guerrero	12162	18° 23'	100° 40'	250	21.0	20.1	18.9	18.1	19.5	21.2	35.2	28.2	1010.7	2256.3	19.8369	7.00								
20	Cutzamala de Pinzon	Guerrero	12163	18° 28'	100° 32'	265	21.4	20.2	19.1	18.6	19.8	21.0	34.9	27.9	874.0	2181.2	21.8948	8.94								
21	Cihuatlan (Dge)	Jalisco	14028	19° 14'	104° 35'	13	22.6	20.9	19.2	17.8	20.1	20.5	31.8	26.2	859.5	1806.3	20.8667	9.78								

O.N.D.E<sup>1</sup> = Temperatura mínima promedio de los meses de Oct, Nov, Dic y Ene; Tmin\_A<sup>2</sup>= Temperatura mínima promedio anual; Tmed\_A<sup>3</sup>= Temperatura media anual; Tmax<sup>4</sup>= Temperatura máxima promedio anual; Ppt\_A<sup>5</sup>= Precipitación total anual; Evpt\_A<sup>6</sup>= Evaporación total anual; Rg\_A<sup>7</sup>= Radiación solar global promedio anual; Ren\_P<sup>8</sup>= Rendimiento promedio de mango.

Cuadro 5-17. Continuación...

No.	Localidad	Estado	Clave	Latitud	Longitud	Altura m	Temperatura media mensual												Promedio O,N,D,E <sup>1</sup> °C	Tmin_A <sup>2</sup> °C	Tmax_A <sup>4</sup> °C	Tmed_A <sup>3</sup> °C	Ppt_A <sup>5</sup> mm	Evp_A <sup>6</sup> mm	Rg_A <sup>7</sup> Mjm <sup>2</sup> dia <sup>-1</sup>	Ren_P <sup>8</sup> tha <sup>-1</sup>
							Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep								
22	Cuitzmalá, La Huerta	Jalisco	14042	19° 23'	104° 47'	30	21.8	18.9	16.9	14.8	18.1	18.6	31.2	24.9	753.9	1576.2	20.5447	11.86								
23	Higuera Blanca, Tomatlan	Jalisco	14067	19° 44'	105° 10'	50	21.2	19.1	16.5	15.0	18.0	18.1	31.2	24.6	607.4	1740.3	18.9148	7.70								
24	La Desembocada, Pto. V.	Jalisco	14081	20° 44'	105° 09'	60	22.3	19.2	16.8	15.4	18.4	19.7	32.4	26.0	1057.9	1639.4	19.7641	9.59								
25	Tomatlan, Tomatlan	Jalisco	14152	19° 56'	105° 16'	35	22.3	19.5	16.8	15.5	18.5	19.3	33.8	26.6	849.8	1694.0	20.0273	9.49								
26	Cajones, Gabriel Zamora	Michoacan	16012	19° 12'	101° 56'	500	19.7	18.3	17.7	17.3	18.3	19.5	33.7	26.6	853.2	2313.8	19.7566	7.62								
27	La Villita, Melchor O.	Michoacan	16070	18° 04'	102° 01'	60	24.0	22.9	21.7	20.5	22.3	22.7	32.8	27.7	1179.6	1860.7	21.0698	8.16								
28	Nueva Italia, Zaragoza	Michoacan	16082	19° 01'	102° 06'	460	20.4	19.3	18.1	17.5	18.8	19.7	33.7	26.7	639.8	2090.9	21.0164	6.73								
29	Tepalcatepec	Michoacan	16128	19° 11'	102° 50'	974	22.5	20.4	18.6	17.9	19.9	21.4	36.6	29.0	667.0	2032.6	21.3948	5.48								
30	Jalcootlan, San Blas	Nayarit	18017	21° 29'	105° 07'	425	19.5	15.2	13.5	11.4	14.9	15.3	29.8	22.5	1423.7	1448.9	19.8536	10.45								
31	Navarrete, San Blas	Nayarit	18024	21° 38'	105° 07'	80	20.9	17.6	15.3	13.9	16.9	17.9	32.0	24.9	1314.4	1395.7	19.9996	8.87								
32	San Jose del Valle	Nayarit	18030	20° 45'	105° 15'	21	25.3	21.1	19.8	18.3	21.1	22.0	33.4	27.7	1061.7	1632.6	19.5978	11.40								
33	Tecuala, Tecuala	Nayarit	18036	22° 24'	105° 28'	26	20.7	17.2	14.6	12.3	16.2	17.2	31.1	24.2	1018.2	1565.3	21.0610	11.79								
34	El Tizate, Stgo. Ixcuintla	Nayarit	18037	21° 45'	105° 08'	19	22.9	19.3	15.7	14.9	18.2	19.2	33.0	26.1	1505.8	1906.0	20.1150	7.40								
35	Valle de Banderas	Nayarit	18042	20° 49'	105° 15'	100	21.8	19.1	16.4	14.9	18.1	19.1	32.4	25.8	1026.8	1529.2	19.9264	12.79								
36	Itepec, Ciudad Ixtepec	Oaxaca	20039	16° 35'	95° 06'	120	24.0	22.8	21.3	20.4	22.1	23.1	32.2	27.6	795.6	2338.9	20.8760	7.72								
37	Las Cuevas (11)	Oaxaca	20060	16° 27'	95° 22'	76	22.4	21.3	19.9	19.1	20.7	21.7	35.4	28.6	762.5	2557.3	21.2067	7.07								
38	Ostuta, Sto. D. Zanatepec	Oaxaca	20082	16° 30'	94° 26'	35	20.8	18.9	17.1	16.3	18.3	20.5	34.7	27.6	1265.8	2105.4	21.0742	7.69								
39	Papaloapan, S. Juan B. Tux.	Oaxaca	20084	18° 09'	96° 05'	22	20.4	18.4	17.0	15.9	17.9	19.6	29.4	24.5	2034.9	1993.7	19.4004	9.84								
40	San Pedro Pochutla, (Dge)	Oaxaca	20090	15° 45'	96° 28'	160	21.0	20.3	19.5	19.0	20.0	20.7	32.4	26.5	901.5	1888.8	20.4087	6.00								
41	San Pedro Mixtepec	Oaxaca	20123	15° 59'	97° 06'	200	17.6	15.6	14.8	14.9	15.7	16.8	32.8	24.8	694.2	1602.1	21.3754	10.04								
42	San Pedro Tapanatepec	Oaxaca	20148	16° 22'	94° 13'	35	20.9	20.0	19.2	18.9	19.8	20.7	34.0	27.4	1683.1	2315.0	20.4540	9.00								
43	Zanatepec, (Dge)	Oaxaca	20292	16° 29'	94° 21'	36	21.1	19.5	18.3	17.1	19.0	20.8	35.7	28.3	1401.6	2172.2	20.8558	8.00								

O,N,D,E<sup>1</sup> = Temperatura mínima promedio de los meses de Oct, Nov, Dic y Ene; Tmin\_A<sup>2</sup>= Temperatura mínima promedio anual; Tmed\_A<sup>3</sup>= Temperatura media anual; Tmax\_A<sup>4</sup>= Temperatura máxima promedio anual; Ppt\_A<sup>5</sup>= Precipitación total anual; Evpt\_A<sup>6</sup>= Evaporación total anual; Rg\_A<sup>7</sup>= Radiación solar global promedio anual; Ren\_P<sup>8</sup>= Rendimiento promedio de mango.

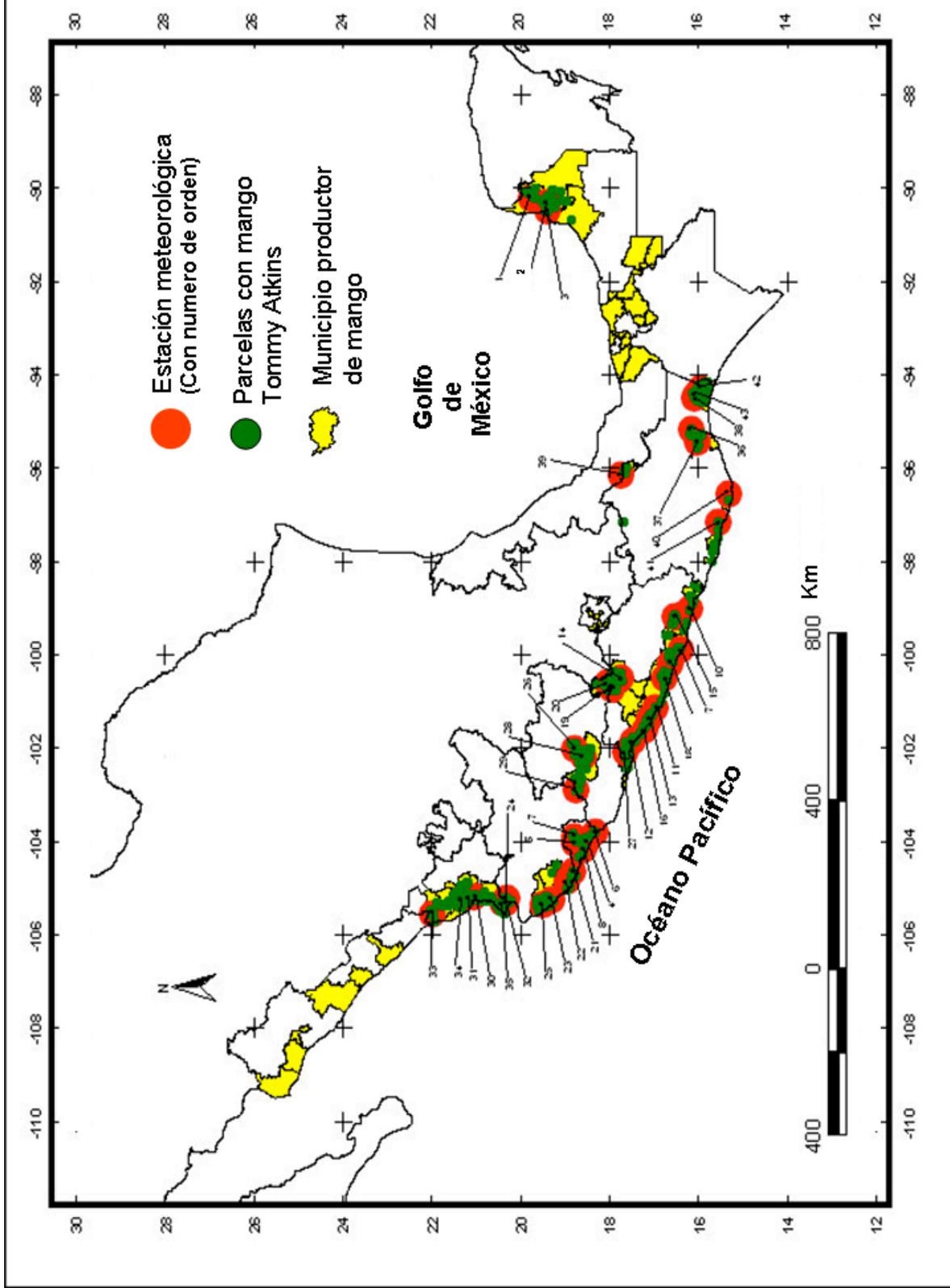


Figura 5-13. Localización geográfica de las estaciones climatológicas que se utilizaron en el Análisis de Componentes Principales (ACP) y en la zonificación agroclimática en los estados de: Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit y Campeche.

El ACP se realizó con base a la matriz de correlación (Cuadro 5-18), el resumen de dicho análisis se presenta en el Cuadro 5-19 en el cual, se observa que el primer componente principal (Prin1) tiene como valor característico **6.555**, que explica el 55% de la varianza total, está asociado con la temperatura mínima promedio anual, por lo que, se consideró esta variable como vector asociado al primer componente principal. El segundo componente principal (Prin2) tiene como valor característico **2.082**, que explica el 17% de la varianza total y está asociado con la temperatura máxima promedio anual. De esta manera, estos dos valores característicos, juntos explican el 72% de la varianza total contenida en la matriz de datos climáticos originales y determinan las condiciones agroclimáticas para el mango cultivar Tommy Atkins en siete Estados productores en la República Mexicana.

Cuadro 5-18. Matriz de correlación entre las variables climáticas originales de las 43 estaciones climatológicas de siete Estados productores de mango cultivar Tommy Atkins en la República Mexicana.

	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>9</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub>
Y <sub>1</sub>	1.0000											
Y <sub>2</sub>	-0.2562	1.0000										
Y <sub>3</sub>	-0.2039	0.8848	1.0000									
Y <sub>4</sub>	-0.1660	0.7631	0.9597	1.0000								
Y <sub>5</sub>	-0.1169	0.6645	0.9106	0.9796	1.0000							
Y <sub>6</sub>	-0.1832	0.8525	0.9893	0.9856	0.9531	1.0000						
Y <sub>7</sub>	-0.1723	0.7993	0.9426	0.9469	0.9346	0.9605	1.0000					
Y <sub>8</sub>	0.2953	-0.0241	0.0551	0.0692	0.1495	0.0780	0.2544	1.0000				
Y <sub>9</sub>	0.0501	0.5300	0.6729	0.6841	0.7220	0.6984	0.8273	0.7531	1.0000			
Y <sub>10</sub>	-0.2311	-0.0968	-0.1289	-0.8770	-0.0767	-0.1025	-0.0329	-0.2550	-0.1659	1.0000		
Y <sub>11</sub>	0.1356	0.1568	0.4081	0.4767	0.5585	0.4443	0.5677	0.5208	0.6887	0.0032	1.0000	
Y <sub>12</sub>	0.0039	0.1283	0.2030	0.2212	0.2341	0.2124	0.2557	0.2832	0.3354	-0.1698	0.2963	1.0000

Y<sub>1</sub> = Altura sobre el nivel del mar (m); Y<sub>2</sub> = Temperatura mínima promedio de octubre ( °C ); Y<sub>3</sub> = Temperatura mínima promedio de noviembre ( °C ); Y<sub>4</sub> = Temperatura mínima promedio de diciembre ( °C); Y<sub>5</sub> = Temperatura mínima promedio de enero ( °C ); Y<sub>6</sub> = Temperatura mínima promedio de los meses: oct, nov, dic y ene (°C); Y<sub>7</sub> = Temperatura mínima promedio anual (°C); Y<sub>8</sub> = Temperatura máxima promedio anual (°C); Y<sub>9</sub> = Temperatura media anual (°C); Y<sub>10</sub> = Precipitación total anual (mm); Y<sub>11</sub> = Evaporación total anual (mm); Y<sub>12</sub> = Radiación solar global promedio anual (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>).

Cuadro 5-19. Resumen del Análisis de Componentes Principales (ACP) a partir de doce variables climáticas de 43 estaciones.

<b>V e c t o r :</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Valores característicos	<b>6.5552</b>	<b>2.0816</b>
Porcentaje de varianza explicada	<b>54.63</b>	<b>17.35</b>
<b>V a r i a b l e s</b>	<b>C o e f i c i e n t e s</b>	
Altura sobre el nivel del mar (m)	-0.054835	0.417218
Temperatura mínima de octubre ( °C )	0.312317	-0.245663
Temperatura mínima de noviembre ( °C )	0.373410	-0.160953
Temperatura mínima de diciembre ( °C )	0.374480	-0.125299
Temperatura mínima de enero ( °C )	0.370257	-0.054264
Temperatura mínima promedio (oct, nov, dic y ene) (°C)	0.379553	-0.141370
<b>Temperatura mínima promedio anual (°C)</b>	<b>0.385093</b>	-0.036858
<b>Temperatura máxima promedio anual (°C)</b>	0.111584	<b>0.591452</b>
Temperatura media anual (°C)	0.326585	0.316494
Precipitación total anual (mm)	-0.050623	-0.246659
Evaporación total anual (mm)	0.231446	0.351051
Radiación solar global promedio anual ( MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	0.122866	0.256168

Con los dos componentes principales y sus variables asociadas (temperatura mínima promedio anual y temperatura máxima promedio anual), se elaboró un diagrama de dispersión de las localidades y de manera visual, se distinguieron dos grupos de localidades (Figura 5-14) cuyas diferencias se deben a la presencia de temperaturas bajas, necesarias para la inducción de la floración del cultivo de mango. Resultado que es similar a lo que se observa para el cultivar Manila en el estado de Veracruz y el cultivar Ataulfo en el estado de Chiapas. En este caso, también las localidades del grupo uno presentan temperatura mínima promedio anual más baja que las del grupo dos, además estas localidades reportan también mayor rendimiento promedio (Cuadro 5-20, Figuras 5-16 y 5-17).

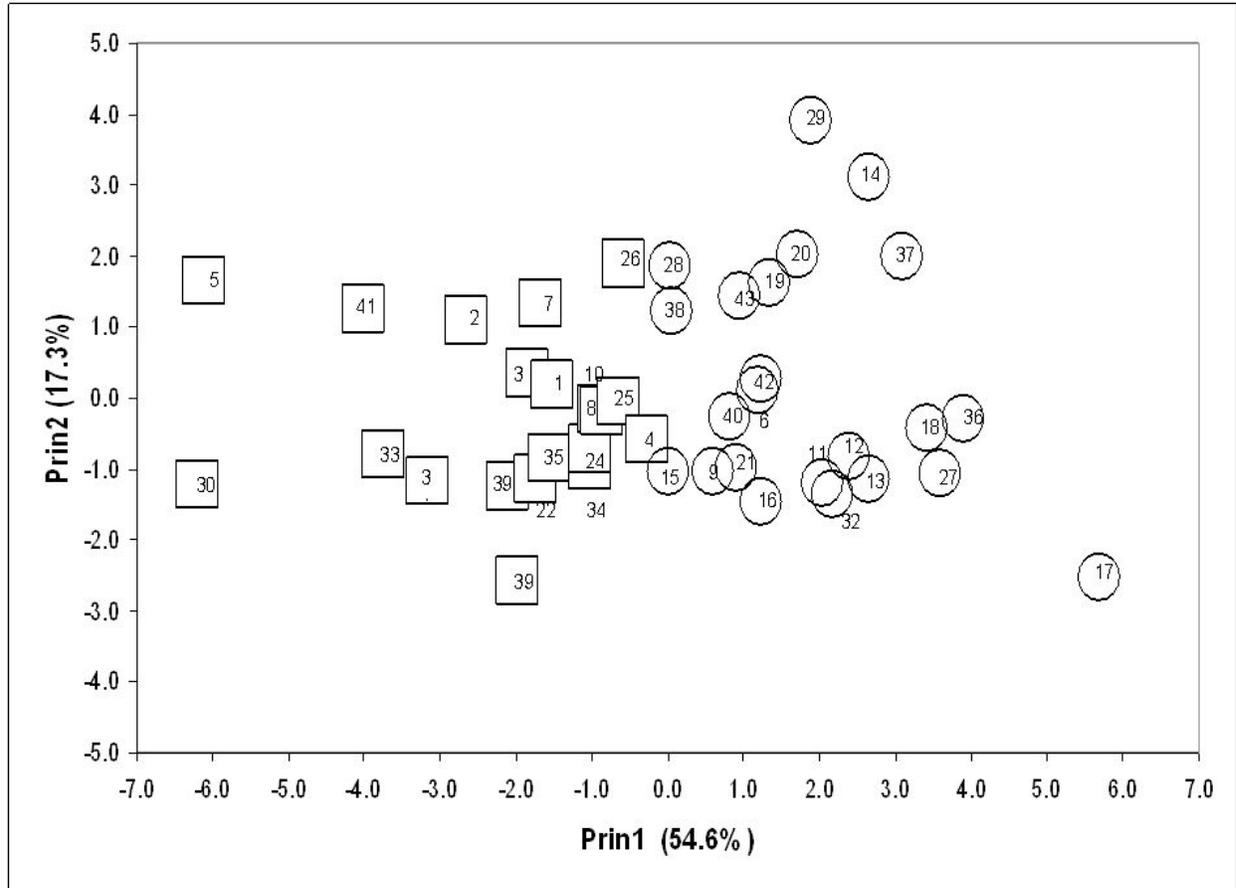


Figura 5-14. Diagrama de dispersión de los componentes principales Prin1 (temperatura mínima promedio anual) y Prin2 (temperatura máxima promedio anual) para 43 localidades productoras de mango cultivar Tommy Atkins en los estados de Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit y Campeche. El número dentro del cuadro o círculo indica el número de la localidad del Cuadro 5-17.

Cuadro 5-20. Promedio de variables climáticas y rendimiento, para los grupos de localidades productoras de mango cultivar Tommy Atkins definidos, en el ACP para siete Estados productores de la República Mexicana.

Grupos de localidades	Altitud ( m )	T <sub>mínima</sub> <sup>+</sup> anual (°C )	T <sub>máxima</sub> <sup>++</sup> anual (°C )	Precipitación anual (mm )	Evaporación anual (mm)	Rad. Global <sup>+++</sup>	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
1	149	18.4	32.4	1067.9	1738.3	20.085	11.2
2	189	21.4	33.4	1038.0	2028.2	20.651	7.9

<sup>+</sup>T<sub>mínima</sub> = Temperatura mínima promedio anual; <sup>++</sup>T<sub>máxima</sub> = Temperatura máxima promedio anual; <sup>+++</sup>Rad. Global = Radiación solar global promedio anual (MJm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>).

### 5.4.3. Definición de tipos agroclimáticos

Para verificar la agrupación de las localidades, que se obtuvo en el ACP, se elaboró las gráficas hidro-termales para cada grupo de localidades, con datos de precipitación total mensual en el eje de las abscisas (X) y temperatura mínima mensual en el eje de las ordenadas (Y) (Cuadro 5-21 y Figura 5-15). En estas gráficas de acuerdo a la forma y disposición de las mismas se observan que los dos grupos de localidades que se identificaron inicialmente son diferentes, en términos de su temperatura mínima mensual y anual.

Para determinar las categorías de aptitud de las regiones agroclimáticas definidas para las plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins, se utilizó como variable de clasificación la temperatura mínima promedio anual, que de acuerdo al ACP explica el 55% de la varianza total de las variables climáticas analizadas y, por lo tanto, de la variabilidad agroclimática del área de estudio.

Los intervalos de cada categoría se determinaron al considerar los valores promedios de los grupos de localidades definidos con la gráfica de dispersión del ACP, que se confirma con las gráficas hidro-termales, sus rendimientos promedios; además apoyados en los trabajos de diferentes autores como Whiley (1993), Chiaikiattiyos *et al* (1994), Núñez-Elisea y Davenport (1994), León-Arteta y Pérez (1996), Mata y Mosqueda (1998), quienes indican, que el cultivo de mango, puede desarrollarse en climas donde la temperatura media del mes más frío sea mayor de 15 °C, que la inducción floral del mango, se presenta cuando el promedio de temperatura mínima en cualquier mes del año es de 15 a 16 °C. Incluso Núñez-Elisea *et al* (1993 y 1995) indican que el mango cultivar Tommy Atkins, es capaz de iniciar floración con temperaturas nocturnas de alrededor de los 15 °C en condiciones tropicales, mientras que en condiciones subtropicales lo hace con temperaturas día/noche de 18 °C/10 °C, si la temperatura día/noche es de 30 °C/25 °C con 11 o 13 horas de fotoperíodo solo ocurre crecimiento vegetativo; además de lo señalado por Brunini y Alfonsi (1980) quienes indican que se consideran zonas Marginales para el mango, aquellas que presentan temperatura media anual inferior a 21 °C y zonas No aptas las que presentan temperatura media anual inferior a 19 °C. La temperatura media anual óptima de crecimiento va desde 21 °C hasta 27 °C (Ibar, 1979; Mosqueda, 1983; Singh, 1965; Purseglobe, 1968 y Galán, 2000), también, se tomó en cuenta los datos de rendimientos promedios obtenidos para los diferentes grupos de localidades productoras de mango cultivar Tommy Atkins en siete Estados productores de mango en la República Mexicana (Cuadros 5-20 y 5-21 y Figura 5-16).

Cuadro 5-21. Valores de temperatura mínima promedio mensual, precipitación total mensual y rendimiento promedio del mango cultivar Tommy Atkins para los grupos de localidades definidos mediante ACP en los estados de: Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit y Campeche.

Temperatura mínima mensual (°C)														
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
<b>Grupo 1</b>	15.0	14.7	15.5	16.9	19.0	21.2	21.5	21.3	21.1	20.5	18.1	16.2	18.4	11.2
<b>Grupo 2</b>	19.0	19.1	19.9	21.2	22.7	23.3	23.1	23.0	22.7	22.4	21.1	19.8	21.4	7.9

Precipitación total mensual (mm)														
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
<b>Grupo 1</b>	23.2	9.7	11.6	9.1	30.1	137.4	213.9	243.6	242.2	88.0	33.1	25.9	1067.9	
<b>Grupo 2</b>	12.8	3.2	3.0	5.2	36.6	193.5	196.3	216.0	258.6	85.0	20.6	7.3	1038.0	

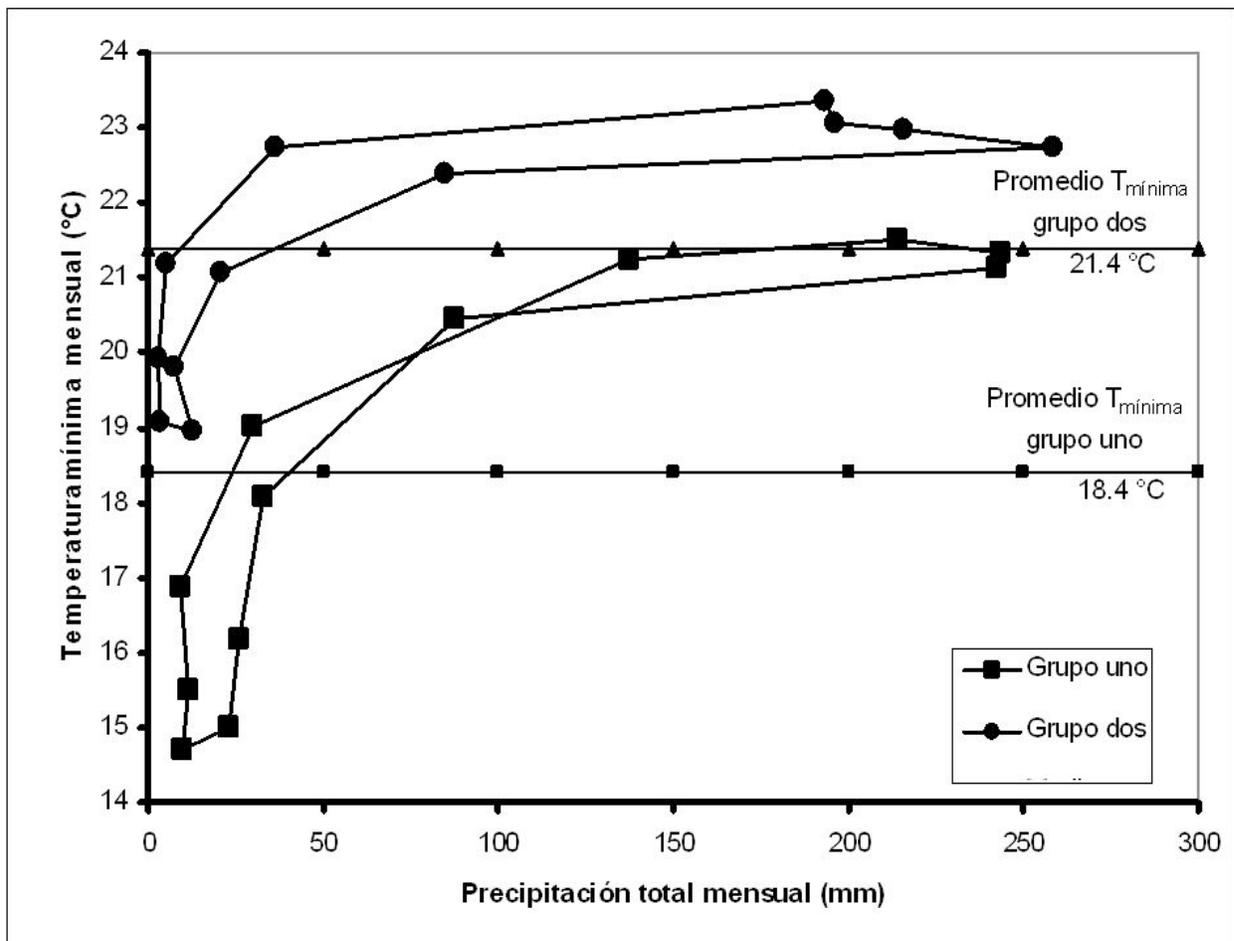


Figura 5-15. Gráficas hidro-termales de los dos grupos de localidades productoras de mango cultivar Tommy Atkins que se obtuvo del ACP.

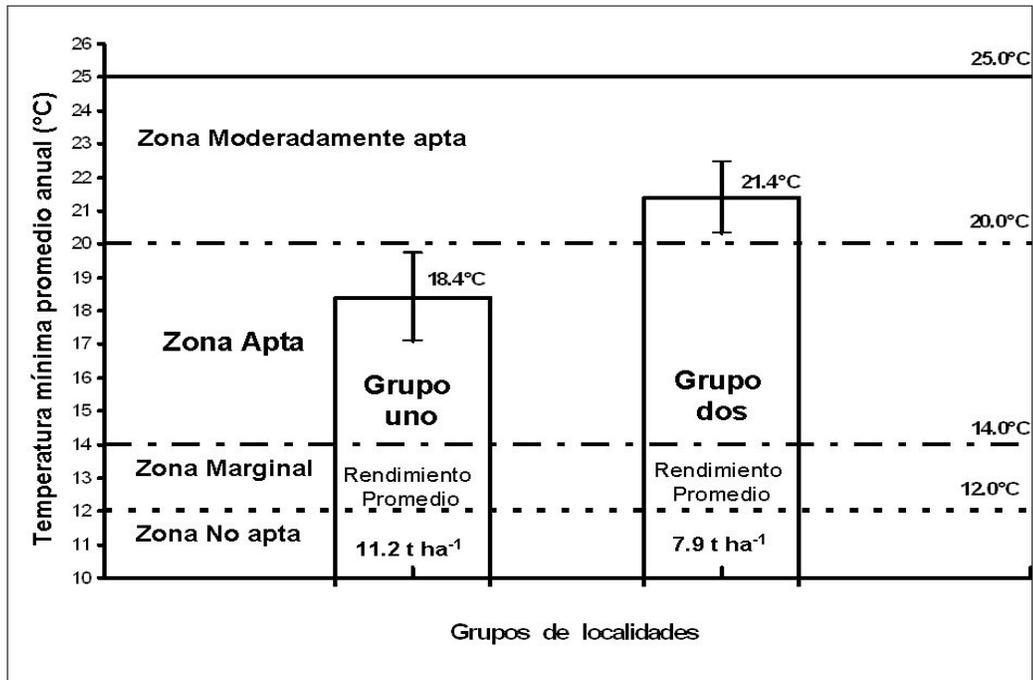


Figura 5-16. Temperatura mínima promedio anual y rendimiento promedio para los grupos de localidades productoras, así como, límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en siete estados de la República Mexicana.

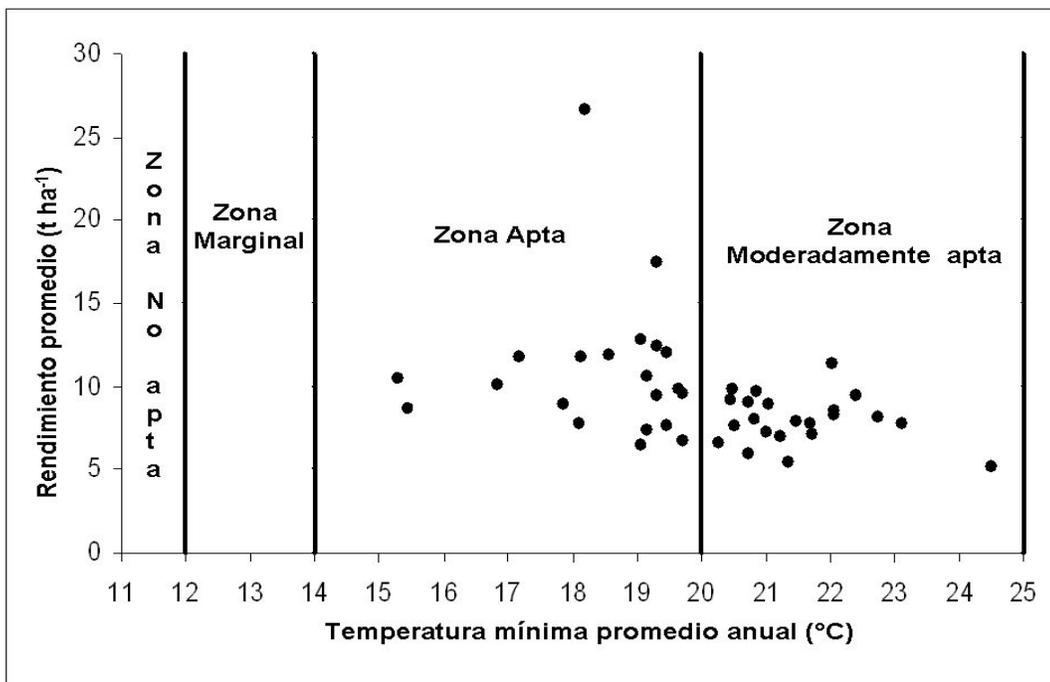


Figura 5-17. Temperatura mínima promedio anual y rendimiento para las localidades productoras, así como, límites de los intervalos de las categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en siete Estados productores de la República Mexicana.

Para obtener una relación entre la temperatura media anual y la temperatura mínima que se utilizó como índice agroclimático, se realizó un análisis de regresión lineal simple, para generar un modelo empírico, se utilizaron datos de 541 estaciones climatológicas de 10 Estados productores de mango cultivar Tommy Atkins en la República Mexicana, obteniéndose el siguiente modelo:

$$T_{\text{mínima}} = 1.0657 (T_{\text{media}}) - 8.6791 \dots \dots \dots (13)$$

Donde:

$T_{\text{mínima}}$  = Temperatura mínima promedio anual (°C)

$T_{\text{media}}$  = Temperatura media anual (°C)

$r^2 = 0.9078$

Número de datos ( n ) = 541

Cuadrado Medio del Error (CME) = 1.91

En este modelo lineal se sustituyeron los valores de temperatura media anual de: 19 °C, 21 °C, 27 °C y 31 °C, y se obtuvieron los límites en temperatura mínima anual para las cuatro categorías de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins (Cuadro 5-23, Figura 5-16).

Los modelos lineales empíricos que se obtuvieron para estimar la temperatura mínima anual en función de la altura sobre el nivel del mar, se presentan en el Cuadro 5-22 para cada Estado o grupo de Estados.

Cuadro 5-22. Modelos lineales empíricos para estimar la temperatura mínima en función de la altura sobre el nivel del mar, para varios Estados productores de mango cultivar Tommy Atkins en la República Mexicana.

Estado	Modelo lineal	$r^2$	CME	n
Campeche, Tabasco, Chiapas y Veracruz	$T_{\text{mínima}} = -0.0063 (h) + 21.157$	0.9394	1.110	117
Oaxaca	$T_{\text{mínima}} = -0.0057 (h) + 21.138$	0.8993	2.177	123
Morelos y Guerrero	$T_{\text{mínima}} = -0.0057 (h) + 22.458$	0.8727	1.780	57
Michoacán	$T_{\text{mínima}} = -0.0067 (h) + 22.409$	0.9336	1.712	69
Jalisco y Colima	$T_{\text{mínima}} = -0.0059 (h) + 20.306$	0.8714	1.886	86
Nayarit	$T_{\text{mínima}} = -0.0055 (h) + 19.596$	0.9151	1.601	33
Sinaloa y Durango	$T_{\text{mínima}} = -0.0053 (h) + 17.577$	0.8722	3.010	62

Donde:  $T_{\text{mínima}}$  = Temperatura mínima promedio anual (°C) ;

h = Altitud (m)

CME = Cuadrado medio del error; n= Número de datos

Con un modelo de elevación digital y un modelo empírico de temperatura mínima, mediante un SIG, se generó un mapa tipo raster de temperaturas mínimas promedios anuales para cada entidad federativa productora de mango cultivar Tommy Atkins, este mapa generado se reclasificó de acuerdo a la clasificación agroclimática del Cuadro 5-23, que permitió obtener la cartografía de zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins para diez Estados de la República mexicana incluyendo Tabasco, Morelos y Sinaloa (Figuras 5-18, 5-19, 5-20, 5-21, 5-22, 5-23, 5-24, 5-25, 5-26 y 5-27).

Cuadro 5-23. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual y grado de aptitud.

Zona Agroclimática	Intervalo de temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud
1	< 12.0	No apta
2	12.0 - 14.0	Marginal
3	14.0 - 20.0	Apta
4	20.0 - 25.0	Moderadamente apta

#### 5.4.3.1. Estado de Oaxaca

Para el estado de Oaxaca (Cuadro 5-24, Figura 5-18) en cuanto al grado de aptitud, se observa que la categoría agroclimática Apta para producir mango cultivar Tommy Atkins, ocupa 35.92% de la superficie del Estado (3 425 884 ha); la categoría Moderadamente apta ocupa 20.44% de la superficie del Estado (1 949 215 ha); la categoría Marginal ocupa 11.64% de la superficie del Estado (1 110 507 ha) y la categoría agroclimática No apta ocupa 31.99% de la superficie del Estado (3 050 794 ha).

Cuadro 5-24. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Oaxaca.

Zona Agroclimática	Intervalo de temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 12.0	No apta	3 050 794	31.99
2	12.0 - 14.0	Marginal	1 110 507	11.64
3	14.0 - 20.0	Apta	3 425 884	35.92
4	> 20.0	Moderadamente Apta	1 949 215	20.44
		T o t a l	9 536 400	100.00

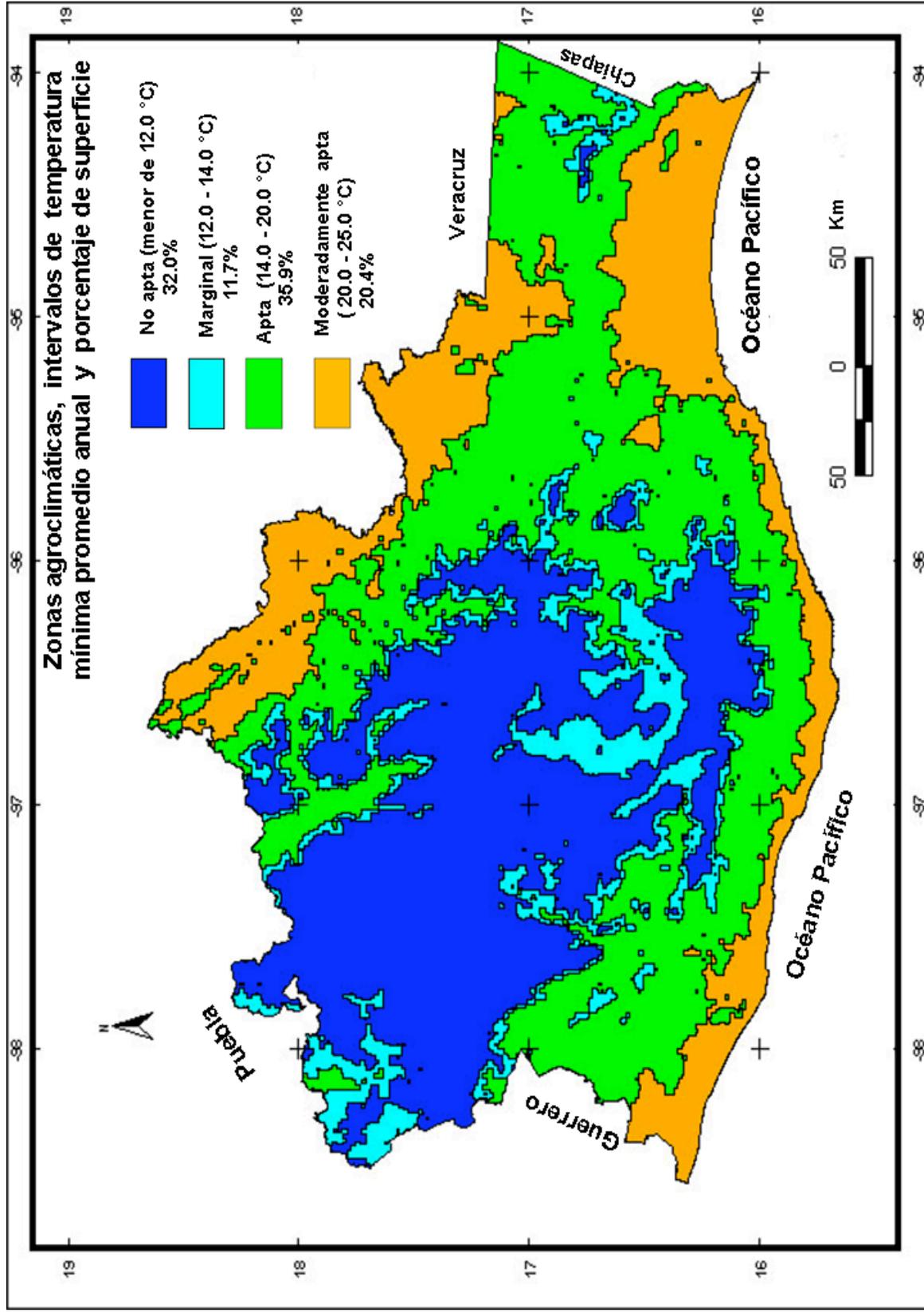


Figura 5-18. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Oaxaca, México.

Las zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins definidas para el estado de Oaxaca se caracterizan de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se encuentra distribuida en lomeríos y estribaciones de las principales cadenas montañosas del Estado, con alturas de 200 a 1250 msnm; con temperatura mínima anual entre 14 y 20 °C un promedio de 17 °C y temperatura media anual entre 21 y 27 °C. En esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_0$ ,  $A(w_1)$ ,  $Aw_2$ ,  $Am$  y  $Af$ , en menor proporción se presentan los tipos:  $A(C)(m)$ ,  $(A)Cf$  y  $(A)C(w_1)$  (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Moderadamente apta. Se encuentra en las partes bajas, en la llanura costera del Pacífico y las partes bajas del norte del Estado, en los límites con el estado de Veracruz, con alturas de 0 a 200 msnm; con temperatura mínima anual superior a los 20 °C y temperatura media anual superior a 27 °C; en esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_0$ ,  $Aw_1$ ,  $Am$  (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Marginal. Se distribuye en las partes altas de las sierras del Estado, con alturas que van de 1250 a 1600 msnm; con temperatura mínima anual entre 12 y 14 °C y temperatura media anual entre 19 y 21 °C; en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $(A)C(m)$ ,  $(A)C(w_0)$ ,  $(A)C(w_1)$  y  $(A)C(w_2)$ , también en pequeña proporción se presentan los tipos de clima:  $BS_1hw$  y  $BS_0hw$  (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática No apta. Se distribuye en las partes más altas de las zonas montañosas del Estado, con alturas superiores a los 1600 msnm; con temperatura mínima anual inferior a 12 °C y temperatura media anual inferior a 19 °C; en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $C(w_0)$ ,  $C(w_1)$  y  $C(w_2)$  y en menor proporción el tipo climático  $BS_1kw$  (CONABIO, 1998).

El mapa de zonas de aptitud agroclimática (Figura 5-18) se sobrepuso con el mapa de división municipal del estado de Oaxaca y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins por Municipio (Cuadro 5-25); se observa que 11 Municipios tienen en la totalidad de su territorio la categoría Apta, de los cuales ninguno reporta cultivo de mango; en 16 Municipios que presentan en la totalidad de su territorio la categoría agroclimática Moderadamente apta, solo seis reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins.

En 20 Municipios del estado de Oaxaca que presentan en la totalidad de su territorio la categoría Marginal, ninguno reporta mango cultivado; en 145 Municipios que presentan en su totalidad la categoría No apta, ninguno reporta mango cultivado. Se encontraron 27 Municipios con las categorías Apta y Marginal, 16 Municipios que incluyen en su territorio las cuatro categorías de aptitud agroclimática, y 9 que incluyen la categoría Apta, Moderadamente apta y Marginal, de los 52 Municipios anteriores solo en uno se reporta plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins.

También se encontraron 50 Municipios con las categorías Apta y Moderadamente apta de los cuales 10 reportan plantaciones de mango; en 138 Municipios con las categorías Apta, Marginal y No apta, solo tres reportan cultivo de mango; y en 136 Municipios con categorías Marginal y No apta, ninguno reporta plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-25. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Oaxaca.

Apta, Moderadamente apta, Marginal y No apta	Apta, Moderadamente apta y Marginal	Apta	Moderadamente apta	Marginal
Ixtlán de Juárez	San Felipe Jalapa de Díaz	Mesones Hidalgo	Chahuities <sup>+</sup>	Asunción Ocotlán
Magdalena Tequisistlán	San Juan Cotzocón	Pinotepa de Don Luis	El Espinal	Ciénega de Zimatlán
San Andrés Teotilalpam	San Juan Mazatlán	San Bartolomé Loxicha	Loma Bonita <sup>+</sup>	La Pe
San Carlos Yautepec	San Miguel del Puerto	San Gabriel Mixtepec	Reforma de Pineda <sup>+</sup>	La Reforma
San Felipe Usila	Santiago Lachiguiri	San Juan Colorado	San Blas Atempa <sup>+</sup>	Magdalena Jaltepec
San José Tenango	Santiago Tetepec	San Lorenzo	San Dionisio del Mar	Magdalena Ocotlán
San Juan Bautista Valle Nacional	Santiago Yaveo	San Pedro Amuzgos	San Francisco del Mar <sup>+</sup>	San Andrés Tepetlapa

<sup>+</sup>Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-25. Continuación...

Apta, Moderadamente apta, Marginal y No apta	Apta, Moderadamente apta y Marginal	Apta	Moderadamente apta	Marginal
San Miguel Chimalapa	Santos Reyes Nopala	San Pedro Atoyac	San Francisco Ixhuatán <sup>+</sup>	San Antonino Castillo Velasco
San Pedro Teutila	Tataltepec de Valdés	Santa Catarina Mechoacán	San José Estancia Grande	San Bartolo Yautepec
Santa Catarina Juquila		Santa María Ipalapa	San Mateo del Mar	San Mateo Yoloxochitlán
Santa María Chilchotla		Santa María Temaxcalapa	Santa María Cortijo	San Miguel Ejutla
Santa María Chimalapa			Santa María Xadani	San Pedro Apóstol
Santa María Jalapa del Marqués <sup>+</sup>			Santiago Llano Grande	San Pedro Mártir
Santiago Camotlán			Santiago Tapextla	San Raymundo Jalpan
Santiago Choapam			Santo Domingo Armenta	Santa Ana Zegache
Santiago Comaltepec			Trinidad Zaachila	Santa Cruz Acatepec
				Santa Inés Yatzeche
				Santa María Guelacé
				Santiago Apóstol
				Taniche

<sup>+</sup>Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-25. Continuación...

Apta y Marginal	Apta y Moderadamente apta	
San Miguel Panixtlahuaca	Acatlán de Pérez Figueroa	San Pedro Mixtepec <sup>+</sup>
Asunción Tlacolulita	Asunción Ixtaltepec	San Pedro Tapanatepec <sup>+</sup>
Chiquihuitlán de Benito Juárez	Ayotzintepec	San Sebastián Ixcapa
Fresnillo de Trujano	Ciudad Ixtepec <sup>+</sup>	Santa María Colotepec
Guevea de Humboldt	Cosolapa	Santa María Huatulco
Mártires de Tacubaya	El Barrio de la Soledad	Santa María Huazolotitlán <sup>+</sup>
Pluma Hidalgo	Juchitán de Zaragoza	Santa María Jacatepec
San Agustín Chayuco	Magdalena Tlacotepec	Santa María Mixtequilla <sup>+</sup>
San Antonio Nanahuatípam	Matías Romero Avendaño	Santa María Petapa
San Cristóbal Lachirioag	Salina Cruz	Santa María Tonameca <sup>+</sup>
San Jacinto Tlacotepec	San Andrés Huaxpaltepec	Santiago Astata
San Juan Bautista Tlachichilco	San Antonio Tepetlapa	Santiago Jamiltepec
San Juan Lajarcia	San José Chiltepec	Santiago Jocotepec
San Juan Yaeé	San José Independencia	Santiago Laollaga <sup>+</sup>
San Juan Yatzona	San Juan Bautista Lo de Soto	Santiago Niltepec
San Mateo Nejápam	San Juan Bautista Tuxtepec <sup>+</sup>	Santiago Pinotepa Nacional
San Mateo Sindihui	San Juan Cacahuatepec	Santo Domingo Chihuitán <sup>+</sup>
San Nicolás Hidalgo	San Juan Guichicovi	Santo Domingo de Morelos
Santa Cruz Tacache de Mina	San Juan Lalana	Santo Domingo Ingenio
Santa María Guienagati	San Lucas Ojitlán	Santo Domingo Tehuantepec <sup>+</sup>
Santa María Temaxcaltepec	San Miguel Soyaltepec	Santo Domingo Zanatepec <sup>+</sup>
Santa María Totolapilla	San Miguel Tlacamama	Valerio Trujano
Santa María Zacatepec	San Pedro Comitancillo	Villa de Tututepec de Melchor Ocampo <sup>+</sup>
Santiago Ixcuintepec	San Pedro Huamelula	
Santiago Ixtayutla	San Pedro Ixcatlán	
Santiago Lalopa	San Pedro Jicayán	
Santo Domingo Petapa	San Pedro Pochutla	

<sup>+</sup>Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-25. Continuación...

Apta , Marginal y No apta			
Asunción Cacalotepec	San Juan Cieneguilla	San Pedro Juchatengo	Santiago Atitlán
Candelaria Loxicha	San Juan Coatzacoapam	San Pedro Mártir Quiachapa	Santiago Ayuquillilla
Coicoyán de las Flores	San Juan Comaltepec	San Pedro Ocotepéc	Santiago Juxtlahuaca
Concepción Pápalo	San Juan de los Cués <sup>+</sup>	San Pedro Quiatoni	Santiago Laxopa
Constancia del Rosario	San Juan del Río	San Pedro Sochiapam	Santiago Minas
Cuyamecalco Villa de Zaragoza	San Juan Juquila Mixes	San Pedro Totolapa	Santiago Nacaltepec
Eloxochitlán de Flores Magón	San Juan Juquila Vijanos	San Pedro y San Pablo Ayutla	Santiago Nuyoó
Guadalupe de Ramírez	San Juan Lachao	San Pedro Yólox	Santiago Tamazola
Huauतेpec	San Juan Ozolotepec	San Pedro Yaneri	Santiago Textitlán
Huautla de Jiménez	San Juan Petlapa	San Sebastián Coatlán	Santiago Tilantongo
Mariscala de Juárez	San Juan Quiahije	Santa Ana Ateixtlahuaca	Santiago Xanica
Mazatlán Villa de Flores	San Juan Quiotepec	Santa Ana Cuauhtémoc	Santiago Yaitepec
Miahuatlán de Porfirio Díaz	San Juan Tabaá	Santa Ana Tavela	Santiago Yosondúa
Nejapa de Madero	San Juan Tepeuxila	Santa Catarina Loxicha	Santiago Zacatepec
Putla Villa de Guerrero	San Lorenzo Albarradas	Santa Cruz Itundujia	Santiago Zochila
San Agustín Amatengo	San Lorenzo Texmelucan	Santa Cruz Tacahua	Santo Domingo Albarradas
San Agustín Loxicha	San Lorenzo Victoria	Santa Cruz Zenzontepec	Santo Domingo Roayaga
San Agustín Yatareni	San Lucas Camotlán	Santa Lucía Miahuatlán	Santo Domingo Teojomulco
San Andrés Solaga	San Luis Amatlán	Santa Lucía Monteverde	Santo Domingo Tepuxtepec
San Baltazar Loxicha	San Marcial Ozolotepec	Santa María Alotepec	Santo Tomás Ocotepéc
San Baltazar Yatzachi el Bajo	San Martín Toxpalán <sup>+</sup>	Santa María Ecatepec	Santos Reyes Pápalo
San Bartolomé Ayautla	San Martín Zacatepec	Santa María Ixcatlán	Silacayoápam
San Dionisio Ocotepéc	San Mateo Cajonos	Santa María Ozolotepec	Tanetze de Zaragoza
San Francisco Cahuacuá	San Mateo Piñas	Santa María Pápalo	Teotitlán de Flores Magón <sup>+</sup>
San Francisco Cajones	San Mateo Río Hondo	Santa María Quiegolani	Tepelmeme Villa de Morelos
San Francisco Chapulapa	San Miguel Amatitlán	Santa María Tecomavaca	Tlacolula de Matamoros
San Francisco Ozolotepec	San Miguel Coatlán	Santa María Tepantlali	Totontepec Villa de Morelos
San Idefonso Villa Alta	San Miguel Quetzaltepec	Santa María Texcatitlán	Villa Hidalgo
San Jerónimo Coatlán	San Miguel Tenango	Santa María Tlahuitoltepec	Villa Sola de Vega
San Jorge Nuchita	San Miguel Yotao	Santa María Tlalixtac	Villa Talea de Castro
San José Lachiguiri	San Pablo Coatlán	Santa María Yolotepec	Yutanduchi de Guerrero
San Juan Bautista Atlatlahuca	San Pablo Yaganiza	Santa María Yucuhiti	Zapotitlán del Río
San Juan Bautista Cuicatlán	San Pedro el Alto	Santa María Zaniza	Zapotitlán Lagunas
San Juan Bautista Jayacatlán	San Pedro Jaltepetongo	Santa María Zoquitlán	
San Juan Bautista Tlacoatzintepec	San Pedro Jocotipac	Santiago Amoltepec	

<sup>+</sup> Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-25. Continuación...

Marginal y No apta			
Abejones	San Dionisio Ocotlán	San Miguel Tilquiápam	Santa Lucía Ocotlán
Animas Trujano	San Francisco Huehuetlán	San Nicolás	Santa María Atzompa
Asunción Nochixtlán	San Francisco Lachigoló	San Pablo Etla	Santa María Coyotepec
Ayoquezco de Aldama	San Francisco Logueche	San Pablo Huixtepec	Santa María del Tule
Calihualá	San Francisco Sola	San Pablo Macuiltianguis	Santa María Jaltianguis
Capulálpam de Méndez	San Francisco Telixtlahuaca	San Pablo Tijaltepec	Santa María la Asunción
Chalcatongo de Hidalgo	San Francisco Tlapancingo	San Pablo Villa de Mitla	Santa María Sola
Coatecas Altas	San Ildefonso Amatlán	San Pedro Coxcaltepec Cántaros	Santa María Tataltepec
Concepción Buenavista	San Ildefonso Sola	San Pedro Taviche	Santa María Teopoxco
Cosoltepec	San Jacinto Amilpas	San Pedro Teozacoalco	Santa Mara Yalina
Cuilápam de Guerrero	San Jerónimo Sosola	San Pedro y San Pablo Tequixtepec	Santiago Chazumba
H. Ciudad de Ejutla de Crespo	San Jerónimo Taviche	San Sebastián Abasolo	Santiago del Río
H. Ciudad de Huajuapam de León	San Jerónimo Tecoátl	San Sebastián Teitipac	Santiago Huaucilla
Ixpantepec Nieves	San J. Tlacoahuaya	San Sebastián Tutla	Santiago Matatlán
La Compañía	San José Ayuquila	San Simón Almolongas	Santiago Yucuyachi
Magdalena Jaltepec	San José del Progreso	San Simón Zahuatlán	Sto. Domingo Tomaltepec
Miahuatlán de Porfirio Díaz	San Juan Atepec	San Vicente Coatlán	Santo Domingo Tonalá
Monjas	San Juan Chilateca	San Vicente Lachixío	Santo Tomás Jalieza
Oaxaca de Juárez	San Juan Guelavía	Santa Ana	Santos Reyes Yucuná
Ocotlán de Morelos	San Juan Ihualtepec	Santa Ana Tlapacoyan	Sitio de Xitlapehua
Rojas de Cuauhtémoc	San Juan Lachigalla	Santa Ana Yareni	Soledad Etla
San Agustín de las Juntas	San Juan Tamazola	Santa Catalina Quierí	Tamazulapam del E. Santo
San Agustín Yatareni	San Juan Teita	Santa Catarina Minas	Teococuilco de Marcos P.
San Andrés Huayapam	San Lorenzo Cacaotepec	Santa Catarina Quiané	Teotitlán del Valle
San Andrés Paxtlán	San Lorenzo Cuaunecuiltitla	Santa Catarina Quiquitani	Tezoatlán de Segura y L.
San Andrés Yaá	San Lucas Zoquiápam	Santa Cruz Acatepec	Tlalixtac de Cabrera
San Andrés Zabache	San Marcos Arteaga	Santa Cruz Amilpas	Trinidad Zaachila
San Antonino el Alto	San Martín de los Cansecos	Santa Cruz de Bravo	Villa de Zaachila
San Antonio de la Cal	San Martín Lachilá	Santa Cruz Mixtepec	Yaxe
San Antonio Huixtepec	San Martín Peras	Santa Cruz Papalutla	Yogana
San Baltazar Chichicápam	San Martín Tilcajete	Santa Cruz Xitla	Zimatlán de Alvarez
San Bartolo Coyotepec	San Melchor Betaza	Santa Cruz Xoxocotlán	
San Bartolomé Zoogocho	San Miguel Ahuehuetitlán	Santa Gertrudis	
San Bernardo Mixtepec	San Miguel Piedras	Santa Inés del Monte	
San Cristóbal Amatlán	San Miguel Suchixtepec	Santa Lucía del Camino	

Cuadro 5-25. Continuación...

No apta			
Asunción Cuyotepeji	San J. Silacayoapilla	San Pedro Cajonos	Santiago Cacaloxtepec
Guadalupe Etla	San José del Peñasco	San Pedro Ixtlahuaca	Santiago Huajolotitlán
Guelatao de Juárez	San Juan Achiutla	San Pedro Molinos	Santiago Ihuitlán Plumas
Heroica Ciudad de Tlaxiaco	San J. B. Coixtlahuaca	San Pedro Mártir Yucuxaco	Santiago Miltepec
La Trinidad Vista Hermosa	San J. Bautista Guelache	San Pedro Nopala	Santiago Nejapilla
Magdalena Apasco	San J. Bautista Suchitepec	San Pedro Ocopetatillo	Santiago Nundiche
Magdalena Mixtepec	San Juan Chicomezuchil	San Pedro Tidaá	Santiago Suchilquitongo
Magdalena Peñasco	San Juan del Estado	San Pedro Topiltepec	Santiago Tenango
Magdalena Teitipac	San Juan Diuxi	San Pedro y San Pablo Teposcolula	Santiago Tepetlapa
Magdalena Yodocono	San J. Evangelista Analco	San Pedro Yucunama	Santiago Texcalcingo
Magdalena Zahuatlán	San Juan Mixtepec	San Sebastián Nicananduta	Santiago Tillo
Natividad	San Juan Sayultepec	San Sebastián Río Hondo	Santiago Tlazoyaltepec
Nazareno Etla	San Juan Teitipac	San Sebastián Tecomaxtlahuaca	Santiago Xiacuá
Nuevo Zoquiapam	San Juan Teposcolula	San Vicente Nuñu	Santiago Yolomécatl
Reyes Etla	San Juan umí	Santa Ana del Valle	Santo Domingo Ixcatlán
San Agustín Etla	San Juan Yucuita	Santa Catarina Cuixtla	Santo Domingo Nuxaá
San Agustín Tlacotepec	San Martín Huamel-Ipam	Santa Catarina Ixtepeji	Santo Domingo Ozolotepec
San Andrés Dinicuiti	San Martín Itunyoso	Santa Catarina Lachatao	Santo Domingo Tlatayápan
San Andrés Ixtlahuaca	San Mateo Etlatongo	Santa Catarina Tayata	Santo Domingo Tonaltepec
San Andrés Lagunas	San Mateo Peñasco	Santa Catarina Ticuá	Santo Domingo Xagacia
San Andrés Nuxiño	San Mateo Tlapiltepec	Santa Catarina Yosonot	Santo Domingo Yanhuatlán
San Andrés Sinaxtla	San Miguel Achiutla	Santa Catarina Zapoquila	Santo Domingo Yodohino
San Andrés Zautla	San Miguel Aloápam	Santa Cruz Nundaco	Santo Tomás Mazaltepec
San Antonino Monte Verde	San Miguel Amatlán	Santa Cruz Tayata	Santo Tomás Tamazulapan
San Antonio Acutla	San Miguel Chicahua	Santa Inés de Zaragoza	Santos Reyes Tepejillo
San Antonio Sinicahua	San Miguel del Río	Santa Magdalena Jicotlán	Teotongo
San Bartolo Soyaltepec	San Miguel el Grande	Santa María Apazco	Tlacotepec Plumas
San Bartolomé Quialana	San Miguel Huautla	Santa María Camotlán	Villa de Chilapa de Díaz
San Bartolomé Yucuañe	San Miguel Mixtepec	Santa María Chachoápam	Villa de Etla
San Cristóbal Amoltepec	San Miguel Peras	Santa María del Rosario	Villa de Tamazulápam del Progreso
San C. Suchixtlahuaca	San Miguel Santa Flor	Santa María Lachixío	Villa Díaz Ordaz
San Esteban Atatlahuca	San Miguel Tecomatlán	Santa María Nativitas	Villa Tejupam de la Unión
San Felipe Tejalapam	San Miguel Tequixtepec	Santa María Nduayaco	Zapotitlán Palmas
San Francisco Chindúa	San Miguel Tlacotepec	Santa María Peñoles	Santiago Cacaloxtepec
San Francisco Jaltepetongo	San Miguel Tulancingo	Santa María Yavesía	
San Francisco Nuxaño	San Pablo Cuatro Venados	Santa María Yosoyúa	
San Francisco Teopan	San Pablo Huitzo	Santiago Apoala	

### 5.4.3.2. Estado de Guerrero

Para el estado de Guerrero (Cuadro 5-26, Figura 5-19) en cuanto al grado de aptitud se observa que 52.83% de la superficie del Estado (3 370,139 ha) presenta regiones geográficas con condiciones agroclimáticas en la categoría de Apta para producir mango cultivar Tommy Atkins, la categoría Moderadamente apta ocupa 24.34% de la superficie del Estado (1 552 949 ha); la categoría Marginal ocupa 12.30% de la superficie del Estado (784 400 ha) y, 10.53% de la superficie del Estado de Guerrero (671 911 ha) presenta la categoría No apta para producir mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-26. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Guerrero.

Zona Agroclimática	Intervalo de temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 12.0	No apta	671 911	10.53
2	12.0 - 14.0	Marginal	784 400	12.30
3	14.0 - 20.0	Apta	3 370 139	52.83
4	> 20.0	Moderadamente apta	1 552 949	24.34
T o t a l			6 379 400	100.00

Las zonas agroclimáticas encontradas para el estado de Guerrero se caracterizan de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se encuentra distribuida en lomeríos y estribaciones de las principales cadenas montañosas del Estado, con alturas de 430 a 1480 msnm; con una temperatura mínima anual entre 14 y 20 °C un promedio de 17 °C y temperatura media anual entre 21 a 27 °C; en esta zona agroclimática predominan en mayor proporción los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_0$ ,  $A(w_1)$ ,  $Aw_2$ , en menor proporción se presentan el tipo  $(A)C(w_2)$  (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Moderadamente apta. Se encuentra distribuida en las partes bajas, en la llanura costera del Pacífico con alturas de 0 a 430 msnm; con temperatura mínima anual

superior a los 20 °C y temperatura media anual superior a 27 °C; en esta zona agroclimática predominan en mayor proporción los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_0$ ,  $Aw_1$ , (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Marginal: se encuentra distribuida en las partes altas de las sierras del Estado, con alturas de 1480 a 1830 msnm, con temperatura mínima anual entre 12 y 14 °C y temperatura media anual entre 19 y 21 °C; en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $(A)C(w_0)$ ,  $(A)C(w_1)$  y  $(A)C(w_2)$ , en pequeña proporción se presentan los tipos de clima:  $BS_1hw$  y  $BS_0hw$  (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática No apta: se distribuye en las partes más altas de las zonas montañosas del Estado, con alturas superiores a los 1830 msnm, con temperatura mínima anual inferior a 12 °C y temperatura media anual inferior a 19 °C; en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $C(w_1)$  y  $C(w_2)$  (CONABIO, 1998).

El mapa de zonas de aptitud agroclimática (Figura 5-19) se sobrepuso con el mapa de división municipal del estado de Guerrero y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins por Municipio (Cuadro 5-27); se observa que ocho Municipios presentan las categorías Marginal, Apta y Moderadamente apta, de los cuales seis reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins.

Nueve Municipios que presentan las categorías Apta y Moderadamente apta, de los cuales cinco reportan cultivo de mango; seis Municipios que presentan en la totalidad de su territorio las categorías Marginal y Apta, de los cuales ninguno reporta mango cultivado; cuatro Municipios que presentan en su totalidad la categoría Moderadamente apta, de los cuales, tres reportan cultivo de mango. En todo el estado de Guerrero, un solo Municipio presenta las categorías No apta y Marginal donde no hay mango cultivado; 24 Municipios que presentan las cuatro categorías de aptitud agroclimática, de los cuales nueve reportan cultivo de mango y por último de los 13 Municipios que incluyen las categorías: No apta, Marginal y Apta, ninguno presenta cultivo de mango.

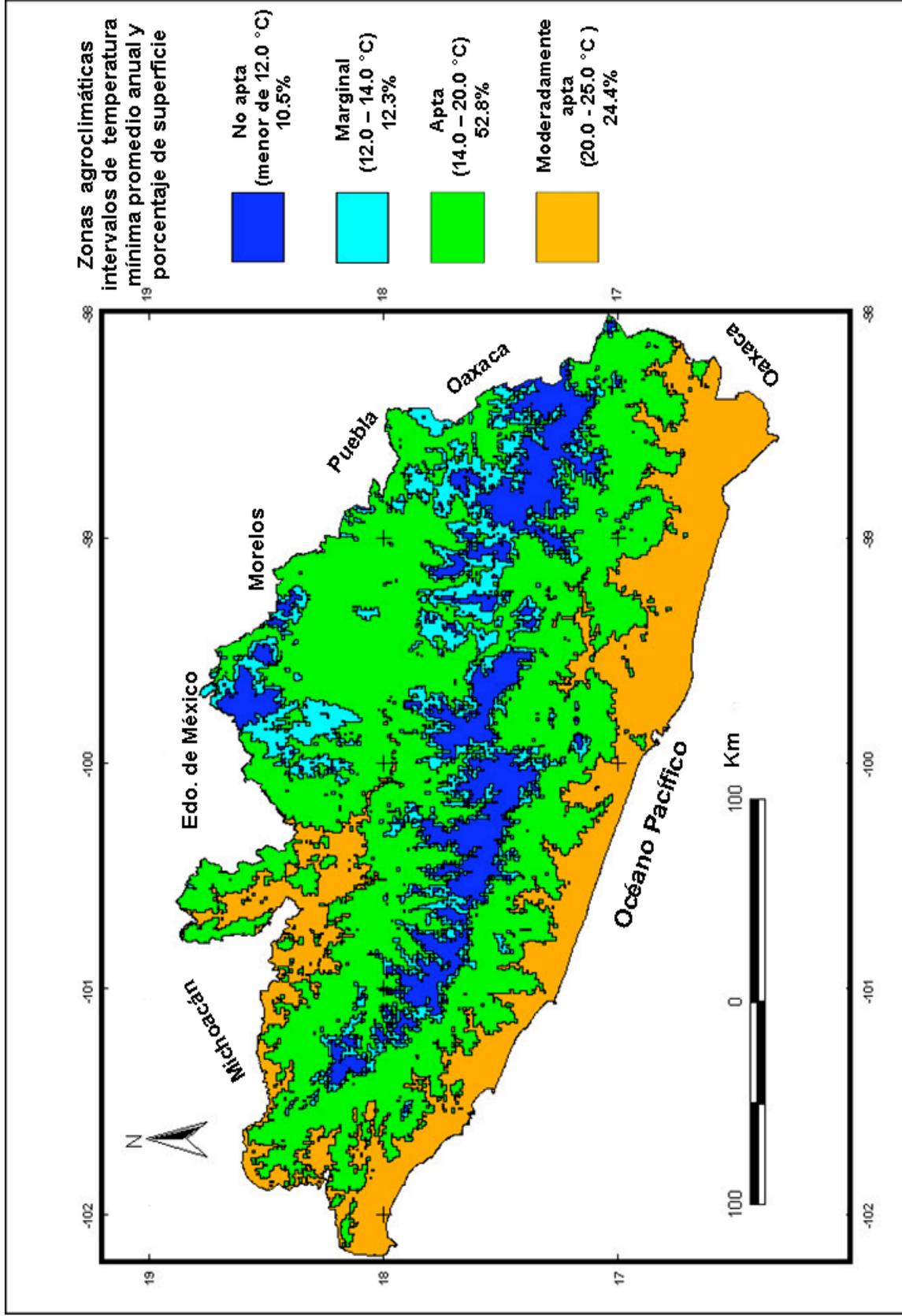


Figura 5-19. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins para el estado de Guerrero, México.

Cuadro 5-27. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Guerrero.

Marginal, Apta, y Moderadamente apta	Apta y Moderadamente apta	Marginal y Apta	Moderadamente apta	No apta y Marginal
Arcelia <sup>+</sup>	Azoy <sup>+</sup>	Alpoyeca	Benito Juárez <sup>+</sup>	Atlamajalcingo del Monte
Ayutla de los Libres <sup>+</sup>	Cuautepec	Atenango del Río	Copala <sup>+</sup>	
Cocula	Igualapa	Huamuxtítlán	Cuajinicuilapa <sup>+</sup>	
Cutzamala de Pinzón <sup>+</sup>	Marquelia	Iguala de la Independencia	Florencio Villarreal	
General Canuto A. Neri	Ometepec	Tepecoacuilco de Trujano		
Juan R. Escudero <sup>+</sup>	Pungarabato <sup>+</sup>	Tlalixtaquilla de Maldonado		
San Luis Acatlán <sup>+</sup>	San Marcos <sup>+</sup>			
Tlalchapa <sup>+</sup>	Tecoanapa <sup>+</sup>			
	Tlapehuala <sup>+</sup>			

<sup>+</sup>Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-27. Continuación...

No apta, Marginal, Apta,		No apta, Marginal, Apta, y Moderadamente apta	
Ahuacuotzingo	Mártir de Cuilapan	Acapulco de Juárez <sup>+</sup>	José Azueta <sup>+</sup>
Alcozauca de Guerrero	Olinalá	Acatepec	La Unión de Isidoro Montes de Oca <sup>+</sup>
Atlixac	Pedro Ascencio Alquisiras	Ajuchitlán del Progreso <sup>+</sup>	Metlatónoc
Buenavista de Cuéllar	Taxco de Alarcón	Apaxtla	Mochitlán
Chilapa de Álvarez	Teloloapan	Atoyac de Álvarez <sup>+</sup>	Petatlán <sup>+</sup>
Copalillo	Tetipac	Chilpancingo de los Bravo	Pilcaya
Copanatoyac	Tixtla de Guerrero	Coahuayutla de José María Izazaga	Quechultenango
Cualác	Tlacoapa	Coyuca de Benítez <sup>+</sup>	San Miguel Totolapan
Huitzuc de los Figueroa	Tlapa de Comonfort	Coyuca de Catalán <sup>+</sup>	Tlacoachistlahuaca
Ixcateopan de Cuauhtémoc	Xalpatláhuac	Cuetzala del Progreso	Técpan de Galeana <sup>+</sup>
José Joaquín de Herrera	Xochihuehuetlán	Eduardo Neri	Xochistlahuaca
Leonardo Bravo	Zapotitlán Tablas	General Heliodoro Castillo	Zirándaro
Malinaltepec	Zitlala		

<sup>+</sup>Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins.

### 5.4.3.3. Estado de Morelos

Para el estado de Morelos (Cuadro 5-28, Figura 5-20) se observa que 70.92% de la superficie del Estado (350 396 ha), presenta regiones geográficas con condiciones de la categoría agroclimática Apta para la producción de mango cultivar Tommy Atkins; la categoría agroclimática Marginal ocupa 14.10% de la superficie del Estado (69 675 ha) y, 14.98% de la superficie del Estado (74 029 ha) ocupa la categoría No apta; la categoría agroclimática Moderadamente apta para producir mango cultivar Tommy Atkins no se presenta en el estado de Morelos.

Cuadro 5-28. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Morelos.

Zona Agroclimática	Intervalo de temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 12.0	No apta	74 029	14.98
2	12.0 - 14.0	Marginal	69 675	14.10
3	14.0 - 20.0	Apta	350 396	70.92
4	> 20.0	Moderadamente apta	0	0.00
T o t a l			494 100	100.00

Las zonas agroclimáticas encontradas para el estado de Morelos se caracterizan de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se encuentra en lomeríos y estribaciones de las montañas del Estado, con alturas de 430 a 1480 msnm; con temperatura mínima anual entre 14 y 20 °C, un promedio de 17 °C y, temperatura media anual entre 21 a 27 °C; en esta zona agroclimática predomina el siguiente tipo de clima según Köppen, modificado por García (1973) Aw<sub>0</sub>, en menor proporción se presentan los tipos: (A)C(w<sub>0</sub>), (A)C(w<sub>1</sub>) y BS<sub>1</sub>hw (CONABIO, 1998).

La zona agroclimática Moderadamente apta, no se presenta en este Estado productor de mango debido a que no presentan alturas sobre el nivel del mar menores de 430 m, ni temperatura mínima anual superior a 20 °C.

Zona agroclimática Marginal. Se encuentra en las partes altas de las montañas del Estado, con alturas que van de 1480 a 1830 msnm; con temperatura mínima anual entre 12 y 14 °C y temperatura media anual entre 19 y 21 °C; en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): (A)C(w<sub>1</sub>) y (A)C(w<sub>2</sub>) (CONABIO,1998).

Zona agroclimática No apta. Se encuentra en las partes más altas de las zonas montañosas del Estado, con alturas superiores a los 1830 msnm; con temperatura mínima promedio anual inferior a 12 °C y temperatura media anual inferior a 19 °C, en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): Cb'(w<sub>2</sub>) y C(w<sub>2</sub>) (CONABIO, 1998).

El mapa de zonas de aptitud agroclimática (Figura 5-20) se superpuso con el mapa de división municipal del estado de Morelos y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins por Municipio (Cuadro 5-29); se observa que seis Municipios presentan en la totalidad de su territorio la categoría Apta, de estos Municipios uno reporta plantaciones de mango aunque no especifica el cultivar; de 12 Municipios que presentan las categorías Apta y Marginal, tres reportan plantaciones de mango con distintos cultivares; de ocho Municipios que presentan las categorías: No apta, Marginal y Apta, solo tres reportan plantaciones de distintos cultivares de mango y de cinco Municipios que presentan las categorías No apta y Marginal, ninguno reporta cultivo de mango. Solamente en un Municipio se presenta la categoría No apta, en el que incluso no existe plantaciones de mango.

Cuadro 5-29. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Morelos.

Apta y Marginal	No apta, Marginal y Apta	Apta	No apta y Marginal	No apta
Amacuzac	Atlatlahucan	Axochiapan	Ocuituco	Huitzilac
Ayala	Cuernavaca	Cuautla	Tetela del Volcán	
Coatlán del Río <sup>+</sup>	Miacatlán <sup>+</sup>	Jojutla	Tlalnepantla	
Emiliano Zapata	Puente de Ixtla <sup>+</sup>	Tetecala <sup>+</sup>	Totolapan	
Jantetelco	Tepoztlán	Xochitepec	Zacualpan de Amilpas	
Jiutepec	Tlayacapan	Zacatepec de Hidalgo		
Jonacatepec <sup>+</sup>	Yautepec <sup>+</sup>			
Temixco	Yecapixtla			
Temoac				
Tepalcingo				
Tlaltizapán <sup>+</sup>				
Tlaquiltenango				

<sup>+</sup> Municipios productores de mango varios cultivares

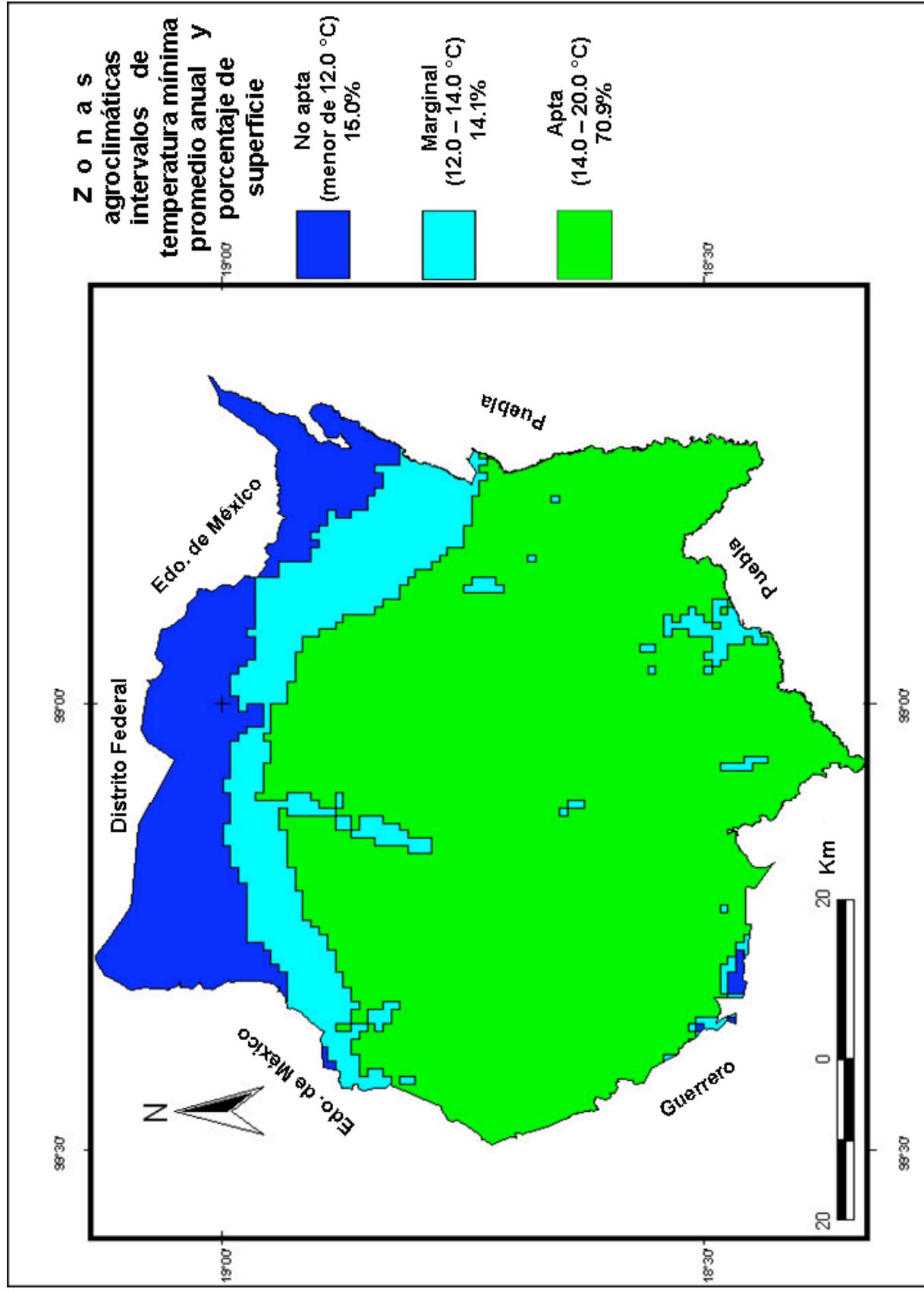


Figura 5-20. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Morelos, México.

#### 5.4.3.4. Estado de Michoacán

En cuanto a las zonas agroclimáticas encontradas para el estado de Michoacán (Cuadro 5-30, Figura 5-21) se observa que las regiones geográficas con la categoría agroclimática Apta para la producción de mango cultivar Tommy Atkins ocupa 35.92% de la superficie del Estado (2 150 207 ha); la categoría Moderadamente apta ocupa 11.37% de la superficie del Estado (680 427 ha); la categoría Marginal ocupa 6.99% de la superficie del Estado (418 333 ha) y, 45.73% de la superficie del Estado de Michoacán (2 737 433 ha) presenta la categoría agroclimática No apta para producir mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-30. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Michoacán.

Zona Agroclimática	Intervalo e temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 12.0	No apta	2 737 433	45.73
2	12.0 - 14.0	Marginal	418 333	6.99
3	14.0 - 20.0	Apta	2 150 207	35.92
4	> 20.0	Moderadamente apta	680 427	11.37
		T o t a l	5 986 400	100.00

Las zonas agroclimáticas encontradas para el estado de Michoacán se caracterizan de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se distribuye en lomeríos y estribaciones de las principales cadenas montañosas del Estado, con alturas de 350 a 1250 msnm; con temperatura mínima anual entre 14 y 20 °C un promedio de 17 °C y, temperatura media anual entre 21 a 27 °C; en esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_0$ ,  $Aw_1$ , en menor proporción se presentan los tipos:  $BS_1(h')w$ , y  $(A)C(w_1)$  (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Moderadamente apta. Se encuentra distribuida en las partes bajas, de la llanura costera del Océano Pacífico y valles con alturas que van de 0 a 350 msnm; con una temperatura mínima anual superior a 20 °C y temperatura media anual superior a 27 °C;

en esta zona agroclimática predominan en mayor proporción los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_0$ ,  $BS_1(h')w$  y  $BS_0(h')w$  (CONABIO, 1998)

Zona agroclimática Marginal. Se encuentra distribuida en las partes altas de las sierras del Estado, con alturas que van de 1250 a 1550 msnm; con temperatura mínima anual entre 12 y 14 °C y temperatura media anual entre 19 y 21 °C; en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $(A)C(w_1)$  y  $(A)C(w_2)$  (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática No apta. Se encuentra distribuida en las partes más altas de las zonas montañosas del Estado, con alturas superiores a los 1550 msnm; con temperatura mínima anual inferior a 12 °C y temperatura media anual inferior a 19 °C. En la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $C(w_0)$ ,  $C(w_1)$  y  $C(w_2)$ ,  $C(m)$ , y en pequeña proporción los tipos climáticos:  $(A)C(w_0)$ ,  $(A)C(w_1)$  y  $(A)C(w_2)$  (CONABIO, 1998).

El mapa de regiones de aptitud agroclimática (Figura 5-21) se superpuso con el mapa de división municipal del estado de Michoacán y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins por Municipio (Cuadro 5-31); donde se observa que 15 Municipios presentan las categorías No apta, Marginal, Apta y Moderadamente apta, de los cuales, cuatro reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins.

De diez Municipios que presentan las categorías No apta y Marginal, ninguno reporta cultivo de mango; tres Municipios que presentan en la totalidad de su territorio las categorías Marginal, Apta y Moderadamente apta, también reportan mango cultivado; y de tres Municipios que presentan las categorías Apta y Moderadamente apta, dos reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins.

Un Municipio presenta la categoría Marginal, donde no existe cultivo de mango; de 22 Municipios que incluyen en su territorio las categorías: No apta, Marginal y Apta, solo uno reporta cultivo de mango; de 59 Municipios que incluyen la categoría No apta, ninguno presenta plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins. En total se reportan 10 Municipios donde se tienen huertas de mango cultivar Tommy Atkins y 12 Municipios con otros cultivares de mango en el estado de Michoacán.

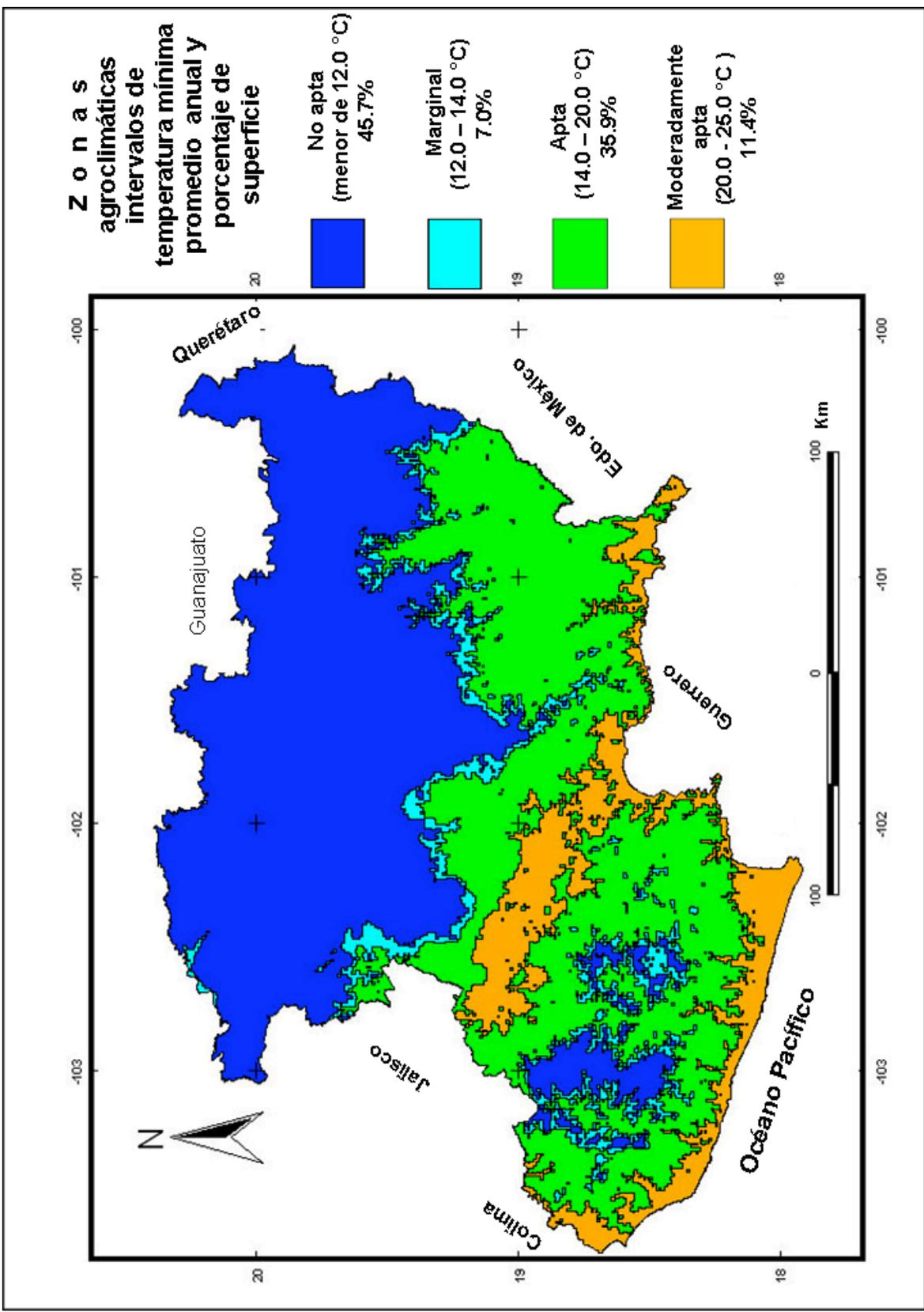


Figura 5-21. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Michoacán, México.

Cuadro 5-31. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Michoacán.

No apta, Marginal, Apta y Moderadamente apta		No apta y Marginal	Marginal, Apta y Moderadamente apta	Apta y Moderadamente apta	Marginal
Aguililla <sup>++</sup>	La Huacana <sup>+</sup>	Cojumatlán de Régules	Gabriel Zamora <sup>+</sup>	Coahuayana <sup>++</sup>	Briseñas
Apatzingán <sup>+</sup>	Tepalcatepec <sup>+</sup>	Ixtlán	Parácuaro <sup>+</sup>	Lázaro Cárdenas <sup>+</sup>	
Aquila <sup>++</sup>	Tiquicheo de Nicolás Romero	Morelia	San Lucas <sup>+</sup>	Múgica <sup>+</sup>	
Arteaga	Tumbiscatío <sup>++</sup>	Nuevo Parangaricutiro			
Buenavista <sup>+</sup>	Turicato <sup>++</sup>	Pajacuarán			
Carácuaro		Queréndaro			
Chinicuila		Tinglándín			
Churumuco <sup>++</sup>		Tuxpan			
Coalcomán de Vázquez P.		Venustiano Carranza			
Huetamo <sup>++</sup>		Vista Hermosa			

<sup>+</sup> Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins. <sup>++</sup> Municipios productores de mango (otros cultivares)

Cuadro 5-31. Continuación...

No apta, Marginal y Apta	No apta		
Ario <sup>++</sup>	Acuitzio	Indaparapeo	Senguio
Charo	Alvaro Obregón	Irimbo	Tangamandapio
Cotija	Angamacutiro	Jacona	Tangancícuaro
Hidalgo	Angangueo	Jiménez	Tanhuato
Jungapeo <sup>++</sup>	Aporo	Jiquilpan	Tarímbaro
Juárez	Briseñas	José Sixto Verduzco	Tingambato
Los Reyes	Charapan	La Piedad	Tlalpujahuá
Madero	Chavinda	Lagunillas	Tlazazalca
Nocupétaro	Cherán	Maravatío	Tzintzuntzan
Nuevo Urecho <sup>+</sup>	Chilchota	Marcos Castellanos	Villamar
Peribán	Chucándiro	Nahuatzen	Yurécuaro
Salvador Escalante	Churintzio	Numarán	Zacapu
Susupuato	Coeneo	Ocampo	Zamora
Tacámbaro <sup>++</sup>	Contepec	Panindícuaro	Zinapécuaro
Tancítaro	Copándaro	Paracho	Zináparo
Taretan	Cuitzeo	Penjamillo	
Tocumbo	Ecuandureo	Pátzcuaro	
Tuzantla <sup>++</sup>	Epitacio Huerta	Purépero	
Tzitzio	Erongarícuaro	Puruándiro	
Uruapan <sup>++</sup>	Huandacareo	Quiroga	
Ziracuaretiro	Huaniqueo	Sahuayo	
Zitácuaro	Huiramba	Santa Ana Maya	

<sup>+</sup> Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins. <sup>++</sup> Municipios productores de otros cultivares de mango

#### 5.4.3.5. Estado de Colima

Las zonas agroclimáticas para el estado de Colima (Cuadro 5-32, Figura 5-22), se observa que la categoría Apta ocupa 75% de la superficie del Estado (409 141 ha); la categoría Moderadamente apta ocupa 13.6% de la superficie del Estado (74 193 ha); la categoría Marginal ocupa 6.4% de la superficie del Estado (34 892 ha); y 5% de la superficie del Estado (27 274 ha) está ocupada por la categoría agroclimática No apta para producir mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-32. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Colima.

Zona Agroclimática	Intervalo de temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 12.0	No apta	27 274	5.0
2	12.0 - 14.0	Marginal	34 892	6.4
3	14.0 - 20.0	Apta	409 141	75.0
4	> 20.0	Moderadamente apta	74 193	13.6
		T o t a l	545 500	100.0

Las zonas agroclimáticas encontradas para el estado de Colima se caracterizan de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se encuentra en lomeríos y estribaciones de las principales cadenas montañosas del Estado, con alturas de 50 a 1050 msnm; con temperatura mínima anual entre 14 y 20 °C un promedio de 17 °C y temperatura media anual entre 21 y 27 °C; en esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_0$ ,  $Aw_1$ ,  $Aw_2$ , y en menor proporción se presentan el tipo climático: (A) C ( $w_1$ ) (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Moderadamente apta. Se encuentra en las partes bajas, en la llanura costera del Pacífico y valles internos con alturas de 0 a 50 msnm; con temperatura mínima anual superior a los 20 °C y temperatura media anual superior a 27 °C; en esta zona agroclimática predominan en mayor proporción los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_0$ , y en menor proporción el tipo climático  $BS_1(h')w$  (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Marginal. Se encuentra distribuida en las partes altas de las sierras del Estado, con alturas que van desde 1050 a 1400 msnm; con temperatura mínima anual entre 12 y 14 °C y temperatura media anual inferior a 21 °C, En la mayor parte de esta zona agroclimática predomina el siguiente tipo de climas según Köppen, modificado por García (1973): (A)C(w<sub>2</sub>) (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática No apta. Se encuentra distribuida en las partes más altas de las zonas montañosas del Estado, con alturas superiores a los 1400 msnm; con temperatura mínima anual inferior a 12 °C y temperatura media anual inferior a 19 °C, en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): (A)C(w<sub>2</sub>) y en pequeña proporción el tipo climático C(w<sub>2</sub>) y Cb'(w<sub>2</sub>) (CONABIO, 1998).

El mapa de zonas de aptitud agroclimática (Figura 5-22) se superpuso con el mapa de división municipal del estado de Colima y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins por Municipio (Cuadro 5-33). Se observa que de seis Municipios que presentan las categorías No apta, Marginal y Apta, solo dos reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins; de tres Municipios que presentan las categorías Marginal, Apta y Moderadamente apta, dos reportan huertas de mango cultivar Tommy Atkins.

Únicamente el municipio de Manzanillo presenta las categorías agroclimáticas: No apta, Marginal, Apta y Moderadamente apta, también reporta cultivo de mango; el municipio de Colima incluye las categorías Marginal y Apta, pero no reporta plantaciones de este cultivar de mango. De los 10 Municipios del estado de Colima, en cinco se reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins y en otros cinco se reporta otros cultivares de mango.

Cuadro 5-33. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Colima.

Marginal, Apta y Moderadamente apta	Marginal, Apta y Moderadamente apta	No apta, Marginal, Apta y Moderadamente apta	Marginal y apta
Cómala <sup>**</sup>	Armería <sup>+</sup>	Manzanillo <sup>+</sup>	Colima <sup>**</sup>
Coquimatlán <sup>+</sup>			
Cuauhtémoc <sup>**</sup>	Ixtlahuacán <sup>**</sup>		
Minatitlán <sup>**</sup>			
Villa de Álvarez <sup>+</sup>	Tecomán <sup>+</sup>		

<sup>+</sup>Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins.

<sup>\*\*</sup>Municipios productores de otros cultivares de mango

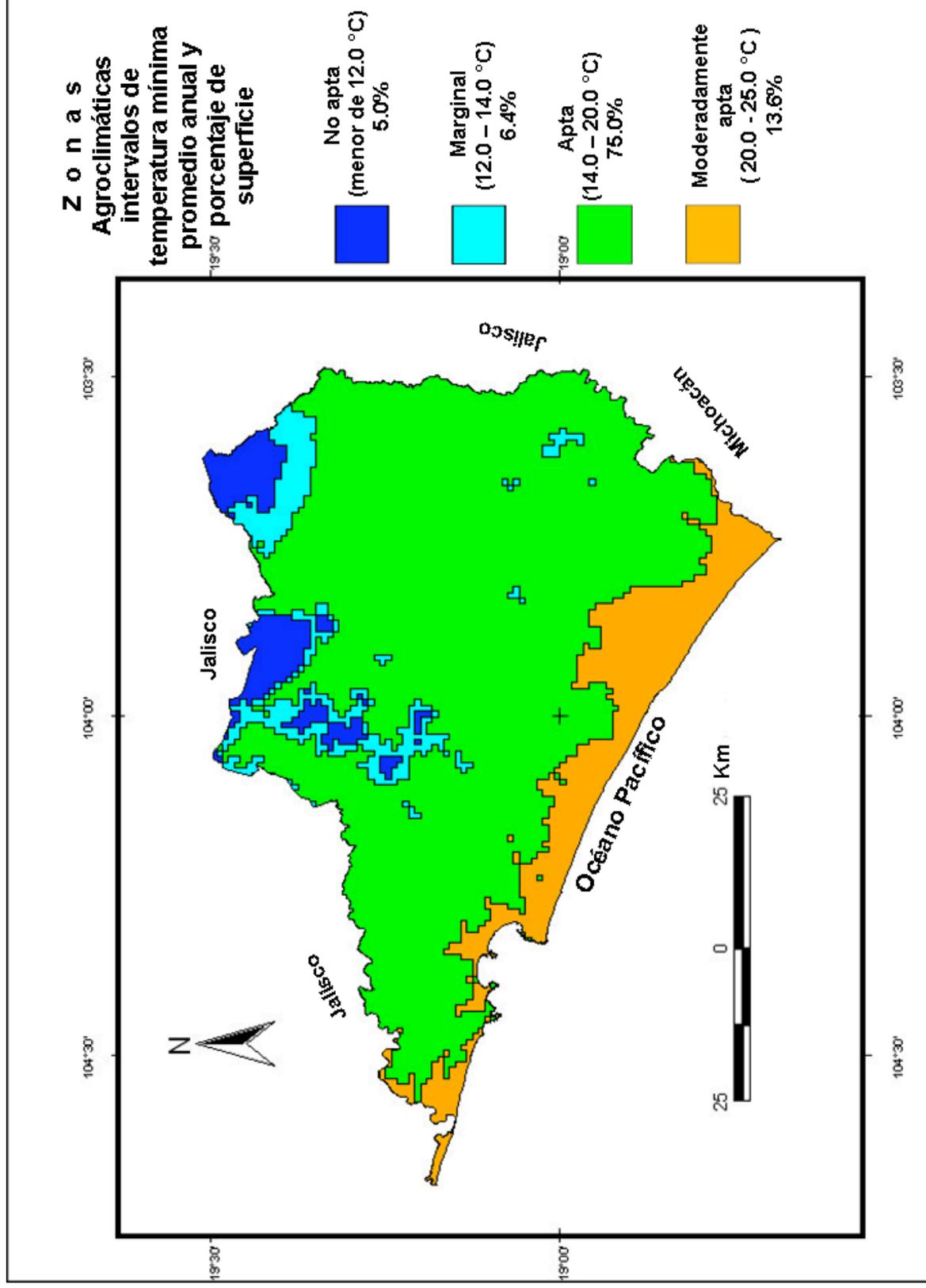


Figura 5-22. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Colima, México.

### 5.4.3.6. Estado de Jalisco

En la zonificación agroclimática del estado de Jalisco (Cuadro 5-34, Figura 5-23) se observa que las regiones geográficas con la categoría de Apta ocupa 21.86% de la superficie del Estado (1 751 909 ha); la categoría Moderadamente apta ocupa 1.44% de la superficie del Estado (115 293 ha); la categoría Marginal ocupa 14.01% de la superficie del Estado (1 122 502 ha) y 62.69% de la superficie del Estado de Jalisco (5 023 996 ha), esta ocupado por la categoría agroclimática No apta para producir mango cultivar Tommy Atkins.

Las zonas agroclimáticas encontradas para el estado de Jalisco se caracterizan de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se encuentra en lomeríos y estribaciones de las principales cadenas montañosas del Estado, con alturas que van de 50 a 1050 msnm; con temperatura mínima anual entre 14 y 20 °C un promedio de 17 °C y temperatura media anual entre 21 y 27 °C; en esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_0$ ,  $Aw_1$ ,  $Aw_2$  y en menor proporción se presenta el tipo:  $BS_1(h')w$ , (CONABIO, 1998).

Cuadro 5-34. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Jalisco.

Zona Agroclimática	Intervalo de temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 12.0	No apta	5 023 996	62.69
2	12.0 - 14.0	Marginal	1 122 502	14.01
3	14.0 - 20.0	Apta	1 751 909	21.86
4	> 20.0	Moderadamente apta	115 293	1.44
T o t a l			8 013 700	100.00

Zona agroclimática Moderadamente apta. Se encuentra en las partes bajas, en la llanura costera del Pacífico y valles internos con alturas de 0 a 50 msnm; con temperatura mínima anual superior a los 20 °C y temperatura media anual superior a 27 °C; en esta zona agroclimática

predominan en mayor proporción los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): BS<sub>1</sub>(h')w (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Marginal. Se encuentra distribuida en las partes altas de las sierras del Estado, con alturas de 1050 a 1400 msnm; con temperatura mínima anual entre 12 y 14 °C y temperatura media anual entre 19 y 21 °C; en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): (A)C(w<sub>0</sub>) y (A)C(w<sub>1</sub>) y en pequeña proporción BS<sub>1</sub>hw (CONABIO, 1998)

Zona agroclimática No apta. Se encuentra distribuida en las partes altas de las zonas montañosas del Estado, con alturas superiores a los 1400 msnm; con temperatura mínima anual inferior a 12 °C y temperatura media anual inferior a 19 °C; en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por Enriqueta García: (A)C(w<sub>0</sub>), (A)C(w<sub>1</sub>) y (A)C(w<sub>2</sub>), en menor proporción los tipos climáticos: C(w<sub>0</sub>) C(w<sub>1</sub>) y C(w<sub>2</sub>) (CONABIO, 1998).

El mapa de regiones de aptitud agroclimática (Figura 5-23) se sobrepuso con el mapa de división municipal del estado de Jalisco y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins por Municipio (Cuadro 5-35). Se observa que dos Municipios presentan las categorías de: No apta, Marginal, Apta y Moderadamente apta, y solo uno de ellos reporta plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins. En dos Municipios presentan las categorías Marginal, Apta y Moderadamente apta, y los dos reportan plantaciones de este cultivar de mango; solo el municipio de Cihuatlan presenta las categorías: Apta y Moderadamente apta, que también presenta plantaciones de mango. De 47 Municipios que presentan las categorías: Apta, Marginal y No apta, dos reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins y nueve reportan plantaciones de otros cultivares de mango; existen 28 Municipios que incluyen en sus territorio las categorías Marginal y No apta, pero no reportan cultivo de mango. En 43 Municipios que incluyen la categoría No apta, tampoco reportan cultivo de mango; en total en el estado de Jalisco se reportan seis Municipios con plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins y nueve con otros cultivares.

Cuadro 5-35. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Jalisco.

No apta, Marginal, Apta y Moderadamente apta	Marginal, Apta y Moderadamente apta	Apta y Moderadamente apta
Cabo Corrientes	La Huerta <sup>+</sup>	Cihuatlán <sup>+</sup>
Tomatlán <sup>+</sup>	Puerto Vallarta <sup>+</sup>	

<sup>+</sup>Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-35. Continuación...

No apta y Marginal		No apta	No apta, Marginal y apta	
Acatic	Arandas	San Julián	Amatitán <sup>++</sup>	San Martín de Bolaños
Acatlán de Juárez	Atemajac de Brizuela	San Miguel el Alto	Ameca	San Sebastián del Oeste
Ahualulco de Mercado	Atotonilco el Alto	Santa María de los Ángeles	Autlán de Navarro <sup>++</sup>	Santa María del Oro
Amacueca	Ayotlán	Teocaltiche	Ayutla	Talpa de Allende
Atengo	Cañadas de Obregón	Tizapán el Alto	Bolaños	Tamazula de Gordiano
Atenguillo	Chapala	Tlajomulco de Zúñiga	Casimiro Castillo <sup>+</sup>	Tecalitlán
Atoyac	Colotlán	Tlaquepaque	Chimaltitán	Tenamaxtlán
Cocula	Concepción de Buenos Aires	Tototlán	Chiquilistlán	Tequila <sup>++</sup>
Cuquío	Cuautla	Tuxcueca	Cuautitlán de García Barragán	Tolimán <sup>++</sup>
EL Arenal	Degollado	Unión de San Antonio	Ejutla	Tonaya
Gómez Farías	El Salto	Valle de Guadalupe	El Grullo	Tonila
Magdalena	Huejúcar	Villa Hidalgo	El Limón <sup>++</sup>	Tuxcacuesco
San Juanito de Escobedo	Ixtlahuacán de los Membrillos	Yahualica de González Gallo	Etzatlán	Tuxpan
San Martín Hidalgo	Jalostotitlán	Zapotlán del Rey	Guachinango	Unión de Tula
Sayula	Jamay	Zapotlán el Grande	Guadalajara	Villa Guerrero
Tala	Jesús María		Hostotipaquillo <sup>++</sup>	Villa Purificación <sup>+</sup>
Tapalpa	Jocotepec		Huejuquilla el Alto	Zapopan <sup>++</sup>
Techaluta de Montenegro	Juanacatlán		Ixtlahuacán del Río <sup>++</sup>	Zapotitlán de Vadillo
Tecolotlán	La Barca		Jilotlán de los Dolores	Zapotlanejo
Teocuitatlán de Corona	La Manzanilla de la Paz		Juchitlán	
Tepatitlán de Morelos	Lagos de Moreno		Mascota	
Teuchitlán	Mazamitla		Mezquitic	
Tonalá	Mexticacán		Mixtlán	
Totatiche	Ocotlán		Pihuamo	
Valle de Juárez	Ojuelos de Jalisco		Quitupan	
Villa Corona	Poncitlán		San Cristóbal de la Barranca <sup>++</sup>	
Zacoalco de Torres	San Diego de Alejandría		San Gabriel	
Zapotiltic	San Juan de los Lagos		San Marcos	

\*Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins.

<sup>++</sup> Municipios productores de otros cultivares de mango

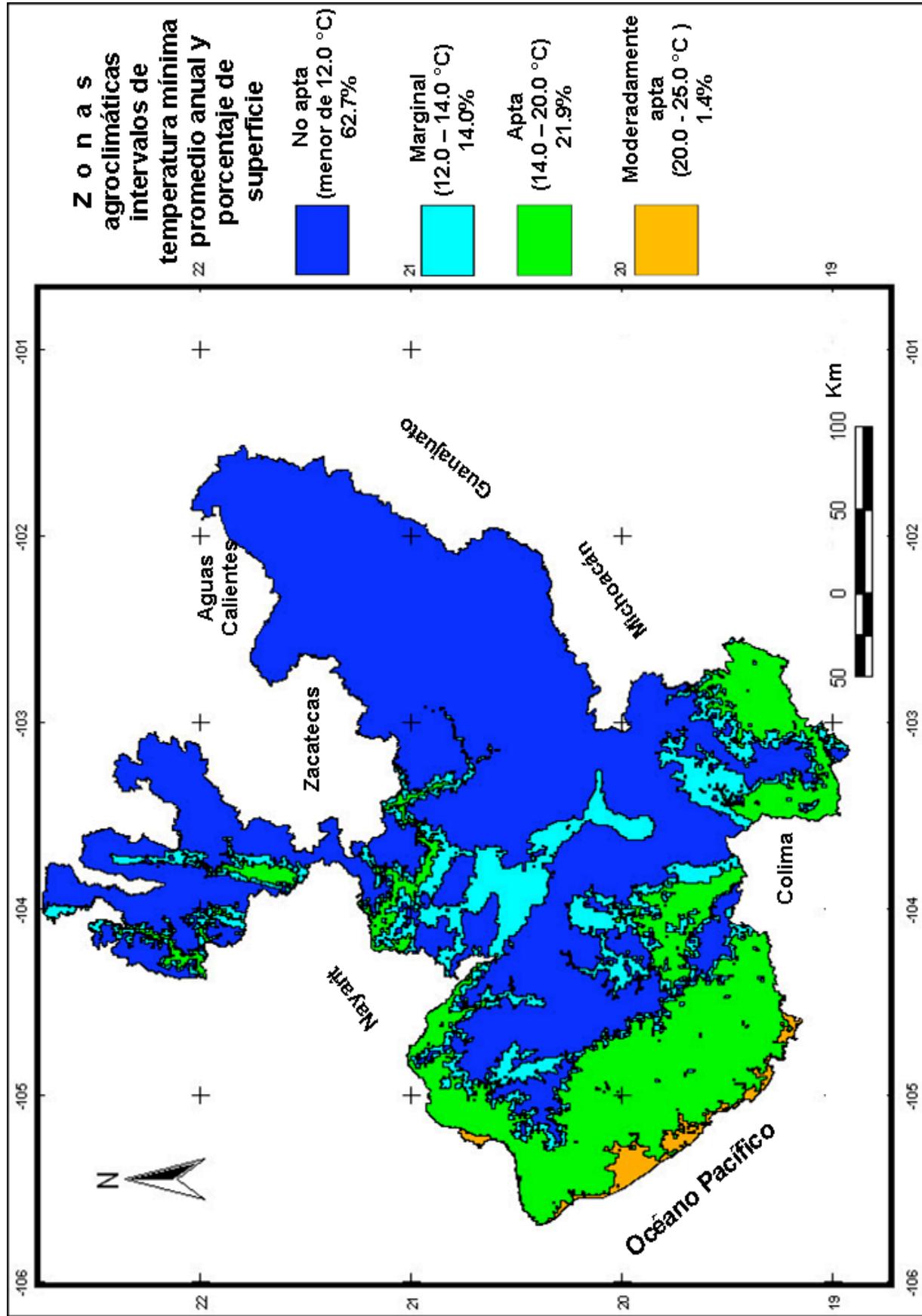


Figura 5-23. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Jalisco, México.

### 5.4.3.7. Estado de Nayarit

En la zonificación agroclimática del estado de Nayarit (Cuadro 5-36, Figura 5-24) se observa que las regiones geográficas con condiciones agroclimáticas en la categoría de Apta ocupa 63.09% de la superficie del Estado (1 742 616 ha); la categoría Marginal ocupa 15.24% de la superficie del Estado (420 903 ha); la categoría agroclimática No apta ocupa 21.67% de la superficie del Estado (598 581 ha); la categoría Moderadamente apta para producir mango cultivar Tommy Atkins no se presenta en el estado de Nayarit.

Cuadro 5-36. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Nayarit.

Zona Agroclimática	Intervalo promedio anual de temperatura mínima (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 12.0	No apta	598 581	21.67
2	12.0 - 14.0	Marginal	420 903	15.24
3	14.0 - 20.0	Apta	1 742 616	63.09
4	> 20.0	Moderadamente apta	0	0.00
T o t a l			2 762 100	100.00

Las zonas agroclimáticas encontradas para el estado de Nayarit se caracterizan de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se encuentra distribuida desde el nivel del mar hasta los lomeríos y las estribaciones de las montañas del Estado, con alturas que van de 0 a 1000 msnm; con temperatura mínima anual entre 14 y 20 °C un promedio de 17 °C y temperatura media anual entre 21 y 27 °C; en esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_0$ ,  $Aw_1$ ,  $Aw_2$  y en menor proporción se presentan el tipo climático Am (CONABIO, 1998)

La zona agroclimática Moderadamente apta, no se presenta en este Estado, debido a que, a nivel del mar no se presenta temperatura mínima anual superior a 20 °C y temperatura media anual superior a 27 °C.

Zona agroclimática Marginal. Se encuentra distribuida en las partes altas de las sierras del Estado, con alturas de 1000 a 1375 msnm; con temperatura mínima anual entre 12 y 14 °C y temperatura media anual entre 19 y 21 °C; en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): (A)C(w<sub>1</sub>) y (A)C(w<sub>2</sub>) (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática No apta. Se encuentra distribuida en las partes más altas de las zonas montañosas del Estado, con alturas superiores a los 1375 msnm; temperatura mínima anual inferiores a 12 °C y temperatura media anual inferior a 19 °C, en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): (A)C(w<sub>1</sub>) y (A)C(w<sub>2</sub>) y en menor proporción se encuentran los tipos climáticos: C(w<sub>1</sub>) y C(w<sub>2</sub>) (CONABIO, 1998).

El mapa de regiones de aptitud agroclimática (Figura 5-24) se sobrepuso con el mapa de división municipal del estado de Nayarit y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins por Municipio (Cuadro 5-36); se observan tres Municipios presentan que en su totalidad la categoría Apta, los tres reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins; de los cuatro Municipios que presentan las categorías Marginal y Apta, los cuatro reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins; 13 Municipios presentan categorías: Apta, Marginal y No apta, de los cuales tres reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-37. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Nayarit.

No apta, Marginal y Apta		Marginal y Apta	Apta
Acaponeta <sup>+</sup>	Jala	Bahía de Banderas <sup>+</sup>	Santiago Ixcuintla <sup>+</sup>
Ahuacatlán	La Yesca	Rosamorada <sup>+</sup>	Tecuala <sup>+</sup>
Amatlán de Cañas	San Pedro Lagunillas	Ruíz <sup>+</sup>	Tuxpan <sup>+</sup>
Compostela <sup>+</sup>	Santa María del Oro	San Blas <sup>+</sup>	
Del Nayar	Tepic <sup>+</sup>		
Huajicori	Xalisco		
Ixtlán del Río			

<sup>+</sup>Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins.

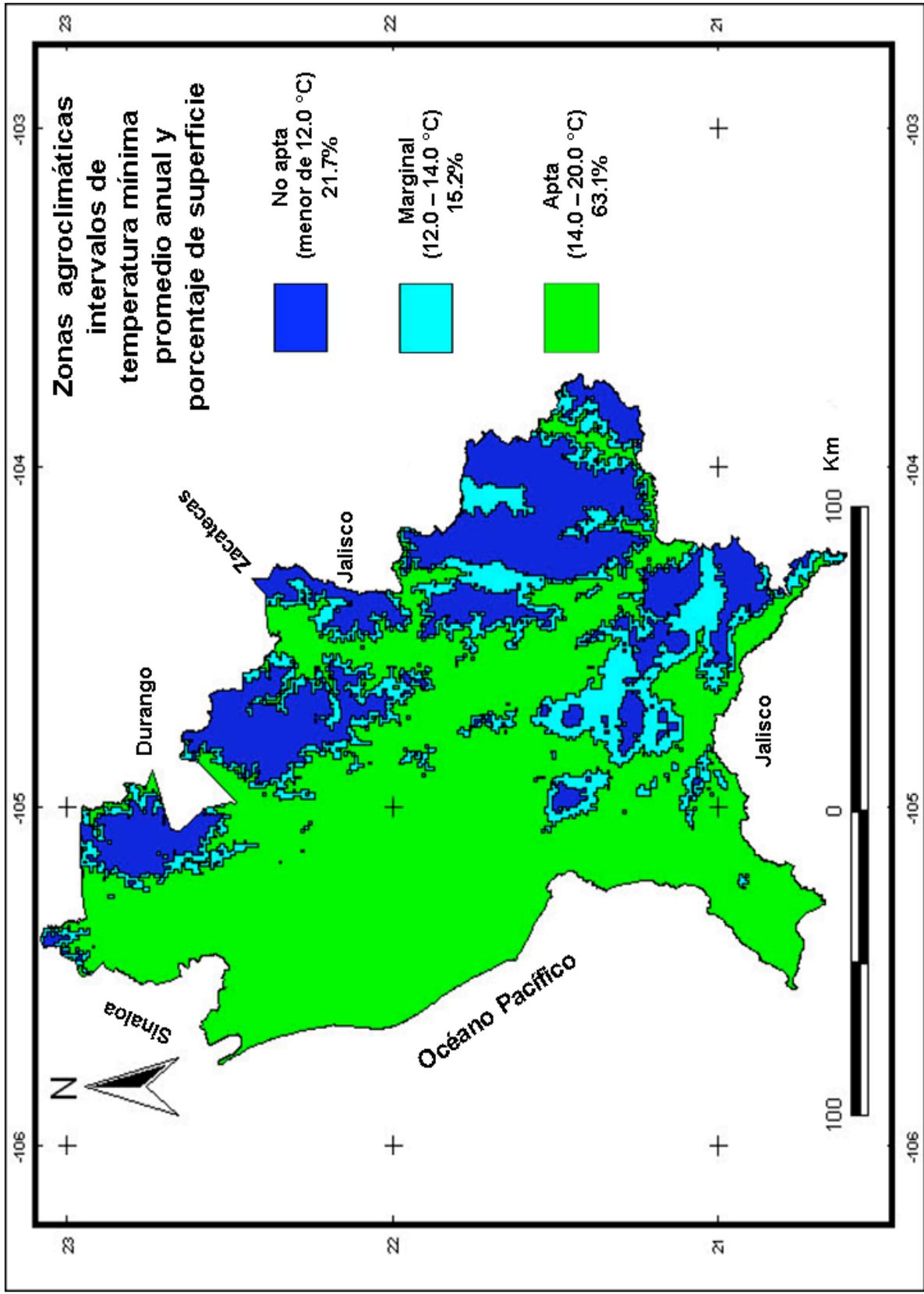


Figura 5-24. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Nayarit, México.

#### 5.4.3.8. Estado de Sinaloa

Para el estado de Sinaloa (Cuadro 5-38, Figura 5-25) se observa que la categoría agroclimática Apta ocupa 83.88% de la superficie del Estado (4 872 589 ha); la categoría Marginal ocupa 8.60% de la superficie del Estado (499 543 ha); la categoría agroclimática No apta ocupa 7.52 % de la superficie del Estado (437 068 ha); en este Estado no se presenta la categoría Moderadamente apta para producir mango cultivar Tommy Atkins.

Cuadro 5-38. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Sinaloa.

Zona Agroclimática	Intervalo de temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 12.0	No apta	437 068	7.52
2	12.0 - 14.0	Marginal	499 543	8.60
3	14.0 - 20.0	Apta	4 872 589	83.88
4	> 20.0	Moderadamente apta	0	0.00
T o t a l			5 809 200	100.00

Las zonas agroclimáticas encontradas para el estado de Sinaloa se caracterizan de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se encuentra distribuida desde el nivel del mar, lomeríos y hasta las estribaciones de las montañas del Estado, con alturas que van de 0 a 675 msnm; con temperatura mínima anual entre 14 y 20 °C un promedio de 17 °C y con una temperatura media anual entre 21 y 27 °C; en esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): BW(h')w, BS<sub>0</sub>(h')w, y BS<sub>1</sub>(h')w y en menor proporción se presentan los tipos climáticos: Aw<sub>0</sub>, Aw<sub>1</sub>, (CONABIO,1998).

La zona agroclimática Moderadamente apta, no se presenta en este Estado debido a que a nivel del mar no se presenta temperatura mínima anual superior a 20 °C y temperatura media anual superior a 27 °C.

Zona agroclimática Marginal. Se encuentra en las partes altas de las montañas del Estado, con alturas de 675 a 1050 msnm; con temperatura mínima anual entre 12 y 14 °C y,

temperatura media anual entre 19 y 21 °C; en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): (A)C(w<sub>0</sub>) y (A)C(w<sub>2</sub>) y en muy pequeña proporción se presentan el tipo climático: Aw<sub>0</sub> (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática No apta. Se encuentra distribuida en las partes más altas de las zonas montañosas del Estado, con alturas superiores a los 1050 msnm; con temperatura mínima anual inferior a 12 °C y temperatura media anual inferior a 19 °C; en la mayor parte de esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): (A) C(w<sub>2</sub>) y en menor proporción el tipo climático C(w<sub>2</sub>) (CONABIO, 1998).

El mapa de regiones de aptitud agroclimática (Figura 5-25) se sobrepuso con el mapa de división municipal del estado de Sinaloa y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins por Municipio (Cuadro 5-37); se observa que de cuatro Municipios que presentan en la totalidad de su territorio la categoría Apta, tres reportan plantaciones de mango en distintos cultivares ; dos Municipios que presentan las categorías Apta y Marginal y uno con la categoría No apta, en este caso los tres Municipios no reportan plantaciones de mango; 11 Municipios que presentan categorías: Apta, Marginal y No apta, de los cuales tres reportan cultivo de mango en distintos cultivares.

Cuadro 5-39. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Sinaloa.

No apta, Marginal y Apta	Apta	Marginal y Apta	No Apta
Badiraguato Culiacán <sup>+</sup> Rosario	Ahome <sup>+</sup>	El Fuerte	Navolato
Choix Elota <sup>+</sup> San Ignacio	Angostura	Escuinapa	
Concordia Mazatlán <sup>+</sup> Sinaloa	Guasave <sup>+</sup>		
Cosalá Mocerito	Salvador Alvarado <sup>+</sup>		

<sup>+</sup>Municipios productores de mango de distintos cultivares

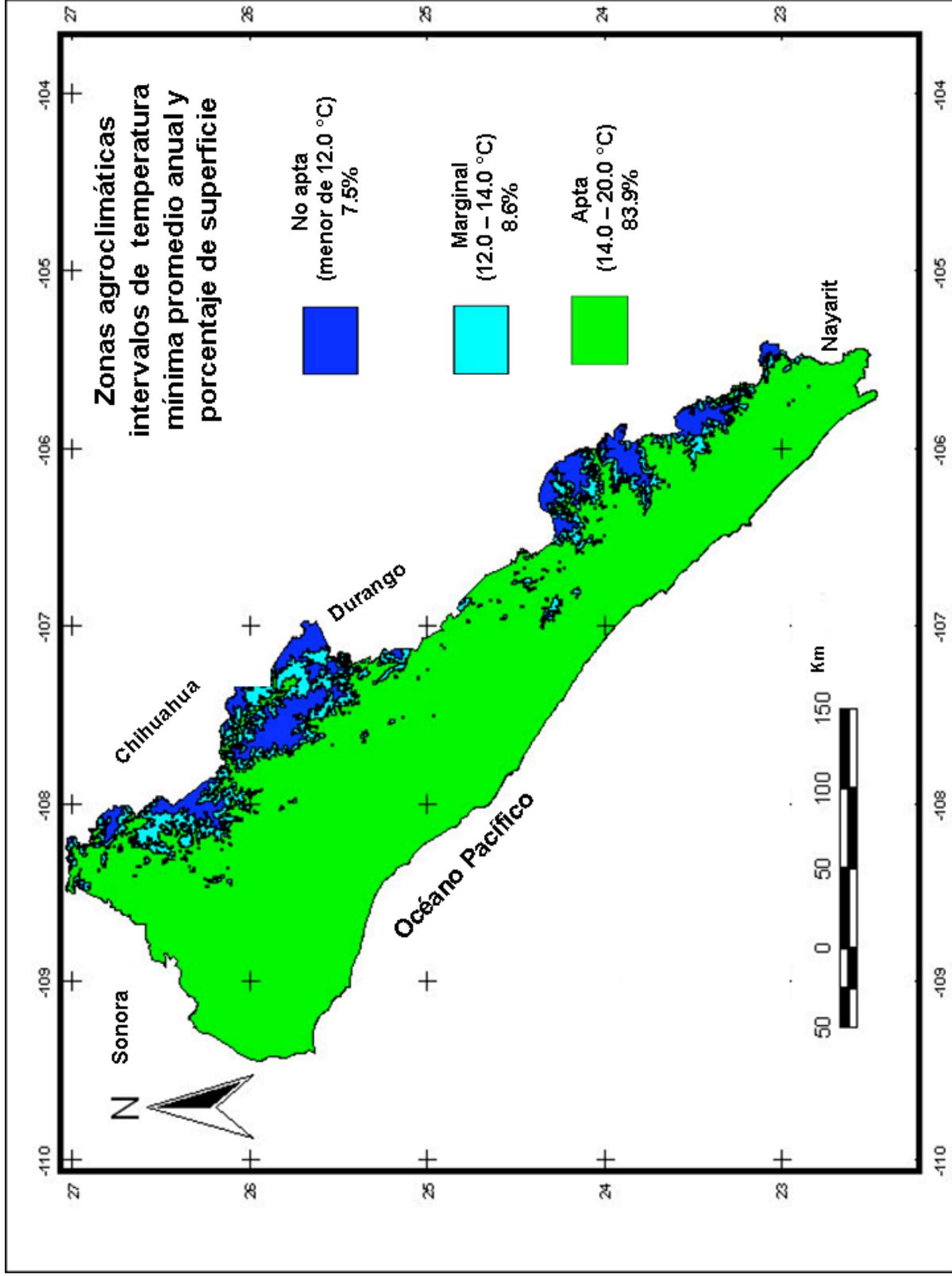


Figura 5-25. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Sinaloa, México.

#### 5.4.3.9. Estado de Tabasco

Para el estado de Tabasco (Cuadro 5-40, Figura 5-26) se aprecia que la categoría agroclimática Apta ocupa 2.84% de la superficie del Estado (70 127 ha), la categoría Moderadamente apta ocupa 97.16% de la superficie del Estado (2 395 973 ha).

En este Estado productor de mango no se presentan las categorías: Marginal y No apta, debido a que las alturas sobre el nivel del mar no superan los 1150 m, por lo que no se presentan las temperaturas mínimas anuales, menor de 14 °C

Cuadro 5-40. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Tabasco.

Zona Agroclimática	Intervalo de temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 12.0	No apta	0	0.00
2	12.0 - 14.0	Marginal	0	0.00
3	14.0 - 20.0	Apta	70 127	2.84
4	> 20.0	Moderadamente apta	2 395 973	97.16
T o t a l			2 466 100	100.00

Las zonas agroclimáticas encontradas para el estado de Tabasco se caracterizan de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se encuentra en lomeríos y estribaciones de las montañas del Estado, con alturas de 200 a 1150 msnm; con temperatura mínima anual entre 14 y 20 °C un promedio de 17 °C y temperatura media anual de 21 a 27 °C en esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): Am y Af (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Moderadamente apta. Se encuentra distribuida en las partes bajas, en la planicie costera del Golfo de México, con alturas de 0 a 200 msnm; con temperatura mínima anual superior a los 20 °C y temperatura media anual superior a 27 °C; en esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973): Am (f) y A(f) y en menor proporción se presenta el tipo climático Aw<sub>2</sub>(X') (CONABIO, 1998).

El mapa de regiones de aptitud agroclimática (Figura 5-26) se superpuso con el mapa de división municipal del estado de Tabasco y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins por Municipio (Cuadro 5-41); se observan 12 Municipios que presentan la categoría: Moderadamente apta, de los cuales, nueve reportan cultivo de mango de distintos cultivares; cinco Municipios que presentan las categorías Apta y Moderadamente apta, de los cuales cuatro Municipios reportan cultivo de mango en distintos cultivares.

Cuadro 5-41. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Tabasco.

Moderadamente apta	Apta y Moderadamente apta
Balancán <sup>+</sup>	Huimanguillo <sup>+</sup>
Centla <sup>+</sup>	Macuspana <sup>+</sup>
Centro	Tacotalpa <sup>+</sup>
Comalcalco	Teapa
Cárdenas <sup>+</sup>	Tenosique <sup>+</sup>
Cunduacán <sup>+</sup>	
Jalapa <sup>+</sup>	
Jalpa de Méndez <sup>+</sup>	
Jonuta <sup>+</sup>	
Nacajuca	
Paraíso <sup>+</sup>	
Emiliano Zapata <sup>+</sup>	

<sup>+</sup> Municipios productores de mango de distintos cultivares

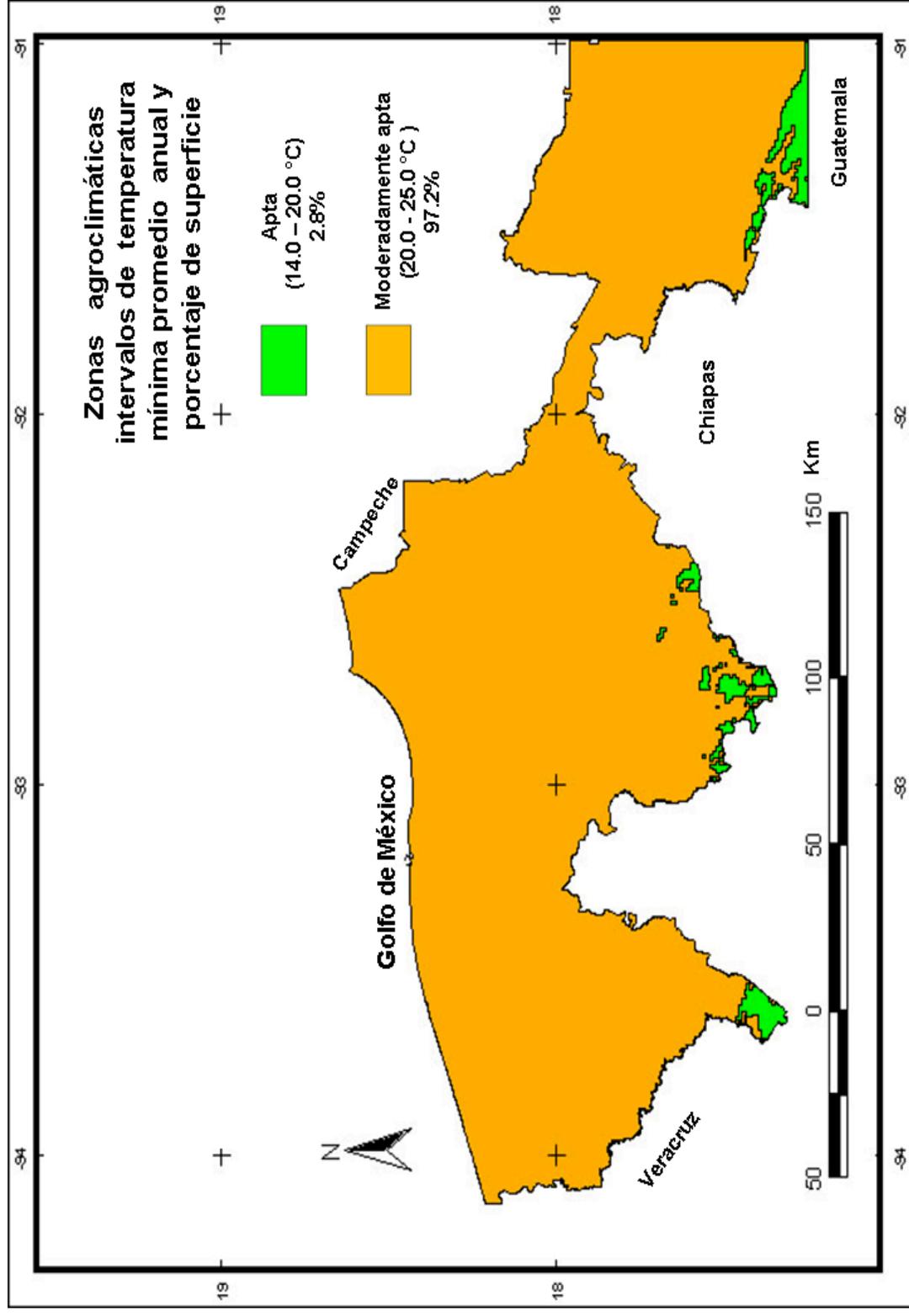


Figura 5-26. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Tabasco, México.

### 5.4.3.10. Estado de Campeche

En la zonificación agroclimática del estado de Campeche (Cuadro 5-42, Figura 5-27) se observa que categoría de Apta ocupa 20.67% de la superficie del Estado (1 067 409 ha); la categoría Moderadamente apta ocupa 79.33% de la superficie del Estado (4 095 891 ha). En este Estado no se presentan las categorías Marginal y No apta para producir mango cultivar Tommy Atkins, debido a que no presenta zonas altas.

Cuadro 5-42. Zonas agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en función de la temperatura mínima promedio anual, grado de aptitud, superficie y porcentaje de la superficie en el estado de Campeche.

Zona Agroclimática	Intervalo de temperatura mínima promedio anual (°C)	Grado de aptitud	Superficie ( ha )	(%) de superficie del Estado
1	< 12.0	No apta	0	0.00
2	12.0 - 14.0	Marginal	0	0.00
3	14.0 - 20.0	Apta	1 067 409	20.67
4	> 20.0	Moderadamente apta	4 095 891	79.33
		T o t a l	5 163 300	100.00

Las zonas agroclimáticas encontradas para el estado de Campeche se caracterizan de la siguiente manera:

Zona agroclimática Apta. Se encuentra distribuida en lomeríos y estribaciones de las montañas del Estado, con alturas de 200 a 1150 msnm, con temperatura mínima anual comprendida entre 14 y 20 °C un promedio de 17 °C, con una temperatura media anual entre 21 y 27 °C; en esta zona agroclimática predomina el siguiente tipo de clima según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_1(x')$  y en menor proporción se presentan los tipos climáticos:  $Aw_0$  y  $Aw_1$  (CONABIO, 1998).

Zona agroclimática Moderadamente apta. Se encuentra distribuida en las partes bajas, en la planicie costera del Golfo de México, con alturas de 0 a 200 msnm; con temperatura mínima anual superior a los 20 °C y temperatura media superior a 27 °C; en esta zona agroclimática predominan los siguientes tipos de climas según Köppen, modificado por García (1973):  $Aw_0$ ,  $Aw_1$ , y  $Aw_2$ , (CONABIO, 1998).

En este Estado productor de mango no se presentan las categorías: Marginal y No apta, debido a que las alturas sobre el nivel del mar no superan los 1150 m, y por tanto no se presentan las temperaturas mínimas anuales, menor de 14 °C.

El mapa de zonas de aptitud agroclimática (Figura 5-27) se sobrepuso con el mapa de división municipal del estado de Campeche y se obtuvo el grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins por Municipio (Cuadro 5-43); se observan cinco Municipios que presentan la categoría Moderadamente Apta, de los cuales, tres reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins y dos reportan cultivo de mango de distintos cultivares; de seis Municipios que presentan las categorías Apta y Moderadamente apta, tres reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins y dos reportan plantaciones de mango de diversos cultivares. En total en el estado de Campeche se reportan plantaciones de mango cultivar Tommy Atkins en cinco Municipios y en cuatro se reportan plantaciones de mango de distintos cultivares. Del total de 11 Municipios del Estado, solo uno no reporta el cultivo de mango.

Cuadro 5-43. Grado de aptitud agroclimática para producir mango cultivar Tommy Atkins en los Municipios del estado de Campeche.

Apta y Moderadamente apta	Moderadamente apta
Calakmul	Calkiní <sup>+</sup>
Campeche <sup>+</sup>	Carmen <sup>++</sup>
Candelaria <sup>++</sup>	Hecelchakán <sup>+</sup>
Champotón <sup>+</sup>	Palizada <sup>++</sup>
Escárcega <sup>++</sup>	Tenabo <sup>+</sup>
Hopelchén <sup>+</sup>	

<sup>+</sup>Municipios productores de mango cultivar Tommy Atkins.  
<sup>++</sup> Municipios productores de mango de diversos cultivares.

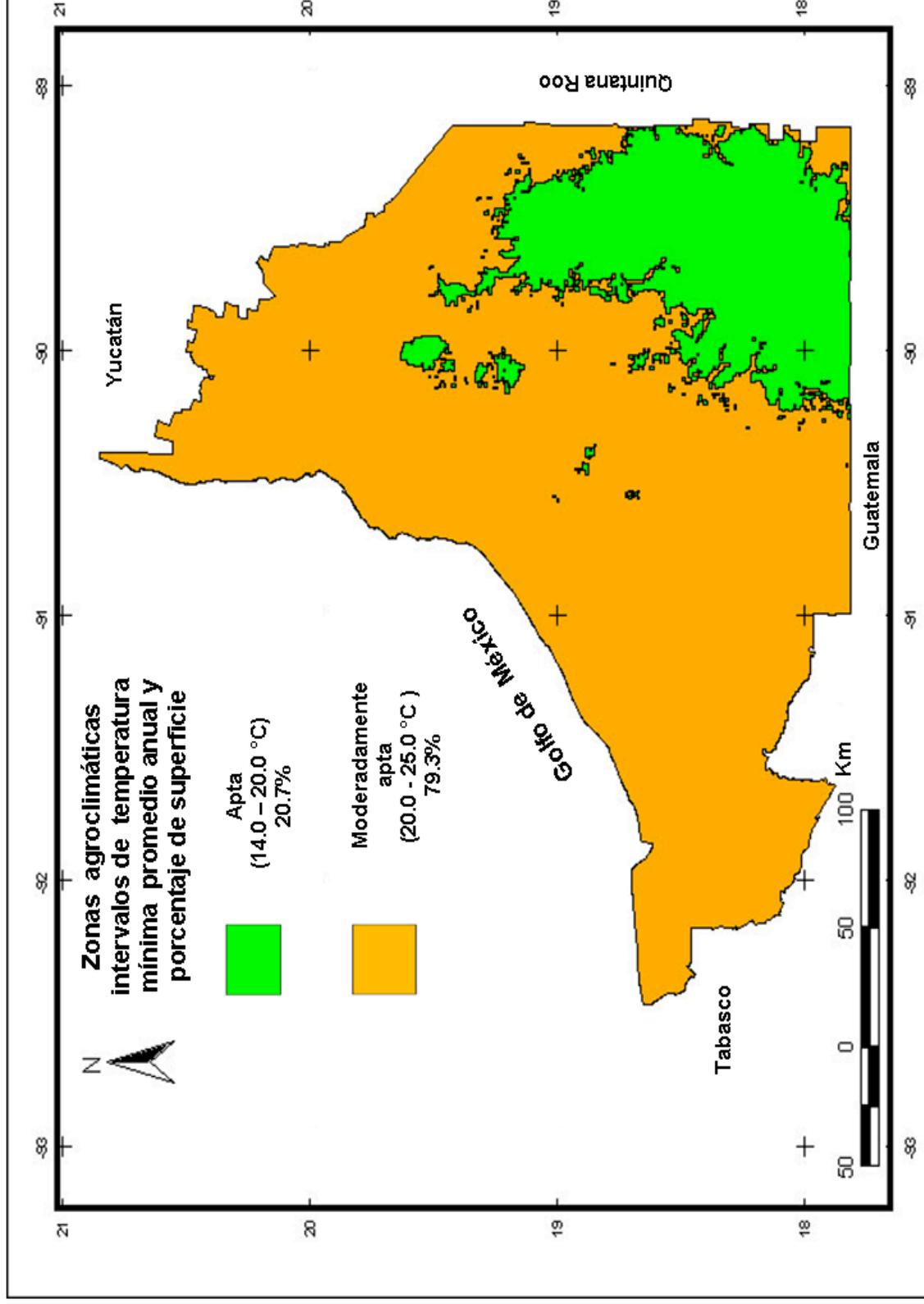


Figura 5-27. Regiones agroclimáticas para producir mango cultivar Tommy Atkins en el estado de Campeche, México.

#### 5.4.4. Aspectos relevantes de los resultados

Ante la falta de información de algunas variables se generaron algunos modelos empíricos, tales como el generado para estimar la evaporación media mensual en el estado de Veracruz, así como, los modelos lineales que relacionan la altura sobre el nivel del mar con la temperatura mínima anual y ésta con la temperatura media anual; estos modelos generados para todas las zonas productoras, presentan un buen ajuste (coeficiente de determinación ( $r^2$ )  $>0.8$ ). Las variables analizadas sirvieron para estimar datos climáticos, que definieron los límites de las categorías de aptitud agroclimática.

En el presente trabajo con el ACP se definió como índice agroclimático la temperatura mínima promedio anual, como un vector que presenta mayor grado de asociación con el primer componente principal en las localidades productoras de los tres cultivares de mango (Manila, Ataulfo y Tommy Atkins). Este índice representa un mayor porcentaje de la variación de las condiciones climáticas entre las localidades productoras de mango. Además cumple con lo señalado por González (1993), es decir, que los elementos seleccionados para realizar una zonificación deben reunir las siguientes características: ser cartografiables, ser deducibles directamente a partir de la información existente o mediante técnicas rápidas, y admitir una definición sencilla. Incluso coincide con lo reportado por diversos autores, al indicar que la temperatura es una de las variables responsables de activar mecanismos hormonales implicados en el proceso de floración, debido a que, para que inicie la floración del mango se requieren temperaturas diurnas de 19 °C y nocturnas de 13 °C durante siete semanas (Mata y Mosqueda, 1998).

También mediante la gráfica de dispersión proporcionada por el ACP se obtuvo una agrupación de localidades con agroclimas similares, que para los tres cultivares estudiados se definieron dos grupos con diferente aportación de temperaturas bajas. Donde en los tres cultivares, el grupo con menor temperatura mínima anual presentó mejores rendimientos promedios, que el grupo con temperaturas mínimas más elevadas.

Como el índice agroclimático es la temperatura mínima promedio anual y los valores de temperaturas cardinales de crecimiento en temperaturas medias anuales, para convertirlos mediante regresión lineal simple se generó un modelo empírico que relaciona estas dos variables, de tal manera que se obtienen los puntos cardinales de temperatura mínima anual en función de la temperatura media anual. Para el cultivar Manila se utilizaron datos del estado de Veracruz, para el cultivar Ataulfo los datos del estado de Chiapas y para el cultivar Tommy

Atkins se obtuvo un modelo con los datos de los diez Estados productores de este cultivar. En todos los casos se obtuvieron valores altos del coeficiente de determinación, de esta manera al sustituir en el modelo los valores de las temperaturas cardinales para el cultivo de mango se obtuvieron los límites de las categorías de aptitud agroclimática para cada Estado y cultivar.

La precipitación, no se consideró para definir zonas agroclimáticas, porque de acuerdo al ACP ésta no mostró variabilidad entre las zonas productoras estudiadas.

La zonificación agroclimática que se realizó en este trabajo se relacionó con la altura sobre el nivel del mar (Cuadros 6-2 y 6-3), donde se observa que para los cultivares de Manila en Veracruz, Ataulfo en Chiapas y Tommy Atkins en los estados de Oaxaca, Tabasco y Campeche, presentan similar altura sobre el nivel del mar para la categoría Apta.

En Veracruz el mango cultivar Manila, presenta altitud relativamente más baja para los límites de las categorías Marginal y No apta. Para el cultivar Tommy Atkins, en los Estados productores de la región costera del Pacífico, los límites de las categorías de adaptabilidad presentan cierta diferencia entre ellos con respecto a la altura sobre el nivel del mar, debido probablemente a la variación del gradiente altotérmico de los modelos empíricos encontrados y a la diferencia de latitud, factor que afecta las condiciones térmicas. Para el estado de Jalisco en la zona Apta para producir mango cultivar Tommy Atkins, el límite inferior disminuye hasta una altitud de 50 m y para los estados de Nayarit y Sinaloa hasta el nivel del mar; el límite superior se ubica entre los 675 y 1480 msnm. Mientras que para el límite superior de la categoría agroclimática Marginal e inferior de la No apta en los tres cultivares estudiados, los valores de altitud varían desde 1050 hasta 1830, y una altitud promedio de 1470 m, lo cual concuerda con Hayes (1970) quien menciona que en México, India y otros países el mango prospera hasta altitudes de alrededor de 1500 m.

## **CAPÍTULO VI**

### **DISCUSIÓN**

En los trabajos de zonificación agroclimática, la obtención y disponibilidad de información climatológica sigue siendo uno de los principales problemas, así como, la falta de información de rendimiento y de la respuesta fenológica de los cultivos a las condiciones climatológicas. En el mejor de los casos, se cuenta con información de la estación climatológica más cercana, pero en muy pocos, se puede contar con información de la respuesta de una especie en particular a las variables climáticas, obtenida en la zona a nivel de cultivar. Generalmente, esta información procede de referencias a nivel de especie y de regiones subtropicales o latitudes medias, tal es el caso del mango, una especie frutícola de origen tropical en la que, aunque se tienen “clones”, no se cuenta con información precisa de su fenología, temperaturas cardinales y demás requerimientos bioclimáticos a nivel de cultivares, tanto para regiones tropicales, como subtropicales. Estos aspectos son determinantes en la definición de zonas potenciales de producción, rendimientos esperados o épocas de producción. El uso de la investigación mediante experimentos para conocer la respuesta en la fenología de las especies frutícolas o sus cultivares, a las variables meteorológicas, es una alternativa que la mayoría de las veces es costosa y se requiere de tiempo.

Otro problema que existe con las estaciones climatológicas, es su correcta ubicación geográfica (latitud, longitud y altitud), que para el caso es causa de deficiencias en la zonificación agroclimática.

En el presente trabajo se realizó una zonificación agroclimática para la especie frutícola de mango en los cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins, mismos que, revisten importancia socioeconómica por su superficie cosechada en los Estados productores y por el destino de la producción.

De acuerdo al Análisis de Componentes Principales (ACP), la varianza explicada con el primer componente principal es superior al 50% para todos los cultivares de mango estudiados, siendo mayor para el cultivar Manila y menor para el Ataulfo, la varianza explicada conjunta de los dos primeros componentes principales, en los tres cultivares estudiados es superior al 70% y el vector con mayor índice asociado al primer componente principal resultó ser la temperatura mínima anual, también en los tres cultivares (Cuadro 6-1), lo anterior indica que, en las regiones productoras de mango estudiadas, la mayor variabilidad climática se expresa por la temperatura mínima anual, y las diferencias de las mismas en adaptabilidad y rendimiento del cultivo de mango,

están directamente influenciadas por el efecto de las temperaturas bajas en el proceso de inducción floral de esta especie y sus cultivares, tal como lo señalan, entre otros los siguientes autores Núñez-Elisea (1994); Núñez-Elisea y Davenport (1994); Shu y Sheen (1987); Wiley (1993); Whiley *et al* (1989), por lo anterior, se definió esta variable climática como índice agroclimático. Para el segundo componente principal la variable climática con mayor índice de asociación fue diferente para cada uno de los cultivares (Cuadro 6-1).

Cuadro 6-1. Resumen del ACP, porcentaje de variación explicada y variable con mayor índice de asociación por cultivar.

Cultivar de Mango	Primer Componente Principal			Segundo Componente Principal			Porcentaje conjunto de varianza explicada por los dos componente
	Valor Característico	Porcentaje de varianza explicada	Vector con mayor índice de asociación	Valor Característico	Porcentaje de varianza explicada	Vector con mayor índice de asociación	
Manila	8.729	72.74	Temperatura mínima anual	1.231	10.26	Precipitación total anual	83.00
Ataulfo	3.568	50.98	Temperatura mínima anual	1.570	22.43	Radiación solar global anual	73.41
Tommy Atkins	6.555	54.63	Temperatura mínima anual	2.081	17.35	Temperatura máxima anual	71.98

Al analizar la zonificación agroclimática de los tres cultivares, de manera general se observa, que el elemento climático que más limita el crecimiento y desarrollo productivo del cultivo es la temperatura, ya que ésta define la velocidad y eficiencia de los procesos metabólicos en los seres vivos. Las temperaturas umbrales y la temperatura base son esenciales para la determinación de las zonas que potencialmente cubren los requerimientos térmicos de crecimiento de una especie. Es decir, la temperatura mínima necesaria para que se presente el crecimiento o temperatura base es de 15 °C ( Whiley *et al*, 1988), la temperatura máxima que tolera la especie es de 40 °C (Mosqueda, 1983) y la temperatura letal es de 50 °C (Parisot, 1988; García, 1992 y Galán, 2000), además para el cultivo de mango se necesita temperaturas bajas para inducir la floración (idóneas entre 10 a 15 °C, Galán, 2000), por lo que, cuando la temperatura mínima anual disminuye a 15 °C limita su crecimiento y desarrollo, volviéndose productivamente Marginal y si la temperatura mínima anual disminuye a valores menores de 15 °C, el cultivo se vuelve improductivo por falta de calor para su crecimiento y desarrollo.

Los intervalos de temperatura mínima anual para los diferentes tipos agroclimáticos es muy similar para los tres cultivares de mango estudiados, el cultivar Tommy Atkins presenta adaptación a mayores intervalos de temperatura media anual (entre 14 y 20 °C) y el cultivar Manila presenta adaptación a menores intervalos de temperatura media anual (entre 15 y 19 °C) como se indica en el Cuadro 6-2.

Cuadro 6-2. Resumen del grado de aptitud agroclimática, altitud (en metros), temperatura mínima promedio anual y temperatura media anual por cultivar en los Estados productores de mango en la República Mexicana.

Tipo Agroclimático	Altitud ( m )	Temperatura mínima promedio anual (°C)	Temperatura media anual (°C)
Cultivar Manila (Estado de Veracruz)			
No apta	> 1300	< 13.0	< 18.8
Marginal	950 - 1300	13.0 - 15.0	18.8 - 20.7
Apta	250 - 950	15.0 - 19.0	20.7 - 24.5
Moderadamente apta	0 - 250	19.0 - 24.0	24.5 - 29.0
Cultivar Ataulfo (Estado de Chiapas)			
No apta	> 1600	< 13.0	< 19.0
Marginal	1200 - 1600	13.0 - 15.0	19.0 - 21.0
Apta	200 - 1200	15.0 - 20.0	21.0 - 26.5
Moderadamente apta	0 - 200	20.0 - 24.0	26.0 - 29.0
Cultivar Tommy Atkins (Oaxaca, Guerrero, Morelos, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Campeche y Tabasco)			
Altitud promedio			
No apta	> 1470	<12.0	< 19.0
Marginal	1120 - 1470	12.0 - 14.0	19.0 - 21.0
Apta	250 - 1120	14.0 - 20.0	21.0 - 27.0
Moderadamente apta	0 - 250	20.0 - 25.0	27.0 - 31.0

En cuanto a la altitud, los estados productores de mango del Pacífico sur, con zonas productoras de bajas latitudes (Chiapas, Oaxaca) y para los estados de la costa del Golfo de México (Campeche, Tabasco y Veracruz) el tipo agroclimático con la categoría Moderadamente apta, se presenta desde el nivel del mar hasta una altitud de los 250 m, en los estados de Michoacán, Guerrero y Morelos esta categoría agroclimática alcanza una altitud de 350 y 430 m. En los Estados del Pacífico centro el límite superior de la categoría Moderadamente apta se sitúa a 50 m de altitud, como en los estados de Colima y Jalisco y en los estados del norte, como

Nayarit y Sinaloa no se presenta esta categoría de aptitud agroclimática (Cuadro 6-3), debido probablemente a la influencia de la latitud en la temperatura mínima promedio anual.

Cuadro 6-3. Aptitud agroclimática por altitud (en metros), por cultivar y por Estado productor de mango en la República Mexicana.

Cultivar	Estado	Grado de aptitud			
		Moderadamente apta	Apta	Marginal	No apta
Manila	Veracruz	0 a 250	250 a 950	950 a 1300	> 1300
Ataulfo	Chiapas	0 a 200	200 a 1200	1200 a 1600	> 1600
Tommy Atkins	Oaxaca	0 a 200	200 a 1250	1250 a 1600	> 1600
Tommy Atkins	Guerrero y Morelos	0 a 430	430 a 1480	1480 a 1830	> 1830
Tommy Atkins	Michoacán	0 a 350	350 a 1250	1250 a 1550	>1550
Tommy Atkins	Colima y Jalisco	0 a 50	50 a 1050	1050 a 1400	>1400
Tommy Atkins	Nayarit	No se presenta	0 a 1000	1000 a 1375	>1375
Tommy Atkins	Sinaloa	No se presenta	0 a 675	675 a 1050	>1050
Tommy Atkins	Tabasco y Campeche	0 a 200	200 a 1150	No se presenta	No se presenta

Con la sobreposición y análisis conjunto del mapa de zonas agroclimáticas de los tres cultivares y Estados productores, con los tipos de climas de la República Mexicana según Köppen modificado por García (1973) que se presentan para cada categoría de aptitud (Cuadro 6-4), se observa que en el caso de mango cultivar Manila la categoría Apta se presenta en mayor proporción en áreas donde predominan tipos de climas: (A)C(w<sub>1</sub>), (A)C(w<sub>2</sub>), (A)C(m), (A)C(m)(f) y (A)Cf, (CONABIO, 1998). Estos anteriores tipos de climas se sobreponen en áreas con muy pequeñas proporción con las categoría de aptitud Marginal y Moderadamente apta, sin embargo, para esta última categoría en el cultivar Manila para el estado de Veracruz, predominan en áreas proporcionalmente mayores, los tipos de climas: A(f), Am(f), Am.

Para los cultivares Ataulfo y Tommy Atkins, en la categoría Apta, en todos los Estados productores, predominan los tipos de clima: Aw<sub>0</sub>, Aw<sub>1</sub>, Aw<sub>2</sub>, Am, Af, BW(h')w, BS<sub>0</sub>(h')w y BS<sub>1</sub>(h')w, que son cálidos subhúmedos, en menor proporción cálidos húmedos en los estados de Oaxaca y Tabasco; cálidos semiáridos en los Estados del Pacífico norte: Jalisco, Nayarit y Sinaloa (Cuadro 6-4).

Cuadro 6-4. Resumen de los tipos climáticos según Köppen modificado por García (1973) y obtenidos de CONABIO (1998), por: cultivar, grado de aptitud y Estado productor de mango en la República Mexicana.

Estado	Apta	Moderadamente apta	Marginal	No apta
Veracruz (Manila)	(A)C(w <sub>1</sub> ), (A)C(w <sub>2</sub> ), (A)C(m), (A)C(m)(f) (A)Cf,	A(f), Am(f), Am, Aw <sub>0</sub> , Aw <sub>1</sub> , Aw <sub>2</sub> , Aw <sub>1</sub> (X'), Aw <sub>2</sub> (X')	(A)C(m)(f), (A)C(m), (A)C(w <sub>1</sub> ), (A)Cf	Cb'(w <sub>2</sub> ) Cb'(m)(f), BS <sub>0</sub> kw BS <sub>1</sub> kw, C(f) C(m)(f), C(m) C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> ) y C(w <sub>0</sub> )
Chiapas (Ataulfo)	A(w <sub>1</sub> ), Aw <sub>2</sub> , Am, Am(f) A(C)(m) y (A)Cf	A(w <sub>2</sub> ), Aw <sub>1</sub> , Am, Am(f), A(f)	(A)C(m)(f), (A)C(m), (A)C(w <sub>1</sub> ), C(W <sub>1</sub> ), C(W <sub>2</sub> )	C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> ), C(m), C(m)(f)
Oaxaca (Tommy)	Aw <sub>0</sub> , A(w <sub>1</sub> ), Aw <sub>2</sub> , Am Af, A(C)(m), (A)Cf y (A)C(w <sub>1</sub> )	Aw <sub>0</sub> , Aw <sub>1</sub> , Am	(A)C(m), (A)C(w <sub>0</sub> ), (A)C(w <sub>1</sub> ), (A)C(w <sub>2</sub> )	C(w <sub>0</sub> ), C(w <sub>1</sub> ) y C(w <sub>2</sub> ), BS <sub>1</sub> kw
Guerrero (Tommy)	Aw <sub>0</sub> , A(w <sub>1</sub> ), Aw <sub>2</sub> , (A)C(w <sub>2</sub> )	Aw <sub>0</sub> , Aw <sub>1</sub>	(A)C(w <sub>0</sub> ), (A)C(w <sub>1</sub> ), (A)C(w <sub>2</sub> ), BS <sub>1</sub> hw, BS <sub>0</sub> hw	C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> )
Morelos (Tommy)	Aw <sub>0</sub> , (A)C(w <sub>0</sub> ), (A)C(w <sub>1</sub> ), BS <sub>1</sub> hw	No se presenta	(A)C(w <sub>1</sub> ), (A)C(w <sub>2</sub> )	Cb'(w <sub>2</sub> ) y C(w <sub>2</sub> )
Michoacán (Tommy)	Aw <sub>0</sub> , A(w <sub>1</sub> ), BS <sub>1</sub> (h')w, (A)C(w <sub>1</sub> )	Aw <sub>0</sub> , BS <sub>1</sub> (h')w, BS <sub>0</sub> (h')w Aw <sub>1</sub> ,	(A)C(w <sub>0</sub> ), (A)C(w <sub>2</sub> ),	C(w <sub>0</sub> ) C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> ), C(m), (A)C(w <sub>0</sub> ), (A)C(w <sub>1</sub> ) (A)C(w <sub>2</sub> )
Colima (Tommy)	Aw <sub>0</sub> , Aw <sub>1</sub> , Aw <sub>2</sub> , (A)C(w <sub>1</sub> )	Aw <sub>0</sub> , BS <sub>1</sub> (h')w	(A)C(w <sub>0</sub> ) (A)C(w <sub>2</sub> ), (A)C(w <sub>1</sub> )	(A)C(w <sub>2</sub> ), C(w <sub>2</sub> ), Cb'(w <sub>2</sub> )
Jalisco (Tommy)	Aw <sub>0</sub> , Aw <sub>1</sub> , Aw <sub>2</sub> , BS <sub>1</sub> (h')w,	BS <sub>1</sub> (h')w	(A)C(w <sub>0</sub> ), (A)C(w <sub>1</sub> ), BS <sub>1</sub> hw	(A)C(w <sub>0</sub> ), (A)C(w <sub>1</sub> ) (A)C(w <sub>2</sub> ), C(w <sub>0</sub> ) C(w <sub>1</sub> ) y C(w <sub>2</sub> )
Nayarit (Tommy)	Aw <sub>0</sub> , Aw <sub>1</sub> , Aw <sub>2</sub> , y Am	No se presenta	(A)C(w <sub>1</sub> ), (A)C(w <sub>2</sub> )	(A)C(w <sub>1</sub> ), (A)C(w <sub>2</sub> ), C(w <sub>1</sub> ) y C(w <sub>2</sub> )
Sinaloa (Tommy)	BW(h')w, BS <sub>0</sub> (h')w y BS <sub>1</sub> (h')w, Aw <sub>0</sub> , Aw <sub>1</sub>	No se presenta	(A)C(w <sub>0</sub> ) y (A)C(w <sub>2</sub> ), Aw <sub>0</sub>	(A)C(w <sub>2</sub> ), C(w <sub>2</sub> )
Tabasco (Tommy)	Am y Af	Am ( f ) y A(f)	No se presenta	No se presenta
Campeche (Tommy)	Aw <sub>1</sub> (X'), Aw <sub>0</sub> y Aw <sub>1</sub> ,	Aw <sub>0</sub> , Aw <sub>1</sub> , y Aw <sub>2</sub>	No se presenta	No se presenta
Resumen	Semicálido húmedo, subhúmedos, semiárido y cálido templado temperatura media anual mayor de 22 °C	Cálidos húmedo, subhúmedo, temperatura media anual entre 18 y 22 °C	Semicálido templado subhúmedo y templado subhúmedo temperatura media anual entre 12 y 18 °C	Templado subhúmedo y templado semifrío temperatura media anual entre 5 y 12 °C

El cultivo de mango se desarrolla mejor en climas que presentan una época seca bien definida, principalmente si dicha época seca, coincide de preferencia con la etapa de floración y fructificación, ya que las lluvias en esta etapa fenológica reduce la polinización y el amarre de frutos, por esta razón se propone como zonas aptas para su cultivo, las calientes con lluvias en verano e invierno seco Aw(w) o bien calientes con régimen de lluvias de monzón e inviernos secos Am(w), pero no se consideran adecuadas aquellas con clima lluvioso todo el año, como sería el caso de los climas Af en México (Reyna 1975, citado por Reyna, 1982).

También las lluvias intensas lavan el polen en tiempos de floración, y los insectos permanecen inactivos, disminuyendo la polinización y la fructificación (Singh, 1960b; Alvim y Kozlowski, 1977). Además la baja humedad relativa puede causar quemaduras en los frutos y la alta causa problemas de enfermedades (Mata y Mosqueda 1998), lo que provoca una fuerte disminución del rendimiento, tales son los casos del estado de Tabasco, algunas regiones del estado de Veracruz y la parte norte de los estados de Chiapas y Oaxaca.

Al realizar la sobreposición de la ubicación geográfica de las estaciones climatológicas utilizadas en el ACP con las zonas de aptitud agroclimática, se observa que para los tres cultivares de mango en 12 Estados productores, de las 91 estaciones en estudio que fueron integradas en alguno de los grupos determinados con el ACP y que se confirmó con las gráficas hidrotermales, el 15% de ellas se ubica en una categoría de zonificación agroclimática diferente.

Lo anterior debido, a que, en la definición de los límites de las categorías de aptitud, se consideraron los valores de temperatura mínima anual promedio de los grupos de localidades y, en algunos casos como en el estado de Veracruz, la dispersión de dichos valores de temperatura mínima anual en las localidades para cada grupo supera los límites de la categoría inmediata inferior o superior. Sin embargo, los valores de rendimientos promedio de mango, si corresponden con la categoría en la cual se ubicaron desde la agrupación inicial de las mismas.

Lo anterior se explica por la utilización de datos promedios de rendimiento de los Municipios y las estaciones climatológicas analizadas son las más cercanas a los mismos en la mayoría de los casos, las parcelas productoras de mango se encuentran dentro del perímetro de los Municipios, pero en zonas con altitudes diferentes a las que presentan las estaciones climatológicas; además que, como ya se mencionó, algunas de éstas no tienen ubicación geográfica precisa.

En la zonificación agroclimática realizada para los estados de Campeche y Tabasco no se presentan las categorías de aptitud agroclimática: Marginal y No apta, debido a que son regiones

de baja altitud con temperatura mínima anual superior a los 14 °C y, en los estados de Nayarit y Sinaloa no se presenta la categoría agroclimática Moderadamente apta, debido a que en estas regiones productoras la temperatura mínima promedio anual, a nivel del mar es inferior a 20 °C. También en el estado de Morelos no se presenta la categoría Moderadamente, porque son zonas con altitud superior a los 430 m donde la temperatura mínima anual es inferior a los 20 °C.

El método de ACP con datos a nivel de promedios mensuales y anuales permitió definir un índice agroclimático que determina la inducción de la floración en el cultivo de mango y mediante este mismo índice se definen diferentes grados de aptitud agroclimática para tres cultivares de mango. Los resultados de la zonificación agroclimática que se obtuvo son válidos porque además de la información climática, se utilizó en concordancia, información de rendimiento promedio de las regiones productoras de mango (Cuadro 6-5)

Cuadro 6-5. Promedios de variables climáticas y rendimiento de las regiones con los diferentes tipos agroclimáticos definidos para la producción de mango en doce Estados de la República Mexicana.

Tipo Agroclimático	Altitud ( m )	T <sub>mínima</sub> <sup>+</sup> (°C)	T <sub>máxima</sub> <sup>++</sup> (°C)	Precipitación anual (mm)	Evaporación anual (mm)	Radiación global (MJm <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )	Rend. (t ha <sup>-1</sup> )
<b>Cultivar Manila (Estado de Veracruz)</b>							
Apta	855	15.2	26.1	2115	1177	18.941	10.2
Moderadamente apta	156	20.2	30.4	1516	1487	19.861	6.6
<b>Cultivar Ataulfo (Estado de Chiapas)</b>							
Apta	367.2	18.6	33.0	1182.0	1755.4	20.3889	9.6
Moderadamente apta	86.5	21.3	34.2	2375.5	1562.9	19.8727	8.0
<b>Cultivar Tommy Atkins (Oaxaca, Guerrero, Morelos, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Campeche y Tabasco)</b>							
Apta	149	18.4	32.4	1067.9	1738.3	20.085	11.2
Moderadamente apta	189	21.4	33.4	1038.0	2028.2	20.651	7.9

<sup>+</sup>T<sub>mínima</sub> = Temperatura mínima promedio anual. <sup>++</sup>T<sub>máxima</sub> = Temperatura máxima promedio anual.  
Rend.= Rendimiento promedio

La zonificación que se obtuvo se considera de tipo deductivo- inductivo:

Deductivo porque se definen índices, que caracteriza el cultivo por sus tipos agroclimáticos, bajo el supuesto de que las regiones geográficas con semejante agroclima, tienen el mismo potencial para el crecimiento, desarrollo, producción y calidad del cultivo, por lo que esos tipos agroclimáticos se ubican en los espacios geográficos que mejor cubren sus requerimientos de clima; e inductivo porque se realizan los análisis con información climática de las áreas productoras de la especie o cultivar frutícola y aunque no se obtiene una función de producción con base a experimentos agrícolas, se consideran datos estadísticos de los rendimientos promedios de las áreas productoras, con un amplio espectro de variación.

Una aportación importante del presente trabajo, es integrar el método estadístico del Análisis de Componentes Principales (ACP) con las gráficas hidrotermales, como una herramienta de zonificación que permitió definir un índice agroclimático que es la base para clasificar zonas con diferente aptitud agroclimática, para tres cultivares de mango, misma que resultó ser consistente en cada región geográfica definida, al hacer la comparación con los datos de rendimiento promedio del cultivo de mango en las regiones productoras estudiadas, por lo que es una herramienta adecuada para realizar zonificaciones.

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES**

- El procedimiento que se utilizó en este trabajo, para determinar zonas agroclimáticas potenciales en la producción de mango (*Mangifera indica* L. cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins) en varios Estados de la República Mexicana, a diferencia de los comúnmente empleados para realizar una zonificación agroclimática, utiliza herramientas matemática/estadísticas mediante la técnica de Análisis de Componentes Principales y apoyado con las gráficas hidro-termales.
- Se obtuvo un índice agroclimático, que resultó ser la temperatura mínima anual, que determina la inducción de la floración en el cultivo de mango, por lo tanto, el rendimiento, fue consistente en todos los Estados, por lo que se reafirma su utilidad en la zonificación de los cultivares de mango.
- En los tres cultivares de mango se definieron dos grupos de localidades, cada uno con agroclimas similares; con base a un índice agroclimático definido (la temperatura mínima anual), fue posible determinar cuatro categorías con diferentes grados de aptitud agroclimática, para el establecimiento y desarrollo de plantaciones de mango (*Mangifera indica* L. cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins).
- La totalidad de la superficie cultivada con mango en los Estados productores de la República Mexicana se localiza en zonas de aptitud agroclimática con categorías: Apta y Moderadamente apta, en zonas con altitud de 0 a 1200 m, ocupando mayor proporción de superficie en zonas con altitudes menores de 350 m.
- La zona agroclimática Apta para el cultivo de mango de los tres cultivares, se presenta en las llanuras costera del Pacífico en los estados de: Oaxaca, Guerrero, Colima y Jalisco con tipos climáticos según Köppen modificado por García (1973), cálidos templados subhúmedos; en los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche los tipos semicálidos húmedos; y, para los estados de Nayarit, Sinaloa y Morelos, además de los cálidos templados también se presentan en los semiáridos cálidos, todos con temperatura media anual entre 18 °C y 22 °C.

- El grado de aptitud agroclimática de un lugar, para el desarrollo del cultivo de mango, puede estimarse con el conocimiento de la altitud y los modelos empíricos que relaciona ésta con la temperatura mínima anual, generados para cada Estado.
- El ACP permitió definir y realizar la cartografía en doce Estados productores de mango de la República Mexicana, de cuatro diferentes categorías agroclimáticas para la producción en los cultivares: Manila, Ataulfo y Tommy Atkins.

## CAPÍTULO VIII

### LITERATURA CITADA

- Almenara-Barrios, J. y García-Ortega C. 2002. Creación de índices de gestión hospitalaria mediante análisis de componentes principales. *Rev. Salud Pública México*. 44(6): 533-40.
- Alvim, T. P. & Kozlowski, T.T. 1977. *Mango. Ecophysiology of tropical Crops*. Academia. Press, New York, San Francisco, London, pp. 479-485.
- Arteaga R., R. 1988. Aptitud Agroclimática del área de Chapingo, Méx. Con respecto al maíz (*Zea mays* L) (H-30). Tesis de Maestro en Ciencias. Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 106 p.
- ASERCA. 2004. Padrón de productores de mango en la República Mexicana. [CD\_ROM computer file]. Elaborado por la SAGARPA.
- Avila-Resendiz, C. 2002. Manejo de la floración de mango. Tema del libro en CD-ROM. El mango su cultivo fitosanidad y comercialización. Editado por el Instituto Tecnológico Agropecuario No. 25. Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. Estado de Guerrero, México, pp. 49-55.
- Azzi, G. 1959. *Ecología Agraria*. Barcelona, Salvat. 449 p.
- Bárceñas A., P. 2002. Determinación de zonas potenciales para el establecimiento de plantaciones de Pitahaya (*Hylocereus spp.*). Tesis Doctoral. Programa en Hidrociencias. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 144 p.
- Batten, D. J. & C. A. McConchie. 1995. Floral induction in growing buds of lychee (*Litchi chinensis*) and mango (*Mangifera indica*). *Aust. J. Plant Physiol.* 22: 783-791.
- Brajcich G., P. 2005. Cadena productiva mango en México: Situación actual y perspectivas. Ponencia presentada por el Director General del INIFAP, en el Primer encuentro Nacional de productores de mango. Marzo del 2005 en Acapulco Guerrero. 15 p. CD-ROM. Elaborado por el Concejo Estatal del Mango (CEMANGO) Guerrero.
- Boshell, F. & Neild, R. 1975. A computer statistical procedure to determine agroclimatic analogues for tea production in Colombia. *Agricultural Meteorology* 15: 221-230.
- Brunini, O. e R. R. Alfonsi. 1980. Aptidao ecologica para a mangueira. En: L. C. Donadio (Ed). *Anais do I Simpósio Brasileiro sobre a cultura da mangueira*. 24-28 de noviembre de 1980. Jaboticabal, pp. 23-33.
- Burgos J., J. 1960. Clasificaciones Climáticas y su aplicación a los problemas agrícolas. Informe final del Seminario Interregional en Agrometeorología Tropical Maracay. Venezuela. *Ed. Serv. de Meteorología y Comunicación de Venezuela*, pp. 146 -159.
- Campbell, C. W., Knight, R. J. & N.L. Zareski. 1977. Freeze damage to tropical fruits in Southern Florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 90: 245-257.

- Campos A., D. F. 1995. Guías para la elaboración de estudios agroclimáticos de cultivos. (Propuesta Normativa). Ingeniería Hidráulica en México. Vol. X, Num. 1. Enero- abril, pp. 15-33.
- \_\_\_\_\_ 2005. Agroclimatología cuantitativa de cultivos. Editorial Trillas, México, D.F., México. 320 p.
- CNA. 2006. Normales Climatológicas (1961-1990). Comisión Nacional del Agua [<http://smn.cna.gob.mx/>: consultado el 5 de febrero 2006].
- CONABIO. 1998. "Climas (Clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García)". Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Escala 1:1 000 000. México. (Digitalizado) [CD\_ROM computer file].
- Corbineau, F., Kante, M. & Come, D. 1987. Seed germination and seedling development in mango (*Mangifera indica* L. ). *Fruits*. 42 (2): 113-120.
- Chachko, E. K. 1986. Physiology of vegetative and reproductive growth in mango (*Mangifera indica* L.) trees. Proceedings of the 1<sup>st</sup> Australian Mango research Workshop, Queensland. CSIRO. Melbourne, pp. 54 -70.
- Chadha, K. L. & Singh, K. K. 1963. Effect of NAA, 2, 4-D and 2,4,5-T on fruit drop, size and quality of Langra mango. *Indian Jour. Hort.* 20: 30-33.
- Chandler, W. 1962. Frutales de hojas perennes. UTHEA, México. 666 p.
- Chávez, C. X., Veja, P. A., Tapia, V. L. y Miranda, S. M. 2001. Mango, su manejo y producción en el trópico seco de México. Libro Técnico No.1 Campo Experimental Valle de Apatzingán. CIRPAC. INIFAP. Agosto. Michoacan México. 105 p.
- Chiaikiattiyos, S. A., Menzel, C. M. & Rasmussen, T.S., 1994. Floral induction in tropical fruit trees: Effects of temperature and water supply. *The Journal of Horticultural Science*, 69 (3): 397-415.
- \_\_\_\_\_ Pongsomboon, W., Dasanonda, M. & P. Anupunt. 1997. Floral sex expression of Khieo Sawoei and Nam Dok Mai mangoes grown in tropical and subtropical climates in Thailand. *Acta Horticulturae*, 455: 202-208.
- Daniel, O. C, Fernanda J. G., Anton J. H. & Paul C. S. 2001. Agroecological zoning and potential yield of single or double cropping of potato in Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology* 109 (4): 311- 320.
- Davenport, T. L. & Núñez-Elisea, R. 1997. Reproductive Physiology. In: Litz, R.E. (ed.). *The Mango. Botany, Production and Uses*. CAB International. Wallingford. Oxon, pp. 69-146.
- De fina A., Giannetto, F. y Sabella, L. 1962. Difusión geográficas de cultivos índices en la provincia de San Juan y sus causas. Buenos Aires, Argentina. INTA. (Publicación 80). 23 p.
- \_\_\_\_\_ y A. Rabelo. 1975. Climatología y fenología agrícolas. Ed. Eudeba. Buenos Aires, Argentina. 281 p.

- De los Santos de la Rosa, F. y V. Mosqueda, R. 1988. Comparación de 21 cultivares y 12 selecciones mexicanas de mango *Mangifera indica* L. en la zona central del estado de Veracruz. Revista Chapingo, años XIII - XIV. Números 62-63. Oct.-Dic. 1988. Ene.-Mar. 1989, pp. 63-68.
- Donadio, L.C. 1980. Cultura da mangueira. Livrocetes. Piracicaba. 67 p.
- FAO. 1978. Report on the agroecological zones project. Methodology and result for Africa. V. I. Food Administration Organization (FAO) Rome, Italy. 249 p.
- \_\_\_\_\_ 1997. Zonificación agro-ecológica. Guía general. Boletín de suelos de la FAO 73. Servicio de Recursos, manejo y conservación de suelos. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, FAO. Roma Italia. 63 p.
- \_\_\_\_\_ 2006. Estadísticas agrícolas de la FAO, Food and Agriculture Organization [<http://faostat.fao.org/faostat/collections?subset=agriculture>]. Consultado el 1 de junio de 2006].
- Felicísimo A., M. y M. Álvarez, A. 1982. Aplicación del análisis de componentes principales al régimen termopluviométrico de Asturias. *Avances sobre la Investigación en Bioclimatología*: 565-581. VII Simposio de Bioclimatología, Sevilla. [<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/Clima/ACP/acp.html>]. Consultado 1 de junio 2006].
- Flores M., H. 2000. Zonas Con potencial agroecológico para el cultivo del olivo en el estado de Zacatecas, México. Tesis de Maestro en Ciencias. Especialidad en agrometeorología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 190 p.
- Fussel, J. 1992. Adoption de Agroclimatograms for assisting species selection in the tropics *Agrofor.Syst.* 17:87-96
- Galán S., V. 1993. The situation of mango culture in the world. *Acta Horticulturae* 341:31-38.
- \_\_\_\_\_ 2000. El cultivo del mango. Editorial Mundi Prensa. 298 p.
- García B., J. 1968. Clima agrícola del cafeto (*Coffea arabica*) y zonas potenciales en los Andes de Venezuela. *Agronomía Tropical (Venezuela)* 18(1): 57-58.
- \_\_\_\_\_ 1972. Zonificación ecológica de los cultivos de consumo básico y potenciales de exportación para Venezuela. Programa Nacional de Ecología y Meteorología Agrícola. Dirección de Investigación Ministerio de Agricultura. Caracas, Venezuela. 35 p.
- \_\_\_\_\_ 1974. El análisis de factores múltiples (Factor analysis) como método de zonificación (zonificación agroecológica de cultivos y marco de referencia biofísico en la regionalización). (Folleto) Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. 26 p.
- \_\_\_\_\_ 1979. Estructura metodológica de la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos de análisis y su posterior zonificación. Tesis Doctoral. Especialidad de suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 451 p.

- \_\_\_\_\_ y Araque, R. 1975. Zonificación de la producción frutícola. I parte: Región capital (Estudio de los marcos de referencia Biofísico y socioeconómico tentativo). Consejo de Bienestar Rural. Caracas, Venezuela. 346 p
- García E., 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional de Autónoma de México. México. 249 p.
- García P., E. 1992. Efecto de porta e interinjertos sobre el crecimiento y la producción del mango. Tesis de maestría. Centro de fruticultura. Colegio de Postgraduados Montecillo, México. 136 p.
- González A., S. 1993. Contenidos temáticos en la definición de parámetros para la información ambiental. In: Seminario: Instrumentos para la información sobre medio ambiente. Colegio de México, México. 58 p.
- Graham, D. & B. D. Patterson. 1982. Responses of plant to low, nonfreezing temperatures: proteins, metabolism and acclimations. Annual Review of Plant Physiology, 33: 347-372.
- Grajeda, G. J. C., Rodríguez, C., Watts, A. A., Fu C., M. Armenta, C., F. Cabrera, C. y L. Pérez, S. 2003. Programa interactivo para monitoreo de señales de alerta para variables agrometeorológicas, enfermedades y plagas. In: Memoria del Simposium Binacional de Modelaje y Sensores Remotos México USA. Editores Abraham de Alba Avila, Luis Reyes Muro y Mario Tiscareño López. Aguascalientes, México, pp. 203-211.
- Guzmán E., C. 1988. Dinámica de NPK en hoja y fruto relacionado con fenología, clima, dendrometría y rendimiento en mango (*Mangifera indica L.*). Tesis de Doctorado en Ciencias. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 230 p.
- \_\_\_\_\_ 2002. Fenología del Mango. Tema del libro en CD-ROM. El mango su cultivo fitosanidad y comercialización. Editado por el Instituto Tecnológico Agropecuario No. 25. Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. Estado de Guerrero, México, pp. 19-24
- \_\_\_\_\_ 2005. Producción Forzada de mango Ponencia presentada por el Investigador de CESSI-CIRNO-INIFAP-SAGARPA., Primer encuentro nacional de productores de mango. Celebrado del 3 al 5 de Marzo de 2005, en Acapulco, Gro. [CD-ROM computer file].
- Hayes, W. B. 1970. Fruit Growing in India Allahabad Kitabistan, India, pp. 154-195.
- Holden, N. M. & Brereton, A. J. 2003. The impact of climate change on Irish Agriculture, In: Sweeney, J. (Ed.). Climate Change and Ireland: Escenarios and Impacts for Ireland. Environmental Protection Agency, Jhonstown Castle, Wexford, pp 33-80.
- \_\_\_\_\_ & Brereton, A. J. 2004. Definition of agroclimatic regions in Ireland using hydro-thermal and crop yield data. Agricultural and Forest Meteorology 122 (4):175-191.
- Hulme, A. C. 1971. The Mango. The Biochemistry of fruits and their products. Academics Press, London and New Cork, pp. 233-254.
- Ibar, L. 1979. Cultivo del aguacate, Chirimoyo, mango y papaya. Biblioteca Agrícola Aedos. Barcelona, España, pp 147-158

- IMTA. 2000. Programa extractor rápido de información climática, ERIC versión 2.0 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) Base de datos [CD\_ROM computer file]. Morelos, México.
- \_\_\_\_\_ 2000. Sistema de Información Climatológica (SICLIM). 5319 Estaciones. Periodo 1921-1990. Base de datos [CD\_ROM computer file].
- INEGI. 2003. Anuario estadístico. Gobierno del Estado de Veracruz, México. (Cartas: Climáticas, Edafológicas, de uso de suelo y vegetación, Hidrológica y de aguas superficiales). 492 p.
- \_\_\_\_\_ 2003. Anuario estadístico. Gobierno del Estado de Chiapas, México. (Cartas: Climáticas, Edafológicas, de uso de suelo y vegetación, Hidrológica y de aguas superficiales). 512 p.
- \_\_\_\_\_ 2005a. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, Instituto de Estadística Geografía e Informática, 695 p.
- \_\_\_\_\_ 2005b. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Colima, México, pp. 331-368.
- \_\_\_\_\_ 2005c. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Campeche, México, pp. 335-360.
- \_\_\_\_\_ 2005d. Anuario estadístico. Gobierno del Estado de Chiapas, México. Tomo, pp. 539-611.
- \_\_\_\_\_ 2005e. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Guerrero, México, pp. 543-566.
- \_\_\_\_\_ 2005f. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Jalisco, México, pp. 799-839.
- \_\_\_\_\_ 2005g. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Morelos, México, pp. 409-438.
- \_\_\_\_\_ 2005h. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo, México, pp. 655-685.
- \_\_\_\_\_ 2005i. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Nayarit, México, pp. 395-427.
- \_\_\_\_\_ 2005j. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Oaxaca, México. Tomos I, pp. 3-31.
- \_\_\_\_\_ 2005k. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Oaxaca, México. Tomos III, pp. 1267-1296.
- \_\_\_\_\_ 2005l. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Sinaloa, México, pp. 421-450.
- \_\_\_\_\_ 2005m. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Tabasco, México, pp. 343-366.
- \_\_\_\_\_ 2005n. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Veracruz, México. Tomo I, pp. 3-31.
- \_\_\_\_\_ 2005ñ. Anuarios estadísticos Gobierno del Estado de Veracruz, México. Tomo II, pp. 953 - 1047.
- \_\_\_\_\_ 2005o. Marco Geoestadístico Municipal (MGM2005). Base de datos [CD\_ROM computer file].
- INIFAP. 2000. Logros y aportaciones de la investigación al cultivo de “Mango Ataulfo” en Chiapas. INIFAP-SAGAR. Tapachula, Chiapas, México. 37 p.
- \_\_\_\_\_ 2001. Informe de proyectos de investigación de frutales (Mango y no tradicionales) financiados por Fundación Produce Chiapas, A.C. en el año 2000. Huehuetan, Chiapas. Campo Experimental Rosario Izapa, México. 18 p.

- Ireta O., A. y E. Guzmán, C. 2002. Guía técnica para la producción de mango en Sinaloa. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental del Valle de Culiacán, Folleto Técnico No. 22. Culiacán, Sinaloa, México. 152 p.
- Issarakraisila, M., Considine, J. A. & D. N. Turner. 1992. Seasonal effects on floral biology and fruit set of mangoes in a warm temperature region of western Australia. *Acta Horticulturae*, 321: 626-635.
- Johnson, A. K. L., R. A. Cram & M. K. Wegener. 1994 The use of crop yield prediction as a tool for land evaluation studies in Northern Australia. *Agricultural Systems* 46: 96 -111.
- Kosterman, A. J. G. H. & Bompard, J. M. 1993. The mangoes, their Botany. Nomenclatura, Horticultura and utilization. Academia Press. Londres. 233 p.
- Kozlowski, T.T., Kramer, P.J. & Pallardy, S.G. 1991. The Physiological Ecology of Woody Plants. Academic Press, New York. 657 p.
- Landa C., M. T. 2001. Zonificación agroecológica y estudio de comercio regional de la guanábana (*Annona muricata* L.) en un sector de la zona centro del estado de Veracruz. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. 86 p.
- León-Arteta, R. y Pérez, M. J. L. 1996. Fertilización y clima en la producción del mango "Manila" en Veracruz, México. *TERRA Latinoamericana*, 14 (4): 395-405.
- Lerma M., J. N. 2001. Diagnostico fenológico y nutricional de mango (*Mangifera indica* L. ) cv. Ataulfo en el Soconusco, Chiapas. Tesis de Doctorado. Huehuetan Chiapas. Universidad Autónoma de Chiapas. 188 p.
- Maderos O., E. 1988. Fruticultura Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba, pp. 1-25.
- Mallants, D. & Reyen, J. 1990. Defining Homogeneous Precipitation by Means of Principal Components Analysis. *Journal of Appied Meteorology*, Vol. 29. No. 9, pp. 892-900
- Manly, B. F. J. 1994. Multivariate Statistical Methods, A primer . Department of mathematics and Statistics University of Otago New Zealand. Chapman and hall. London. 158 p.
- Martínez F., J. L. 1994. Zonificación agroecológica para los cultivos de naranjo (*Citrus sinensis* ( L) Osbeck) y limón mexicano (*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle) en el estado de Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Especialidad en agrometeorología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 252 p.
- Mata B., I. y R. Mosqueda, V. 1995. La producción de mangos en México. Limusa S.A. de C.V. México D.F. 159 p.
- \_\_\_\_\_ y R. Mosqueda, V. 1998. La producción del mango en México. Editorial Limusa. México, 159 p.

- Medina B., M. P. 1995. Metodología para obtener índices agroclimáticos. Tesis de Licenciatura en Geografía. Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México. 296 p.
- Monkouse, F.J. & Small, J. 1978. A Dictionary of the Natural Environment. Edward Arnold, London. 320 p.
- Moreira M., R. G. 2001. Efectos de promotores de floración sobre la fisiología y desarrollo del mango cv. "Tommy Atkins". Tesis de Maestro en Ciencias. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Especialidad de Fruticultura. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 101 p.
- Morton, J. S. 1987. Fruits of warm climates. Univ. Of Miami, Florida. Edit. Media Incorporated. U.S.A. pp. 221-239.
- Mosqueda V., R. 1983. Notas del curso de Fruticultura Tropical. Centro de Fruticultura. Colegio de Postgraduados Capingo México. 159 p.
- \_\_\_\_\_. R., De los Santos de La Rosa, F. 1993. Degree days and base temperatures required for inflorescence and fruit development in mango Manila. *Acta Horticulturae* 341:232-239.
- \_\_\_\_\_. V. R., F. De los Santos de La Rosa, N. Becerra L. E., H. Cabrera M., A. Ortega Z. D., A. Lid del Angel, P. 1996. Manual para cultivar mango en la planicie costera del golfo de México. Folleto Técnico Num. 15, División Agrícola. INIFAP-CIRGOC- CECOT. Veracruz, Ver., México. 130 p.
- Nájera M., N. L. y R. Arteaga, R. 2000. Agroclimatología, (antología). SEP. DGETA. 227p.
- Núñez-Elisea, R. & T. L. Davenport. 1991a. Effect of duration of low temperature treatment on flowering of containerized "Tommy Atkins" mango. *HortScience*, 26: 751.
- \_\_\_\_\_. & T. L. Davenport. 1991b. Flowering of "Keitt" mango in response to deblossoming and gibberellic acid. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 104: 41-43.
- \_\_\_\_\_. T. L. Davenport & M. Caldeira. 1993. Bud initiation and morphogenesis in "Tommy Atkins" mango as affected by temperature and triazole growth retardants. *Acta Horticulturae* 341:183-197.
- \_\_\_\_\_. 1994. Environmental, developmental, and bioregulator control of flowering in mango (*Mangifera indica* L.). Ph. D. Thesis. University of Florida. 179 p.
- \_\_\_\_\_. & T. L. Davenport. 1994. Flowering of mango trees in containers as influenced by seasonal temperature and water stress. *Scientia Horticulture* 58 (1-2): 57-66.
- \_\_\_\_\_. & T. L. Davenport. 1995. Effect of leaf age, duration of cool temperature treatment and photoperiod on bud dormancy release and floral initiation in mango. *Scientia Horticulturae*, 62: 63-73.
- Ochse, J. J., Soule, M. J. Jr., Dijkman, M. J. & Wehlburg, C. 1985. Mango. Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. Sexta reimpression. Edit. Limusa. México, D.F. 1: 594-610.

- Ordoño P., S. A. 1980. Componentes principales y correlación canónica como herramienta de análisis de variables socioeconómicas del estado de Tlaxcala. Tesis Profesional para obtener el título de actuario. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico, D. F. 121 p.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). 1984. La meteorología ayuda a producir alimentos. OMM-núm. 624, Secretaría de la OMM. Ginebra, Suiza, 1984, 35 p.
- Ortiz S., C. A. 1981. Evaluación de la aptitud de las tierras de México para la producción de maíz, frijol y sorgo en condiciones de temporal. Centro de edafología Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 37 p
- \_\_\_\_\_ 1987. Elementos de agrometeorología cuantitativa. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México. 327 p.
- \_\_\_\_\_ Pájaro, H. y Ojeda, T. E. 1987. Zonificación agroecológica de cultivos. Curso-Taller. Colegio de Postgraduados. México. (Inedito).
- Osuna E., T. 1998. Anatomía y Fisiología de la Floración Forzada en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Manila. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduado. Montecillo, México. 140 p.
- \_\_\_\_\_ Engleman, E. M., Becerril, R. E., Mosqueda, V. R., Soto, H. M., y Castillo, M. A. 1999. Iniciación y diferenciación floral en mango manila. *Agrociencia* 34: 573-581.
- Papadakis, J. 1966. *Climates of the world and their agricultural potentialities*. Buenos Aires, Argentina. 170 p.
- Parisot, E. 1988. Study of the growth rhythm in young mango (*Mangifera indica* L.) plants part I. Description, germination and storage of polyembryonic mango seeds. *Fruits*. 43 (2): 97-105.
- Pascale A., J. y Damario, E. A. 2004. *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina. 550 p.
- Paterson, J. G., Goodchil, N. A. & Boyd, W. J. R. 1978. Classifying environments for sampling purposes using a principal component analysis of climatic data. *Agricultural Meteorology* 19 (4): 349-362.
- Pedraza-Oropeza, F., Mejía-Saenz, E., Cuevas-Renaud, B., Exebio-García, A. y Oropeza-Mota, J. 2005. Desarrollo de un Sistema Generador de Modelos Altimétricos para la República Mexicana. *TERRA Latinoamericana* Vol. 23 (2): 191-199.
- Pérez P., E. 1989. Zonificación agroecológica del cultivo de café en la zona centro de Veracruz. Tesis de Maestría. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 143 p.
- Pert, J. 1991. Weather and yield. *Develoments in crops Science*. Vol. 20. Elsiever. Amsterdam. 288 p.

- Popenoe, W. T. 1920. Manual of tropical and sub-tropical fruits. Edit. Macmillan. New York, U.S. 474 p.
- Prescott, J. A. 1940. Evaporation from a water surface en relation to solar radiation. Trans. Royal. Society. Science, London V. 64:114-125.
- Puebla E., A. 1990. Zonificación agroecológica para cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco. Tesis de Maestría. Programa de Agrometeorología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 80 p.
- Purseglobe, J. W. 1968. Tropical crops dicotyledons (Tomos I y II). John Wiley and Sons. Inc. New York. 719 p.
- Ravishankar, H., M. M. Rao & K. M. Bojappa. 1979. Fruit-bud differentiation in mango 'Alphonso' and 'Totapuri' under mild tropical rainy conditions. Scientia Hort. 10: 95-99.
- Reyna T., T. J. 1982. El Ecoclima en la Planeación Frutícola de los Altos de Jalisco, México. Tesis Doctor en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias. División de estudios de postgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 137 p.
- Rodríguez, N. 1993. Clasificación de las estaciones pluviométricas de Los Andes Venezolanos. IEAC, FACES, ULA. Tesis de grado (mimeo). Mérida, Venezuela. [http://iies.faces.ula.ve/Revista/Articulos/Revista\\_11/Pdf/Rev11Rodriguez.pdf](http://iies.faces.ula.ve/Revista/Articulos/Revista_11/Pdf/Rev11Rodriguez.pdf). (Consultado 3 de junio 2006)
- Rojas E., O. 1985. Esquema metodológico de zonificación agroecológica de Cultivos del Instituto Interamericano de Ciencias agrícolas (IICA). Separata 34. San José, Costa Rica. 29 p.
- Romo G., J. R. 1985. Zonas con potencial agroclimático para la producción de cinco oleaginosas bajo temporal en la República Mexicana. Tesis de Maestro en Ciencias. Especialidad en agrometeorología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 181 p.
- SARH. 1988. Normales Climatológicas (1941-1970). Dirección General de Estudios Información y estadística Sectorial. Segunda Edición. México, D.F. 797, p.
- SAS Institute Inc. 1990. Statistical Analysis System (Software). Release Ver. 6.12. TS020. Copyright (c) 1989-1996 by Licensed to North Carolina State University, Site 0027585007.
- Schaffer, B. & Gaye, G. O. 1989. Gas exchange, chlorophyll and nitrogen content of mango leaves as influenced by light environment. Hort. Science 24(3): 507-509.
- Shu, Z. H. & Sheen, T. F. 1987. Floral induction in axillary bud of mango (*Mangifera indica* L.) as affected by temperature. Scientia Hort. 31: 81-87.
- Singh, R. N. 1954. Studies in floral biology and subsequent development of fruits in the mango (*Mangifera indica* L.) varieties Dasher and Langra. Indian Jour. Hort. 11(3): 69-88.
- \_\_\_\_\_. 1960a. Fruit-bud differentiation in mango as affected by some climatological factors. Indian Jour. Hort. 17(3,4): 1985-1992.
- Singh, L. B. 1960b. The mango, Its Botany, Cultivation and Utilization. Word Crops Series Book. Leonard Hill. London, Inland. 438 p.

- \_\_\_\_\_ 1965. Biennial Bearing in mango as affected by cultural operations, weather conditions and vigor. *Ind. Hort. Abst.* 33(1): 1800.
- \_\_\_\_\_ 1977. Mango. Chapter 18. In: Alvim, T.P. and T.T. Kozlowski: (Eds.). *Ecophysiology of tropical Crops*. Academic Press, New York San Francisco, London, pp. 479-485.
- \_\_\_\_\_ & Singh, R. N. 1955. Frost Injury to tropical and sub-tropical fruits of Saharanpur. *Indian Jour. Hort.* 12: 108.
- Singh, K. K. y J. S. Jawanda. 1961. Malformation in mangoes. *Punjab Hort.* 1: 18-22.
- Taylor, A. O. & J. A. Rowley. 1971. Plants under climatic stress. I. Low temperature, high-light effects on photosynthesis. *Plant Physiology*, 47: 713-718.
- Tejeda, A. & Vargas, A. 1996. A correlation between visual observations and instrumental records of cloudiness in Mexico. *Geofísica Internacional* 35(4): 421-424.
- Tijerina Ch., L. y C. A. Ortiz, S. 1990. Manual de la metodología para evaluar la aptitud de las tierras para la producción de cultivos básicos en condiciones de temporal. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 113 p.
- Van Eimers, J. 1968. The topoclimate and its mapping for agricultural practices. *Proc. Regional Training Semination. Agrometeorology. Wageningen. The Netherland.* 1: 213-220.
- Varela C., E. Ilda, y M. Varna. 2002. Aplicación del Método de Componentes Principales a la determinación de regiones homogéneas de precipitación. *Revista Argentina de AGROMETEOROLOGÍA.* 1(2), 105-112.
- Verheij, E. W. M. 1986. Towards a classification of tropical tree fruits. *Acta Horticulturae*, 175:137-150.
- Vivanco, M. 1999. *Análisis estadístico multivariable. Teoría y práctica.* Santiago, Chile. Editorial Universitaria.
- Whiley, A. W. 1986. Crop management—a review. *Proc. First Australian Mango Research Workshop.* Melbourne, pp.184-195.
- \_\_\_\_\_ 1993. Environmental effects on phenology and physiology of mango a review. *Acta Horticulturae* 341:168-171.
- \_\_\_\_\_ Saranah, J. B., Rasmussem, T. S., Winston, E.C. & B. N. Wolstenholme. 1988. Effect of temperature on growth of ten cultivars of mango with relevance to production in Australia. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> Australia Conference on tree and Nut Crops*, pp.176-185.
- \_\_\_\_\_ Rasmussem, T. S., Saranah, J. B. & B. N. Wolstenholme. 1989. Effect of temperature on growth dry matter production and starch accumulation in ten mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science*, 64: 763-765.

- \_\_\_\_\_ & B. Schaffers. 1997. Stress Physiology. En: R.E. Litz (Ed). The mango, Botany, production and Uses. CAB Internacional. Wallingford.UK, pp. 147-176.
- Yahia K., E. J., P. Ornelas y F. Ariza, R. 2006. El Mango. Editorial Trillas. México. 224 p.
- Young, T. W. 1965. Influence of temperature on growth of mango pollen. Proc. Fla. State Hort. Soc. 68: 308-313.
- \_\_\_\_\_ & J.W. Sauls. 1979. The mango industry in Florida. Florida Cooperative Extension Service Bull, 189. 70p.
- Zamarripa R., J. 2003. Zonas con aptitud edafoclimática para el cultivo de hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) e incidencia de la enfermedad sudamericana de la hoja en el estado de Tabasco, México. Tesis de Maestría. Especialidad en Agrometeorología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 96 p.
- Zamudio F., y S. Alvarado, A. 2000. Notas de métodos multivariados I. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 223 p.
- Zarate Z., R. y E. Ramírez, G. M. 2004. Metodología Estadística para la interpretación de datos sobre la degradación de la tierra. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 120 p.