



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**TESIS DE MAESTRIA**

**VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y LA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA:  
ANÁLISIS DE LA CUENCA DEL RÍO CALDERÓN**

**P R E S E N T A**

**ING. JOCKSAN EDREY REYES ANDRADE**

**DIRIGIDA POR:**

**DR. JESÚS GASTÓN GUTIÉRREZ CEDILLO**

**DRA. XANAT ANTONIO NÉMIGA**

**DR. MIGUEL ÁNGEL BALDERAS PLATA**

**Toluca, México, Diciembre de 2015.**

## ÍNDICE

INDICE .....	PÁG.
CUADROS .....	12
ANEXOS .....	21
Resumen .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
INTRODUCCIÓN.....	24
<i>Antecedentes: Efectos del cambio climático en la producción agrícola</i> .....	25
Justificación .....	30
Hipótesis .....	30
Objetivos .....	31
General .....	31
Específicos.....	31
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO.....	34
1.1 Estudios sobre cambio climático y variaciones climáticas a nivel nacional e internacional.....	34
1.2 Antecedentes sobre los efectos del cambio climático sobre la producción agrícola a nivel nacional e internacional. ....	40
1.3 Efectos del cambio climático sobre la seguridad alimentaria de los países en desarrollo. ....	43
1.4 Impactos globales del cambio climático sobre la producción agrícola potencial. ....	46
1.5 Utilización de la información climática para la evaluación de impactos.....	48
1.6 Adaptación del sector agrícola al Cambio Climático. ....	50
1.7 La Mitigación de impactos mediante estrategias de secuestro de Carbono. ....	52
CAPITULO 2.....	55
METODOLOGÍA .....	55
CAPITULO 2. METODOLOGÍA .....	56
2.1 Procedimiento por Objetivos.....	57
a) Para la caracterización geográfica y ambiental de la cuenca se procedió a realizar lo siguiente.....	57
b) Para analizar los patrones temporales de lluvia y temperatura en la cuenca fueron realizados los siguientes pasos metodológicos priorizados, la información de precipitación y temperatura fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional y por CONAGUA.....	58

c) Para el análisis de los cambios detectados sobre la producción alimentaria se dieron los siguientes pasos y la información de rendimiento, superficie cultivada y valor de la producción fue proporcionada por INEGI y SEDAGRO. ....	58
d) Para analizar el impacto de los cambios detectados en los patrones de lluvia y temperatura antes mencionados sobre la producción alimentaria se dieron los siguientes pasos. ....	58
e) Elaborar una propuesta que ayude a mejorar la producción mediante el uso integrado y sustentable de los recursos: .....	59
<i>Coefficientes de correlación de temperatura mínima mensual y rendimiento por cultivo</i>	61
2.2 Diagrama metodológico.....	62
CAPITULO 3.....	63
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	63
3.1 Caracterización geográfica y ambiental de la zona de estudio. ....	64
3.2 ANÁLISIS DE LOS PATRONES TEMPORALES DE LLUVIA Y TEMPERATURA. ....	71
3.2 Análisis de los patrones temporales de lluvia y temperatura.....	72
3.3 ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS TEMPERATURAS POR DECADA .....	76
3.4 Análisis de la dinámica agrícola en la cuenca por municipio. Principales cultivos (1980- 2009).....	84
3.4.1 Municipio de Toluca.....	84
3.4.2 Municipio de Tenango del Valle.....	87
3.4.3 Municipio de Villa Guerrero .....	91
3.4.4 Municipio de Zumpahuacán.....	95
3.4.5 Municipio de Tonatico.....	98
3.5 Análisis de la dinámica agrícola en la cuenca por cultivo. Principales cultivos (1980- 2009), (Rendimiento.....)	104
3.5.1 Cultivo de maíz.....	104
3.5.2 Cultivo de chícharo.....	105
3.5.3 Cultivo de papa .....	106
3.5.4 Cultivo de trigo .....	108
3.5.5 Cultivo de haba verde.....	109
3.5.6 Cultivo de frijol.....	110
3.5.7 Cultivo de tomate verde.....	111
3.5.8 Cultivo de sorgo de grano.....	113
3.5.9 Cultivo de tomate rojo (jitomate) .....	114

3.6 Relacion entre los patrones de lluvia y temperatura con la producción alimentaria.	117
3.6 .1 Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento, por municipio.....	117
• <i>Municipio de Toluca</i> .....	117
□ <i>Municipio de Zumpahuacan</i> .....	129
□ <i>Municipio de Tonalico</i> .....	133
3.6. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento, por municipio.....	137
□ <i>Municipio de Toluca</i> .....	137
□ Municipio de Tenango del Valle .....	141
□ Municipio de Villa Guerrero.....	145
□ Municipio de Zumpahuacan .....	149
□ Municipio de Tonalico .....	153
3.6.3 Coeficientes de correlación entre temperatura y rendimiento .....	156
3.6.3.1 Correlación temperaturas mínimas mensuales-rendimiento .....	157
3.6.3.2 Correlación temperaturas máximas mensuales-rendimiento .....	157
3.6.4. Análisis específico para la década de 1990-1999 de la correlación gráfica entre las temperaturas máximas y mínimas y rendimiento de los principales cultivos de la zona de estudio.....	158
3.6.4.1. Análisis específico de la dinámica agrícola de los principales cultivos temperatura mínima y rendimiento (1990-1999).....	159
3.6.4.2. Análisis específico de la dinámica agrícola de los principales cultivos temperatura máxima y rendimiento (1990-1999) .....	179
3.7 Discusión.....	199
3.7.1 Vulnerabilidad de la agricultura ante eventos climatológicos .....	199
3.7.2 Efectos sobre la producción agrícola .....	201
3.7.3 Estudios agroclimáticos.....	202
3.8 Propuesta para el uso integrado y sostenible de los recursos agroalimentarios ...	207
3.7.1 Estrategia de adaptación climática para los cultivos .....	209
3.7.2 Estrategias de adaptación para los pequeños agricultores.....	210
□ <i>Sistemas de cultivos múltiples o policultivos</i> .....	210
□ <i>Colecta de plantas silvestres</i> .....	210
□ <i>Sistemas de agroforestería y mulching</i> .....	211



3.7.3 Sistemas agrícolas tradicionales milenarios adaptados a condiciones ambientales cambiantes.....	212
□ <i>Agricultura de montaña en los Andes</i> .....	212
□ <i>Sistemas de cosecha de agua en ambientes secos</i> .....	213
3.7.4 Otras estrategias de adaptación .....	215
• <i>Algunas otras estrategias de adaptación incluyen:</i> .....	216
3.9 Artículo enviado .....	220
ARTICULO ENVIADO. ....	222
VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y LA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA: ANÁLISIS DE UNA CUENCA EN EL ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO.....	222
resumen.....	222
CONCLUSIONES .....	239
SUGERENCIAS.....	243
BIBLIOGRAFÍA.....	244

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
1. Factores y variables por etapa metodológica	60
2. Temperatura máxima, media, mínima y precipitación de la estación Toluca – Calixtlahuaca, por décadas (1970- 2009).	72
3. Temperatura máxima, media, mínima y precipitación de la estación Tenango del Valle, por décadas (1970- 2009).	73
4. Temperatura máxima, media, mínima y precipitación de la estación Villa Guerrero, por décadas (1970- 2009).	74
5. Temperatura máxima, media, mínima y precipitación de la estación Zumpahuacán, por décadas (1970- 2009).	74
6. Temperatura máxima, media, mínima y precipitación de la estación Tonicaco, por décadas (1970- 2009).	75
7. Temperatura mínima de las estaciones, por décadas (1970- 2009)	77
8. Temperatura media de las estaciones, por décadas (1970- 2009)	79
9. Temperatura máxima de las estaciones, por décadas (1970- 2009)	81
10. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Toluca.	84
11. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Toluca.	86
12. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Toluca.	87
13. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tenango del Valle.	88
14. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tenango del Valle.	89
15. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Tenango del Valle.	91
16. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Villa Guerrero.	92
17. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Villa Guerrero.	93
18. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Villa Guerrero.	95
19. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Zumpahuacán.	96
20. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Zumpahuacán.	97
21. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Zumpahuacán.	98

22. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tonatico	99
23. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tonatico.	100
24. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Tonatico.	101
25. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de maíz (1980-2009).	104
26. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de chícharo (1980-2009).	106
27. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de papa (1980-2009).	107
28. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de trigo (1980-2009).	108
29. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de haba verde (1980-2009).	110
30. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de frijol (1980-2009).	111
31. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de tomate verde (1980-2009).	112
32. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de sorgo de grano (1980-2009).	113
33. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de tomate rojo (jitomate) (1980-2009)	114
34. Coeficientes de correlación de temperaturas mínimas mensuales y rendimiento por cultivo (1980 – 2009).	157
35. Coeficientes de correlación de temperaturas máximas mensuales y rendimiento por cultivo (1980 – 2009).	158
36. Propuesta para el uso integrado y sustentable de los recursos agroalimentarios	218

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
1. Diagrama metodológico	62
2. Área de estudio. Municipios dentro de la Cuenca del Río Calderón	64
3. Relieve de la Cuenca del Río Calderón	65
4. Geología de la Cuenca del Río Calderón	66
5. Unidades y subunidades de suelo de la cuenca del río Calderón	69
6. Mapa de uso del suelo de la Cuenca del Río Calderón	70
7. Temperatura mínima de las estaciones (1970 – 1979)	78
8. Temperatura mínima de las estaciones (1980 – 1989)	78
9. Temperatura mínima de las estaciones (1990 – 1999).	78
10. Temperatura mínima de las estaciones (2000 – 2009).	78
11. Temperatura media de las estaciones (1970 – 1979).	80
12. Temperatura media de las estaciones (1980 – 1989).	80
13. Temperatura media de las estaciones (1990 – 1999).	80
14. Temperatura media de las estaciones (2000 – 2009).	80
15. Temperatura máxima de las estaciones (1970 – 1979).	82
16. Temperatura máxima de las estaciones 1980 – 1989).	82
17. Temperatura máxima de las estaciones (1990 – 1999).	82
18. Temperatura máxima de las estaciones (2000 – 2009).	82
19. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Toluca.	85
20. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Toluca.	86
21. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Toluca.	87
22. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tenango del Valle.	88
23. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tenango del Valle.	90
24. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Tenango del Valle.	91
25. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Villa Guerrero.	92
26. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Villa Guerrero.	94
27. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Villa Guerrero.	95

28. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Zumpahuacán.	96
29. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Zumpahuacán.	97
30. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Zumpahuacán.	98
31. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tonalico.	99
32. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tonalico.	101
33. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Tonalico.	102
34. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de maíz (1980-2009).	105
35. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de chícharo (1980-2009).	106
36. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de papa (1980-2009).	107
37. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de trigo (1980-2009).	109
38. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de haba verde (1980-2009).	110
39.. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de frijol (1980-2009).	111
40. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de tomate verde (1980-2009).	112
41. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de sorgo de grano (1980-2009).	114
42. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de tomate rojo (jitomate) (1980-2009)	115
43. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano del municipio de Toluca.	117
44. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de chícharo del municipio de	
45. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de papa del municipio de Toluca.	119

46. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de trigo de grano del municipio de Toluca.	120
47. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano del municipio de Tenango del Valle.	121
48. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de chícharo del municipio de Tenango del Valle.	122
49. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de papa del municipio de Tenango del Valle.	123
50. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de haba verde en el municipio de Tenango del Valle.	124
51. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Villa Guerrero.	125
52. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de Villa Guerrero	126
53. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Villa Guerrero.	127
54. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de haba verde en el municipio de Villa Guerrero.	128
55. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Zumpahuacan	129
56.. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de	
57. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de sorgo de grano en el municipio de Zumpahuacan.	131
58. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Zumpahuacan.	132
59. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tonatico.	133
Figura 60. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de Tonatico.	134
61. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate rojo en el municipio de Tonatico.	135
62. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Tonatico.	136

63. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Toluca.	137
64. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de chícharo en el municipio de Toluca.	138
65. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de papa en el municipio de Toluca.	139
66. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de trigo de grano en el municipio de Toluca.	140
67. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tenango del Valle.	141
68. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de chícharo en el municipio de Tenango del Valle.	142
69. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de papa en el municipio de Tenango del Valle.	143
70. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de haba verde en el municipio de Tenango del Valle.	144
71. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Villa Guerrero.	145
72. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Villa Guerrero.	146
73. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Villa Guerrero.	147
74. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de haba verde en el municipio de Villa Guerrero.	148
75. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Zumpahuacan.	149
76. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Zumpahuacan	150
77. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de sorgo de grano en el municipio de Zumpahuacan.	151
78. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Zumpahuacan.	152
79. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tonatico.	153

80. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Tonatico.	154
81. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate rojo (jitomate) en el municipio de Tonatico.	155
82. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Tonatico.	156
83. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Toluca (1990-1999).	159
84. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de chícharo en el municipio de Toluca (1990-1999).	160
85. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de papa en el municipio de Toluca (1990-1999).	161
86. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de trigo de grano en el municipio de Toluca (1990-1999).	162
87. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).	163
88. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de chícharo en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).	164
89. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de papa en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).	165
90. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de haba verde en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).	166
91. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).	167
92. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).	168
93. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).	169
94. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de haba verde en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).	170
95. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).	171
96. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).	172



97. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de sorgo de grano en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).	173
98. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).	174
99. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tonatico (1990-1999).	175
100. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de Tonatico (1990-1999).	176
101. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate rojo (jitomate) en el municipio de Tonatico (1990-1999).	177
102. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Tonatico (1990-1999).	178
103. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Toluca (1990-1999).	179
104. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de chícharo en el municipio de Toluca (1990-1999).	180
105. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de papa en el municipio de Toluca (1990-1999).	181
106. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de trigo de grano en el municipio de Toluca (1990-1999).	182
107. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).	183
108. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de chícharo en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).	184
109. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de papa en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).	185
110. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de haba verde en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).	186
111. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).	187
112. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).	188
113. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).	189

114. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de haba verde en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).	190
115. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).	191
116. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).	192
117. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de sorgo de grano en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).	193
118. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).	194
119. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tonatico (1990-1999).	195
120. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Tonatico (1990-1999).	196
121. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate rojo (jitomate) en el municipio de Tonatico (1990-1999).	197
122. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Tonatico (1990-1999).	198

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexos</b>	<b>Pág.</b>
1. GRAFICAS DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN.....	254

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar la correlación entre la variabilidad climática y la producción agroalimentaria, en la cuenca del río Calderón, localizada al suroeste del Estado de México. La variabilidad climática interanual afecta actividades humanas sensibles, como la agricultura. Los cambios de patrones de humedad en los territorios producto de la lluvia, ponen en riesgo la producción alimentaria, aspecto relevante que sugiere abordar el estudio de la hidrología y climatología de un territorio. Por esta razón, existe una preocupación generalizada por buscar soluciones que permitan a la población que es afectada por la inseguridad de la producción agrícola y económica, pueda adaptarse a las variaciones climáticas que afectan el proceso productivo.

En esta investigación, se estudian las anomalías negativas de la producción agrícola, consecuencia del cambio en patrones de lluvia en comunidades de la cuenca, mediante: 1) Análisis de los patrones temporales y espaciales de lluvia y temperatura en la cuenca, durante el período 1970-2009, elaborando una base de datos y usando gráficos para analizar las variaciones de la temperatura y la precipitación de este periodo; 2) Análisis de los cambios en la producción agrícola en el mismo período, a partir de la elaboración de una base de datos donde se observen las variaciones de la producción agroalimentaria, y así determinar las variaciones en la superficie cultivada y los rendimientos de los principales cultivos de la zona; realizando un inventario de los principales sistemas agrícolas y tipos de cultivos establecidos en las áreas agrícolas de la cuenca; 3) Análisis del impacto de los cambios detectados en los patrones de lluvia sobre la producción alimentaria, estableciendo un sistema de relaciones para analizar las variables climáticas de temperatura y precipitación, en relación con la producción agroalimentaria y los riesgos hidrometeorológicos.

Esta investigación tiene sustento teórico en los trabajos de Pastrana, (2000); Raso, (2002 y 2007); Lovelock, (2007) y Henson, (2008) que han demostrado que el cambio ambiental global tiene su origen en las actividades que realizan las

sociedades humanas, provocando variaciones climáticas locales; pero también, son muchos los individuos que no logran percibir sus causas y efectos, posiblemente debido a la interacción e interrelación de factores que determinan sus manifestaciones.

## **Abstract**

The main objective of the study was to evaluate the correlation between climate variability and food production, at the basin of Calderon river, located southwest of the State of Mexico. The inter annual climate variability affects sensitive human activities, such as agriculture. Changing moisture patterns at territories in the production areas, derivated from rain, puts in risk food production, aspect which suggests the study of hydrology and climate of an area. For this reason, there is a widespread desire to find solutions that allows the population affected by the insecurity of agricultural and economic production, adapt themselves to climate changes that affect the production process.

In this research, the negative anomalies of agricultural production, due to changing rainfall patterns at the basin communities, are studied by: 1) Analysis of temporal and spatial patterns of rainfall and temperature in the basin during the 1970 -2009 period, developing a database and using graphics to analyze the temperature and precipitation variations for this period; 2) Analysis of changes in agricultural production at same period, mean by the development of a database where food production variations are observed, and then identify variations in acreage and yields of major crops in the area; an inventory of the main agricultural systems and types of crops established in agricultural areas of the basin was elaborated; 3) Analysis about the impact of detected changes in rainfall patterns above food production, establishing a system of relations to analyze climate variables temperature and precipitation, in relation with food production and hydrometeorological risks.

This investigation has theoretical support on the studies of Pastrana (2000); Satin (2002 and 2007); Lovelock (2007) and Henson (2008); that have shown that global environmental change has been originated from the activities carried out by human societies, causing local climatic variations; but also many individuals fail to perceive its causes and effects, possibly due to the interaction and interrelationship of factors that determine its manifestations.

## INTRODUCCIÓN

En la presente introducción se mencionan algunos antecedentes a nivel nacional e internacional de los impactos de las variaciones climáticas sobre la producción agroalimentaria, así mismo se presenta la justificación, la hipótesis, el objetivo general y los objetivos específicos del trabajo de investigación.

### ***Antecedentes: Efectos del cambio climático en la producción agrícola***

La variabilidad climática interanual afecta actividades humanas sensibles, como la agricultura. El número creciente de eventos climatológicos extremos que han ocurrido en los pasados 15 a 20 años, sugiere que tales eventos están siendo más constantes y severos, con el aumento creciente de pérdidas económicas (Haggar, 2008.)

Por esta razón, existe la preocupación generalizada por buscar soluciones que permitan que la población afectada por la inseguridad de la producción agrícola y económica, pueda adaptarse a las variaciones climáticas que influyen en el proceso productivo.

Diversos efectos y condiciones se han asociado con estas variaciones en precipitación y temperatura relacionadas con el cambio climático por ejemplo:

Algunos animales y plantas pueden reducirse en tamaño debido a las altas temperaturas y a las menores precipitaciones, lo que limitará la disponibilidad de fuentes alimentarias esenciales para la nutrición del ser humano.

Este cambio en el clima afectará la agricultura a nivel mundial. Otra de las consecuencias esperadas son la disminución de la calidad de los cultivos, una mayor lixiviación de nitrógeno y erosión del suelo, y la menor disponibilidad de tierras y recursos hídricos para la actividad agrícola (Ortiz, 2008).

Por otra parte, se estima que las temperaturas podrían aumentar entre 0.4 °C y 1.8 °C para el año 2020, y este incremento se acentuaría aún más en las zonas

tropicales. Las altas temperaturas (en especial cuando los aumentos superan los 3 °C) afectarán considerablemente la productividad agrícola, los ingresos de los productores y la seguridad alimentaria. Diversos cultivos que representan fuentes esenciales de alimentación para grandes poblaciones que padecen inseguridad alimentaria verán afectados sus rendimientos, aunque parecería que los escenarios son más inciertos para algunos cultivos que para otros (Lobell *et al.*, 2008).

Por ejemplo, el rendimiento del grano de arroz disminuye un 10 por ciento por cada incremento de 1 °C en la temperatura al aproximarse la estación seca (Peng *et al.*, 2004), en tanto que se espera una pérdida del 10% en la producción de maíz para el año 2055 (Jones y Thornton, 2003).

Aunque los efectos de los cambios en el clima como temperatura y precipitación sobre la producción de cultivos varían de una región a otra, se espera que los cambios pronosticados tengan efectos de gran alcance principalmente en los países con zonas tropicales que, por su régimen de precipitación, se clasifican entre semiáridas y húmedas. Estos impactos ya se sienten en los países del Sur, donde también se espera un aumento en las precipitaciones que producirán daños en los cultivos por erosión de los suelos o, en algunos casos, por inundaciones (Altieri y Nicholls, 2009).

Por ejemplo Costa Rica es vulnerable al impacto de estas anomalías climáticas que afectan la estructura socioeconómica del país. El análisis de un posible cambio climático es importante en vista de que incrementos en la temperatura producen modificaciones en otros parámetros meteorológicos, exponiendo a los cultivos a diferentes condiciones ambientales, las cuales también modifican el entorno biológico (Villalobos y Retana, 1999).



La adaptación de la agricultura al cambio climático debe contemplar los aumentos en las temperaturas, las épocas cortas de cultivo y la escasez de agua y el triple impacto que estos factores tienen: a nivel global y a nivel nacional (Vargas, 2007).

En Argentina, durante la primavera y el verano de las últimas tres décadas del siglo XX, se produjo un aumento en el nivel de precipitaciones, en tanto que la temperatura máxima y el nivel de radiación solar descendieron. Por su parte, la temperatura mínima experimentó un aumento durante todo el año. Como resultado de ello, se produjo un incremento en los rendimientos de los cultivos de verano, en especial en las zonas semiáridas. Por ejemplo, un aumento de rendimiento del 38 % para la soja, del 18% para el maíz, del 13 % para el trigo y del 12 % para el girasol, datos que surgen de cotejar los periodos 1970-2000 y 1950-1970 (Magrin *et al.*, 2005).

Sin embargo, el rendimiento potencial del trigo ha disminuido desde la década de 1930, mayormente debido al progresivo calentamiento del invierno y la primavera en la parte central y septentrional de la pampa argentina.

Al respecto, se estima que el rendimiento del trigo se reducirá en un 7.5 % por cada aumento de temperatura de 1 °C. Los escenarios futuros sugieren que la temperatura podría aumentar entre 2 y 3 °C y que las precipitaciones podrían incrementarse levemente durante la primavera y el verano, lo que provocaría, en promedio, una disminución del 4 % en el rendimiento del trigo en todo el país, pero con una considerable variabilidad espacial. Así, el rendimiento del trigo disminuirá un 30 % en las zonas septentrionales, en tanto que aumentará un 20% en la zona sudoccidental (Magrin *et al.*, 2008).

En los casos en que se considera la fertilización con CO<sub>2</sub>, los rendimientos de este cultivo se elevan un 14 % en la zona pampeana, en tanto que disminuyen un 10 % en las zonas centrales y septentrionales.

Dependiendo del escenario, las cosechas de soja en la zona pampeana podrían caer un 22% o incrementarse entre un 3 y un 21%. En tanto, la producción de maíz podría disminuir entre un 8 y un 16% o aumentar un 2% (Travasso *et al.*, 2006.)

Por otra parte, en Brasil, las pérdidas en la agricultura provocadas por el cambio climático podrían ascender a BRL (Real Brasileño) 7.400 millones en el año 2020 y a BRL 14.000 millones en 2070 (Assad y Pinto, 2008). Asimismo, los rendimientos del trigo y del maíz en este país se reducirán un 30% y un 15% respectivamente, en tanto que los rendimientos de la soja aumentarán un 21% (CEPAL, 2011<sup>a</sup>), o disminuirán un 40% en 2070 (Assad y Pinto, 2008).

En tanto, las cosechas de café de tipo arábigo podrían disminuir un 33%, particularmente en San Pablo y Minas Gerais. Por otra parte, también el frijol, el algodón, el arroz y el girasol podrían experimentar caídas en sus rendimientos en la zona nororiental, en tanto que el rendimiento de la caña de azúcar podría duplicarse.

En cambio, en Uruguay la productividad del maíz, del arroz, de la soja y de las pasturas podría aumentar para mediados de siglo, debido a las precipitaciones estivales.

Por su parte, en Paraguay, la productividad del algodón, de la soja, del trigo y del ganado se verá perjudicada por efecto de las mayores temperaturas y por los cambios en el régimen de precipitaciones (CEPAL, 2010). Como contrapartida, podrían producirse en este país aumentos en los rendimientos del frijol, de la mandioca, del sésamo y de la caña de azúcar. Cualquiera sea el modelo que se utilice, parecería que la soja responde mejor que el maíz ante los cambios climáticos del Cono Sur (CEPAL, 2010).

También, en la zona septentrional y central de Chile el rendimiento del trigo de secano disminuirá entre un 5 y un 10% debido a las sequías que se esperan en

estas zonas, en tanto que, en las inmediaciones de la región del Biobío e incluso más al sur, podría aumentar (más de un 30%) debido al aumento de temperaturas en el invierno (Alvarado y Caicheo, 2010).

Si bien el cambio climático tendrá impactos negativos sobre la agricultura (como ya se ha mencionado), habrá una oportunidad de forjar agro ecosistemas productivos, competitivos y compatibles con el medio ambiente (Ortiz, 2008).

## **Justificación**

La alta variabilidad en espacio y tiempo de los regímenes pluviales, hacen que la agricultura en zonas de temporal esté sujeta al riesgo climático. En el sector agropecuario de México, 50% de las pérdidas se deben a sequías; 23% a flujos extremos, y 27% a otras causas (Tiscareño, 2006). Este sector es el principal usuario del agua y del suelo: la agricultura de riego utiliza 78% del agua extraída en el país y la ganadería 2%; en cuanto al suelo, se cultivan alrededor de 23 millones de hectáreas, además aproximadamente 112 millones se clasifican como de uso ganadero; casi 70% del territorio nacional tiene un uso agropecuario (CNA, 2006; Sánchez-Cohen *et al.*, 2008 a; Sánchez-Cohen *et al.*, 2008 b).

El principal efecto del cambio climático es la incertidumbre climática; es decir, la dificultad en la predicción de variables climáticas debido a la gran aleatoriedad afectada por las condiciones cambiantes del clima (Sellers, 1975; Sánchez-Cohen, 2005).

Cabe mencionar que en la cuenca del río Calderón no se han realizado estudios previos. Actualmente no es posible prever el alcance preciso de las variaciones climáticas que se puedan producir en el futuro en la escala regional.

La investigación generará información de manera individual y colectiva de las variaciones climáticas y su impacto sobre la producción agroalimentaria en los municipios que conforman la cuenca del río Calderón.

## **Hipótesis**

Existe correlación significativa en los parametros de temperatura y precipitación, con los cambios identificados en la producción agroalimentaria, en la cuenca del río Calderón.

## **Objetivos**

### **General**

Evaluar la correlación entre las variaciones espaciales de temperatura y precipitación sobre la producción agroalimentaria, en la cuenca del río Calderón, en el contexto del Cambio Climático.

### **Específicos**

- Analizar los patrones temporales y espaciales de temperatura y precipitación en la cuenca, durante el período 1970-2010.
- Analizar la producción agrícola en el mismo período.
- Analizar el impacto de los cambios detectados en los patrones de temperatura y precipitación antes mencionados sobre la producción alimentaria.

El presente trabajo está estructurado de la siguiente manera: En el primer capítulo de Metodología, se describen las actividades de investigación y desarrollo asociadas con el proyecto, así como los pasos que permitieron realizar la caracterización geográfica y ambiental de la cuenca, de la misma manera se mencionan, las actividades para el análisis de los patrones temporales de lluvia y temperatura en la cuenca, las actividades que se llevaron a cabo para el análisis de los cambios detectados sobre la producción alimentaria y los pasos que se llevaron a cabo para analizar el impacto de los cambios detectados en los patrones de lluvia y temperatura sobre la producción, por último se presenta un diagrama metodológico de la investigación.

En el segundo capítulo del Marco Teórico se abordan: Estudios sobre cambio climático y variaciones climáticas a nivel nacional e internacional, se mencionan también algunos antecedentes de los efectos del cambio climático sobre la producción agrícola y sobre la seguridad alimentaria de los países en desarrollo. Se cita también la utilización de la información climática para la evaluación de impactos, como una herramienta para brindar información climática a una escala espacial precisa, además de algunas actividades de adaptación del sector agrícola

al cambio climático que realizan a nivel internacional organizaciones como la \*FAO y la \*OMM.

En el tercer capítulo de Resultados y Discusión se presenta: La caracterización geográfica y ambiental de la cuenca, en la cual se describe los diversos ecosistemas, los elementos geográficos, paisajísticos, geomorfológicos e hidrológicos, se presentan el análisis de los valores de la temperatura y precipitación por décadas de cada una de las estaciones, así mismo se presenta el análisis de los valores de la producción agroalimentaria por década de cada uno de los municipios.

**\*Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)**

**\*Organización Meteorológica Mundial (OMM)**

# **CAPITULO 1.**

## **MARCO TEÓRICO**

## CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo de Marco Teórico se abordan los estudios sobre cambio climático y variaciones climáticas a nivel nacional e internacional, así como algunos antecedentes de los efectos del cambio climático sobre la producción agrícola y sobre la seguridad alimentaria de los países en desarrollo. Se mencionan también la utilización de la información climática para la evaluación de impactos, como una herramienta para brindar información climática a una escala espacial, además se reportan algunas actividades de adaptación del sector agrícola al cambio climático que realizan a nivel internacional organizaciones como la FAO y la OMM.

### **1.1 Estudios sobre cambio climático y variaciones climáticas a nivel nacional e internacional.**

Diversos científicos afirman que los cambios climáticos han ocurrido desde el origen del planeta, y se generan a un ritmo lento, de manera que pueden resultar imperceptibles, toda vez que éstos han ocurrido en periodos de tiempo geológicos. Cuando se habla de cambio climático, se piensa más en la temperatura que en los cambios en otras características del medio físico (Lovelock, 2007). La temperatura media de la Tierra ha tenido variaciones, pero desde 1840 se ha registrado calentamiento.

Esto se puede asociar con el inicio de la Revolución Industrial, aunque, no es posible establecer una relación de causa-efecto, ya que la atmósfera es un sistema que reacciona gradualmente. También, se han registrado periodos más fríos (1950-1970), pero desde entonces, el calentamiento en la Tierra ha sido continuo, esto se puede atribuir a la influencia de las actividades humanas (deforestación, incendios, industrialización, emisiones de CO<sub>2</sub>, detonaciones nucleares atmosféricas), (Pastrana, 2000, IPCC, 2007).



Investigaciones como las de Pastrana, (2000); Raso, (2002 y 2007); Lovelock, (2007) y Henson, (2008) han demostrado que el cambio ambiental global tiene su origen en las actividades que realizan las sociedades humanas en el mundo, provocando variaciones climáticas locales, pero también, son muchos los individuos que no logran percibir sus causas y efectos, posiblemente debido a la interacción e interrelación de factores que influyen, condicionan o determinan sus manifestaciones.

El reciente calentamiento, más que reflejar un proceso que haya afectado de manera más o menos homogénea al conjunto del planeta, es el resultado de estimaciones y cálculos estadísticos sobre observaciones que comprenden realidades distintas y complejas.

En primer lugar, el incremento de las temperaturas medias, sobre todo durante la segunda mitad del pasado siglo, fue más notorio en invierno y primavera que en verano y otoño y, en segundo término, la existencia de importantes diferencias regionales en cuanto a la intensidad de los incrementos termométricos e, incluso, de espacios que fueron objeto de un cierto enfriamiento (Raso, 2007).

En México, Garduño (1994) y Jáuregui (2000 y 2004) realizaron investigaciones para relacionar los procesos de cambio de uso de suelo y de urbanización con el régimen termal en la Ciudad de México. Utilizando datos de temperatura y precipitación para un periodo aproximado de 25 años, documentaron los cambios climáticos interdecadales inducidos por las modificaciones del uso del suelo. Los resultados muestran que en extensas áreas de la cuenca de la Ciudad de México las temperaturas máximas anuales mantienen una tendencia positiva (de 0.07 °C/año) (Jáuregui, 2004).

Este contraste se hace más marcado cuando se utiliza la temperatura mínima, ya que en sitios suburbanos el incremento promedio por áreas es de 0.15 °C/año.

En el valle de Toluca las variaciones climáticas están presentes, así lo demuestran algunas investigaciones recientes de Hernández *et al.* (2005) y Morales *et al.* (2008). Los estudios de Hernández *et al.* (2005) Demuestran que la Ciudad de Toluca tiene una temperatura media anual de 12.9 °C, que en invierno suele disminuir hasta -2.0 °C y en verano asciende a 28.0 °C, por lo que, la amplitud térmica es de 30.0 °C, situación que de acuerdo con ellos puede incrementarse como consecuencia del cambio de uso del suelo y otros factores relacionados con la dinámica demográfica.

El clima en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, está sufriendo variaciones, posiblemente a causa de las actividades humanas, por deterioro de los recursos naturales renovables y no renovables, y por los impactos ambientales que ocasionan las actividades no planificadas. Con base en este concepto, en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, ya se tienen registros de incrementos de temperatura y variaciones en la precipitación (Pérez *et al.*, 2010)

De acuerdo con las investigaciones e informes de la NASA (2008) y el IPCC (1995 y 2001), el cambio climático, es la modificación de la temperatura con respecto al historial climático a una escala global o regional. Los cambios climáticos se producen a un ritmo lento, de manera que, al menos en el pasado, han resultado prácticamente imperceptibles en periodos de tiempo geológicos.

El cambio climático a nivel mundial, debido principalmente al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) inducidos por la acción humana, se relaciona con temperaturas extremas, escasez de agua e inundaciones. El número creciente de eventos climatológicos extremos que han ocurrido en los pasados 15 a 20 años, sugiere que tales eventos están siendo más constantes y severos, con el aumento creciente de pérdidas económicas (Pérez *et al.*, 2010).

Parecería que, más allá de lo que se ha advertido en los últimos 50 años, las altas temperaturas estacionales pueden generalizarse aún más en diversas zonas de

Mesoamérica y América del Sur en lo que resta de este siglo (Battisti y Naylor, 2009).

Al disertar sobre la interrogante de si el planeta se está calentando, Garduño (1994) cita la conocida conclusión de que “la única constante del clima es su variabilidad” refiriéndose a las oscilaciones naturales del sistema climático. Estas variaciones naturales del clima como las estaciones son precisamente las que configuran los ecosistemas, los recursos naturales y las actividades características en cada región del planeta. En la República Mexicana, la gama de estudios realizados orientados a documentar las variaciones climáticas naturales es amplia, y aunque no necesariamente suficiente, permite que actualmente se empiece a contar con información para interactuar con los procesos del clima y enfrentar sus impactos (Garduño, 1999).

Las estaciones del año, o el contraste entre verano e invierno, son las variaciones naturales del clima que resultan mayormente tangibles para el ser humano, aunque no son las únicas. Otras formas de variabilidad natural han recibido especial atención durante los últimos años, como el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur, que con periodos irregulares de entre dos y siete años modifica los patrones del clima regional.

Diversos estudios se han realizado sobre el fenómeno El Niño, con objeto de identificar sus impactos. En México, por ejemplo, se ha encontrado que cuando este fenómeno ocurre con intensidad muy fuerte causa sequía en la mayor parte del país durante el verano (Magaña *et al*, 2003), mientras que en el invierno causa un aumento en la frecuencia de frentes fríos (Vázquez-Aguirre, 2000).

Estudios como estos, entre otros, han mostrado que a través de la investigación se pueden obtener mejoras en nuestro conocimiento de las variaciones naturales del clima: a la información sobre el ciclo anual (lo que en promedio ocurre en el invierno y en el verano) se puede agregar información sobre la variabilidad

interanual (si dicho invierno o verano se espera que ocurra de forma normal o con cambios drásticos) en función de la ocurrencia e intensidad de El Niño.

Un aumento en el número de investigaciones se traduce en mayor información disponible y en una mejor comprensión causal de las variaciones climáticas, fortaleciendo los diagnósticos y sentando las bases para la elaboración de pronósticos del clima. No toda la variabilidad del clima se explica en función del ciclo anual y de la ocurrencia de El Niño.

Estudios sobre los principales modos de variabilidad de la lluvia de verano en México arrojan resultados preliminares que muestran que independientemente de la fase de El Niño, la influencia los sistemas de gran escala (sistemas atmosféricos presentes debidos a la configuración de la circulación general y la tendencia de largo plazo) y la variabilidad en bajas frecuencias (oscilaciones con periodos del orden de lustros o décadas) juegan un papel de igual o incluso mayor relevancia para explicar la lluvia en la región (Vázquez-Aguirre, 2007).

Estas tres formas de variación de la lluvia de verano fueron calculadas a partir de las observaciones pluviométricas disponibles entre 1958 y 2004 minimizando los efectos de la escala local, la influencia de la orografía y las variaciones intraestacionales. Los resultados sugieren que en la entidad es posible discernir una clara influencia en el comportamiento de la lluvia de verano por parte de: (1) la tendencia de largo plazo, (2) las oscilaciones (multi) decadales y (3) las variaciones interanuales.

En el año 2003, la Organización Meteorológica Mundial anuncio la posibilidad de un incremento en los eventos extremos del tiempo y del clima asociado al calentamiento global (WMO, 2003). La detección de cambios en los eventos extremos a escala global es relativamente reciente (Alexander *et al*, 2006; Trenberth *et al*, 2007). En la región de Norteamérica (Canadá, Estados Unidos y norte de México) se ha encontrado evidencia de cambios consistentes con el aumento de la temperatura del planeta: incremento en la lluvia intensa, aumento

en los eventos de temperaturas altas y disminución de eventos de temperaturas bajas (Peterson *et al*, 2008).

Si bien no existe una definición unívoca de extremo climático, el uso de una base teórica común para definir los eventos extremos permite su estudio sistemático. En este sentido, el Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI por sus siglas en inglés) de la Organización Meteorológica Mundial ha formulado 27 índices de cambio climático para detectar las modificaciones en el comportamiento de los extremos del clima. La definición de este conjunto de índices tiene como propósito que la forma de calcular los cambios en los extremos sea realizada exactamente de la misma manera en todo el mundo a fin de tener una base comparativa a escala global (Karl *et al*, 1999; Peterson, 2005).

El reto principal en el uso de los índices de cambio climático es el requerimiento de control de calidad y análisis de homogeneidad en las series de tiempo a ser utilizadas (Aguilar *et al*, 2003), ambos requerimientos nos remiten al tema de las dos secciones anteriores: un adecuado monitoreo atmosférico para contar con buenos datos observados y conocimiento experto de la variabilidad climática natural para realizar el control de calidad de la información no solo con criterios estadísticos, sino también con conocimientos de la climatología física de cada región.

Al analizar las series regionales de temperatura mínima, se observa que las temperaturas mínimas extremas se han incrementado aproximadamente 1°C desde principios de la década de 1990, mientras que los valores más altos de esta misma variable no han cambiado en forma relevante. Esto lleva a pensar que en general los inviernos de la última década han sido menos fríos en la región con excepción de 1997, (Vázquez-Aguirre, 2007).

## **1.2 Antecedentes sobre los efectos del cambio climático sobre la producción agrícola a nivel nacional e internacional.**

La variabilidad climática interanual afecta actividades humanas sensibles, como la agricultura. El número creciente de eventos climatológicos extremos que han ocurrido en los pasados 15 a 20 años, sugiere que tales eventos están siendo más constantes y severos, por ejemplo:

Davydova Belitskaya, menciona que México es un país que se caracteriza por una gran variabilidad climática, consecuencia de su posición geográfica y una compleja topografía. Esta complejidad determina los regímenes pluviales y de temperaturas a nivel regional, lo que a su vez condiciona la dinámica de las cuencas hidrográficas de nuestro país.

Para conocer una cuenca es importante conocer sus parámetros climáticos así como su variabilidad natural y sus tendencias históricas. Todo esto hace posible comprender el balance hidrológico de cada cuenca y proyectar su evolución o comportamiento futuro. Estos puntos son muy importantes en materia de adaptación en gestión del agua.

Los posibles impactos del cambio climático sobre las cuencas dependen de múltiples factores tales como la orografía de la región, su ubicación (zona costera o valle, etc.), sensibilidad climática o respuesta del régimen de temperatura y lluvia, local y regional, ante la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), y especialmente por efectos antropogénicos como la urbanización, la deforestación, la contaminación del agua y la sobre explotación de acuíferos, entre otros.

Para una buena gestión del agua y preservación de las cuencas hidrográficas es importante y necesaria conocer la sensibilidad climática de la región, es decir la variabilidad climática natural y las tendencias de temperatura y de precipitación como detonantes del régimen de escurrimientos y de gastos en la cuenca.

Por otro lado el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) concluyó en el 2001 el Tercer Reporte de Evaluación (TAR,

por sus siglas en inglés). Las conclusiones de los estudios quedaron integradas en tres grandes volúmenes a partir de los cuales se construyeron resúmenes para tomadores de decisiones y reportes técnicos (<http://www.ipcc.ch>).

Entre las conclusiones más importantes (IPCC 2001a) pueden mencionarse las siguientes: el conjunto de observaciones recabadas hasta ahora apunta a que hay un calentamiento global y cambios en el sistema climático. Hay evidencias cada vez más sólidas de que la mayor parte del calentamiento observado en los últimos 50 años es atribuible a la acción humana. En el futuro, las actividades humanas continuarán alterando la atmosfera por emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles de tal forma que se espera que el clima se verá afectado durante este siglo.

Por otra parte, ha aumentado la confianza en la habilidad de los modelos para proyectar el clima futuro. Dichos modelos señalan importantes aumentos en la temperatura media global y en el nivel del mar, en cualquiera de los escenarios socioeconómicos planteados por consenso en el IPCC.

Uno de los grandes retos dentro de las investigaciones actuales es el de realizar a escala regional estudios de *vulnerabilidad* que permitan diseñar estrategias de *adaptación* (V&A) de los sistemas humanos sobre los que descansa la productividad y bienestar de nuestras sociedades. De hecho, el impulso a los estudios de (V&A) es la tarea que se han propuesto impulsar durante los próximos años los países comprometidos en la Conferencia de las Partes: ligar las llamadas Comunicaciones Nacionales a los resultados que desarrollen en este campo.

De particular interés son las investigaciones realizan los países en desarrollo, seguramente los más vulnerables a las condiciones de cambio climático. En general, para estos países se espera una reducción importante en los rendimientos de sus cultivos, un decremento significativo en su disponibilidad de agua, un aumento en el número de personas expuestas a enfermedades como el paludismo y el cólera, así como un aumento en el riesgo de inundaciones, producto de lluvias torrenciales y en el aumento del nivel del mar (IPCC 2001b).

Los estudios actuales de V&A relacionados con la agricultura parten necesariamente de considerar que esta actividad es extremadamente vulnerable en los países en desarrollo, ya que se encuentra doblemente expuesta (O'Brien y Leichenko 2000): es vulnerable a los fuertes cambios socioeconómicos que se dan dentro del proceso de globalización económica, y es además altamente sensible a las variaciones climáticas, como se observó durante los grandes eventos climáticos que acontecieron en la década de los noventa, particularmente durante el fuerte evento de El Niño de 1997-1998.

Recientemente, durante el segundo semestre del 2001, la región centroamericana sufrió uno de los ejemplos más dramáticos de esta "doble exposición": además de la severa sequía que se presentó en vastas regiones de Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua (Petrich 2001), en el ámbito internacional hubo una caída drástica en los precios del café, que es uno de los cultivos en los que descansa en buena medida la economía de esas regiones.

Si bien para Latinoamérica se postulan grandes variaciones en los rangos posibles de temperatura y precipitación en condiciones de cambio climático, existe una alta confianza en que son las condiciones de ENOS las mayormente responsables de la variabilidad climática en la región (IPCC 2001b). Por tanto, variaciones en el clima que implicaran un aumento en el número o la intensidad de este evento constituirían un escenario de cambio climático bastante adverso a las actividades productivas de la región, a partir de técnicas estadísticas mostraron claramente estas condiciones para varios modelos de circulación general (Magaña *et al.* 1997).

Aunque el TAR no fue concluyente en cuanto a estos aspectos del ENOS, si establece la probabilidad de que se alargue la duración del mismo (entre 12 a 18 meses). En ese caso, podían presentarse para México dos veranos con sequía, o dos inviernos con bajas temperaturas y lluvias torrenciales. Además, algunos estudios relacionan a El Niño con la mayor presencia de huracanes en el Pacífico; estos meteoros han sido la fuente de grandes desastres en Latinoamérica,



particularmente en Centroamérica y México, ya que las inundaciones y deslizamientos de tierra provocan grandes pérdidas de vidas humanas y de infraestructura que pueden retrasar el desarrollo regional aun por décadas.

Por ejemplo, el maíz se cultiva a nivel del mar y a más de 2,000 metros de altura, y ha sido el sustento básico de muchas generaciones en el sector rural. Así, la producción de maíz en México depende fuertemente del clima y se desarrolla prácticamente en todo el territorio nacional. Los bajos rendimientos y la gran superficie siniestrada que se presentan año con año, son indicativos de que este cultivo no se desarrolla ni exclusiva ni fundamentalmente para su comercialización a gran escala; además, se cultiva en áreas en donde no existe aptitud para ello, tanto en el ámbito climatológico como en el de suelos y pendientes, lo que en parte explica las altas pérdidas en las cosechas de este cultivo y los bajos rendimientos (menores a 2 ton/ha) en más de la mitad del territorio nacional.

Las personas pobres de los países en desarrollo que ya tienen dificultades a la hora de enfrentarse a la variabilidad climática actual serán aún más vulnerables. Son los que menos contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero, y a la vez tienen que aprender a lidiar con un clima en proceso de cambio con pocos recursos financieros o técnicos. La adaptación a la variabilidad climática es más urgente para la seguridad alimentaria de los pequeños agricultores, mientras que la predicción climática y las evaluaciones del impacto del cambio climático a largo plazo constituyen la base de cara a las medidas de adaptación.

### **1.3 Efectos del cambio climático sobre la seguridad alimentaria de los países en desarrollo.**

En el planeta se producen suficientes alimentos para alimentar a todas las personas en el mundo, sin embargo, no todas las personas comen con equidad. De los 7,000 millones de habitantes (2011), 1,000 millones sufren desnutrición y 1,500 millones de personas mayores de 20 años sufren de obesidad. Por otra parte, la pobreza afecta a 1,400 millones de seres humanos que no tienen acceso a alimentos por el incremento constante en

el precio de estos productos, y a pesar del hambre, 1,300 millones de toneladas de alimentos se desperdician anualmente (Beddington, J. et. al. 2011).

Según la FAO (2007) la seguridad alimentaria se da, cuando todos los seres humanos pueden acceder tanto física como económicamente a suficientes alimentos, nutritivos e inoocuos para satisfacer sus necesidades dietéticas y de su preferencia, y tener una mayor calidad de vida. Para tener la seguridad alimentaria, se deben cumplir con cuatro componentes: disponibilidad, estabilidad, accesibilidad y utilización.

El cambio climático afecta de igual forma al sustento de los ricos y de los pobres ocasionando impactos sobre las necesidades humanas básicas, entre las que se incluyen la alimentación, las prendas de vestir y la necesidad de cobijo. Los cuatro componentes de la seguridad alimentaria (disponibilidad de alimentos, acceso a los mismos, utilización de los alimentos y sistema de producción de dichos alimentos) representan la esencia del mandato de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Estos cuatro componentes se ven afectados por el clima (FAO, 2008 a), pero la disponibilidad de los alimentos está asociada más directamente con el clima y sus cambios, desde las cosechas hasta los productos derivados de los animales, productos marinos y relacionados con la acuicultura y productos de madera y de otros materiales provenientes de los bosques.

También se hace necesario una mayor inversión, para incrementar la productividad agropecuaria en los países en desarrollo, aumentando las tasas de crecimiento de un 15% en la eficiencia en las cuencas hídricas, un 25% en las áreas de irrigación; un 30% en el número de animales; un 40% en la producción de aceites y alimentos; un 60% en el rendimiento de los cultivos y reduciendo un 15% en las áreas de secano (Nelson, G. et.al.,2009).

Incluso en los casos en que la producción es suficiente, si un sistema de asignación de alimentos independientemente de que el mismo funcione a través de un mercado o no se ve afectado negativamente, el acceso a estos alimentos se verá perjudicado y la seguridad alimentaria, comprometida. La urbanización se desarrolla a un ritmo vertiginoso en muchos países del mundo, lo que contribuye a crear una categoría de pobres urbanos, que no desarrollan labores de cultivo y son muy vulnerables ante el cambio climático. (FAO, 2008).

Cuando la salud humana se encuentra en una situación comprometida, y especialmente la de las mujeres que se encargan de preparar los alimentos para los miembros de sus respectivas familias, la capacidad de utilizar los alimentos de un modo eficaz disminuye de forma drástica. La seguridad alimentaria también podría verse afectada por una menor higiene a la hora de manipular los alimentos, como consecuencia de una disponibilidad limitada de agua dulce o de la existencia de restricciones en la capacidad de almacenar los alimentos a causa de unas condiciones climáticas más cálidas.

La malnutrición también puede elevarse debido a una disminución en la biodiversidad alimentaria y a una excesiva dependencia de algunos alimentos básicos. Los cambios en la variabilidad climática tienen una implicación directa sobre la estabilidad del sistema de producción de alimentos. Una mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos como las sequías e inundaciones supondrían una gran amenaza para la estabilidad, independientemente de que estos fenómenos tuvieran un impacto doméstico o a través de todo el mercado de alimentos a nivel mundial.

La frecuencia y la magnitud de las emergencias alimentarias podrían aumentar, como consecuencia de las complejas interrelaciones existentes entre los conflictos políticos y los fenómenos migratorios en un contexto de una mayor competencia por los recursos limitados.

Por otro lado, las perspectivas de un incremento de las plagas y enfermedades como consecuencia del cambio climático tienen una importante implicación en

términos de nutrición; los nuevos riesgos afectan a las cosechas, al ganado, a los peces y a los seres humanos.

#### **1.4 Impactos globales del cambio climático sobre la producción agrícola potencial.**

La disponibilidad alimentaria y la producción agrícola bajo el cambio climático se analizan en el capítulo 5 “*Food, fibre and forest products*” del segundo volumen del cuarto Informe de evaluación del Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC, 2007) y en algunos otros estudios que se han publicado desde entonces por ejemplo (Cline, 2007; Lobell et al., 2008).

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación entre los científicos ya que variables climáticas claves para el crecimiento de los cultivos (por ejemplo: precipitación, temperatura, entre otras) podrían ser severamente afectadas y así impactar la producción agrícola. Aunque los efectos de los cambios en el clima sobre la producción de cultivos varía ampliamente de una región a otra, se espera que los cambios anticipados tengan grandes efectos y de gran envergadura principalmente en zonas tropicales de países en desarrollo con regímenes de precipitación que se encuentran entre semiárido y húmedo (Cline 2007).

Los peligros incluyen el incremento en las inundaciones en las áreas bajas, mayor frecuencia y severidad de sequías y calor excesivo en áreas semiáridas, condiciones que en su conjunto pueden limitar el crecimiento de los cultivos y sus rendimientos (Howden 2007).

En términos generales, la producción de cosechas se incrementará en las zonas frías donde las bajas temperaturas limitan actualmente el crecimiento de los cultivos. Por otra parte, el estrés térmico sobre los cultivos y la disponibilidad de agua llevarán a una disminución de la producción en ambientes cálidos. A nivel mundial, la producción de alimentos puede elevarse, pero se espera un impacto

neto negativo si las temperaturas nocturnas ascienden y los valores medios aumentan en más de unos cuantos grados Celsius.

Estos impactos están siendo ya experimentados por muchas comunidades en los países del sur, donde también se espera un aumento en las precipitaciones, las cuales dañarán aun más los cultivos debido a la erosión y en algunos casos a inundaciones. A medida que las temperaturas continúan elevándose, el impacto en la agricultura será significativo (Doering *et al* 2002).

Sin embargo, las perspectivas a escala nacional solo han limitado su relevancia a la seguridad alimentaria de las poblaciones rurales. Aunque se espera un incremento térmico prácticamente a nivel global, el patrón de los cambios en las precipitaciones varía de forma significativa entre las diferentes regiones y a nivel sub nacional, como consecuencia de la topografía y de la proximidad a masas de agua.

Para evaluar la seguridad alimentaria a la luz del cambio climático, en los casos de los países de menor tamaño y de las diferentes poblaciones dentro de un país, resulta esencial disponer de una información climática a una escala espacial fina, y esta necesidad es mayor que nunca. Cualquier medida de planificación o adaptación ante el cambio climático requiere una información climática espacial más detallada que se introduzca en los modelos de evaluación de impactos, como por ejemplo los de simulación de cultivos. Es imprescindible contar con unos buenos datos climáticos históricos para calibrar los modelos de impacto junto con perspectivas futuras del clima de cara a calcular futuras producciones de cultivos.

La FAO ha llevado a cabo recientemente un estudio relativo a los impactos del cambio climático sobre la producción de cosechas marroquíes hasta finales de este siglo en el marco de un proyecto de cambio climático del Banco Mundial (Gommes *et al.*, 2009). El estudio abarcaba seis zonas agroecológicas, 50 cultivos y dos escenarios de cambio climático.

A través de algunos de los experimentos realizados se puso de relieve que el dióxido de carbono tenía un impacto positivo sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas. Sin embargo, se descubrió que la fertilización con dióxido de carbono solo aportaría un beneficio marginal sobre las futuras cosechas, como consecuencia del estrés hídrico al que están expuestos los cultivos de secano.

Por otra parte, aún sigue habiendo margen para que se produzcan avances tecnológicos en la agricultura marroquí, como sistemas de regadío más eficaces, más variedad de cultivos y una utilización más eficaz de los fertilizantes. La agricultura podrá adaptarse, a un costo determinado, superando algunos de los impactos negativos del cambio climático.

### **1.5 Utilización de la información climática para la evaluación de impactos.**

Las plantas como seres vivos, se consideran como aparatos meteorológicos registradores, sensibles a diversos elementos del clima. La fenología estudia la secuencia temporal de las distintas fases periódicas de las plantas y sus relaciones con el clima y el tiempo atmosférico; fases como: aparición de las primeras hojas, floración, maduración de los frutos, etc., tienen relación con las condiciones prevalecientes de temperatura y la oportuna cantidad de precipitación (Taiz y Zeiger, 2006; Villers *et al.*, 2009).

Así se tiene que cada planta presenta límites mínimos, óptimos y máximos; algunas son susceptibles a las temperaturas altas en las primeras fases fenológicas y posteriormente pueden resistir altas temperaturas, otras suspenden funciones al estar en condiciones de bajas temperaturas. Igualmente la oportuna cantidad de agua es vital; una precipitación excesiva en las primeras fases de vida es perjudicial por afectar los retoños, si está acompañada de granizo y se presenta durante la floración y fructificación causará bajas en la producción.

Contrariamente se pueden presentar condiciones de sequía, con lo cual, los cultivos manifiestan cambios en la acumulación de biomasa, en los procesos de

asimilación primaria, entre otros y finalmente en el rendimiento (Taiz y Zeiger, 2006).

Dentro de las fases fenológicas de las plantas, se reconoce la sensibilidad e importancia que poseen la floración y desarrollo del fruto a los cambios climáticos (Bradley *et al.*, 1999; Beaubien y Freeland, 2000; Peñuelas y Filella, 2001).

Ahora bien, respecto al cambio climático éste se entiende como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana y que se suma a la variabilidad natural (Sánchez-Cohen *et al.*, 2011).

Las últimas evaluaciones del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) presentadas en el Cuarto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (AR4 por sus siglas en inglés) argumentan que es un fenómeno inequívoco cuyo aumento ha sido de 1 °C respecto a las temperaturas registradas en 1850 (Gay *et al.*, 2010).

Sus efectos son irreversibles en diversos sistemas naturales y sugieren que a finales del siglo XXI el incremento en la temperatura del planeta con mayor probabilidad será de entre 2 a 5 °C; el nivel del mar podría registrar un aumento de 28 a 43 centímetros y posiblemente se observarán cambios importantes en los patrones de precipitación y en los eventos climáticos extremos; finalmente el cambio climático ya está teniendo una influencia indiscutible sobre muchos de los sistemas biológicos (Peñuelas y Filella, 2001; Villers *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2011).

Hasta ahora el incremento de la temperatura media parece muy leve, pero ha conllevado a una respuesta del reino vegetal; los cambios y evidencias producto de estas variaciones, han sido investigadas y reportadas en las contribuciones de los grupos de trabajo del (AR4) (Rosenzweig *et al.*, 2007).

Por otro lado, Ruiz *et al.* (2000) resaltan que los agrosistemas más sensibles a los cambios de los elementos del clima son los sistemas en condiciones de temporal;

además Conde *et al.* (2004) consideran que esta actividad se encuentra sumamente vulnerable, sobre todo en los países en desarrollo. Los impactos reportados son tanto, en los ciclos estacionales (duración del periodo de crecimiento e inicio del periodo de crecimiento) y de la vida (etapas fenológicas) que incluyen retención o caída prematura de las hojas, cambios en las fechas de floración y maduración o cosecha (Bradley *et al.*, 1999; Beaubien y Freeland, 2000).

En términos generales el cambio climático es un tema que causa gran preocupación; algunas evaluaciones de los posibles efectos, particularmente en las fases fenológicas y áreas potenciales del maíz en México, han sido subrayadas por (Conde *et al.*, 1997; Ruiz *et al.*, 2000; Alvarado *et al.*, 2002; Conde *et al.*, 2007). Mismos que sugieren impactos en los rendimientos y reducciones en las superficies aptas.

Dada la importancia del maíz (*Zea mays* L.) y su vulnerabilidad a las variaciones de los elementos del clima, el objetivo del trabajo fue realizar un análisis de las posibles alteraciones que puede traer consigo el cambio climático, particularmente las fluctuaciones en verano de la temperatura y precipitación; además de sus repercusiones en la fenología del maíz de temporal en el Distrito de Desarrollo Rural (DDR- Toluca) en el Estado de México. Se asume que para un futuro los requerimientos agroclimáticos de diversas fases fenológicas del maíz no serán satisfechos.

## **1.6 Adaptación del sector agrícola al Cambio Climático.**

A pesar de los compromisos internacionales encaminados a reducir los gases de efecto invernadero, no puede evitarse un cierto nivel de cambio climático. Cabe esperar que la temperatura media global siga subiendo, al menos, durante las próximas décadas. La adaptación al cambio climático es urgente, especialmente necesaria para los países en desarrollo.



Las actividades conjuntas desarrolladas por la FAO y la OMM de cara a la organización de seminarios internacionales en diferentes regiones, como por ejemplo el Simposio Internacional sobre el Cambio Climático y la Seguridad Alimentaria en el sur de Asia (agosto de 2008, Dacca, Bangladesh) y el Seminario Internacional sobre Adaptación al Cambio Climático en la Agricultura de la Región Occidental de África (Uagadugú, Burkina Fasso, en abril de 2009), están logrando reunir a representantes de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN), los ministerios de agricultura y las organizaciones regionales e internacionales para debatir estrategias destinadas a la adaptación a nivel regional ante el cambio climático y a desarrollar recomendaciones adecuadas para su desarrollo en las regiones vulnerables.

Los estudios de impacto discutidos en las secciones anteriores informan a los responsables de la toma de decisiones acerca de las áreas y los sectores vulnerables, con el fin de planificar medidas de adaptación. La FAO ayuda a los agricultores de subsistencia en la creación de capacidad para que puedan adaptarse mejor al cambio climático, a través del suministro de asistencia técnica.

Para empezar, hay mucho trabajo que hacer para reducir la vulnerabilidad ante la variabilidad climática actual. En este contexto, la adaptación ante el cambio climático presenta un fuerte vínculo con la gestión del riesgo de desastres. Un proyecto que está llevando a cabo la FAO en Bangladesh se centra de forma exhaustiva en la adaptación experimentada por los medios de sustento de la población. A nivel local sobre el terreno, las medidas introducidas son: una mejor gestión agronómica, la diversificación de ingresos, la intensificación de los servicios de ampliación y la comprobación de las técnicas de adaptación recomendadas.

Los agricultores podrían adaptarse modificando las fechas de siembra y la variedad de cultivos, de forma que estas se ajusten mejor a un clima más cálido y más seco o húmedo. Un aumento en la utilización de fertilizantes elevaría el rendimiento por unidad de área, mientras que la eficacia en el riego y en la gestión

de las cuencas hidrográficas aliviaría el estrés hídrico, que podría verse incrementado como consecuencia del cambio climático.

La utilización operativa de los datos y predicciones de carácter climático, especialmente las predicciones estacionales, pueden mejorar de forma eficaz la capacidad de resistencia de los sistemas de producción agrícola. Los agentes de extensión de poblado ayudan a los agricultores a poner en práctica nuevas tecnologías y enfoques agrícolas.

La FAO está desarrollando una herramienta de aprendizaje electrónico relativa a la adaptación al cambio climático a nivel de las comunidades dentro del sector agrícola y que está dirigida a los trabajadores más cercanos a los agricultores sobre el terreno; esta herramienta puede emplearse en las aulas o con fines de autoaprendizaje. El curso imparte los fundamentos básicos del cambio climático y ayuda a los estudiantes a planificar acciones de adaptación de forma escalonada.

### **1.7 La Mitigación de impactos mediante estrategias de secuestro de Carbono.**

Hay muchas opciones de adaptación para la agricultura que ofrecen beneficios de mitigación y al mismo tiempo, son de fácil acceso y pueden adoptarse con carácter inmediato. Los sectores de la agricultura y la silvicultura combinados son los responsables de un tercio de la totalidad de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero y constituyen las fuentes más importantes de emisión de metano y de óxido nitroso.

La explotación del gran potencial de mitigación en estos sectores resulta fundamental para lograr un objetivo ambicioso de reducción de gases de efecto invernadero. Quizás el secuestro de carbono en el suelo cuenta con el mayor potencial en términos de cantidad de dióxido de carbono. El secuestro de carbono en el suelo puede aportar alrededor del 89% de este potencial.

Se puede esperar un gran rendimiento a partir del carbono reducido por un costo relativamente bajo si se consigue gestionar mejor el uso de la tierra en todas las zonas climáticas y en algunos de los sistemas de utilización del suelo: cultivo, pastoreo y silvicultura (FAO, 2008 b; FAO, 2009).

Existen muchas prácticas de gestión que pueden ayudar a recuperar los páramos de tierra yerma, los suelos y los ecosistemas, para aumentar en consecuencia el carbono orgánico existente en el suelo y mejorar la calidad y la salud del suelo.

Entre estas prácticas se incluyen: la agricultura orgánica, la agricultura de conservación, el acolchamiento de suelos, los cultivos de cobertura, la gestión integrada de nutrientes (incluyendo la utilización de estiércol y abono orgánico), la agro silvicultura y la mejora en la gestión de pastos y pastizales. Una mejora en la gestión de los nutrientes también puede ayudar a reducir las emisiones de óxido nitroso, a la par que contribuir al secuestro de carbono en el suelo.

Las prácticas de gestión sustentable del uso de la tierra que incrementan el carbono existente en el suelo aportan múltiples beneficios: mayor fertilidad del suelo, incremento de la biodiversidad en superficie y aumento del almacenamiento del agua en el terreno. Los medios de sustento rurales aumentarán la capacidad de resistencia ante el cambio climático gracias al fortalecimiento o estabilización de la productividad, el suministro de varios servicios relacionados con el ecosistema, y la inversión de los procesos de degradación y desertificación.

El cambio climático afecta a los pequeños agricultores de muchas maneras, pero una mejora en la predicción climática y una utilización eficaz de la información sobre el clima pueden llevar a todos los implicados en la seguridad alimentaria, desde los agricultores hasta los gobiernos, a una adaptación y unas medidas de mitigación sólidas.

La agricultura tiene un gran potencial de cara a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, con importantes beneficios para la adaptación y el desarrollo rural. Sin embargo, hasta la fecha, la agricultura no ha sido lo suficientemente

reconocida como una de las principales partes implicadas en las negociaciones sobre el cambio climático.

La FAO auspició una conferencia de alto nivel sobre seguridad alimentaria mundial en el mes de junio de 2008, con el fin de abordar los desafíos que encierra el cambio climático y la bioenergía. Fue la primera vez que los líderes mundiales se reunieron para debatir el tema concreto de la alimentación y el cambio climático.

Los países presentes estuvieron de acuerdo en la existencia de una necesidad urgente de ayudar a los países en desarrollo a mejorar la producción agrícola, a incrementar la inversión en agricultura y a afrontar el desafío mediante medidas de mitigación y adaptación.

Las dos décadas siguientes se presentan como el periodo más importante de cara a desarrollar esas medidas, dadas las circunstancias de aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero y de rápido ascenso de la temperatura.

En la medida que se acerca la 15.ª reunión de la Conferencia de las Partes de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático en la ciudad de Copenhague (Dinamarca), momento adecuado para que la comunidad internacional emprenda las acciones necesarias para afrontar el cambio climático mientras se mejora la seguridad alimentaria.

# **CAPITULO 2.**

# **METODOLOGÍA**

## CAPITULO 2. METODOLOGÍA

En este capítulo de Metodología se describen los pasos que permitieron realizar la caracterización geográfica y ambiental de la cuenca. Posteriormente se mencionan, las actividades llevadas a cabo para el análisis de los patrones temporales de lluvia y temperatura en la cuenca, así como las actividades para el análisis de los cambios detectados sobre la producción alimentaria y los pasos para analizar el impacto de los cambios detectados en los patrones de lluvia y temperatura sobre la producción, por último se presenta un diagrama metodológico de la investigación.

Los avances en la utilización de programas de computadoras, han provisto a los investigadores y científicos, la oportunidad de manejar grandes volúmenes de información, y por lo tanto, la aplicación de modelos de simulación en problemas ambientales y agrícolas, ha ido aumentando en la última década. La ventaja de los modelos, es que reducen el tiempo y los recursos humanos requeridos para los análisis complejos, como los que involucran los recursos naturales, el ambiente y la producción de cultivos (Villalobos y Retana, 1999).

Los modelos de simulación de cultivos pueden ser utilizados por los agricultores para estrategias de manejo; por educadores como herramienta de enseñanza, ayudando a los estudiantes a entender mejor la interacción entre las plantas y el medio ambiente; por los investigadores como herramienta de trabajo que les permita conocer prioridades de investigación, simular condiciones climáticas futuras, realizar pronóstico agrícola, proveer de información valiosa a los tomadores de decisiones, de tal manera que ésta les permita establecer prioridades en las medidas de mitigación, y formular las posibilidades de adaptación.

Es recomendable realizar nuevos estudios de zonificación agrícola, en vista de que las zonas que bajo las condiciones actuales se juzga son las más adecuadas para un cultivo dado o una combinación de cultivos, pueda verse reducida, ampliada o desplazada, y que por lo tanto, la estructura socioeconómica de la

comunidad laboral en las regiones analizadas se modifique, dependiendo de la intensidad en que los efectos de la variabilidad climática se manifiesten, dado que los distintos efectos que los cambios climáticos llegan a tener sobre los cultivos y sobre los rendimientos, así como influir en el suministro alimenticio regional, en los ingresos de las explotaciones agrícolas, en las tasas de actividad económica de las zonas afectadas, y en el empleo rural (Verner, 2011).

Las actividades de investigación y desarrollo asociadas con el proyecto variabilidad climática y la producción agroalimentaria se realizaron en el espacio geográfico que comprende la cuenca del río Calderón, ubicada en una porción del Subtrópico del Territorio Mexicano. La metodología general de trabajo tiene su base en la información existente a nivel local sobre la producción agrícola y variables hidro climatológicas. Se emplearon las técnicas de análisis como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), así como los métodos matemáticos - estadísticos y modelos matemáticos, propios de la hidro climatología y previsión meteorológica. Los procedimientos aplicados para lograr cada objetivo se presentan a continuación:

## **2.1 Procedimiento por Objetivos**

### **a) Para la caracterización geográfica y ambiental de la cuenca se procedió a realizar lo siguiente.**

Se delimitó cartográficamente el espacio geográfico que comprende la cuenca del río Calderón. Se utilizaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica para representar cartográficamente la cuenca de estudio.

- La caracterización sistémica se realizó mediante el método geográfico, de la cuenca del río Calderón en el contexto de la zona de transición ecológica del sur del Estado de México. Se identificaron y representaron cartográficamente los elementos geográficos, ambientales, ecológicos y agrícolas más significativos. La cuenca por estar ubicada en una zona de transición ecológica posee amplia diversidad biológica y agrobiodiversidad que favorecen y complementan la dieta alimentaria.

**b) Para analizar los patrones temporales de lluvia y temperatura en la cuenca fueron realizados los siguientes pasos metodológicos priorizados, la información de precipitación y temperatura fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional y por CONAGUA.**

- Se recolectaron los datos de precipitación media anual y precipitación acumulada por año y por década y se procedió a realizar el georeferenciamiento de los puntos de observación.
- Elaboración de una base de datos mediante gráficos, para analizar las variaciones de la temperatura y la precipitación en un período de 40 años (De 1970 a 2009).
- Determinar las variaciones de la temperatura media anual, temperatura máxima promedio anual, temperatura mínima promedio anual.
- Análisis comparativo de los patrones climáticos y espaciales de la cuenca.

**c) Para el análisis de los cambios detectados sobre la producción alimentaria se dieron los siguientes pasos y la información de rendimiento, superficie cultivada y valor de la producción fue proporcionada por INEGI y SEDAGRO.**

- Se elaboró una base de datos para analizar las variaciones de la producción agroalimentaria en un período de 40 años (De 1970 a 2010).
- Determinar las variaciones en la superficie cultivada y los rendimientos de los principales cultivos de la zona. Realizar un inventario de los principales sistemas agrícolas y tipos de cultivos establecidos en las áreas agrícolas de la cuenca.
- Aplicar fundamentos de la estadística para representar gráficamente la agrobiodiversidad de la cuenca.

**d) Para analizar el impacto de los cambios detectados en los patrones de lluvia y temperatura antes mencionados sobre la producción alimentaria se dieron los siguientes pasos.**

- Determinar las relaciones matemático – estadísticas de las variables climáticas y la producción agrícola.
- Analizar las respuestas de producción de alimentos del agro ante cada año atípico caracterizado por cambios del patrón de lluvias y tendencias a la



disminución de humedad. Establecer un sistema de relaciones para analizar las variables climáticas de temperatura y precipitación con la producción agroalimentaria y los riesgos hidrometeorológicos.

- Recopilación de información bibliográfica y hemerográfica y asociarla con las observaciones de campo para analizar los factores que están incidiendo en las variaciones climáticas a nivel de la cuenca.
- Georreferenciar puntos de verificación y delimitar polígonos de espacios agrícolas impactados por las variaciones climáticas.

**e) Elaborar una propuesta que ayude a mejorar la producción mediante el uso integrado y sustentable de los recursos:**

- Diseño y aplicación de un instrumento de investigación para aplicarlo a las familias campesinas que habitan en las comunidades de la Cuenca del Río Calderón. Identificar y analizar las estrategias adaptativas que utilizan las familias campesinas para mitigar los impactos que ocasionan las variaciones climáticas en los sistemas de cultivos de subsistencia, tradicionales y comerciales.
- Identificar especies cultivadas que puedan ser utilizadas como indicadoras de cambio climático.
- Estrategia para el estudio de aptitud climática para la elección de especies y variedades basadas en etapas fenológicas.
- Estrategia para el cálculo de fechas de siembra y floración a partir de las etapas fenológicas de las variedades.
- Implementar técnicas agroecológicas fomentar sistemas agrosilvopastoriles y agroforestería

**f) Para difundir y evaluar los resultados de la investigación:**

- Publicar los resultados de la investigación en artículos científicos para informar a la población nacional la importancia de emprender acciones para mitigar los impactos de las variaciones climáticas y cambio climático.

En el Cuadro 1 se observan los diferentes factores y variables que permitieron guiar el desarrollo de este trabajo de investigación.

**Cuadro 1. Factores y variables por etapa metodológica**

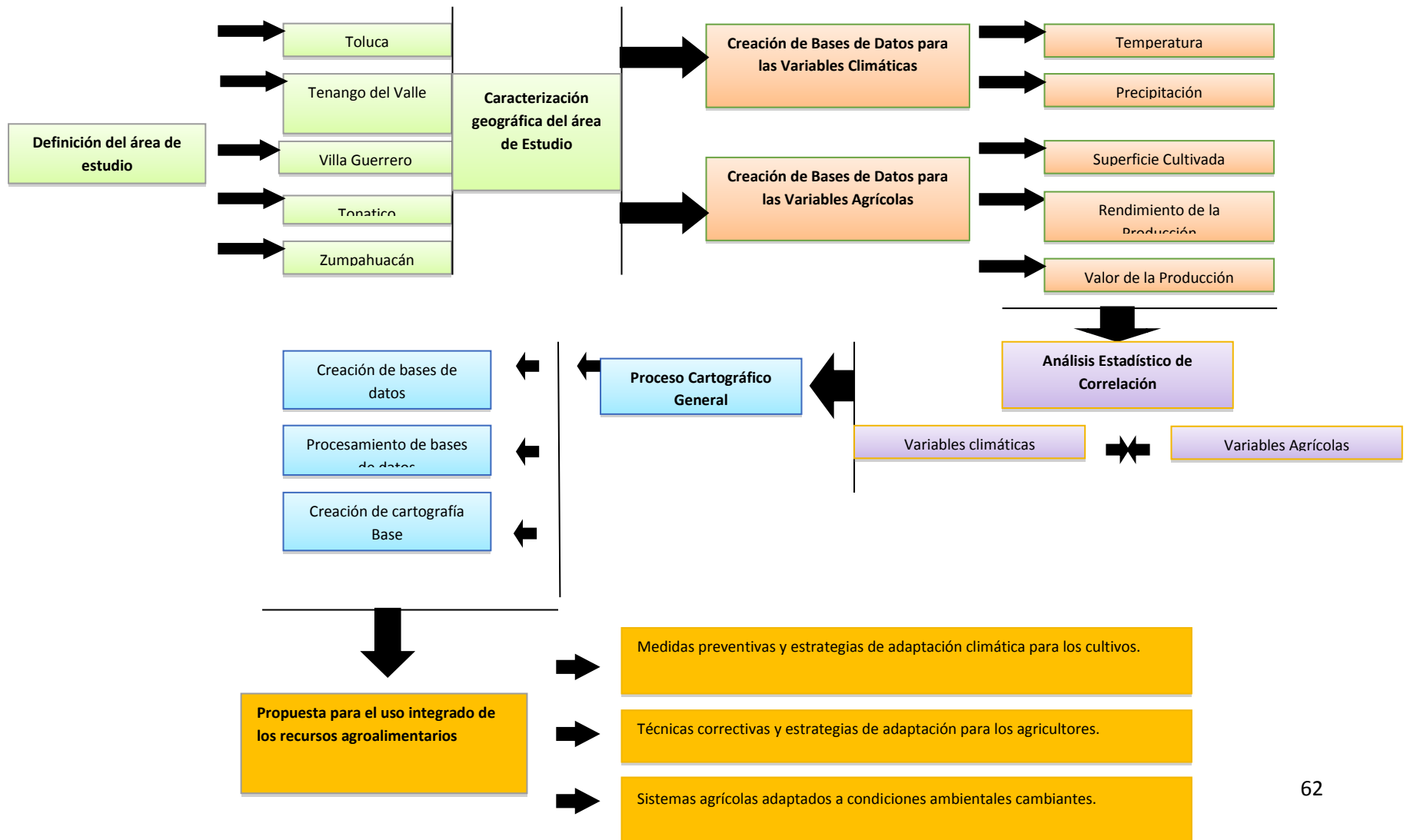
<b>Etapa metodológica</b>	<b>Factores</b>	<b>Variables</b>
<b>Análisis climático</b>	Temperatura	<i>Mínima mensual por década</i>
		<i>Media mensual por década</i>
		<i>Máxima mensual por década</i>
	Precipitación	<i>Lluvia mensual por estación y por década</i>
	Análisis espacial de las temperaturas por década de las cinco estaciones	<i>Mapa mínima mensual por década</i>
		<i>Mapa media mensual por década</i>
<i>Mapa máxima mensual por década</i>		
<b>Análisis de la dinámica agrícola</b>	Análisis por década del municipio de Toluca, Tenango del Valle, Villa Guerrero, Zumpahuacan y Tonicato	<i>Superficie sembrada</i>
		<i>Rendimiento</i>
		<i>Valor de la producción</i>
	Análisis por cultivo y por década	<i>Maíz</i>
		<i>Chicharo</i>
		<i>Papa</i>
		<i>Trigo</i>
		<i>Haba verde</i>
		<i>Frijol</i>
		<i>Tomate verde</i>
		<i>Sorgo de grano</i>
<i>Tomate rojo</i>		
Análisis gráfico de la relación por municipio	<i>Temp. Mínima- Maíz, Chicharo, Papa, Trigo, Haba verde, Frijol. Tomate verde, Sorgo de grano, Tomate rojo</i>	
	<i>Temp. Máxima- Maíz, Chicharo, Papa, Trigo, Haba verde, Frijol. Tomate verde, Sorgo de grano, Tomate rojo</i>	

<b>Análisis de la relación entre patrones de la lluvia y temperatura con la producción alimentaria</b>	Análisis estadístico de la correlación	<i>Coeficientes de correlación de temperatura mínima mensual y rendimiento por cultivo</i>
		<i>Coeficientes de correlación de temperatura máxima mensual y rendimiento por cultivo</i>

## 2.2 Diagrama metodológico

En la Figura 1 se observan las distintas fases y procedimientos que permitieron guiar el desarrollo de este trabajo de investigación.

Figura 1. Diagrama metodológico



# **CAPITULO 3.**

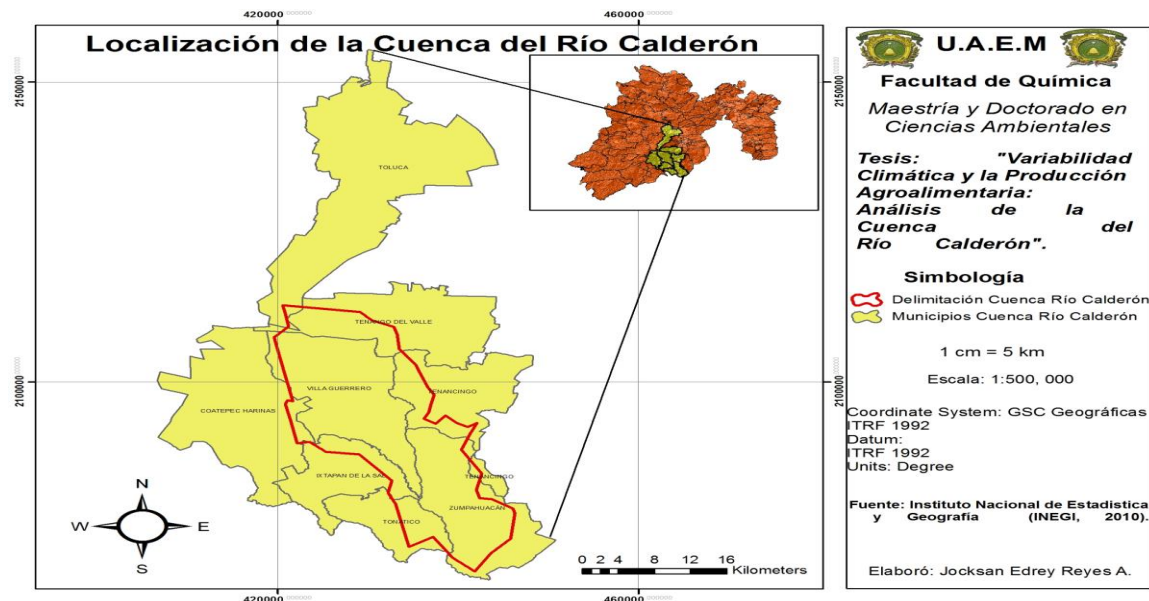
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3.1 Caracterización geográfica y ambiental de la zona de estudio.

El territorio del Estado de México incluye una zona de transición ecológica denominada Provincia de las Serranías Meridionales que divide al territorio en otras dos provincias: 1) al norte la Provincia de la Altiplanicie, y 2) al sur la Provincia de la Depresión del río Balsas, perteneciente a la Región Caribeña del Reino Neotropical, caracterizada por la presencia de climas cálidos y semicálidos (GEM, 1995: 39).

El sistema de barrancos del río Calderón, ubicado al sureste del Estado de México, comprende porciones de los municipios de Villa Guerrero y colinda al norte con el municipio de Toluca, al este con Tenango del Valle, al sur con los municipios Tonatico y Zumpahuacán. Este sistema representa un elemento geográfico de trascendencia para las familias de la región. En este lugar coexisten diversos ecosistemas con elementos geográficos, paisajísticos, geomorfológicos, hidrológicos y amplia biodiversidad (Figura 2).

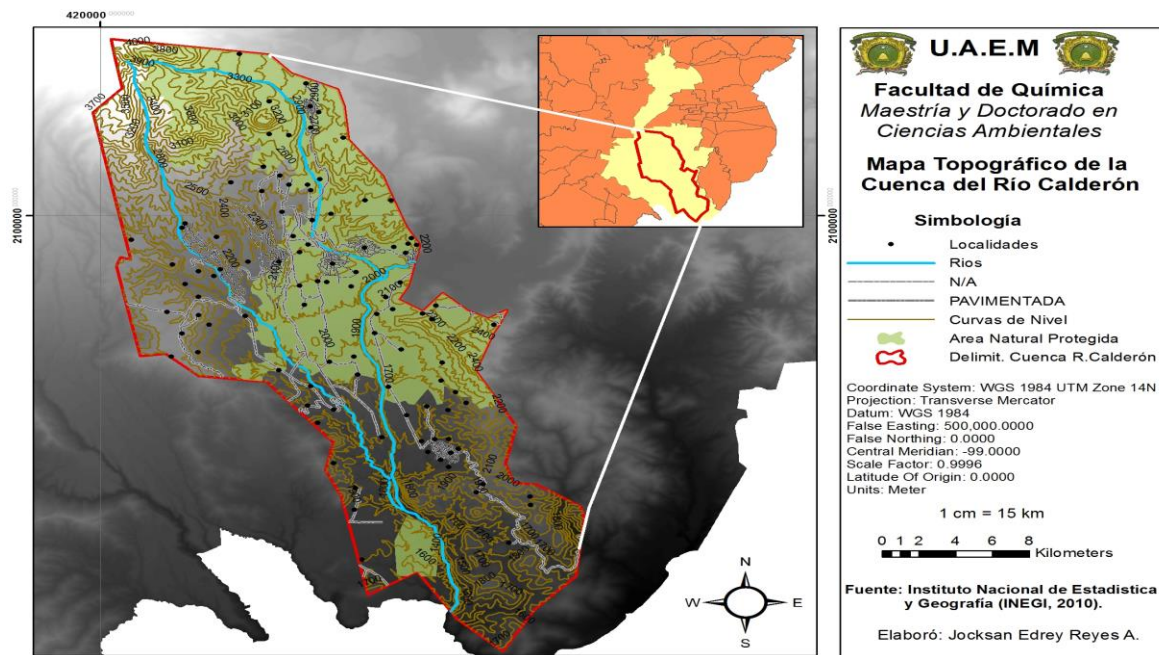
**Figura 2. Área de estudio. Municipios dentro de la Cuenca del Río Calderón**



Fuente: Elaboración propia, 2015

El sistema forma parte de la cuenca del río Grande de Amacuzac perteneciente a la Región Hidrológica del Río Balsas. Los aportes hídricos a las subcuencas del sistema son producto de los escurrimientos superficiales del deshielo y aguas subterráneas que se originan en las laderas del Volcán Xinantécatl. Los elementos principales del sistema son el río Calderón por la zona occidente, alimentado por arroyos intermitentes y el río Nenetzingo; y por el oriente el río Tenancingo, que al unírsele el río Temozolapa cambia su nombre a San Jerónimo como se muestra en la figura 2 (Juan, 2007).

**Figura 3. Relieve de la Cuenca del Río Calderón**



**Fuente: Elaboración propia, 2015**

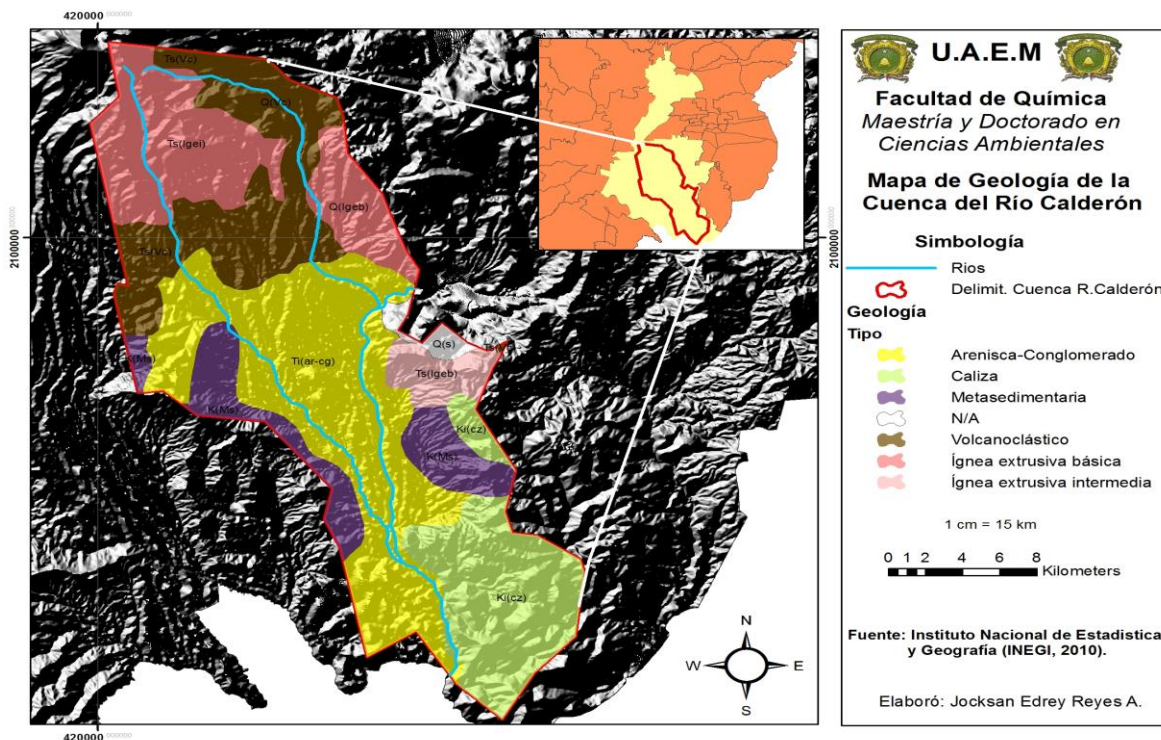
La zona de ecotono en el sur del Estado de México se caracteriza por la amplia biodiversidad que de acuerdo a las condiciones ambientales presenta características que explican y favorecen la diversidad cultural de las comunidades campesinas de la región, la agro diversidad y el manejo de los recursos naturales existentes en los ecosistemas (Juan, 2003).

Al norte está determinada por el paralelo 18°55'08'', donde principia la zona de

transición entre climas templados y climas cálidos, La parte oriental finaliza en el sistema de lomeríos ubicados en el municipio de Zumpahuacán, al occidente está delimitada por el río Nenetzingo, que tiene su origen en la ladera sur del Nevado de Toluca. (Gobierno del Estado de México; 1995).

Los diferentes niveles altitudinales del área de estudio quedan comprendidos entre las cotas 1,160 y 4680 msnm. Que desde el punto más alto, en el municipio de Toluca el nivel volcánico más importante es el Xinantécatl o Nevado de Toluca, formado por emisiones alternas de productos piro clásticos y derrames, cerca está el cerro de Tlacotepec, junto a la cabecera municipal, se alza un sistema de cerros con ramificaciones (Figura 4).

**Figura 4. Geología de la Cuenca del Río Calderón**



**Fuente: Elaboración propia, 2015**

En el municipio de Villa Guerrero las principales montañas del municipio son El cerro Cuate o de Cuaximalpa (lugar de astillas), seguido por el cerro Cuexcontepec, en la parte media presenta numerosas cañadas y barrancas, hasta



el lecho del río San Jerónimo y en la parte más baja de este municipio se localiza una larga cordillera que desciende desde el Chignahuitecatl y se prolonga de norte a sur, lo más importante de su geografía son las profundas barrancas con acantilados rocosos (Juan, 2007).

En Tenango del Valle destaca el cerro Tetépetl, donde se asienta la zona arqueológica, se encuentra el cerro Azul y de La Ladera en Zictepec, el de Tepehuisco, en pueblo Nuevo, cerro El Zacatonal y el Cuexcontepec en Tlanixco. En Tonicaco la cordillera del lado oriente está formada de norte a sur por los cerros de Tlacopan, Muerto, tío Neto y Salinas. En igual forma la cordillera del lado poniente, está constituido por los cerros de: Los Tunales, el Portizuelo, La Lagunilla, Del Moral, Tenextepec, La Cruz y el Papalotepec

Varias montañas de diferentes alturas están dispersos por el lado sur del municipio: el cerro de Santiago, bajo el cual se encuentra la Gruta de la Estrella; el de la Cruz y el de Jarjul dentro de la ranchería El Zapote; Tapachichi, San Juan, San Antonio y las Víboras, dentro de la ranchería de La Puerta se encuentran dos cerritos los que se conoce como “cerritos del remate”. En el Llano de Salinas se localiza “el cerrito”.

Finalmente el municipio de Zumpahuacan, se encuentra cerca del eje volcánico, donde existe una gran cantidad de montañas, como las siguientes: Totsquilla, Santiago, San Miguel, Tlalchichilpa, también sobresalen algunos cerros como San Pedro, Los Pilares, San Jerónimo, Tesuscatzí, y en la zona más baja hay algunos cerros de menor altura como por ejemplo, Tetecicala, Tecuaro, Tláltepec (INEGI, 2001).

Hidrográficamente Tenango del Valle, cuenta con arroyos de caudal permanente: Arroyo Grande, La Cienegua, El Zaguán, Dos Caminos, La Ciénega, Almoloya y Las Cruces. Además se cuenta con arroyos de corriente de menor importancia y

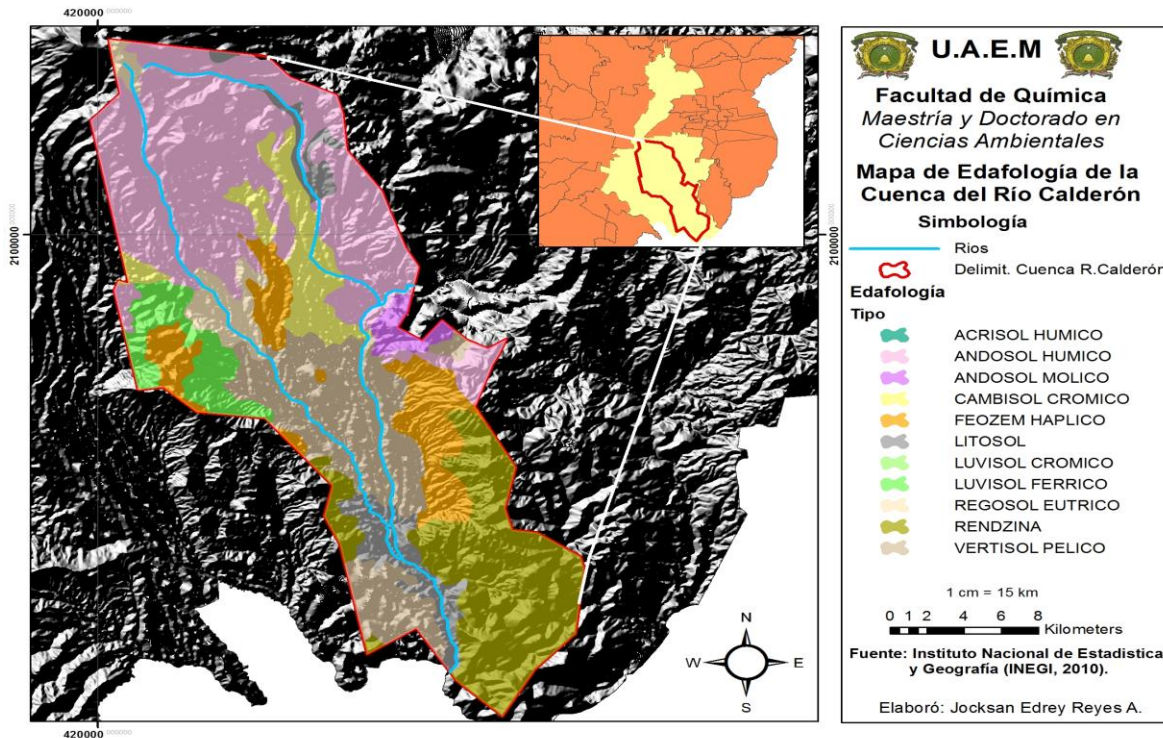
20 mantos freáticos en diferentes localidades y, 11 aprovechamientos superficiales (GEM, 2000).

Por otro lado Villa Guerrero da origen en su territorio a numerosos arroyos y ríos que en su conjunto forman parte de la cuenca del Alto Balsas; destacan por su importancia el río Grande o Texcaltenco, el río Chiquito de Santa María, el río San Gaspar, el arroyo Los Tizantex, el Tequimilpa, el río Cruz Colorada o San Mateo y el río Calderón. En su trayecto dan lugar a numerosas cascadas y saltos, los principales son: el Salto de Candelitas, la Atlaquisca; el del Maquintero; el Salto del Río Grande de San Gaspar, y Salto de la Neblina. Dentro de los manantiales se encuentran, el manantial de La Estrella, el de la Piedra Ahuecada, el de El Coponial; el de Los Chicamoles, y El Agua de la Pila. Existe también un manantial de aguas termales popularmente conocido como El Salitre.

En Tonicato su sistema hidrológico está compuesto por los ríos San Jerónimo, el río San Joaquín, el Tlapalla. Dos pequeños ríos de agua salada corriendo de norte a sur. Dentro del municipio hay varios escurrimientos superficiales. Cabe destacar las aguas termales existentes en el municipio.

En el municipio de Zumpahuacán existen mantos acuíferos, hay 17 manantiales y 15 bordos. Durante el periodo de lluvias se tienen los siguientes arroyos intermitentes: Colorado, Los Cauces, La Maroma, Cañada, Camposanto, La Cubeta, Canoas, Colostitla, Ayotlicha, Atempa, Las Juntas, Apango, Achochoca, Los Sabinos, Tlaltizapán, Jalatengo, Acamilpa, Arabecha, Tlaltehuapan, Los Azuchiles, Copal, Tejones, Tultenango Y Temozolapa y el río permanente de nombre Tenancingo o San Jerónimo. Existe un canal de aguas residuales y un acueducto de agua potable para la cabecera municipal.

**Figura 5. Unidades y subunidades de suelo de la cuenca del río Calderón**



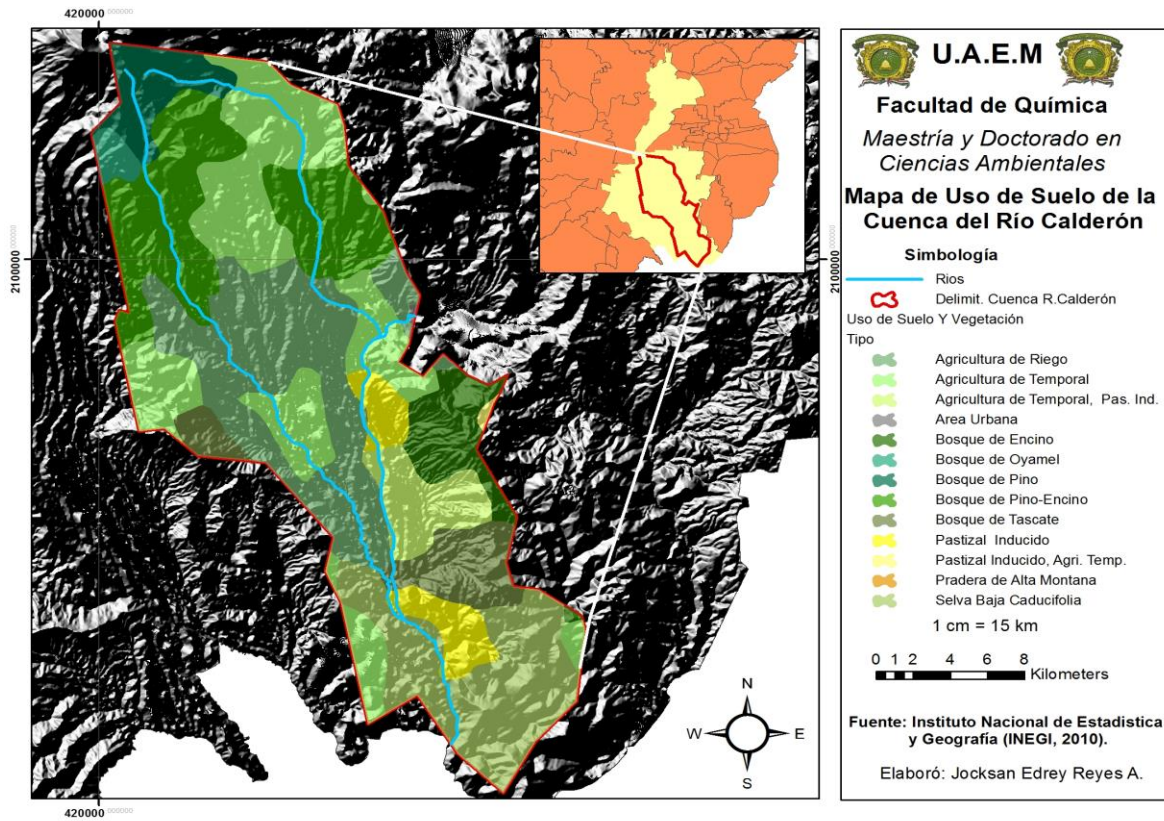
**Fuente: Elaboración propia, 2015**

La cuenca cuenta con una amplia diversidad de vegetación compuesta por bosques de pino, aile, ocote, oyamel, encino, tepozán, ayacahuite, aire, oyamel, cedrón, madroño y llorón, en Villa Guerrero predomina; el fresno, cedro blanco. Con el tiempo algunas de estas especies han sido sustituidas por aguacate criollo (de pellejo), durazno, manzano, peral, (INEGI, 1982).

En Tonatico la vegetación es escasa, principalmente se encuentran: cedro criollos, huajes, tepehuajes, predominan los amates, cabrigos, copales, zumpantles y otros (Figura 6).

Zumpahuacán cuenta con una gran variedad de especies vegetales. Se pueden localizar desde coníferas, caña de azúcar, frutas tropicales, bosque mixto de hojas caducas y selva baja caduciforme.

**Figura 6. . Mapa de uso del suelo de la Cuenca del Río Calderón**



**Fuente: Elaboración propia, 2015**

## **3.2 ANÁLISIS DE LOS PATRONES TEMPORALES DE LLUVIA Y TEMPERATURA**

### 3.2 Análisis de los patrones temporales de lluvia y temperatura.

En el cuadro 2, se presentan los resultados obtenidos de temperatura y precipitación de la estación 15203 Toluca-Calixtlahuaca, en la cual se puede observar que la variación entre las décadas estudiadas de la precipitación fue de 0.2mm. En cuanto a la temperatura para la década de 1970-1979 la variación encontrada entre la temperatura máxima y la mínima fue de 16.7° C, para la década de 1980-1989 la variación fue de 17.2 ° C, para 1990-1999 la variación fue de 16.9 ° C, y para la década de 2000-2009 fue de 18° C, la máxima variación entre las décadas estudiadas fue de 1.3 ° C. Se observa que el promedio por décadas de la temperatura y precipitación no presenta una gran variación, aunque se puede apreciar un aumento en la temperatura sobre todo en la última década.

**Cuadro 2. Temperatura máxima, media, mínima y precipitación de la estación Toluca – Calixtlahuaca, por décadas (1970- 2009).**

Clave de Estación	Nombre de la estación	Décadas (años)	Temp. mínima mensual (°C)	Temp. media mensual (°C)	Temp. máxima Mensual (°C)	Precipitación anual (mm)
15203	Toluca-Calixtlahuaca	1970-1979	4.4	13.4	22.1	800.1
		1980-1989	4.5	13.1	21.7	800.3
		1990-1999	4.6	13.2	21.5	800.2
		2000-2009	4.7	13.5	22.2	800.3

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional y CONAGUA 1970-2009.*

En el cuadro 3, se presentan los resultados obtenidos de temperatura y precipitación de la estación 15122 Tenango del Valle, en la cual podemos observar la máxima variación entre las décadas estudiadas fue de 34.8mm yendo en aumento en las últimas 2 décadas. En cuanto a la temperatura para la década de 1970-1979 la variación encontrada entre la temperatura máxima y la mínima fue de 15.8° C, para la década de 1980-1989 la variación fue de 15.5° C, para

1990-1999 la variación fue de 15.2° C, y para la década de 2000-2009 fue de 16.2° C, la máxima variación entre las décadas estudiadas fue de 1° C. Al igual que la estación ubicada en Toluca se puede apreciar que en la década de 1990 la temperatura disminuye a comparación con décadas anteriores como la de 1970 y 1980.

**Cuadro 3. Temperatura máxima, media, mínima y precipitación de la estación Tenango del Valle, por décadas (1970- 2009).**

Clave de Estación.	Nombre de la Estación	Décadas (años)	Temp. mínima mensual (°C)	Temp. media mensual (°C)	Temp. máxima Mensual (°C)	Precipitación anual (mm)
15122	Tenango del Valle	1970-1979	5.4	13.3	21.2	827.8
		1980-1989	5.2	13.1	20.7	815.7
		1990-1999	5.1	12.7	20.3	835.5
		2000-2009	5.5	13.6	21.7	850.5

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional y CONAGUA 1970-2009.*

En el cuadro 4, se presentan los resultados obtenidos de temperatura y precipitación de la estación 15299 Villa Guerrero, en la cual se observa que la máxima variación entre las décadas estudiadas fue de 16.5mm siendo la década de 1990-1999 la que presento mayor precipitación. En cuanto a la temperatura para la década de 1970-1979 la variación encontrada entre la temperatura máxima y la mínima fue de 13.9° C, para la década de 1980-1989 la variación fue de 12.8° C, para 1990-1999 la variación fue de 13.4° C, y para la década de 2000-2009 fue de 13.9° C, la máxima variación entre las décadas estudiadas fue de 1.1° C. En Villa Guerrero es donde se registra la mayor precipitación muy probablemente por la altura que registra la estación y pero sobre todo el municipio.

**Cuadro 4. Temperatura máxima, media, mínima y precipitación de la estación Villa Guerrero, por décadas (1970- 2009).**

Clave de Estación.	Nombre de la Estación	Décadas (años)	Temp. mínima mensual (°C)	Temp. media mensual (°C)	Temp. máxima Mensual (°C)	Precipitación anual (mm)
15299	Villa Guerrero	1970-1979	9.0	16.0	22.9	1224.3
		1980-1989	8.9	15.6	21.7	1223.8
		1990-1999	9.1	15.8	22.5	1240.3
		2000-2009	9.0	16.0	22.9	1225.8

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional y CONAGUA 1970-2009.*

En el cuadro 5, se presentan los resultados obtenidos de temperatura y precipitación de la estación 15366 Zumpahuacán, en la cual podemos observar la máxima variación entre las décadas estudiadas fue de 16.1mm yendo en aumento desde la década de 1980. En cuanto a la temperatura para la década de 1970-1979 la variación encontrada entre la temperatura máxima y la mínima fue de 13.6° C, para la década de 1980-1989 la variación fue de 14.5° C, para 1990-1999 la variación fue de 14° C, y para la década de 2000-2009 fue de 14.3° C, la máxima variación entre las décadas estudiadas fue de 1.1° C.

**Cuadro 5. Temperatura máxima, media, mínima y precipitación de la estación Zumpahuacán, por décadas (1970- 2009).**

Clave de Estación.	Nombre de la estación	Décadas (años)	Temp. mínima mensual (°C)	Temp. media mensual (°C)	Temp. máxima Mensual (°C)	Precipitación anual (mm)
15366	Zumpahuacán	1970-1979	11.5	18.3	25.1	1,049.6
		1980-1989	10.3	17.6	24.8	1,033.5
		1990- 1999	10.5	17.9	24.5	1,044.8
		2000-2009	10.5	18.1	24.8	1,049.6

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional y CONAGUA 1970-2009.*



En el cuadro 6, se presentan los resultados obtenidos de temperatura y precipitación de la estación 15248 Tonatico, en la cual podemos observar la máxima variación entre las décadas estudiadas fue de 46.7mm manteniéndose estable en las ultimas 2 décadas. En cuanto a la temperatura para la década de 1970-1979 la variación encontrada entre la temperatura máxima y la mínima fue de 15.2° C, para la década de 1980-1989 la variación fue de 14.2° C, para 1990-1999 la variación fue de 15.4° C, y para la década de 2000-2009 fue de 15.4° C, la máxima variación entre las décadas estudiadas fue de 1.2° C. Tonatico presenta una mayor temperatura al resto de los municipios ya que se encuentra a menor altura sobre el nivel del mar y su temperatura ha sido más estable a través de las décadas de estudio.

**Cuadro 6. Temperatura máxima, media, mínima y precipitación de la estación Tonatico, por décadas (1970- 2009).**

Clave de Estación.	Nombre de la estación	Décadas (años)	Temp. mínima mensual (°C)	Temp. media mensual (°C)	Temp. máxima Mensual (°C)	Precipitación anual (mm)
15248	Tonatico	1970-1979	12.4	20.0	27.6	951.2
		1980-1989	12.7	19.8	26.9	916.6
		1990-1999	12.3	20.0	27.7	963.8
		2000-2009	12.3	20.0	27.7	963.8

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional y CONAGUA 1970-2009*

### **3.3 ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS TEMPERATURAS POR DECADA**

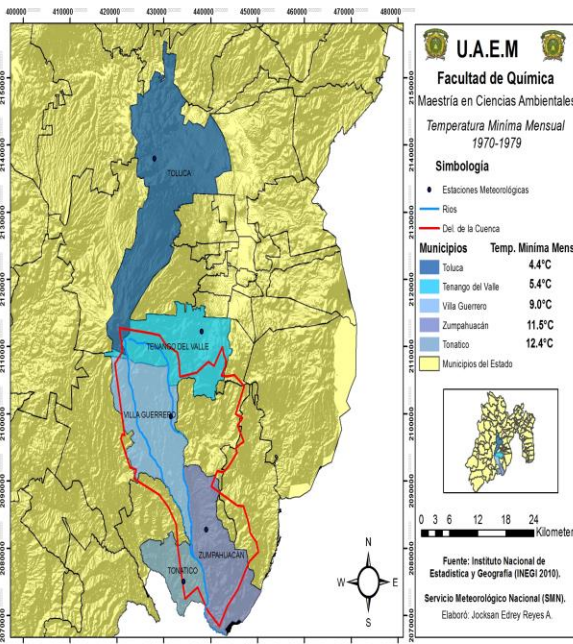
En el cuadro 7 se presentan los resultados obtenidos de temperatura de las estaciones analizadas en el presente trabajo, en la cual podemos observar en cuanto a la temperatura el registro mínimo corresponde a la estación Toluca–Calixtlahuaca en las cuatro décadas estudiadas con un promedio de 4.5° C, la cual esta a una altitud de 2,630 msnm, le sigue la estación Tenango del Valle con un promedio de 5.3° C, la estación se ubica a 2,858 msnm, Villa Guerrero presenta un promedio de 9 °C, ubicada a 2,291msnm, Zumpahuacan presenta un promedio de 10.7° C la estación esta a 1,934 msnm y la temperatura mínima más alta se registra en la estación Tonicico con un promedio de 12.4° C y se encuentra a una altitud de 1,584 msnm. El registro mínimo corresponde a Toluca para la década de 1970 a 1979 con un promedio de 4.4° C, la máxima pertenece a Tonicico en la década de 1980 a 1989 con un promedio de 12.7° C.

**Cuadro 7. Temperatura mínima de las estaciones, por décadas (1970- 2009)**

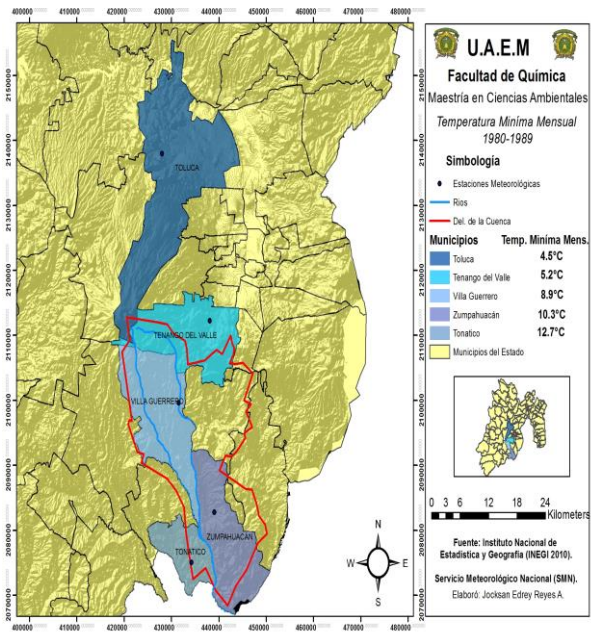
Temp mínima mensual (°C)	Nombre de la estación	Toluca- Calixtlahuaca	Tenango del Valle	Villa Guerrero	Zumpahuacán	Tonicico
	Clave de estación.	15203	15122	15299	15366	15248
<b>Décadas</b>	<b>1970-1979</b>	4.4	5.4	9.0	11.5	12.4
	<b>1980-1989</b>	4.5	5.2	8.9	10.3	12.7
	<b>1990-1999</b>	4.6	5.1	9.1	10.5	12.3
	<b>2000-2009</b>	4.7	5.5	9.0	10.5	12.3

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional y CONAGUA 1970-2009*

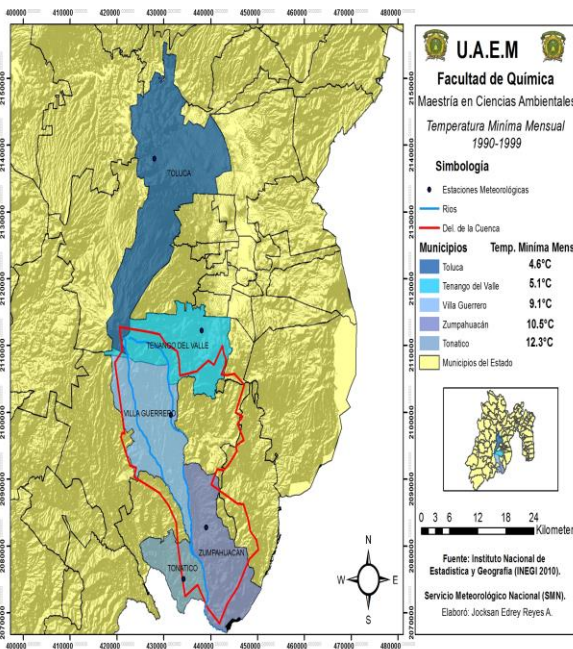
**Figura 7. Temperatura mínima de las estaciones (1970 – 1979)**



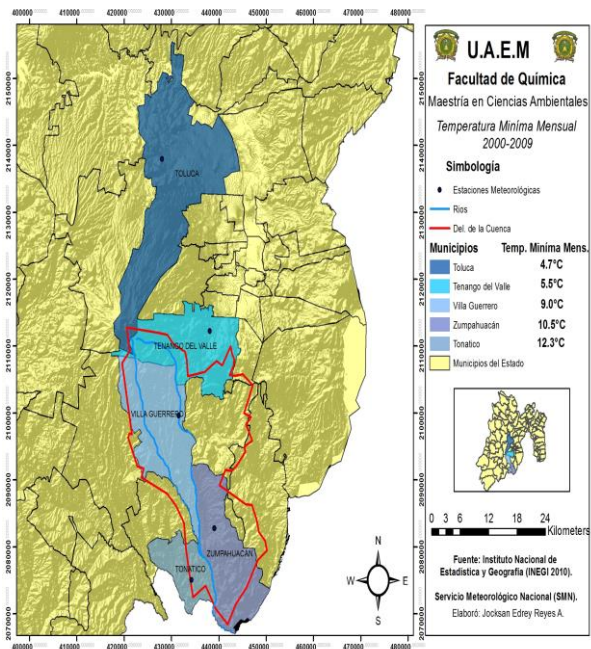
**Figura 8. Temperatura mínima de las estaciones (1980 – 1989)**



**Figura 9. Temperatura mínima de las estaciones (1990 – 1999).1**



**Figura 10. Temperatura mínima de las estaciones (2000 – 2009).2**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional y CONAGUA 1970-2009.**

En el cuadro 8 se presentan los resultados obtenidos de temperatura de las estaciones analizadas en el presente trabajo, en la cual se observa el registro de temperatura media mensual, la estación Toluca – Calixtlahuaca en las cuatro décadas estudiadas presenta un promedio de 13.3° C, la cual esta ubicada a una altitud de 2,630 msnm, le sigue la estación Tenango del Valle con un promedio de 13.1° C, la estación se encuentra ubicada a 2,858 msnm, Villa Guerrero presenta un promedio de 15.8° C, y se encuentra a 2,291msnm, Zumpahuacan presenta un promedio de 17.9° C la estación esta ubicada a 1,934 msnm y la temperatura media más alta se registra en la estación Tonicico con un promedio de 19.9° C y se encuentra a una altitud de 1,584 msnm. El registro de temperatura media mensual corresponde a Tenango del Valle para la década de 1990 a 1999 con un promedio de 12.7° C, la máxima pertenece a Tonicico en las década de 1970, 1990 y 2000 con un promedio de 20° C .

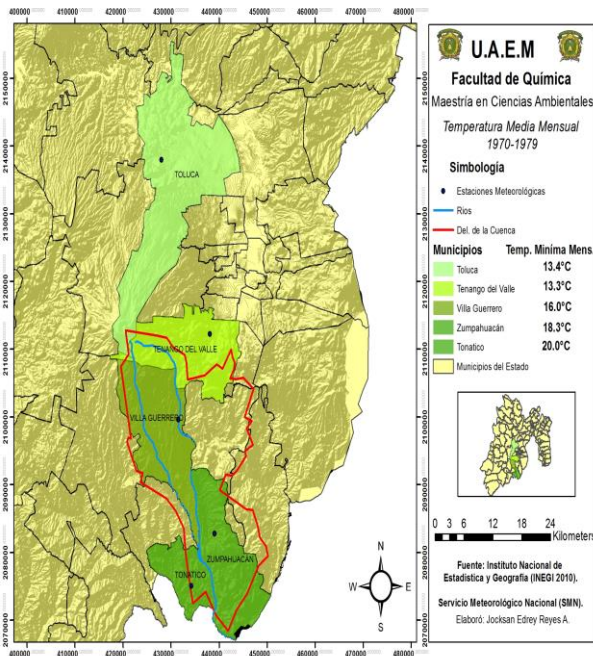
**Cuadro 8. Temperatura media de las estaciones, por décadas (1970- 2009)**

Temp media mensual (°C)	Nombre de la Estación	Toluca- Calixtlahuaca	Tenango del Valle	Villa Guerrero	Zumpahuacán	Tonicico
	Clave de Estación.	15203	15122	15299	15366	15248
<b>Décadas</b>	<b>1970-1979</b>	13.4	13.3	16.0	18.3	20.0
	<b>1980-1989</b>	13.1	13.1	15.6	17.6	19.8
	<b>1990-1999</b>	13.2	12.7	15.8	17.9	20.0
	<b>2000-2009</b>	13.5	13.6	16.0	18.1	20.0

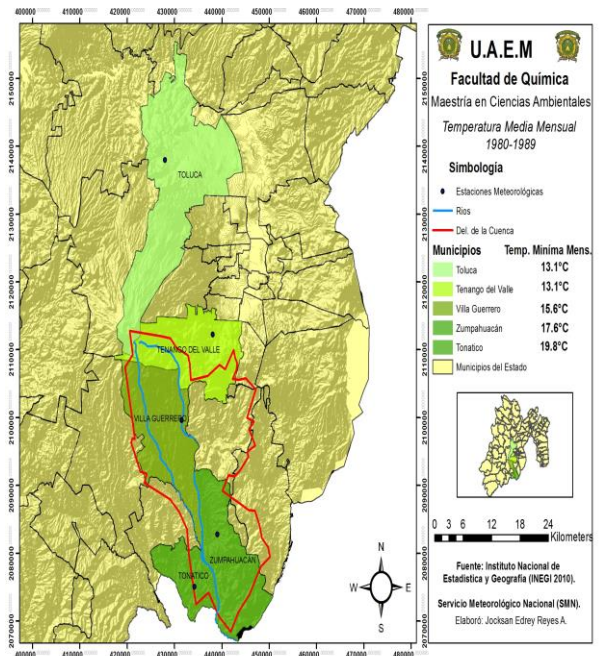
*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional y CONAGUA 1970-2009*



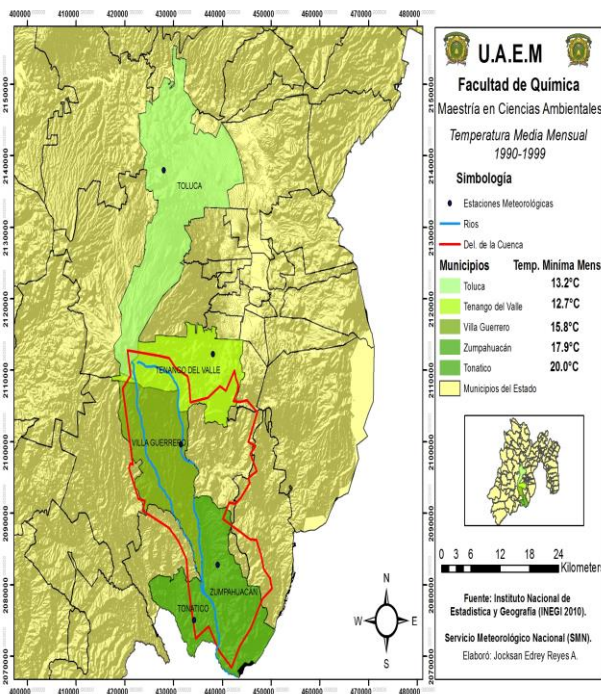
**Figura 11.. Temperatura media de las estaciones (1970 – 1979).**



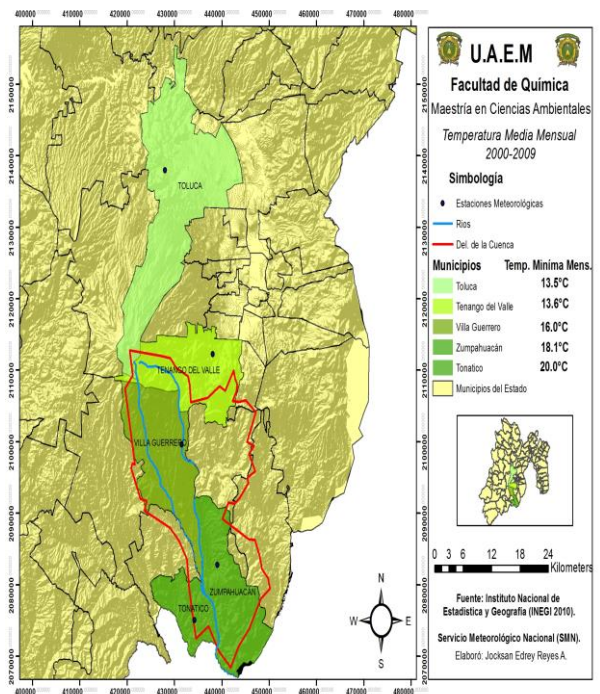
**Figura 12. Temperatura media de las estaciones (1980 – 1989).**



**Figura 13. Temperatura media de las estaciones (1990 – 1999).3**



**Figura 14. Temperatura media de las estaciones (2000 – 2009).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional y CONAGUA 1970-2009**

En el cuadro 9 se presentan los resultados obtenidos de temperatura de las estaciones analizadas en el presente trabajo, en la cual se observa en cuanto a la temperatura máxima mensual, la estación Tonicoco en las cuatro décadas estudiadas con un promedio de 27.4° C, la cual se encuentra a una altitud de 1,584 msnm, le sigue la estación Zumpahuacán con un promedio de 24.8° C, la estación se encuentra ubicada a 1,934 msnm, Villa Guerrero presenta un promedio de 22.5° C, y se encuentra a 2,291msnm, Toluca presenta un promedio de 21.8° C la estación esta ubicada a 2,630 msnm y la temperatura máxima más baja se registra en la estación Tenango del Valle con un promedio de 20.9° C y se encuentra a una altitud de 2,858 msnm. El registro mínimo corresponde a Tenango del Valle para la década de 1990 a 1999 con un promedio de 20.3° C, la máxima pertenece a Tonicoco en la década de 1990 y 2000 con un promedio de 27.7° C .

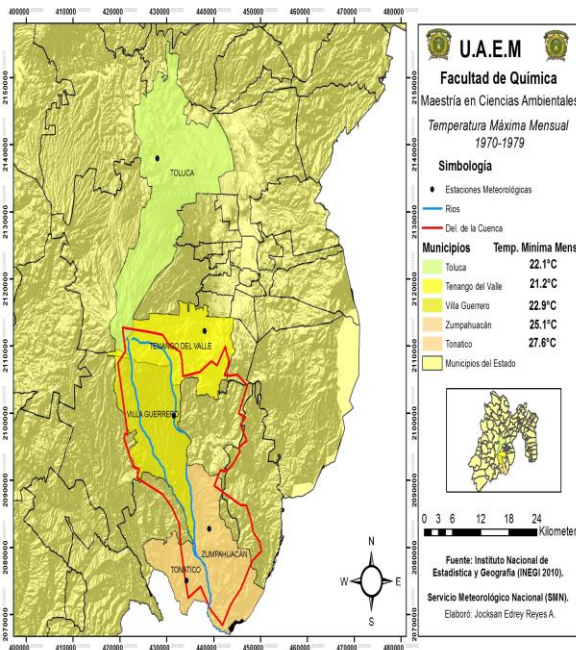
**Cuadro 9. Temperatura máxima de las estaciones, por décadas (1970- 2009)**

Temp máxima mensual (°C)	Nombre de la Estación	Toluca- Calixtlahuaca	Tenango del Valle	Villa Guerrero	Zumpahuacán	Tonicoco
	Clave de Estación.	15203	15122	15299	15366	15248
<b>Décadas</b>	<b>1970-1979</b>	22.1	21.2	22.9	25.1	27.6
	<b>1980-1989</b>	21.7	20.7	21.7	24.8	26.9
	<b>1990-1999</b>	21.5	20.3	22.5	24.5	27.7
	<b>2000-2009</b>	22.2	21.7	22.9	24.8	27.7

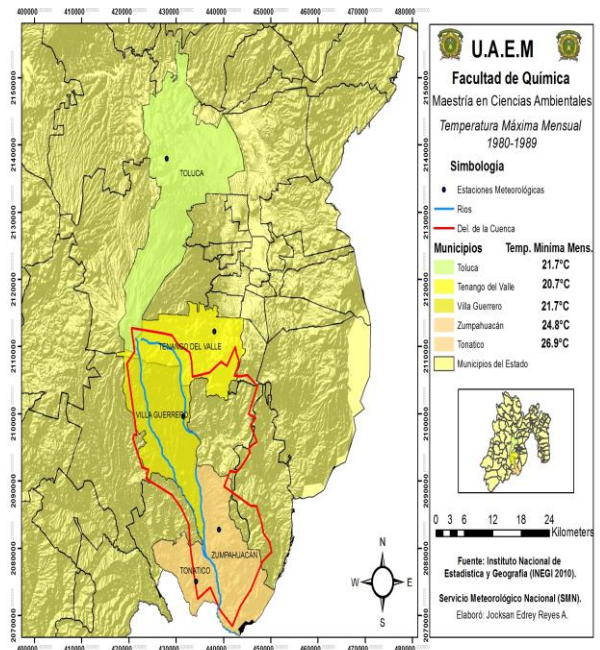
**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional y CONAGUA 1970-2009.*



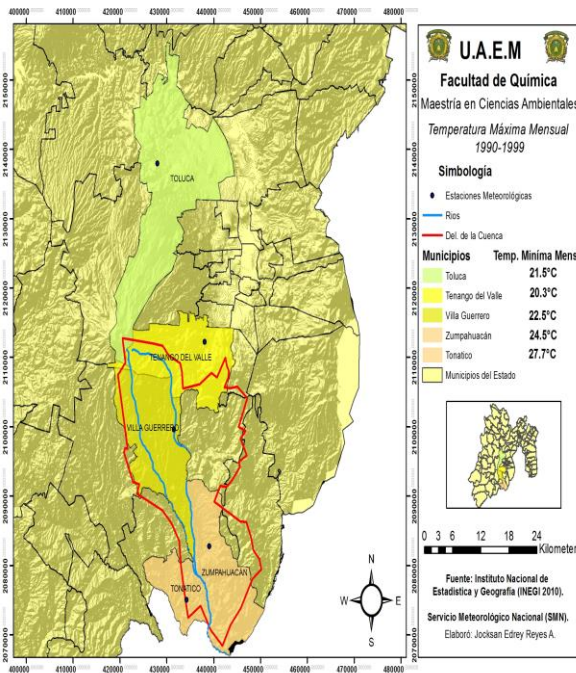
**Figura 15. Temperatura máxima de las estaciones (1970 – 1979).**



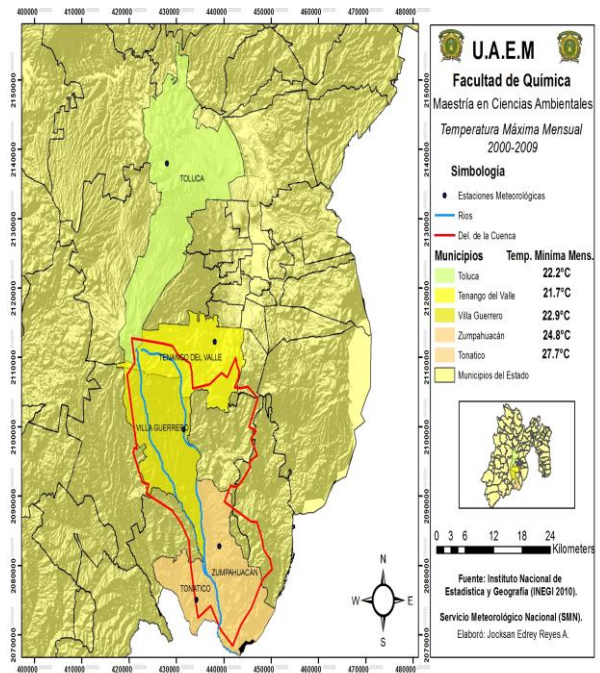
**Figura 16. Temperatura máxima de las estaciones 1980 – 1989).**



**Figura 17. Temperatura máxima de las estaciones (1990 – 1999).**



**Figura 18. Temperatura máxima de las estaciones (2000 – 2009).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional y CONAGUA 1970-2009.**



### **3.4 ANÁLISIS DE LA DINÁMICA AGRÍCOLA EN LA CUENCA POR MUNICIPIO. PRINCIPALES CULTIVOS (1980- 2009).**

### 3.4 Análisis de la dinámica agrícola en la cuenca por municipio. Principales cultivos (1980- 2009).

#### 3.4.1 Municipio de Toluca

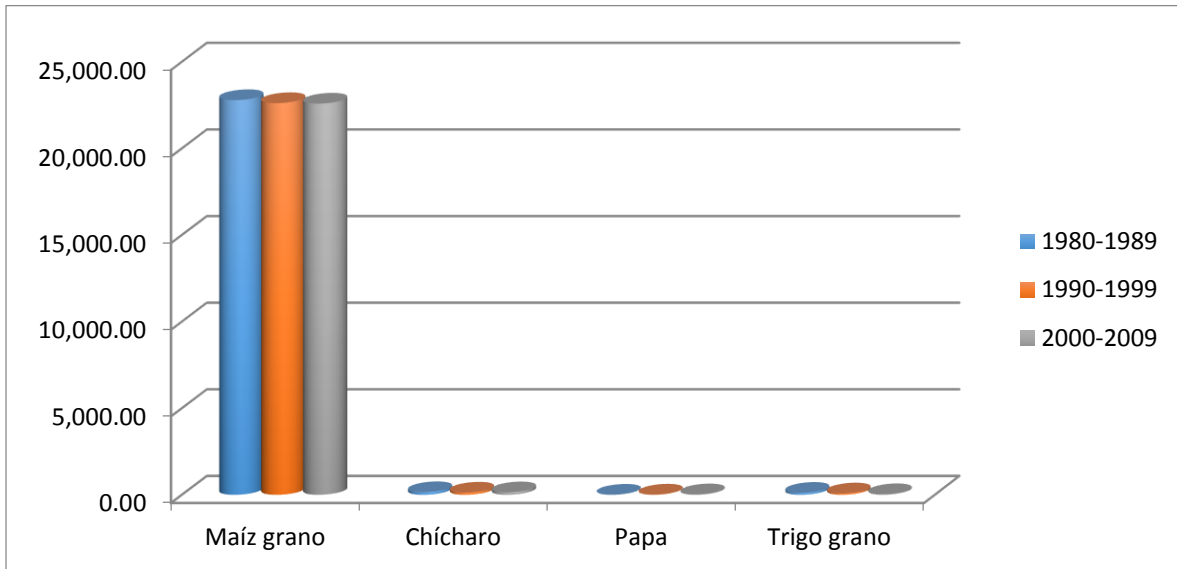
Para el municipio de Toluca, la década de 1980 presento la mayor la superficie sembrada para los cultivos de maíz, chícharo y trigo de grano, sin embargo para el cultivo de papa, la superficie sembrada ha ido en aumento para la última década de estudio. En el cuadro 10 y la figura19 se presenta la evolución de las décadas de la superficie sembrada. Se observa que la superficie sembrada para los cultivos de maíz y trigo de grano ha ido disminuyendo para la última década de estudio.

**Cuadro 10. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Toluca.**

Sup. Sembrada (ha)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz grano	22,784.23	22,611.20	22,583.00
Chícharo	150.00	125.00	142.00
Papa	5.00	10.00	25.00
Trigo grano	115.00	80.00	35.00

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*

**Figura 19. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Toluca.**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

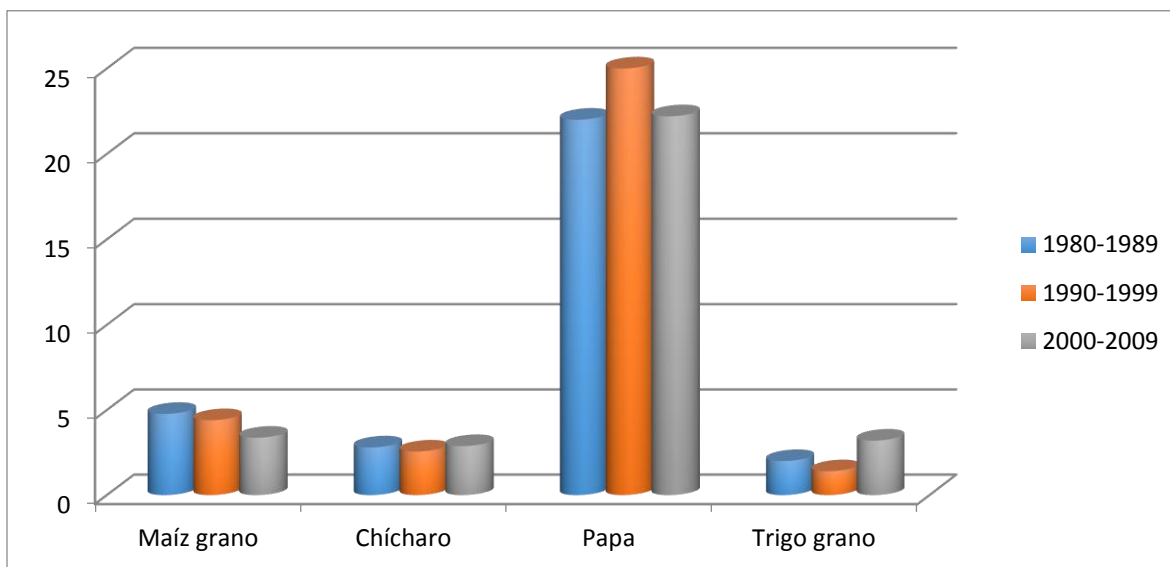
El Cuadro 11 muestra el promedio del rendimiento de la producción agroalimentaria del municipio de Toluca, en el cuadro se muestra que el rendimiento en el cultivo de maíz ha disminuido con respecto a las últimas dos décadas de estudio, el cultivo de chícharo solo presento menor rendimiento en la década de 1990, el cultivo de papa ha sido el cultivo que presenta menor superficie sembrada, pero es el que tiene mayor rendimiento por hectárea cultivada, finalmente se observa que la década de 1990 a 2009 el cultivo de trigo de grano presento el menor rendimiento siendo que en promedio la década de 2000 a 2009 tuvo poco más del doble de rendimiento. Como referencia se presenta en la figura 20, cada cultivo muestra una agrupación de tres barras en diferentes colores representando el promedio de las décadas de estudio.

**Cuadro 11. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Toluca.**

Rendimiento (ton/ ha)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz grano	4.77	4.40	3.37
Chícharo	2.80	2.56	2.88
Papa	22.00	25.00	22.20
Trigo grano	2.00	1.40	3.20

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 20. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Toluca.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

El Cuadro 12 muestra el valor de la producción agroalimentaria (miles de pesos) del municipio de Toluca, en el cuadro podemos apreciar que en el cultivo de maíz ha aumentado con respecto a las últimas dos décadas de estudio a pesar de que la superficie sembrada ha sido menor con respecto a las últimas décadas, el cultivo de chícharo, de papa y trigo de grano presentaron un comportamiento más estable en relación a la superficie sembrada que se muestra en cuadros anteriores. Como referencia se presenta en la figura 21, cada cultivo muestra una

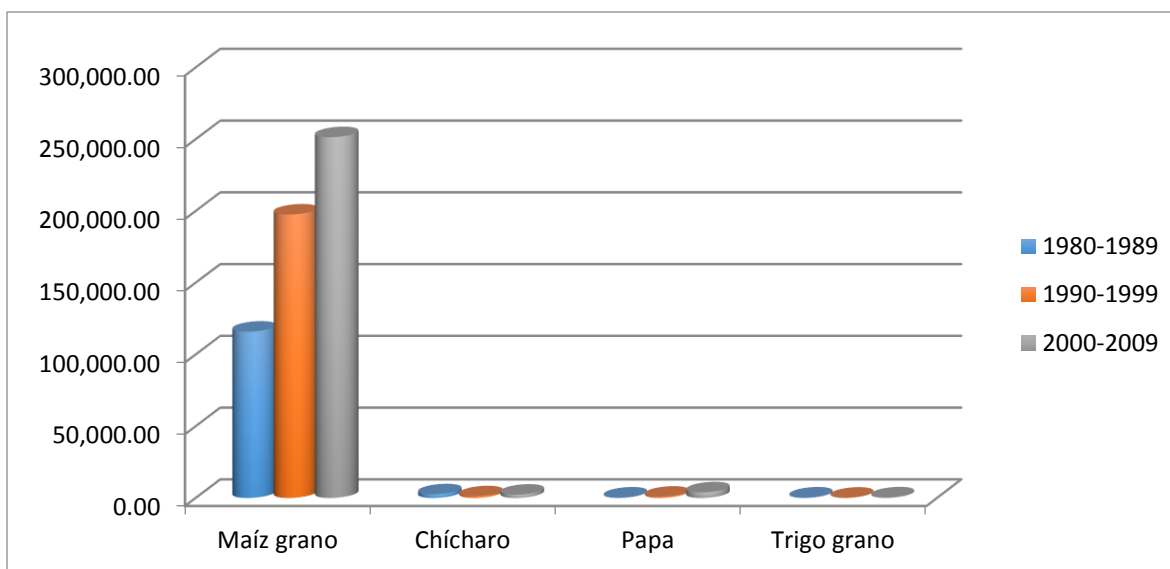
agrupación de tres barras en diferentes colores representando el valor de la producción de las décadas de estudio.

**Cuadro 12. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Toluca.**

Valor producción (miles de pesos)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz grano	115,876.69	197,506.00	251,388.72
Chícharo	2,520.00	1,142.50	2,281.40
Papa	275.00	875.00	3,885.00
Trigo grano	299.00	168.00	375.20

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 21. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Toluca.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*

### 3.4.2 Municipio de Tenango del Valle

Para el municipio de Tenango del Valle, el cultivo de maíz presento mayor superficie sembrada para la década de 1980 y ha ido disminuyendo para las últimas dos décadas de estudio, sin embargo el cultivo de chícharo ha sido más

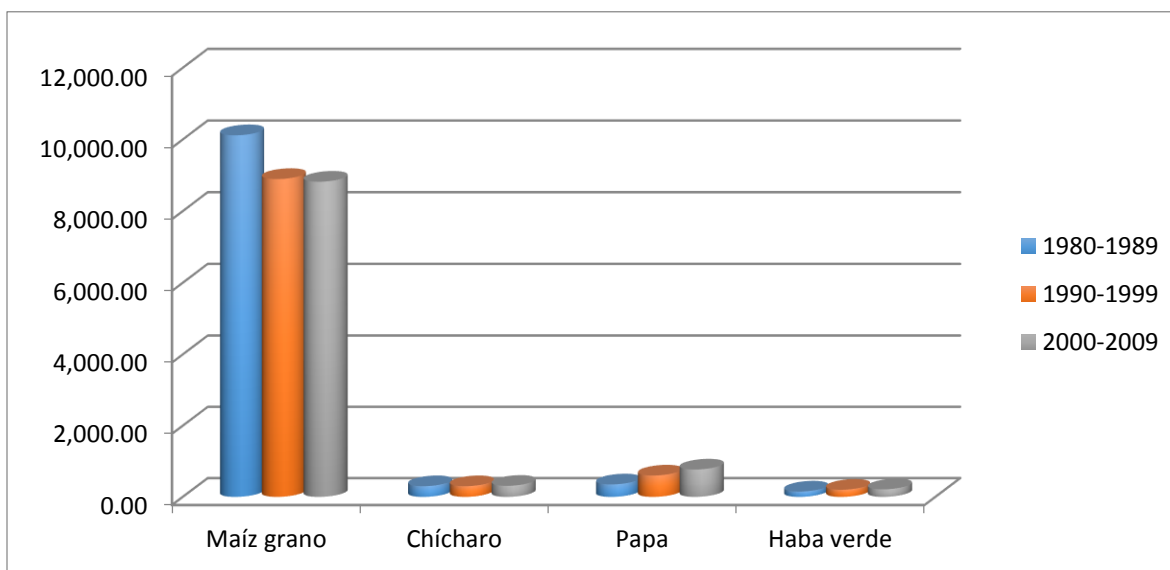
estable y se ha sembrado en promedio la misma superficie, teniendo un pequeño aumento para la década de 2000 a 2009 para los cultivos de papa y haba verde la superficie sembrada ha ido en aumento de 1990 a 2009 ya que para estos cultivos las condiciones climáticas son las adecuadas y tienen buena demanda. En el cuadro 13 y la figura 22 se presenta la evolución de las décadas de la superficie sembrada.

**Cuadro 13. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tenango del Valle.**

Sup. Sembrada (Ha)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz grano	10,115.83	8,894.60	8,820.00
Chícharo	300.00	300.00	310.00
Papa	350.00	600.00	768.00
Haba verde	150.00	200.00	212.00

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*

**Figura 22. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tenango del Valle.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

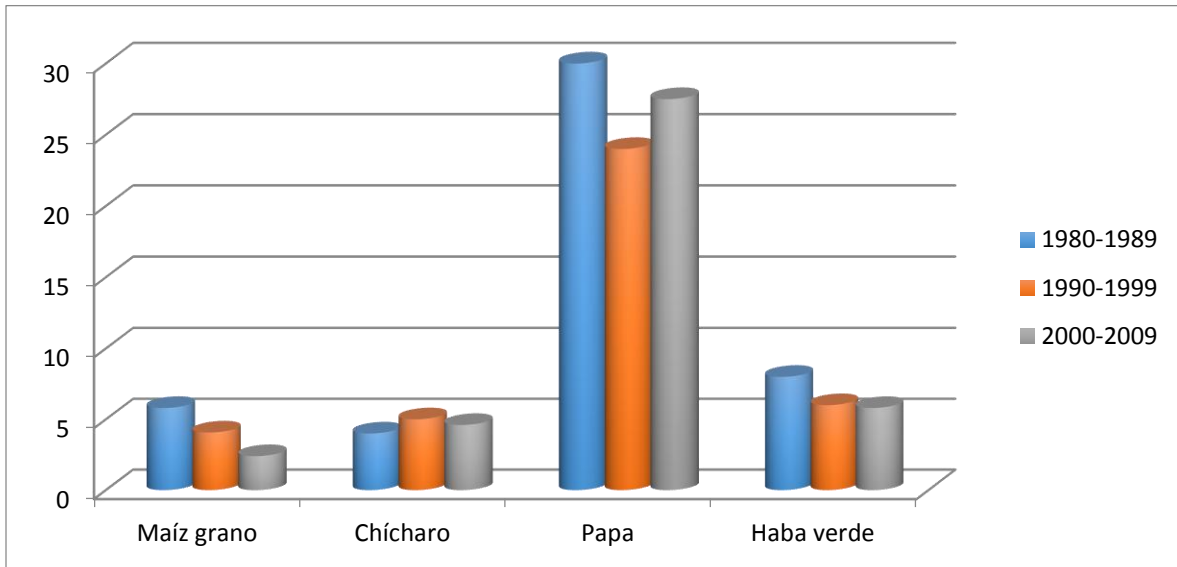
El Cuadro 14 muestra el promedio del rendimiento de la producción agroalimentaria del municipio de Tenango del Valle, el cuadro muestra que el rendimiento en el cultivo de maíz ha disminuido con respecto a las últimas dos décadas de estudio, el cultivo de chícharo solo presento menor rendimiento en la década de 1980, el cultivo de papa es el que tiene mayor rendimiento por hectárea cultivada la década en la que el cultivo presento más bajo rendimiento fue la década de 1990, por último para el cultivo de haba verde el rendimiento ha ido disminuyendo para las últimas dos décadas de estudio. Como referencia se presenta en la figura 23, cada cultivo muestra una agrupación de tres barras en diferentes colores representando el cada una el promedio de las décadas de estudio.

**Cuadro 14. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tenango del Valle.**

<b>Rendimiento (ton/ Ha)</b>	<b>1980-1989</b>	<b>1990-1999</b>	<b>2000-2009</b>
<b>Maíz grano</b>	5.80	4.07	2.40
<b>Chícharo</b>	4.00	5.00	4.60
<b>Papa</b>	30.00	24.00	27.50
<b>Haba verde</b>	8.00	6.00	5.80

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 23. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tenango del Valle.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

El Cuadro 15 muestra el valor de la producción agroalimentaria (miles de pesos) del municipio de Tenango del Valle, en el cuadro se observa que en el cultivo de maíz ha disminuido con respecto a las últimas dos décadas de estudio ya que la superficie sembrada ha sido menor con respecto a las últimas décadas, el cultivo de chícharo ha aumentado el valor de la producción a pesar de que la superficie sembrada ha sido la prácticamente la misma, para el cultivo de papa para la última década de estudio el valor ha aumentado considerablemente y para el cultivo de haba verde el valor de la producción aumento poco más del doble para nuestra última década. Como referencia se presenta en la figura 24 cada cultivo muestra una agrupación de tres barras en diferentes colores representando el valor de la producción de las décadas de estudio.

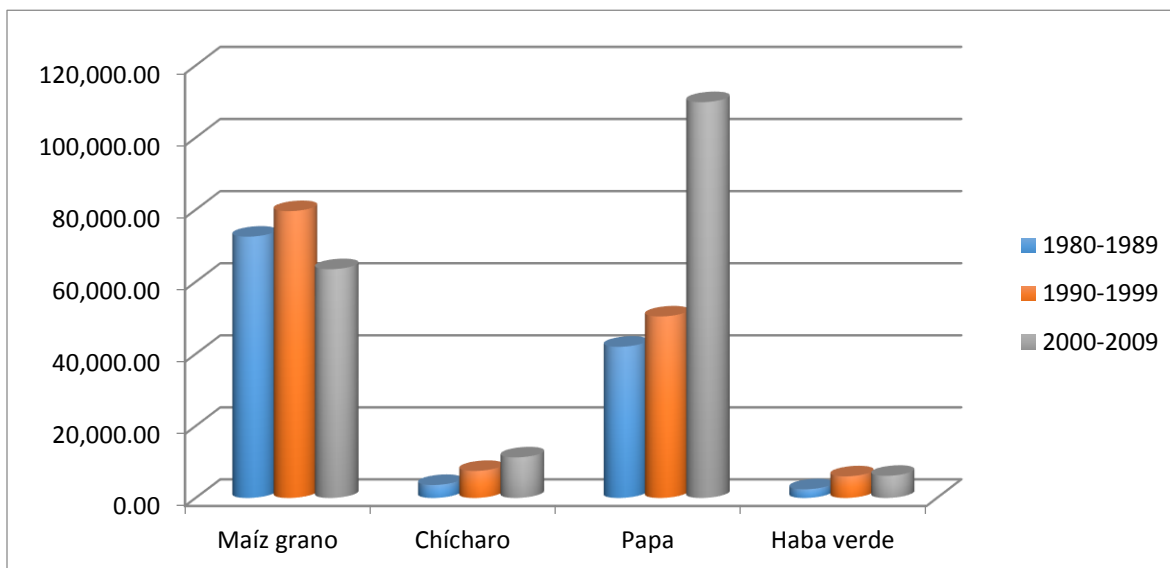


**Cuadro 15. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Tenango del Valle.**

Valor Producción (Miles de Pesos)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz grano	72,529.39	79,611.40	63,504.00
Chícharo	3,600.00	7,500.00	11,265.40
Papa	42,000.00	50,400.00	109,824.00
Haba verde	2,400.00	6,000.00	6,148.00

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 24. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Tenango del Valle.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.4.3 Municipio de Villa Guerrero

Para el municipio de Villa Guerrero, el cultivo de maíz presento la menor superficie sembrada en la década de 1990 y presenta un aumento considerable para la década de 2000 a 2009, para el cultivo de frijol en 1990 presento la mayor superficie sembrada de 11 ha pero para la década de 2000 a 2009 solo presento en promedio 2 ha, de la misma manera el cultivo de tomate verde tuvo una baja significativa en la superficie sembrada que va desde 11ha en 1980, a 0.80 ha para

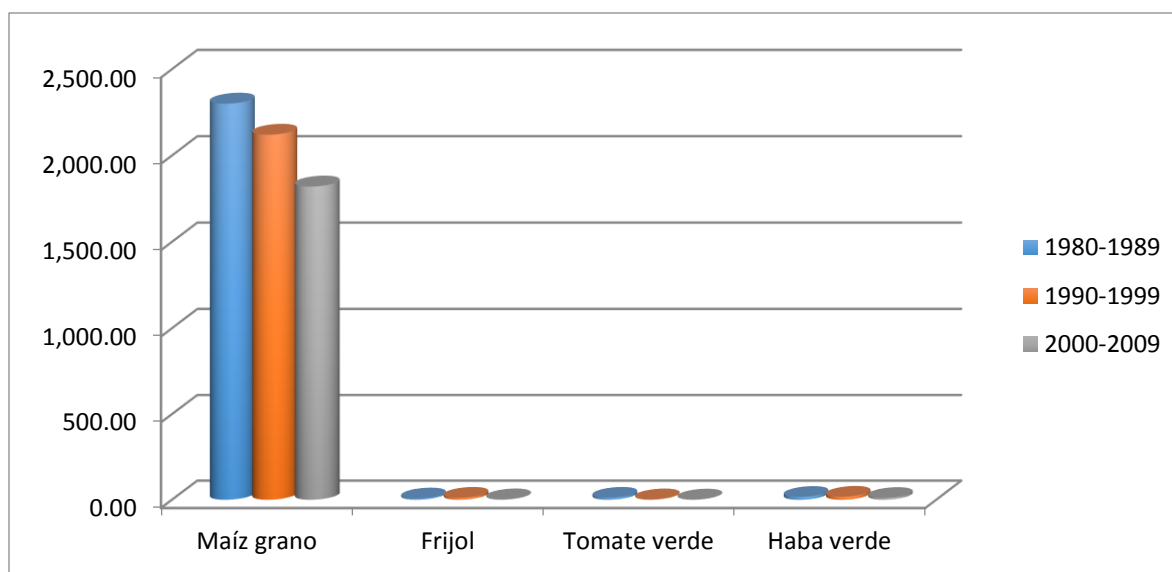
el 2009, sin embargo para el cultivo de haba verde la menor superficie sembrada se presentó a partir de 2000 a 2009. En el cuadro 16 y la figura 25 se presenta la evolución de las décadas de la superficie sembrada.

**Cuadro 16. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Villa Guerrero.**

Sup. Sembrada (ha)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
<b>Maíz grano</b>	2,300.00	2,120.00	1,820.00
<b>Frijol</b>	7.00	11.00	2.00
<b>Tomate verde</b>	11.00	1.80	0.80
<b>Haba verde</b>	16.00	17.00	10.00

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 25. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Villa Guerrero.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

El Cuadro 17 muestra el promedio del rendimiento de la producción agroalimentaria del municipio de Villa Guerrero, el cuadro muestra que el rendimiento en el cultivo de maíz fue más estable con respecto a las décadas de

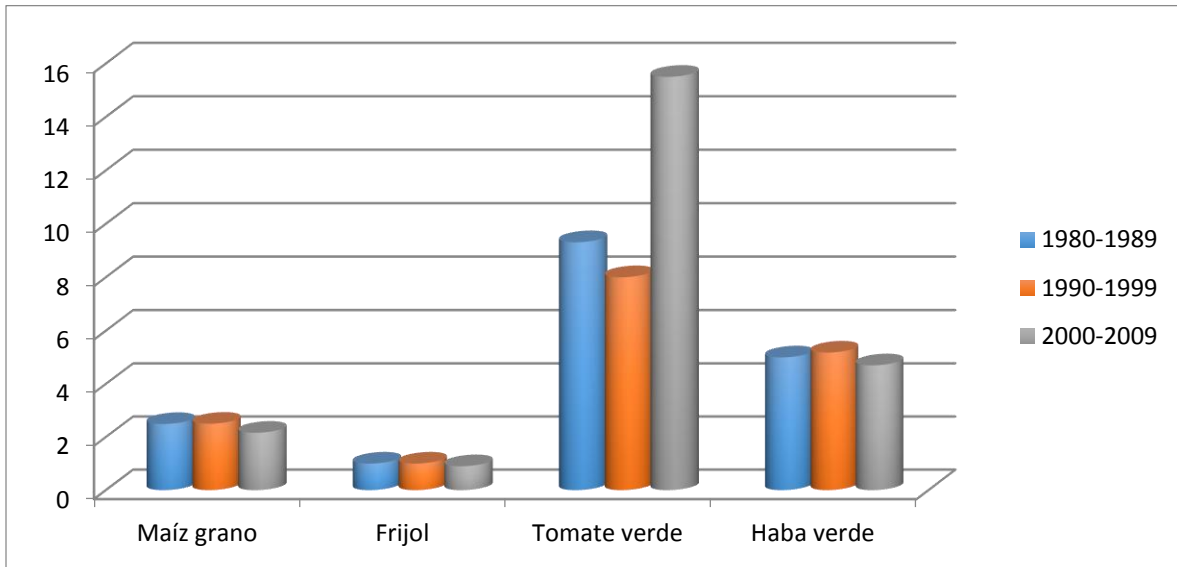
1980 a 1990, el cultivo de frijol solo presento menor rendimiento en la década de 2000, pero se ha mantenido estable y no ha tenido grandes variaciones el cultivo de tomate verde, ha sido el cultivo que presenta menor superficie sembrada, pero para la última década de 2000 el rendimiento fue considerable siendo el rendimiento casi el doble, finalmente el cultivo de haba verde presento el menor rendimiento en la década de 2000 a 2009. Como referencia se presenta la figura 26, el promedio de las décadas de estudio.

**Cuadro 17. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Villa Guerrero.**

Rendimiento (ton/ ha)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz grano	2.49	2.50	2.16
Frijol	1.00	1.00	0.90
Tomate verde	9.31	8.00	15.50
Haba verde	5.00	5.18	4.70

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 26. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Villa Guerrero.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

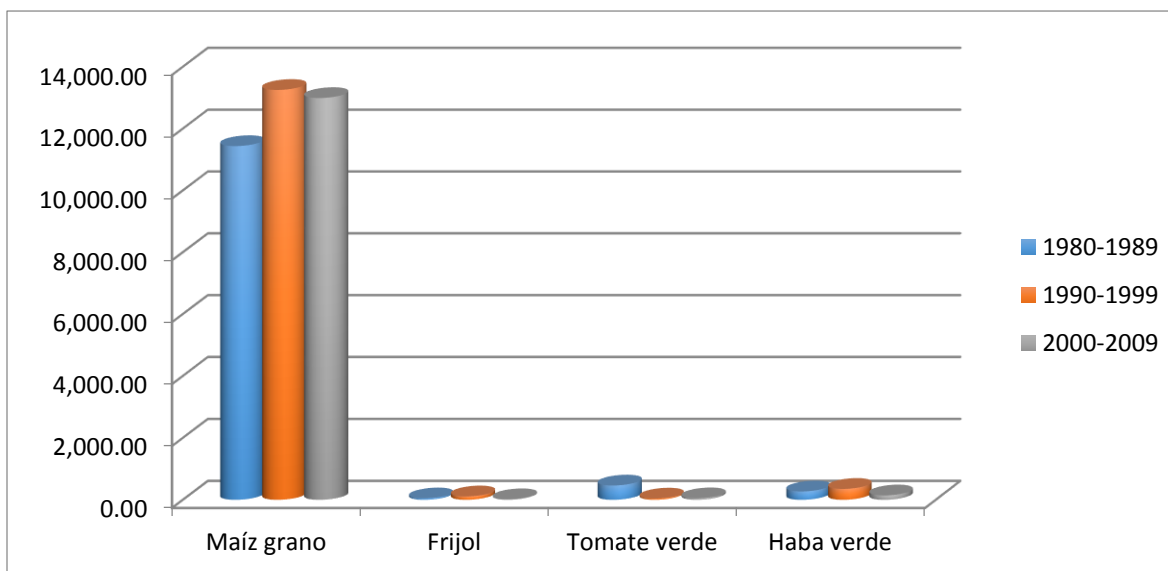
El Cuadro 18 muestra el valor de la producción agroalimentaria (miles de pesos) del municipio de Villa Guerrero, el cuadro muestra que en el cultivo de maíz ha aumentado con respecto a las última década de estudio a pesar de que la superficie sembrada ha sido menor con respecto a la primer década, el cultivo de frijol ha tenido un comportamiento estable con respecto a la superficie sembrada, para el cultivo de tomate verde la última década presento menor superficie sembrada pero fue mayor el valor de la producción, para el cultivo de haba verde el valor de la producción fue más estable con respecto a la superficie sembrada. Como referencia se presenta en la figura 27, cada cultivo muestra una agrupación de tres barras en diferentes colores representando el valor de la producción de las décadas de estudio.

**Cuadro 18. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Villa Guerrero.**

Valor producción (miles de pesos)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz grano	11,433.92	13,250.00	12,988.80
Frijol	46.00	110.00	18.00
Tomate verde	461.60	40.00	48.36
Haba verde	270.00	352.00	141.50

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 27. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Villa Guerrero.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.4.4 Municipio de Zumpahuacán

Para el municipio de Zumpahuacán, la superficie sembrada para el cultivo de maíz, ha ido disminuyendo considerablemente al igual que el cultivo de frijol el sorgo de grano ha tenido un aumento en las últimas dos décadas, sin embargo para el cultivo de tomate verde, la superficie sembrada ha ido disminuyendo para la última década de estudio. En el cuadro 19 y la figura 28 se presenta la evolución de las décadas de la superficie sembrada. Se observa que la superficie sembrada

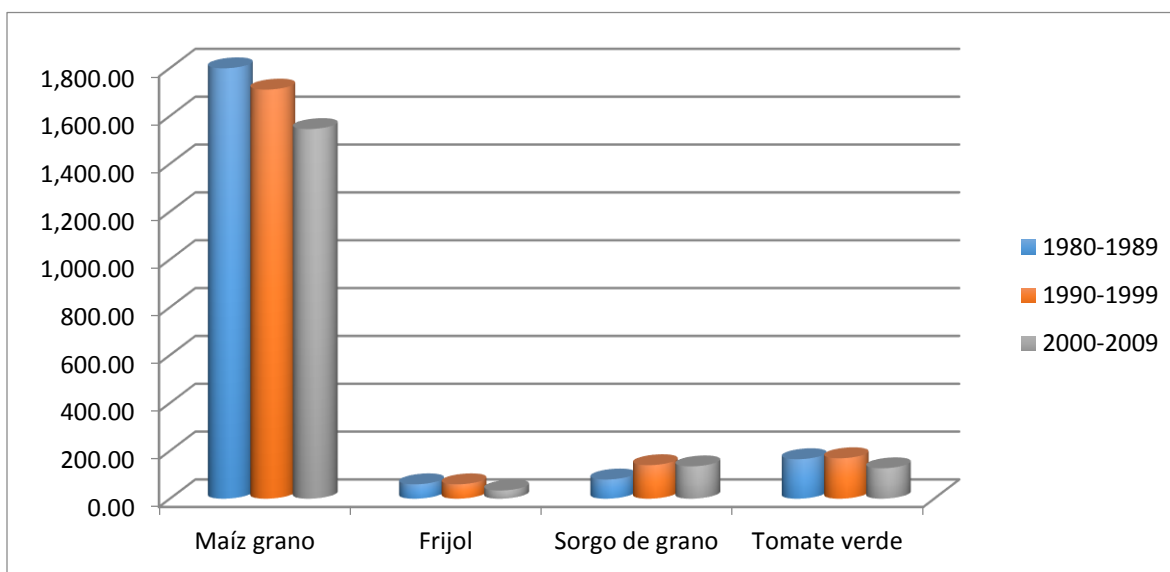
para los cultivos de maíz y trigo de grano ha ido disminuyendo para la última década de estudio.

**Cuadro 19. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Zumpahuacán.**

Sup. Sembrada (Ha)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
<b>Maíz grano</b>	1,799.00	1,710.00	1,545.00
<b>Frijol</b>	60.00	60.00	34.00
<b>Sorgo de grano</b>	80.00	140.00	135.00
<b>Tomate verde</b>	165.00	169.00	127.00

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 28. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Zumpahuacán.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

El Cuadro 20 muestra el promedio del rendimiento de la producción agroalimentaria del municipio de Zumpahuacán, el rendimiento en el cultivo de maíz ha presentado un buen rendimiento en la década de 1990 a 1999 disminuyendo en la década de 2000 a 2009, el cultivo de frijol y sorgo de grano han presentado un rendimiento más estable ya que las condiciones favorecen a los cultivos, el cultivo de tomate verde ha presentado menor rendimiento con respecto a las

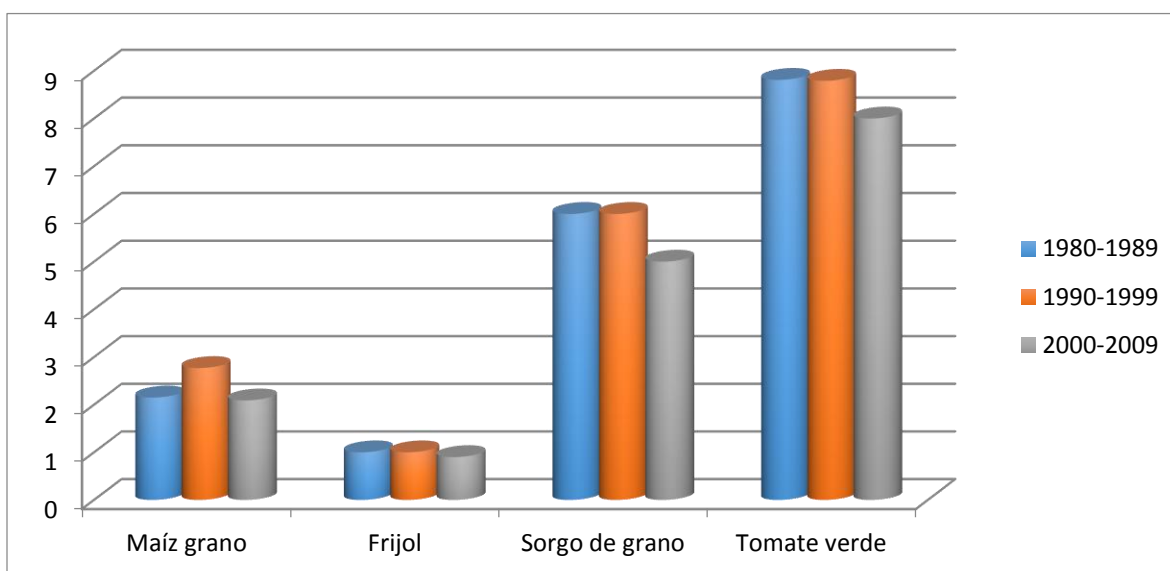
últimas dos décadas de estudio. Como referencia se presenta en la figura 29, cada cultivo muestra una agrupación de tres barras en diferentes colores representando el cada una el promedio de las décadas de estudio.

**Cuadro 20. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Zumpahuacán.**

Rendimiento (ton/ ha)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
<b>Maíz grano</b>	2.15	2.77	2.09
<b>Frijol</b>	1.00	1.00	0.90
<b>Sorgo de grano</b>	6.00	6.00	5.00
<b>Tomate verde</b>	8.81	8.79	8.00

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 29. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Zumpahuacán.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

El Cuadro 21 muestra el valor de la producción agroalimentaria (miles de pesos) del municipio de Zumpahuacán, en el cuadro se observa que en el cultivo de maíz ha aumentado con respecto a las última década de estudio a pesar de que la superficie sembrada ha sido menor con respecto a la primer década, el cultivo de

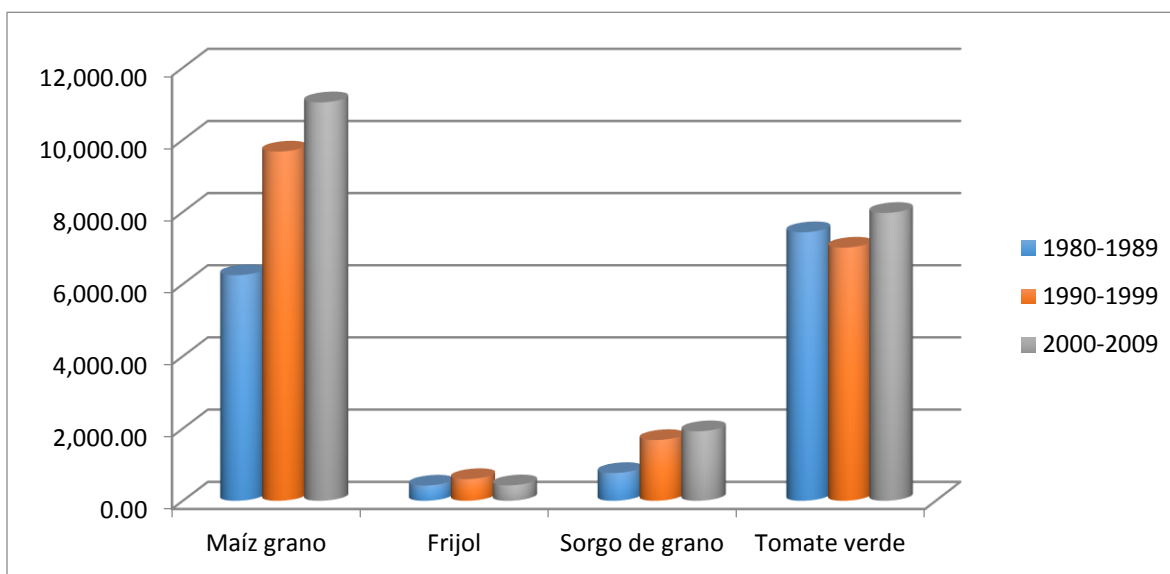
frijol ha tenido un comportamiento estable con respecto a la superficie sembrada, para el cultivo de tomate verde la última década presento menor superficie sembrada pero fue mayor el valor de la producción, para el cultivo de tomate verde el valor de la producción fue mayor (Figura 30).

**Cuadro 21. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Zumpahuacán.**

Valor producción (miles de pesos)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz grano	6,248.07	9,676.00	11,040.88
Frijol	420.00	600.00	425.92
Sorgo de grano	768.00	1,680.00	1,923.75
Tomate verde	7,438.00	7,012.00	7,974.40

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*

**Figura 30. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Zumpahuacán.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.4.5 Municipio de Tonatico

Para el municipio de Tonatico, el cultivo de maíz ha presentado un aumento considerable en la superficie sembrada siendo de poco más del doble con



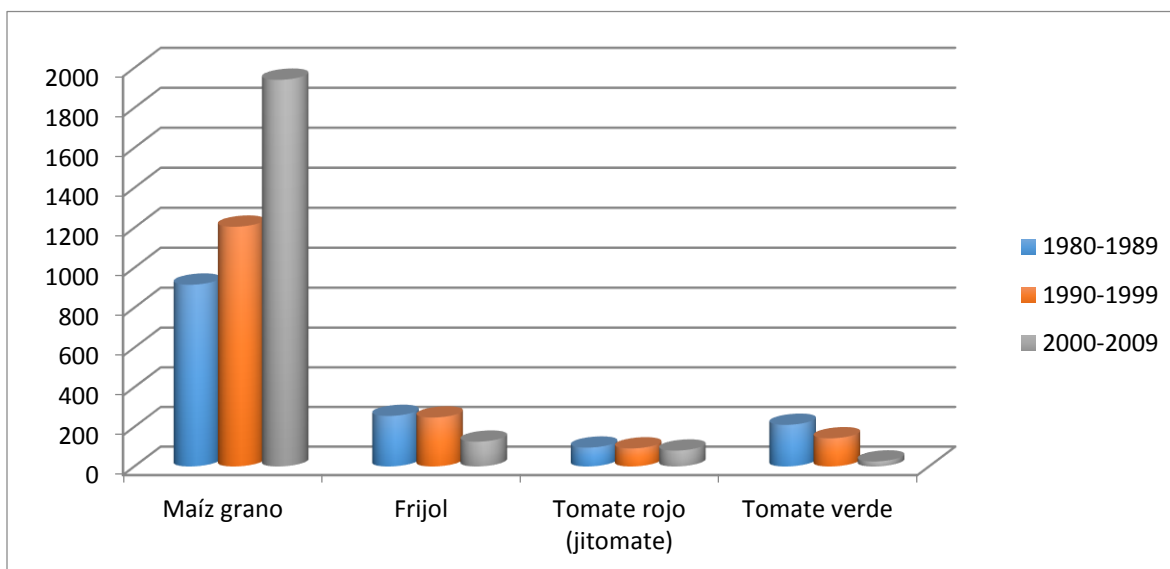
respecto a la década de 1980, para el cultivo de frijol la superficie sembrada ha ido disminuyendo para las últimas dos décadas, el tomate rojo (jitomate) la superficie sembrada no ha tenido gran variación, como lo ha tenido el cultivo de tomate verde que para la década de 2000 a 2009 se ha cultivado menos de la mitad de lo que se sembraba en 1980. En el cuadro 22 y la figura 31 se presenta la evolución de las décadas de la superficie sembrada.

**Cuadro 22. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tonicato.**

Sup. Sembrada (Ha)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz grano	915.00	1,205.00	1,940.00
Frijol	255.00	247.00	125.00
Tomate rojo (jitomate)	95.00	91.00	80.00
Tomate verde	210.00	142.00	25.00

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 31. Superficie sembrada (ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tonicato.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

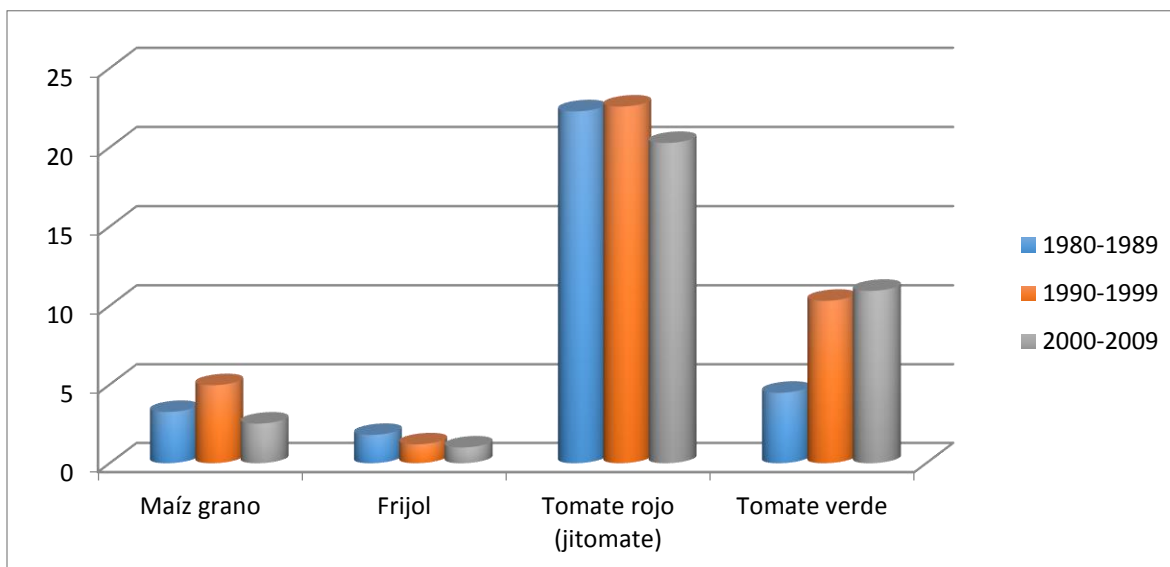
El Cuadro 23 muestra el promedio del rendimiento de la producción agroalimentaria del municipio de Tonatico, el rendimiento en el cultivo de maíz presento un buen rendimiento en la década de 1990 pero ha disminuido para la última década, para el cultivo de frijol se muestra que el rendimiento empezó a disminuir a partir de en 1990, el cultivo de tomate rojo ha sido el cultivo que se muestra más estable, sin en cambio el cultivo de tomate verde ha presentado un aumento en el rendimiento de poco más del doble que presentaba para la década de 1980 manteniéndose estable en las últimas décadas. Como referencia se presenta en la figura 32.

**Cuadro 23. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tonatico.**

Rendimiento (ton/ ha)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz grano	3.26	4.96	2.52
Frijol	1.80	1.20	1.00
Tomate rojo (jitomate)	22.28	22.58	20.28
Tomate verde	4.48	10.31	10.94

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 32. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del municipio de Tonicato.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

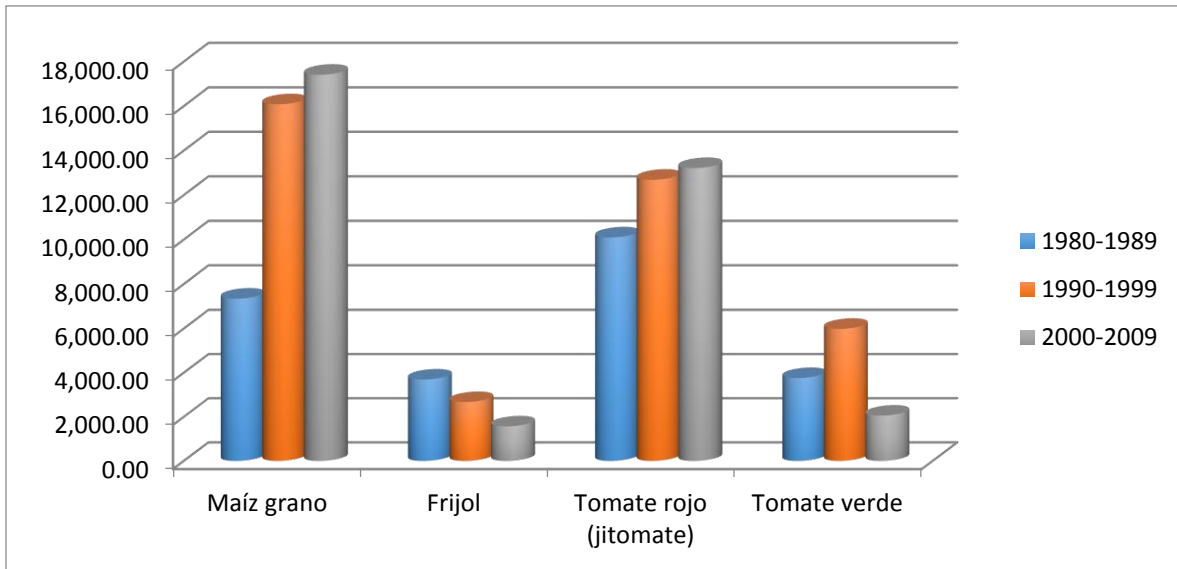
El Cuadro 24 muestra el valor de la producción agroalimentaria (miles de pesos) del municipio de Tonicato, el cuadro muestra que en el cultivo de maíz ha aumentado con respecto a las últimas dos décadas de estudio a pesar de que la superficie sembrada ha sido menor con respecto a las últimas décadas, el cultivo de chícharo, de papa y trigo de grano presentaron un comportamiento más estable en relación a la superficie sembrada que se muestra en cuadros anteriores. Como referencia se presenta en la figura 33, el valor de la producción de las décadas de estudio.

**Cuadro 24. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Tonicato.**

Valor producción (miles de pesos)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Maíz grano	7,344.90	16,081.85	17,408.12
Frijol	3,692.00	2,670.60	1,568.18
Tomate rojo (jitomate)	10,097.50	12,690.00	13,215.25
Tomate verde	3,760.00	5,988.00	2,055.00

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 33. Valor de la producción agroalimentaria (\$) del municipio de Tonatico.**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### **3.5 ANÁLISIS DE LA DINÁMICA AGRÍCOLA EN LA CUENCA POR CULTIVO (PRINCIPALES CULTIVOS) (1980- 2009).**

### 3.5 Análisis de la dinámica agrícola en la cuenca por cultivo. Principales cultivos (1980- 2009), (Rendimiento).

#### 3.5.1 Cultivo de maíz

En el caso del cultivo de maíz, la productividad varía notablemente en cada zona, por lo que la importancia agrícola no debe estimarse sólo por el número de hectáreas cultivadas, sino que deben tomarse en cuenta los rendimientos y competitividad del cereal de mayor consumo de la población (Colín S A. *et. al.*)

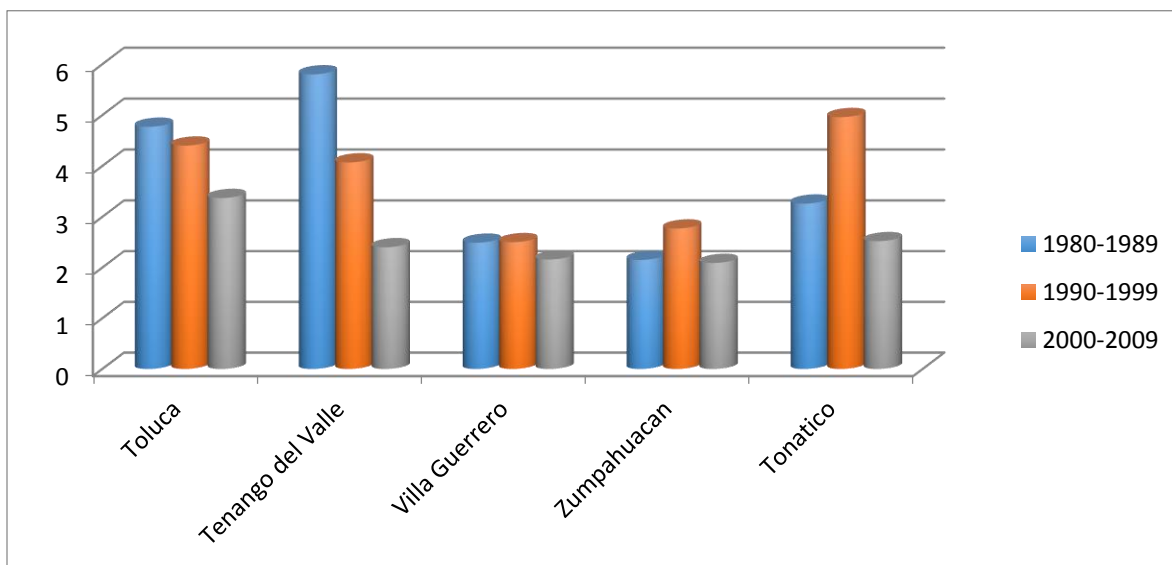
Como se muestra en el cuadro 25 y la figura 34 el municipio que presentó mayor rendimiento fue Tenango del Valle en la década de 1980 a 1989 y el municipio que presentó menos rendimiento fue Zumpahuacán, para la década de 1990 a 1999 Tonatico presentó el mayor rendimiento, siendo su rendimiento casi el doble del que presentó Villa Guerrero con 2.5 (ton/ha), para nuestra última década de estudio Tenango del Valle fue el que presentó el menor rendimiento y el municipio de Toluca presentó el mayor rendimiento con 3.37 (ton/ha), para esta década de estudio.

**Cuadro 25. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de maíz (1980- 2009).**

Maíz grano	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Toluca	4.77	4.40	3.37
Tenango del Valle	5.80	4.07	2.40
Villa Guerrero	2.49	2.50	2.16
Zumpahuacán	2.15	2.77	2.09
Tonatico	3.26	4.96	2.52

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 34. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de maíz (1980- 2009).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.5.2 Cultivo de chícharo

En el país, el Estado de México es uno de los principales productores, en el año de 2003 se sembraron 8,000 hectáreas distribuidas en las regiones de Tenango del Valle Coatepec Harinas, Valle de Bravo, Toluca, Tejupilco, Texcoco y Atlacomulco. En la región de Coatepec Harinas la mayor superficie se siembra en el ciclo primavera-verano bajo condiciones de humedad residual (3,000 ha) y una menor proporción de riego (400 ha); en el ciclo otoño-invierno se siembran 900 hectáreas en humedad residual y 800 hectáreas en condiciones de riego.

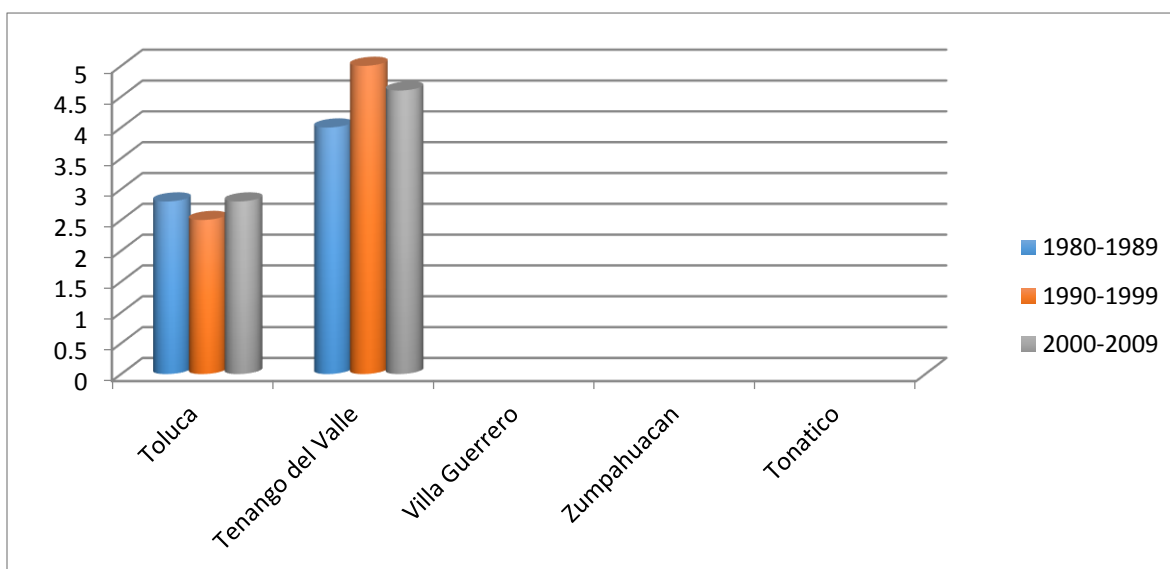
El cuadro 26 y la figura 35, muestran el rendimiento que presentó el cultivo de chícharo, siendo en Tenango del Valle donde se presenta mayor rendimiento en todas las décadas de estudio, en la década de 1990 a 1999 obtuvo el doble del rendimiento del que presentó el municipio de Toluca.

**Cuadro 26. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de chícharo (1980- 2009).**

Chícharo	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Toluca	2.8	2.5	2.8
Tenango del Valle	4.0	5.0	4.6
Villa Guerrero	No se cultivó chícharo en el período		
Zumpahuacan	No se cultivó chícharo en el período		
Tonatico	No se cultivó chícharo en el período		

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 35. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de chícharo (1980- 2009).**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.5.3 Cultivo de papa

Los datos de producción de papa, en el Estado de México, indican que tiene gran importancia socioeconómica, ya que en 2008, contribuyó con 126 mil toneladas, con un valor aproximado de 41 millones de dólares, lo cual lo ubica en cuarto lugar nacional de producción, después de Sinaloa, Sonora y Chihuahua, esta



producción la obtuvo en 4554,0 ha, distribuidas en 26 municipios (SEDAGRO 2008).

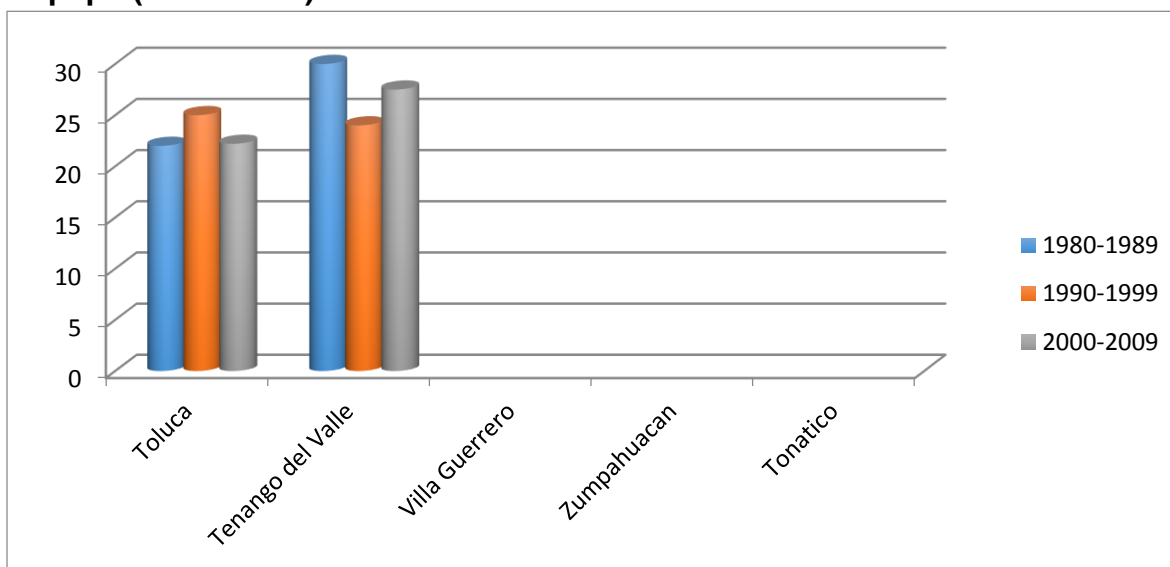
El cuadro 27 y la figura 36 muestran el rendimiento del cultivo de Papa que solo se presenta en los municipios de Toluca y Tenango del Valle, siendo este último el que presenta mayor rendimiento con respecto al municipio de Toluca en las décadas de 1980 a 1990 y del 2000 a 2009 .

**Cuadro 27. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de papa (1980- 2009).**

Papa	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Toluca	22	25	22.2
Tenango del Valle	30	24	27.5
Villa Guerrero	No se cultivó papa en el período		
Zumpahuacan	No se cultivó papa en el período		
Tonatico	No se cultivó papa en el período		

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 36. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de papa (1980- 2009).**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.5.4 Cultivo de trigo

Después del maíz y el frijol, el trigo es una de las tres fuentes mas importantes de nutrientes, es por esto que el trigo como producto básico y su cultivo, son de gran relevancia para el desarrollo socioeconómico de México. El rendimiento promedio del ciclo Otoño-Invierno es de 5.3 toneladas por hectárea; el de Primavera-Verano, de aproximadamente 2.0 toneladas por hectárea (Villaseñor y Espitia, 2000a).

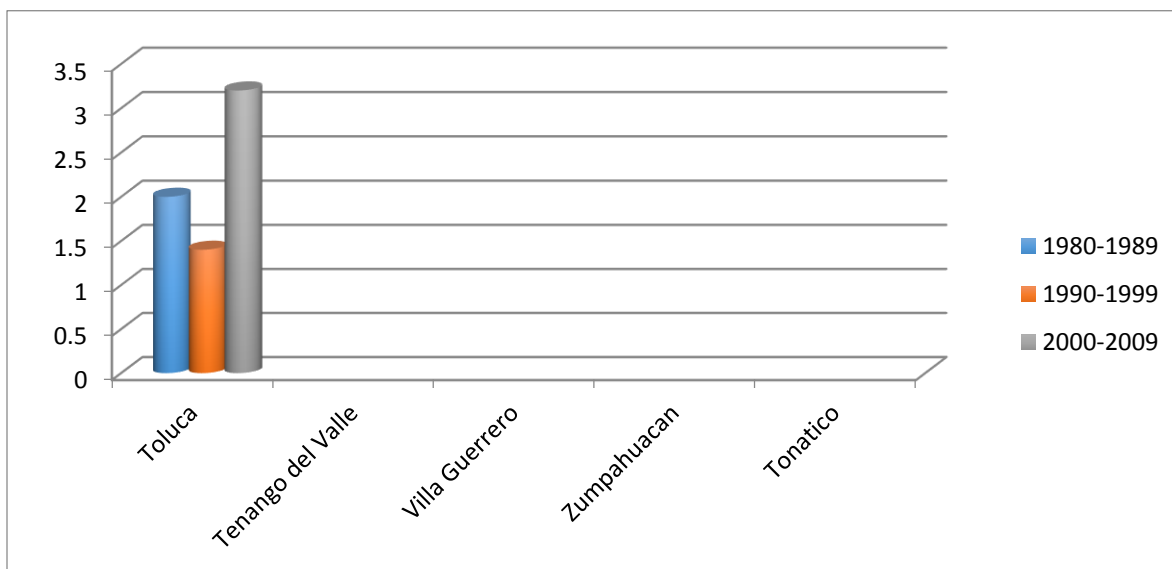
Como se muestra en el cuadro 28 y la figura 37 solo en el municipio de Toluca se cultiva el trigo de grano siendo la última década de estudio la que presento un rendimiento de más del doble en comparación de la de cada de 1990 a 1999.

**Cuadro 28. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de trigo (1980- 2009).**

Trigo grano	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Toluca	2	1.4	3.2
Tenango del Valle	No se cultivó trigo en el período		
Villa Guerrero			
Zumpahuacan			
Tonatico			

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 37. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de trigo (1980- 2009).**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.5.5 Cultivo de haba verde

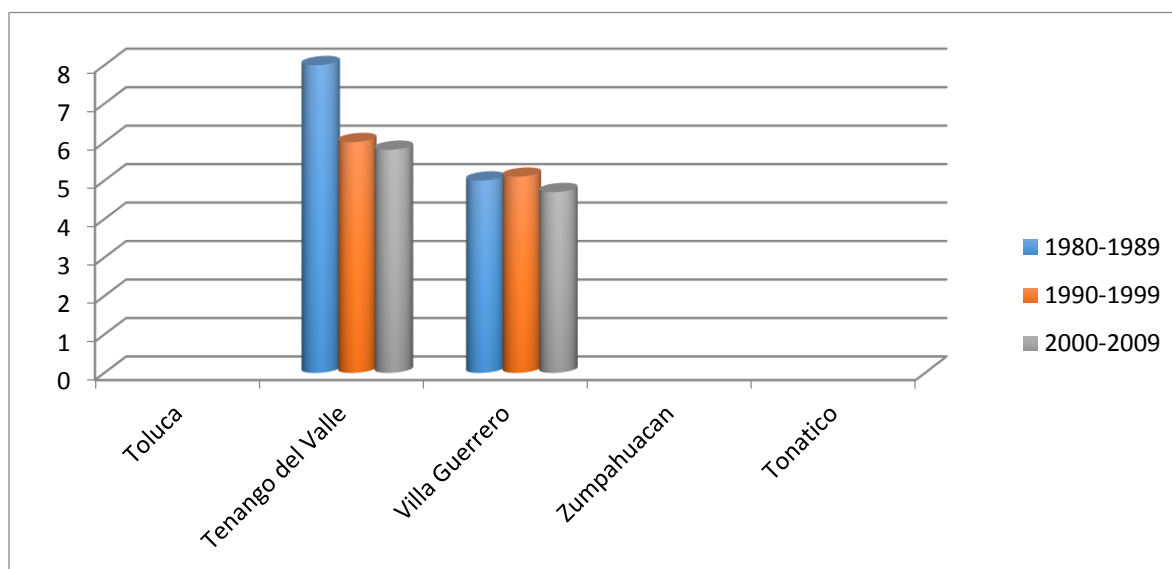
A nivel nacional, el Estado de Mexico es el principal productor, que comercializa en la ciudad de México y Toluca, en menor proporción se distribuye en los mercados locales. El cuadro 29 nos muestra los rendimientos que presentó este cultivo en los municipios de Tenango del Valle y Villa Guerrero. Para la década de 1980 en Tenango se presentó un rendimiento de 8 ton/ha sin embargo ha ido disminuyendo el rendimiento ya que para nuestra última década de estudio ha sido de 5.8 ton/ha, para el municipio de Villa Guerrero el rendimiento que ha mostrado a lo largo de este periodo de estudio ha sido más estable y no ha tenido gran variación en el rendimiento.

**Cuadro 29. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de haba verde (1980- 2009).**

Haba Verde	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Toluca	No se cultivó haba verde en el período		
Tenango del Valle	8.0	6.0	5.8
Villa Guerrero	5.0	5.1	4.7
Zumpahuacan	No se cultivó haba verde en el período		
Tonatico	No se cultivó haba verde en el período		

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 38. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de haba verde (1980- 2009).**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.5.6 Cultivo de frijol

El cultivo del frijol ocupa un lugar importante en la economía agrícola del país, tanto por la superficie que se le destina, como por la derrama económica que genera. En conjunto con el maíz constituyen los productos de mayor importancia socioeconómica tanto por la superficie de siembra como por la cantidad consumida per capita. En el cuadro 30 se muestra un rendimiento muy estable

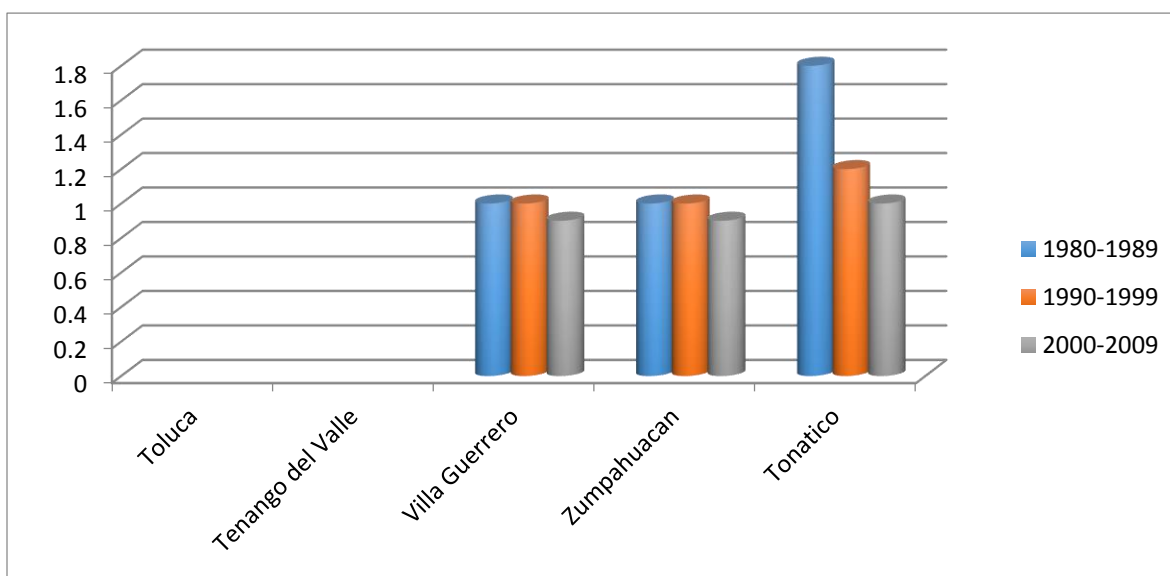
para Villa Guerrero y Zumpahuacan, el municipio de Tonatico presentó mayor rendimiento en la década de 1980 a 1999.

**Cuadro 30. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de frijol (1980- 2009).**

Frijol	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Toluca	No se cultivó frijol en el período		
Tenango del Valle			
Villa Guerrero	1.0	1.0	0.9
Zumpahuacan	1.0	1.0	0.9
Tonatico	1.8	1.2	1.0

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*

**Figura 39.. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de frijol (1980- 2009).**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.5.7 Cultivo de tomate verde

El cultivo de tomate verde se produce en los municipios de Villa Guerrero, Zumpahuacan y Tonatico, presentandose en Villa Guerrero el mayor rendimiento

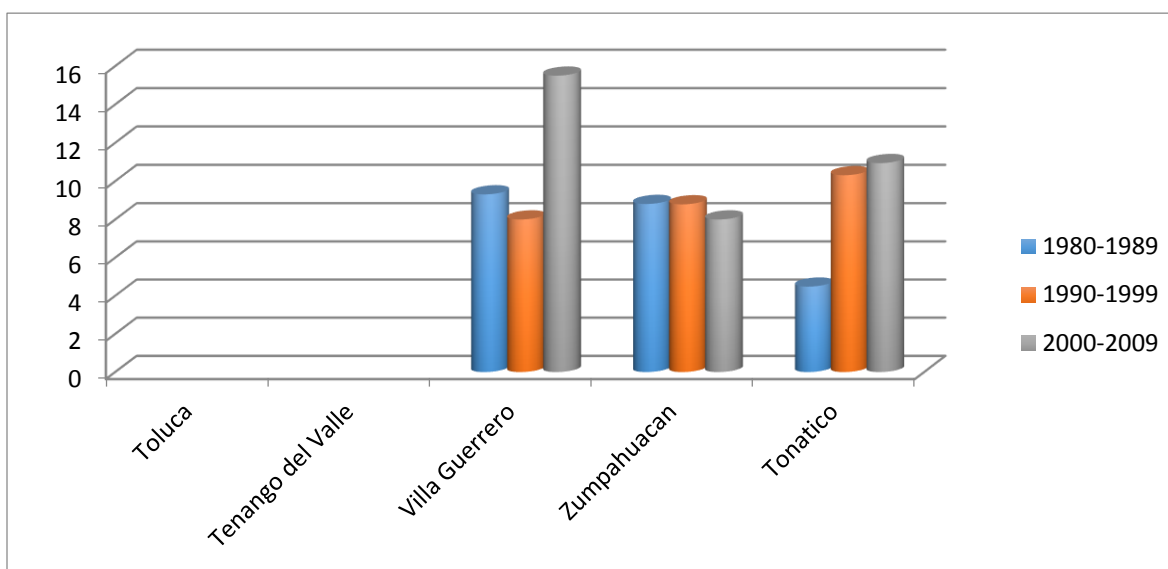
en la última década de estudio, para Tonicato el rendimiento ha ido en aumento en las últimas dos décadas analizadas, Zumpahuacan ha presentado un rendimiento más estable (Cuadro 31, Figura 40).

**Cuadro 31. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de tomate verde (1980- 2009).**

Tomate verde	1980-1989	1990-1999	2000-2009
<b>Toluca</b>			
<b>Tenango del Valle</b>	No se cultivó tomate verde en el período		
<b>Villa Guerrero</b>	9.31	8	15.5
<b>Zumpahuacan</b>	8.81	8.79	8
<b>Tonicato</b>	4.48	10.31	10.94

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*

**Figura 40. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de tomate verde (1980- 2009).**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.5.8 Cultivo de sorgo de grano

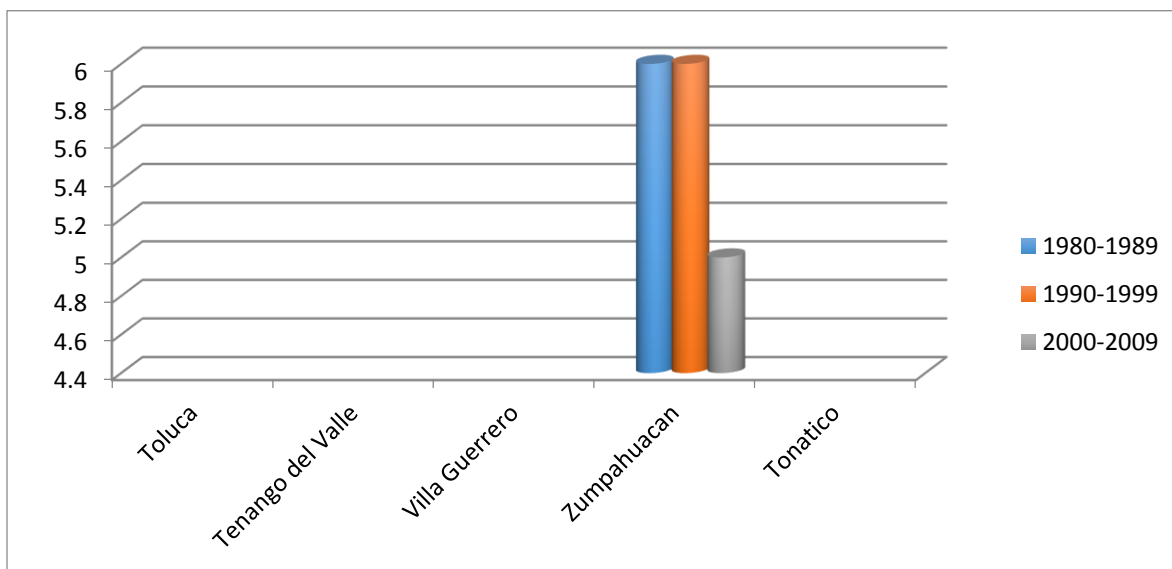
El cultivo de sorgo es el quinto cereal más importante del mundo (FAO-ICRISAT, 1997); y según la Comisión Latinoamericana de Investigadores de Sorgo (CLAIS), ocupa el segundo lugar en América Latina; los países más importantes debido por su producción y superficie son Estados Unidos de América y México, en donde existe un patrón muy definido para la producción del grano, que se destina a la comercialización para consumo animal en forma de alimento balanceado (Hawkins, 1985). El cultivo de sorgo solo se produce en Zumpahuacán como lo muestra el cuadro 32 presentando menor rendimiento en la última década de estudio.

**Cuadro 32. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de sorgo de grano (1980- 2009).**

Sorgo de grano	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Toluca			
Tenango del Valle	No se cultivó sorgo de grano en el período		
Villa Guerrero			
Zumpahuacán	6	6	5
Tonatico	No se cultivo sorgo de grano en el período		

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

**Figura 41. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de sorgo de grano (1980- 2009).**



*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.5.9 Cultivo de tomate rojo (jitomate)

México ocupa el segundo lugar en exportaciones mundiales de tomate. El tomate rojo se cultiva en el municipio de Tonatico teniendo un rendimiento promedio de 22 ton/ha, el cultivo de jitomate cada vez es mas difícil de realizar debido a las condiciones ambientales adversas, como temperaturas, nubosidad y precipitación, así como plagas y enfermedades (Cuadro 33, Figura 42).

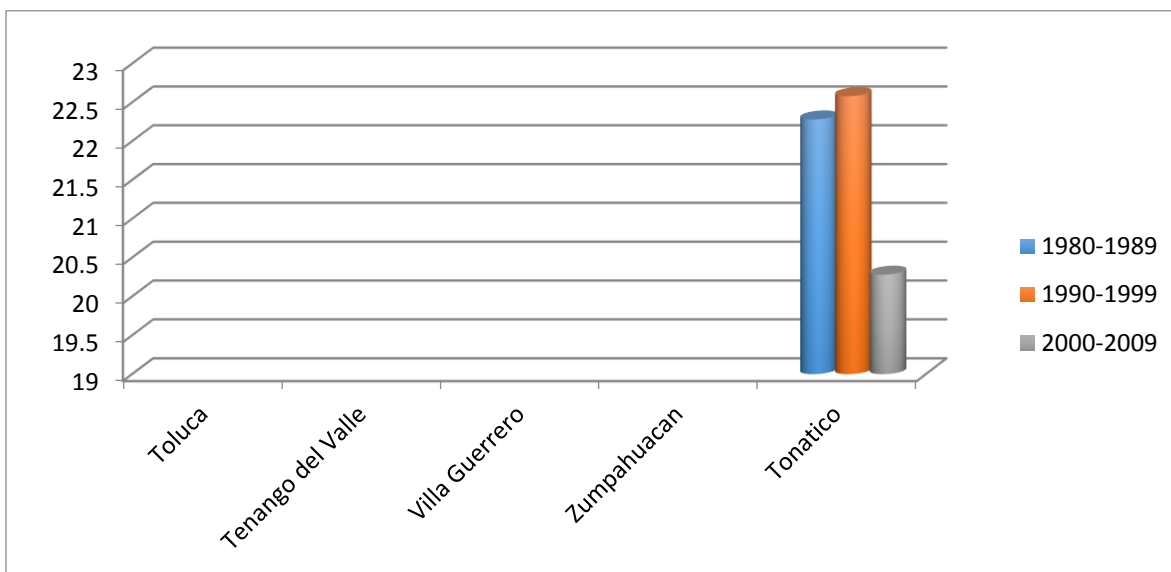
**Cuadro 33. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de tomate rojo (jitomate) (1980- 2009)**

Tomate rojo (jitomate)	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Toluca			
Tenango del Valle	No se cultivó tomate rojo en el período		
Villa Guerrero	No se cultivó tomate rojo en el período		
Zumpahuacan			
Tonatico	22.28	22.58	20.28

*Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*



**Figura 42. Rendimiento (ton/ha) de la producción agroalimentaria del cultivo de tomate rojo (jitomate) (1980- 2009)**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

### **3.6 RELACION ENTRE LOS PATRONES DE LLUVIA Y TEMPERATURA CON LA PRODUCCIÓN ALIMENTARIA**

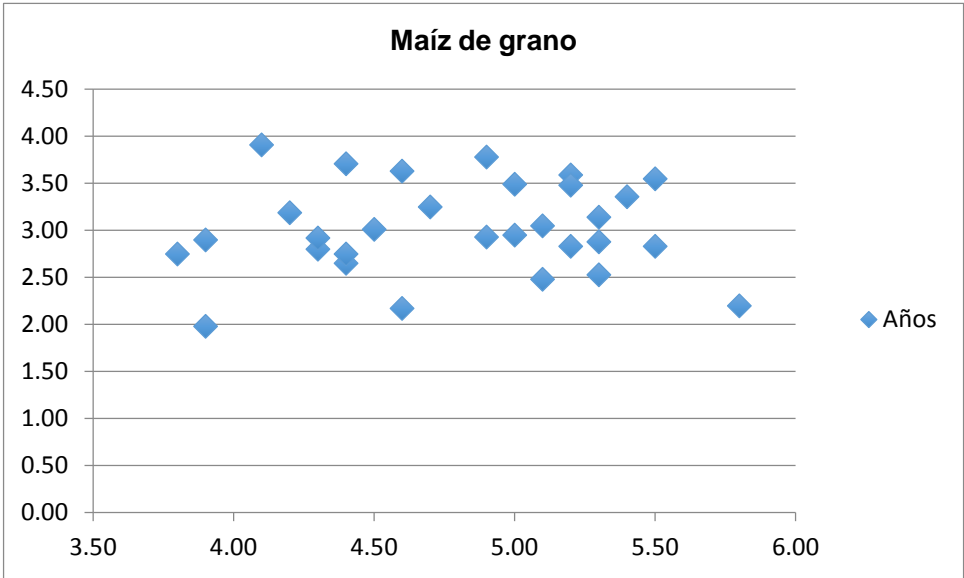
**3.6 Relación entre los patrones de lluvia y temperatura con la producción alimentaria.**

**3.6 .1 Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento, por municipio**

- **Municipio de Toluca**

La tendencia de la producción de maíz en relación a la temperatura mínima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 5 a 5.5° C, con una producción mínima de 2.5 t/ha y máxima de 3.5 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 4 a 5° C en la que el rendimiento se presenta de 2 a 4 t/ha como máximo. La mayor cantidad de años mostraron una producción de 3 t/ha.

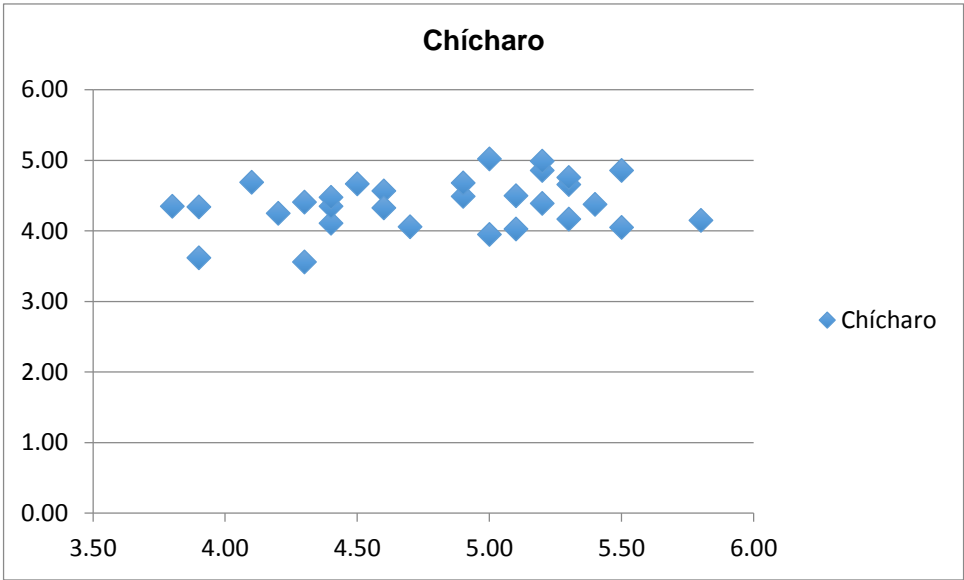
**Figura 43. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano del municipio de Toluca.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de chícharo en relación a la temperatura mínima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas mínimas de 4.8 a 5.5° C, con una producción mínima de 4 t/ha y máxima de 5 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala es la de 4.2 a 4.7 ° C con una producción mínima de 4 t/ha y máxima de 4.8 t/ha. La mayor cantidad de años mostraron, una producción de 4.5 t/ha.

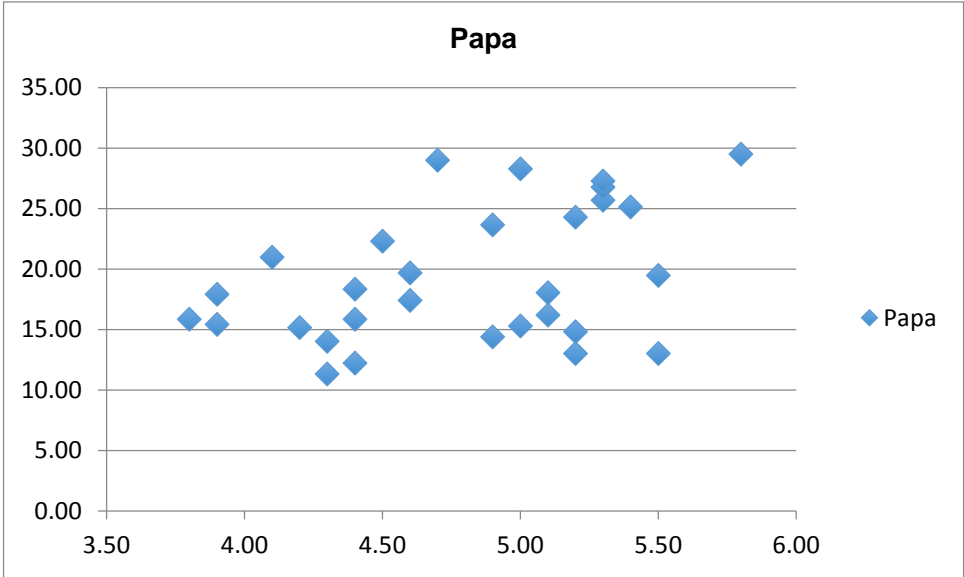
**Figura 44. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de chícharo del municipio de Toluca.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de papa en relación a la temperatura mínima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 4.9 a 5.5° C, con una producción mínima de 13.5 t/ha y máxima de 27.5 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 4.2 a 4.7° C en la que el rendimiento se presenta de 11 a 22 t/ha como máximo.

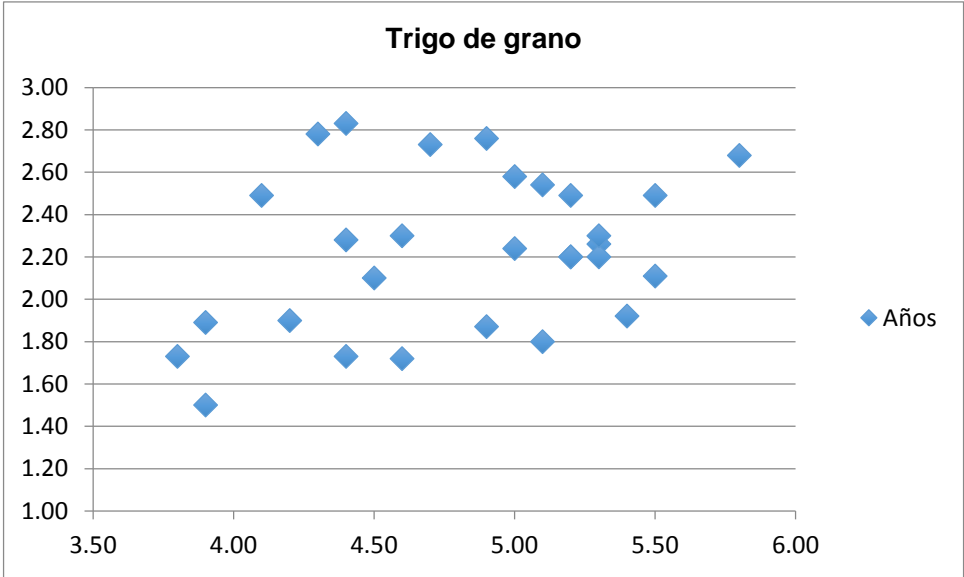
**Figura 45. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de papa del municipio de Toluca.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de trigo de grano en relación a la temperatura mínima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 4.9 a 5.5° C, con una producción mínima de 13.5 t/ha y máxima de 27.5 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 4.2 a 4.7° C en la que el rendimiento se presenta de 11 a 22 t/ha como máximo.

**Figura 46. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de trigo de grano del municipio de Toluca.**

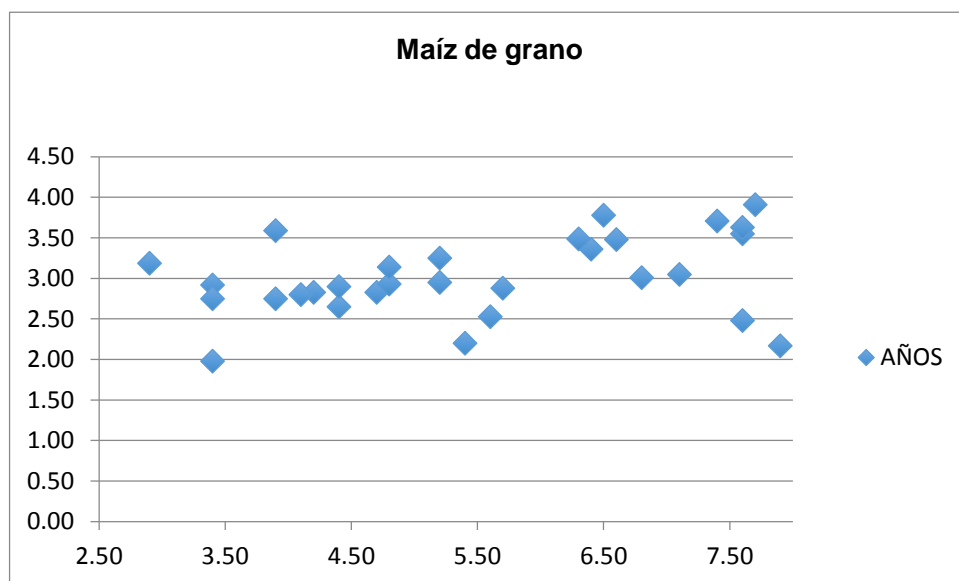


**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

- **Municipio de Tenango del Valle**

La tendencia de la producción de maíz en relación a la temperatura mínima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 3.5 a 4.5° C, con una producción mínima de 2 t/ha y máxima de 3.5 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 5.5 a 6.6° C en la que el rendimiento se presenta de 2 a 3.7 t/ha como máximo. La mayor cantidad de años mostraron una producción de 3 t/ha.

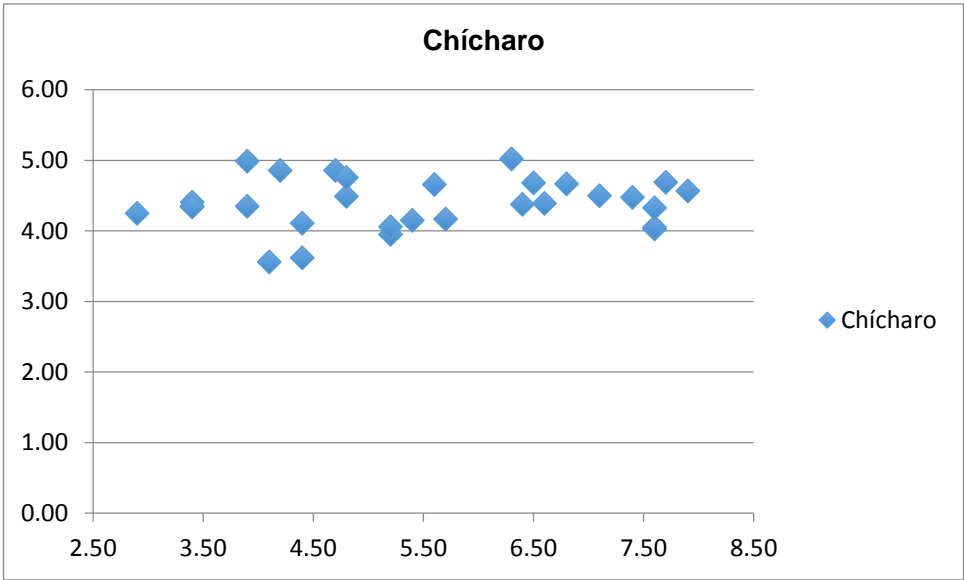
**Figura 47. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano del municipio de Tenango del Valle.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de chícharo en relación a la temperatura mínima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 6.5 a 7.7 °C, con una producción mínima de 4 t/ha y máxima de 5 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 3.5 a 5.5 °C en la que el rendimiento se presenta de 3.7 a 5 t/ha como máximo. La mayor cantidad de años mostraron una producción de 4.5 t/ha.

**Figura 48. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de chícharo del municipio de Tenango del Valle.**

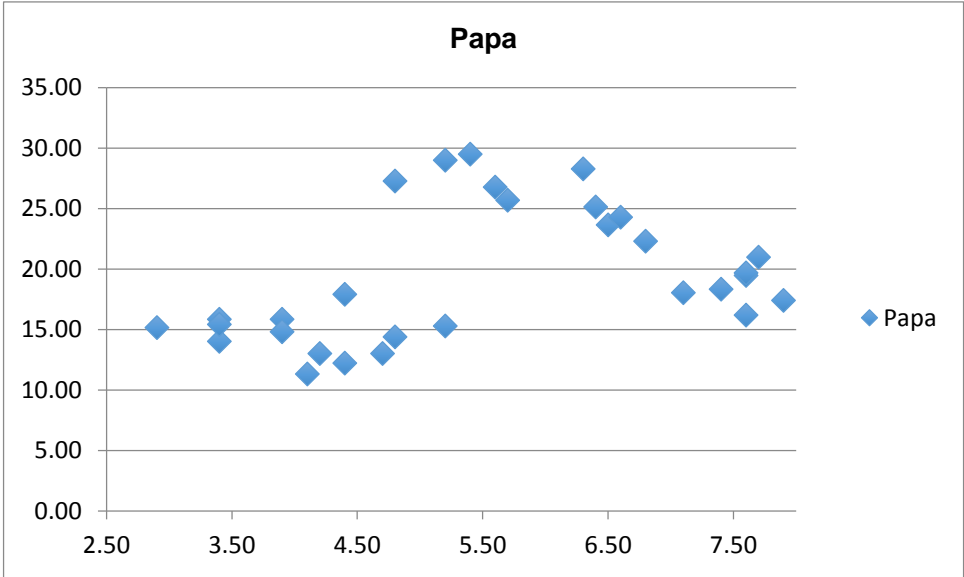


**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*



La tendencia de la producción de papa en relación a la temperatura mínima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 4.8 a 8° C, con una producción mínima de 15 t/ha y máxima de 30 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 2.8 a 5.3° C en la que el rendimiento se presenta de 10 a 18 t/ha como máximo.

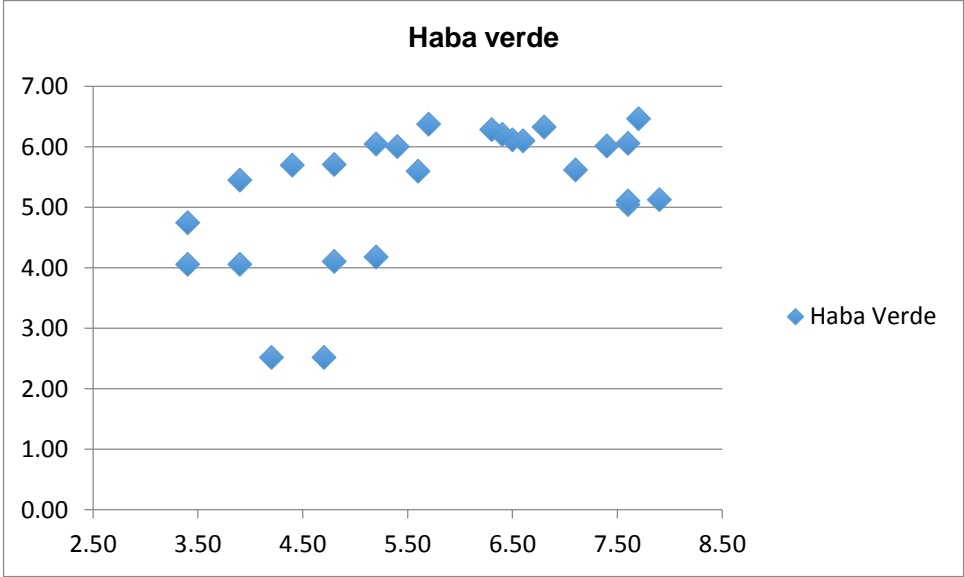
**Figura 49. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de papa del municipio de Tenango del Valle.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de haba verde en relación a la temperatura mínima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 3 a 8.3° C, con una producción mínima de 2.5 t/ha y máxima de 6.5 t/ha. La mayor cantidad de años mostraron una producción de 6 t/ha.

**Figura 50. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de haba verde en el municipio de Tenango del Valle.**

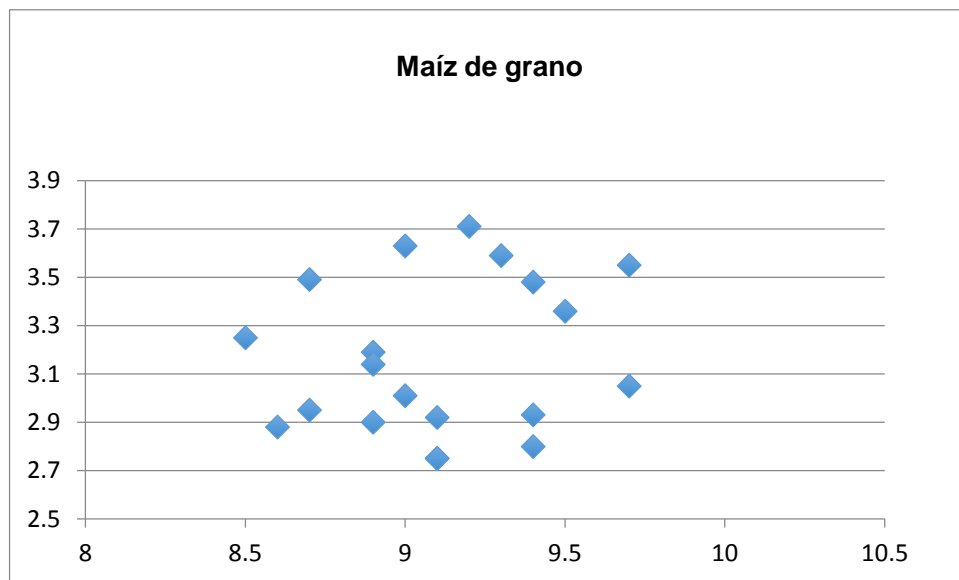


**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

- **Municipio de Villa Guerrero**

La producción se concentra entre las temperaturas de 8.5 a 9.5° C, con una producción mínima de 2.7 t/ha y máxima de 3.7 t/ha. La mayor cantidad de años mostraron una producción de 2.9 t/ha.

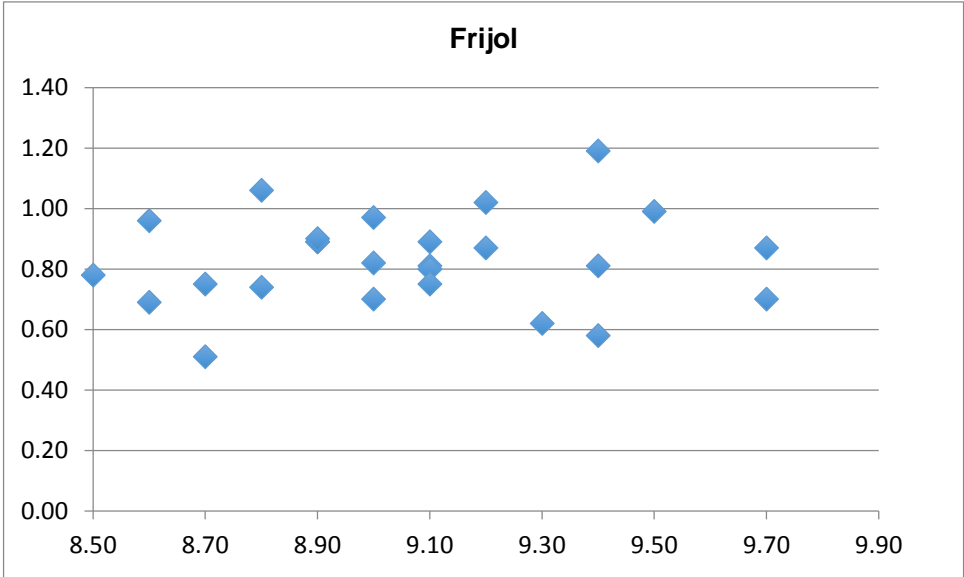
**Figura 51. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Villa Guerrero.**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La producción se concentra entre las temperaturas de 8.9 a 9.2 °C, con una producción mínima de 0.7 t/ha y máxima de 1 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 8.5 a 8.8 y 9.2 a 9.7 °C en la que el rendimiento se presenta de 0.6 a 1.2 t/ha como máximo. La mayor cantidad de años mostraron una producción de 0.8 t/ha.

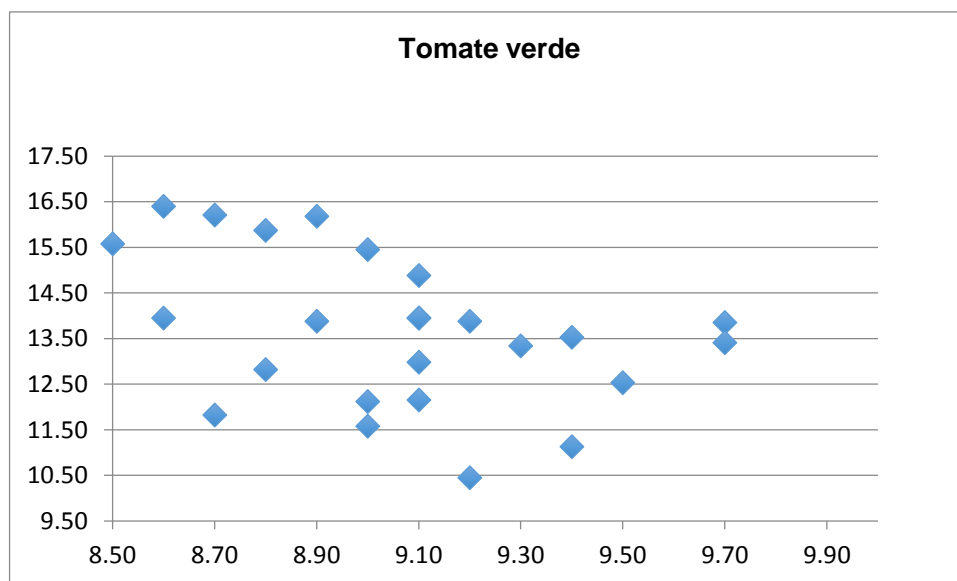
**Figura 52. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de Villa Guerrero**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La producción se concentra entre las temperaturas de 8.5 a 9° C, con una producción mínima de 11.5 t/ha y máxima de 16.5 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 9 a 9.5° C en la que el rendimiento se presenta de 10.5 a 15.5 t/ha como máximo. La mayor cantidad de años mostraron una producción de 3 t/ha.

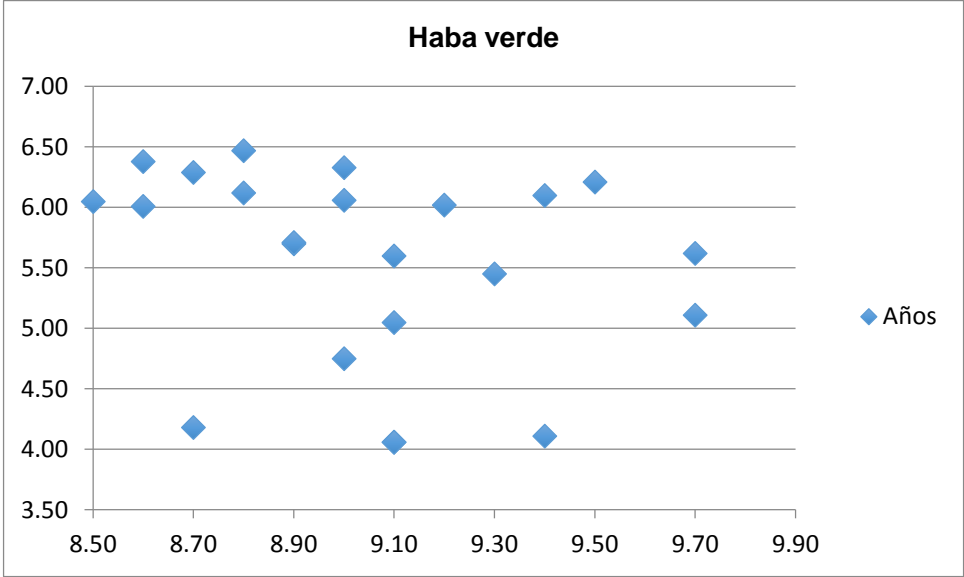
**Figura 53. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Villa Guerrero.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de haba verde en relación a la temperatura mínima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 8.5 a 9.7° C, con una producción mínima de 4 t/ha y máxima de 6.5 t/ha. La mayor cantidad de años mostraron una producción de 6 t/ha.

**Figura 54. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de haba verde en el municipio de Villa Guerrero.**

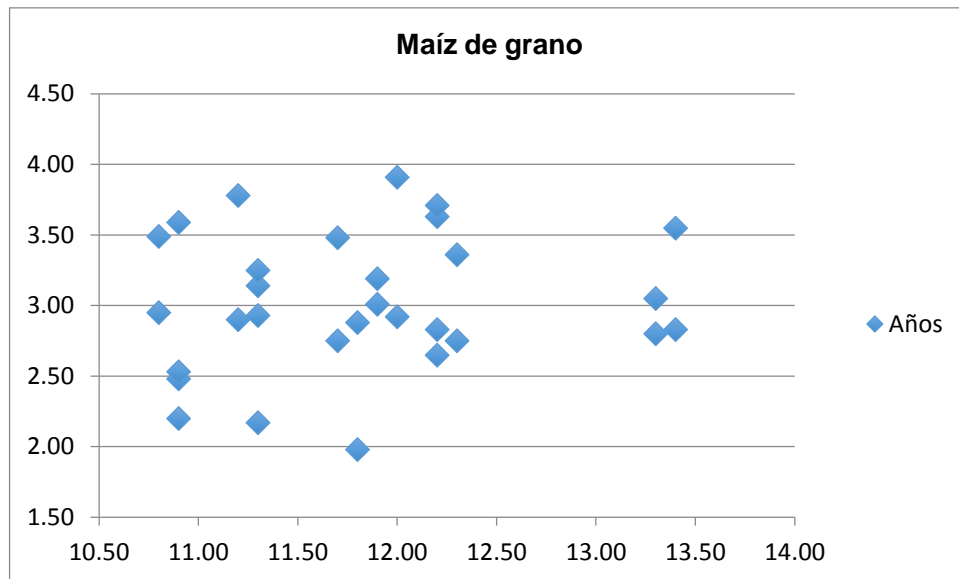


**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

- **Municipio de Zumpahuacan**

La producción se concentra entre las temperaturas de 11.5 a 12.5 °C, con una producción mínima de 2 t/ha y máxima de 3.9 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 10.7 a 11.2 °C en la que el rendimiento se presenta de 2.2 a 3.8 t/ha como máximo.

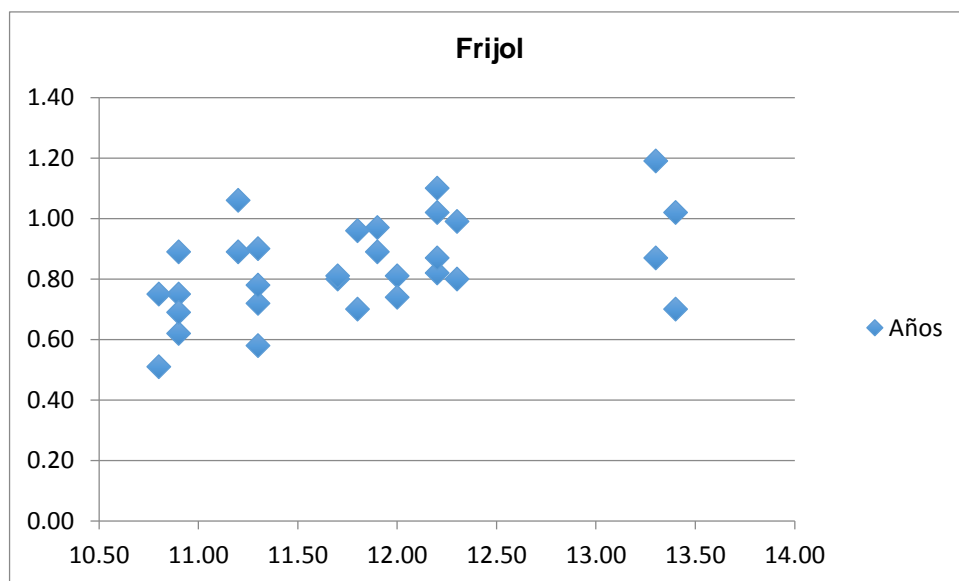
**Figura 55. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Zumpahuacan**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La producción se concentra entre las temperaturas de 11.6 a 12.3 °C, con una producción mínima de 0.7 t/ha y máxima de 1.1 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 10.6 a 11.3 °C en la que el rendimiento se presenta de 0.5 a 1.05 t/ha como máximo. La mayor cantidad de años mostraron una producción de 0.8 t/ha.

**Figura 56.. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de Zumpahuacan.**

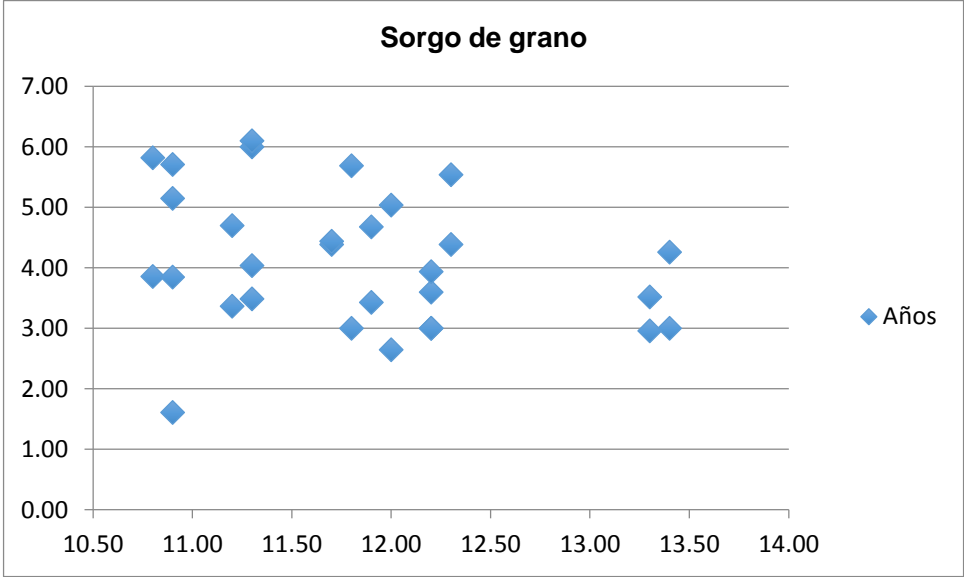


**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*



La tendencia de la producción de sorgo de grano en relación a la temperatura mínima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 10.8 a 12.5 °C, con una producción mínima de 1.8 t/ha y máxima de 6 t/ha. La mayor cantidad de años mostraron una producción de 4 t/ha.

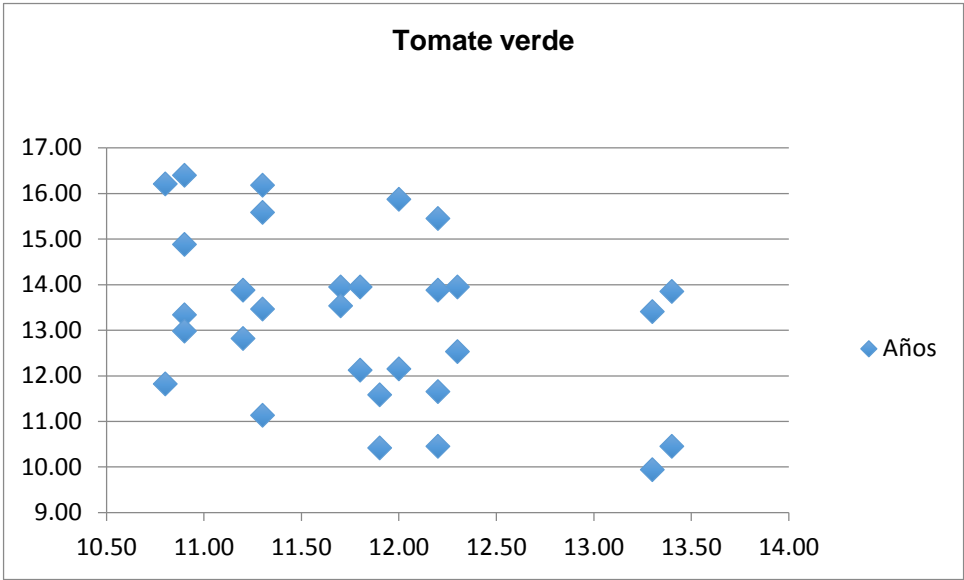
**Figura 57. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de sorgo de grano en el municipio de Zumpahuacan.**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La tendencia de la producción de tomate verde en relación a la temperatura mínima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 10.8 a 12.3 °C, con una producción mínima de 10.3 t/ha y máxima de 16.5 t/ha.

**Figura 58. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Zumpahuacan.**

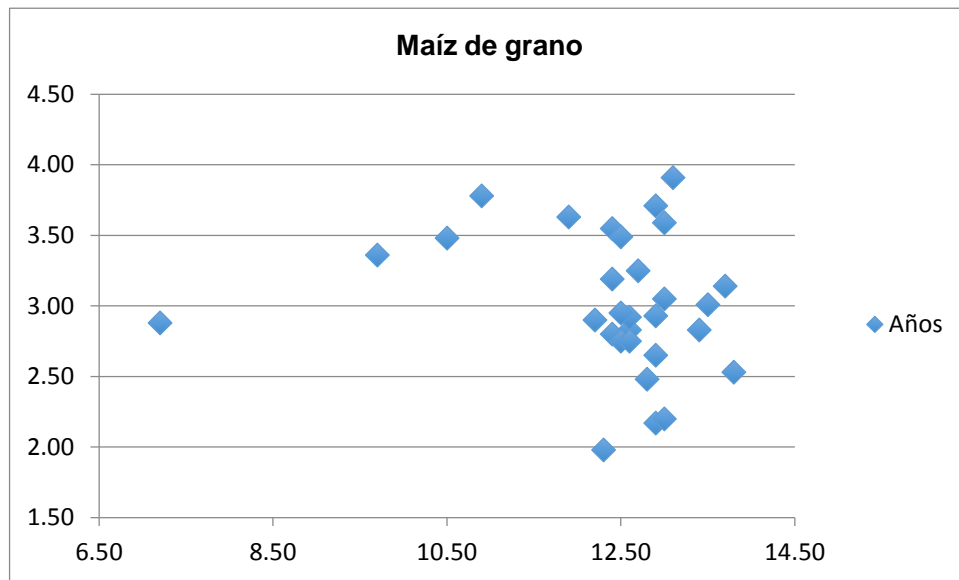


**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

- **Municipio de Tonicato**

La tendencia de la producción esta fuertemente relacionada por la temperatura ya que la producción se concentra entre las temperaturas mínimas de 12.5 a 13.5° C, con una producción mínima de 2 t/ha y máxima de 4 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala es la de 10.5° C en la que el rendimiento se presenta exclusivamente de 4 t/ha, la temperatura minima mas baja fue de 7.0° C con un rendimiento de 3 t/ha.

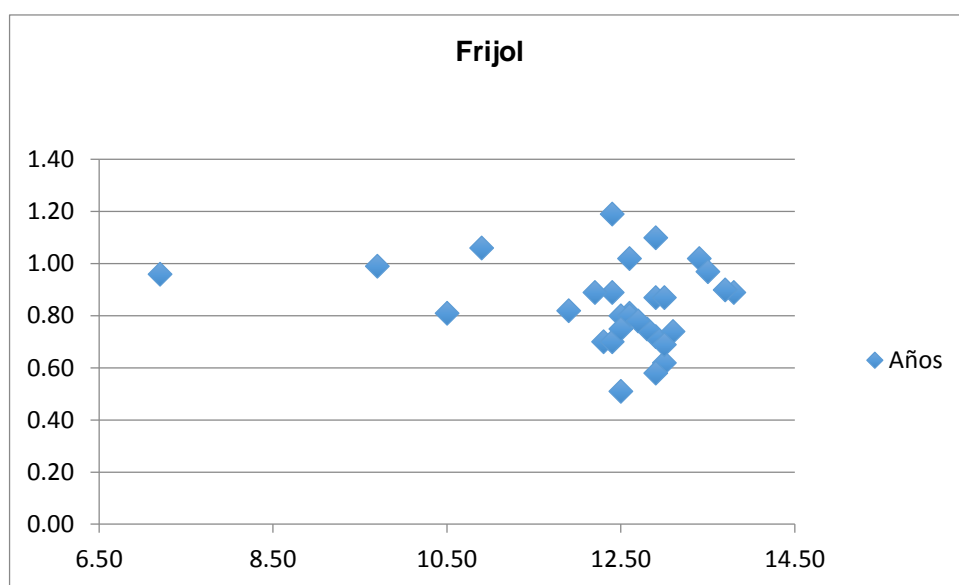
**Figura 59. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tonicato.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción esta fuertemente relacionada por la temperatura ya que la producción se concentra entre las temperaturas de 11.5 a 13.5 °C, con una producción mínima de 0.5 t/ha y máxima de 1.2 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 10.5 °C en la que el rendimiento se presenta de 0.8 a 1.05 t/ha como máximo. La mayor cantidad de años mostraron una producción de 0.7 t/ha.

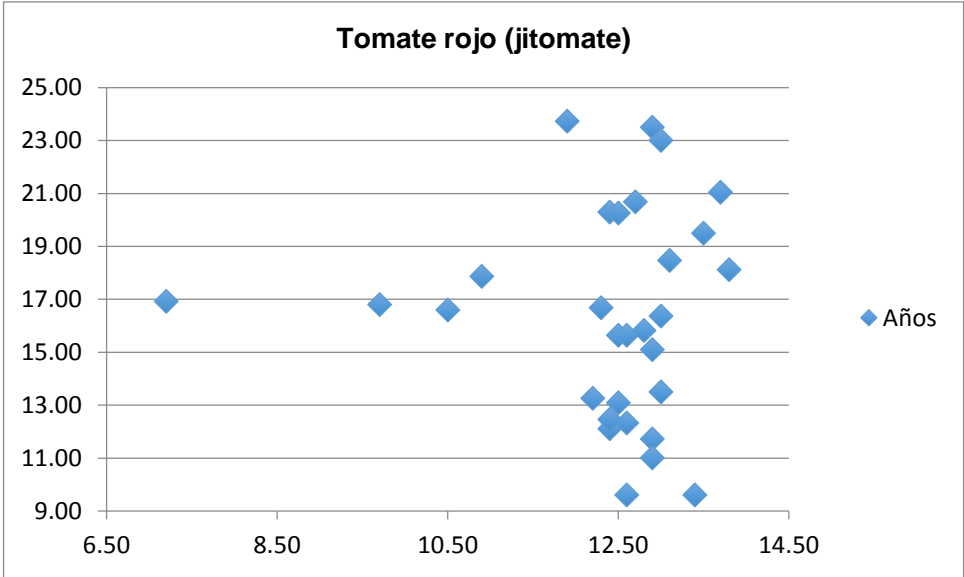
**Figura 60. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de Tonicato.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción esta fuertemente relacionada por la temperatura ya que la producción se concentra entre las temperaturas de 11.5 a 13.5 °C, con una producción mínima de 9.05 t/ha y máxima de 23.05 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 10.5 °C en la que el rendimiento se presenta de 16.8 a 18 t/ha como máximo.

**Figura 61. Análisis gráfico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate rojo en el municipio de Tonicato.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

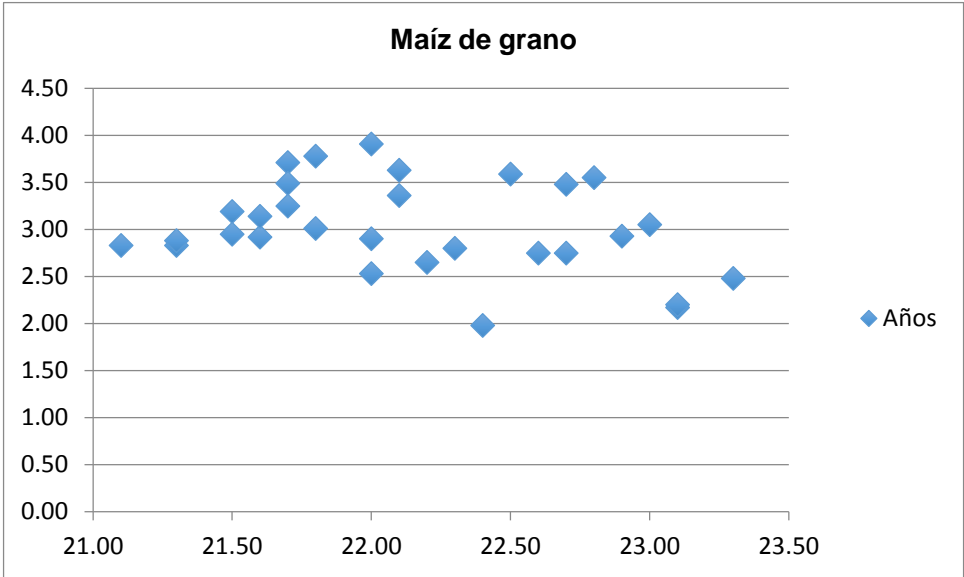


**3.6. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento, por municipio.**

- **Municipio de Toluca**

La tendencia de la producción de maíz en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 21.5 a 22° C, con una producción mínima de 2.5 t/ha y máxima de 4 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 22.5 a 23° C en la que el rendimiento se presenta de 2 a 3.5 t/ha como máximo.

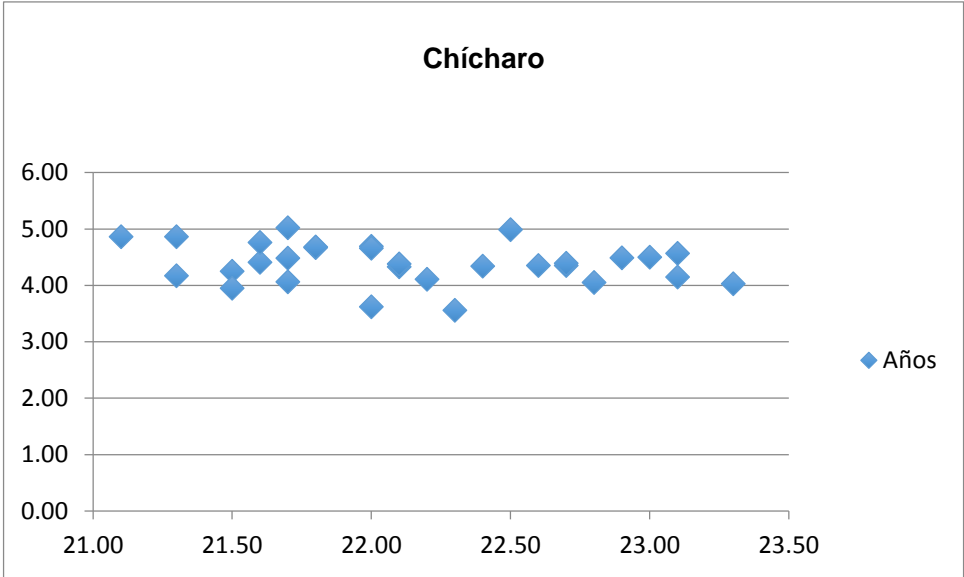
**Figura 63. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Toluca.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de chícharo en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 21.5 a 22.3° C, con una producción mínima de 3.5 t/ha y máxima de 5 t/ha. Otra temperatura que influye en menor escala va de 22.5 a 23.5° C en la que el rendimiento se presenta de 4.5 t/ha.

**Figura 64. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de chícharo en el municipio de Toluca.**

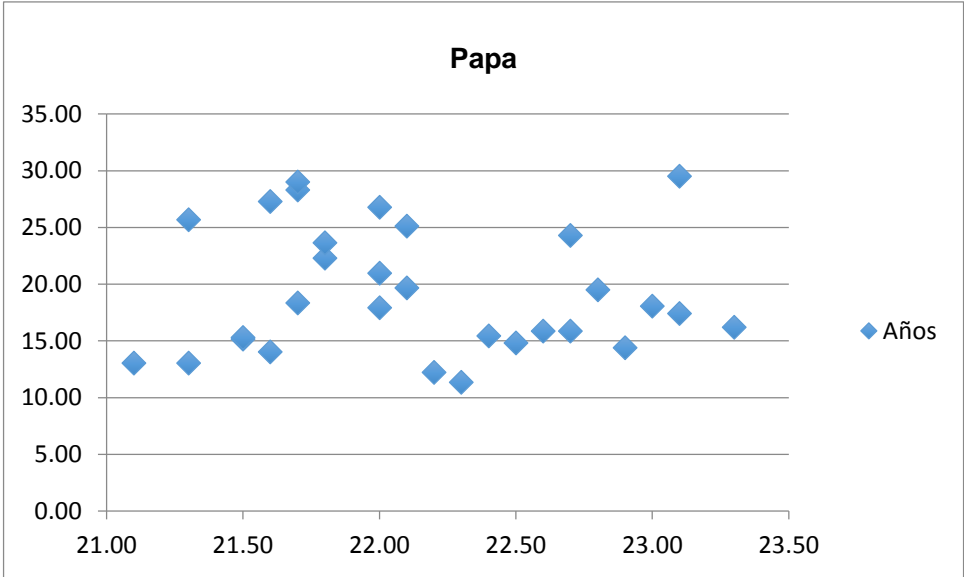


**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**



La tendencia de la producción de papa en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 21.5 a 22.3° C, con una producción mínima de 13.5 t/ha y máxima de 29.5 t/ha. Otra temperatura que influye en menor escala va de 22.5 a 23.3° C en la que el rendimiento va de 11 a 30 t/ha.

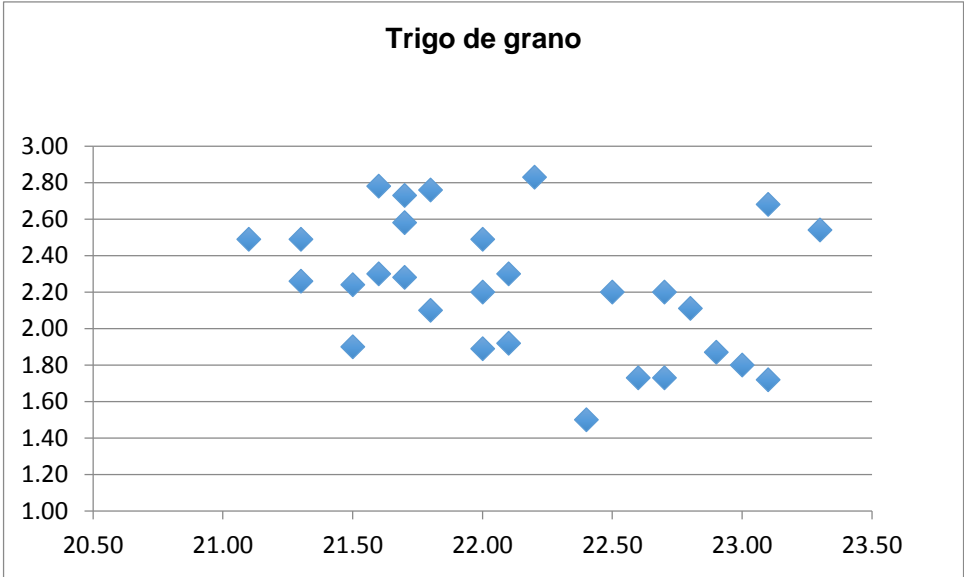
**Figura 65. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de papa en el municipio de Toluca.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de trigo de grano en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 21 a 22.3° C, con una producción mínima de 1.9 t/ha y máxima de 2.85 t/ha. Otra temperatura que influye en menor escala va de 22.5 a 23.3° C en la que el rendimiento va de 1.7 a 2.7 t/ha como máximo.

**Figura 66. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de trigo de grano en el municipio de Toluca.**

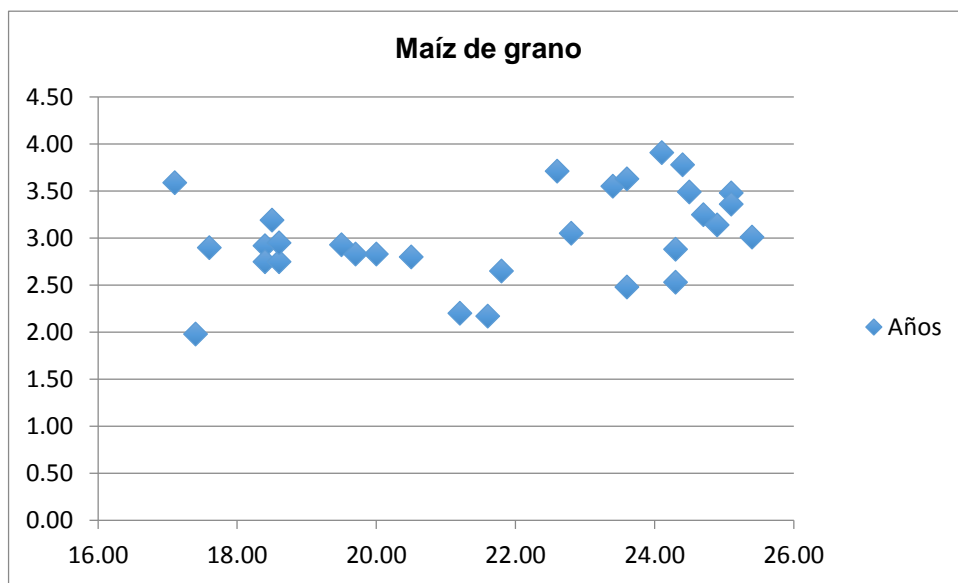


**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

- **Municipio de Tenango del Valle**

La tendencia de la producción de maíz en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 22.5 a 25.5° C, con una producción mínima de 2.5 t/ha y máxima de 4 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 18 a 21° C en la que el rendimiento se presenta de 2.7 a 3.3 t/ha como máximo.

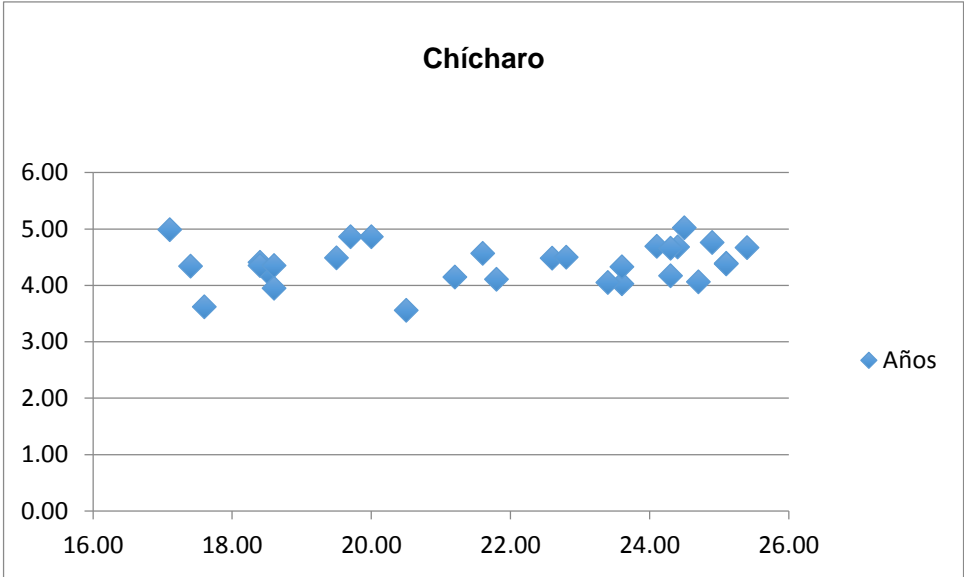
**Figura 67. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tenango del Valle.**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La tendencia de la producción de chícharo en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 24 a 26° C, con una producción mínima de 4 t/ha y máxima de 5 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 18 a 20° C en la que el rendimiento se presenta de 4 a 5 t/ha como máximo.

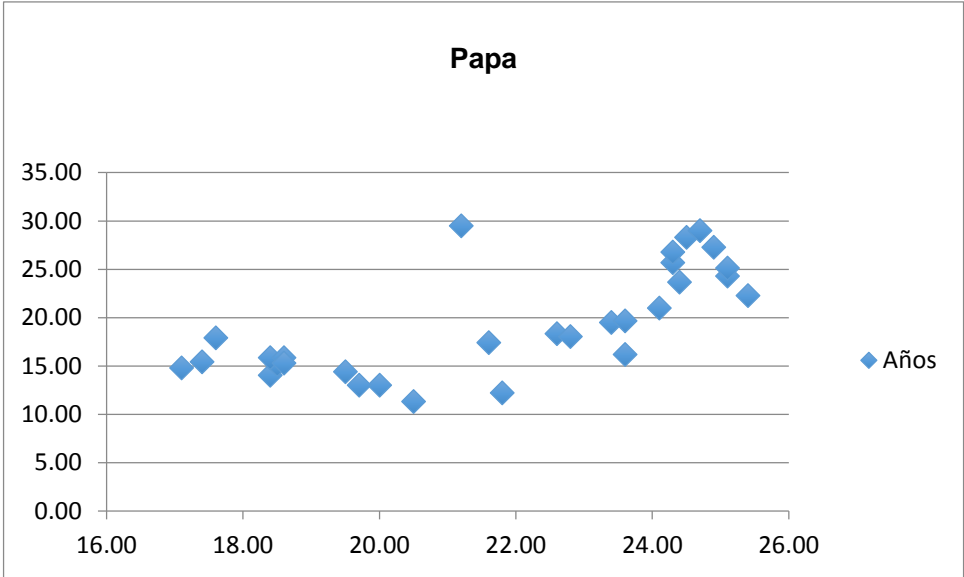
**Figura 68. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de chícharo en el municipio de Tenango del Valle.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de papa en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 24 a 26° C, con una producción mínima de 20 t/ha y máxima de 30 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 17 a 19° C en la que el rendimiento se presenta de 14 a 18 t/ha como máximo.

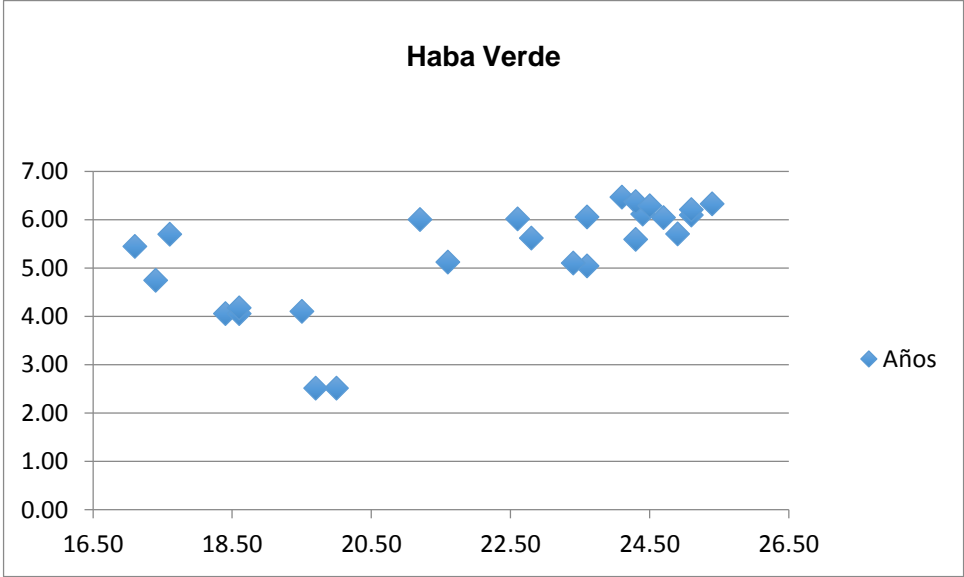
**Figura 69. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de papa en el municipio de Tenango del Valle.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de haba verde en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 24 a 26° C, con una producción mínima de 5 t/ha y máxima de 6.5 t/ha.

**Figura 70. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de haba verde en el municipio de Tenango del Valle.**

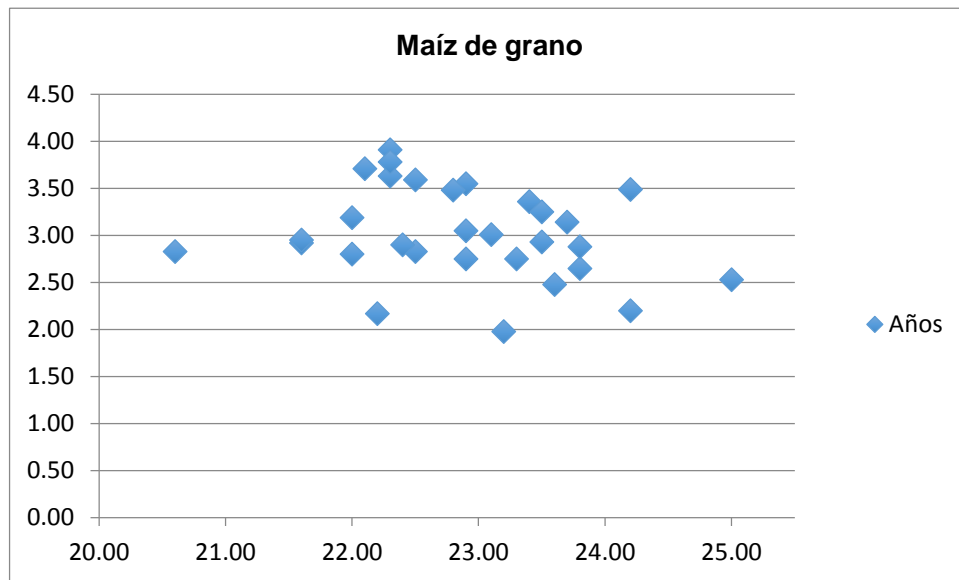


**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

- **Municipio de Villa Guerrero**

La tendencia de la producción de maíz en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 23 a 24° C, con una producción mínima de 2.5 t/ha y máxima de 3.5 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 22 a 23° C en la que el rendimiento se presenta de 2 a 4 t/ha como máximo. La mayor cantidad de años se concentra en una producción de 3 t/ha.

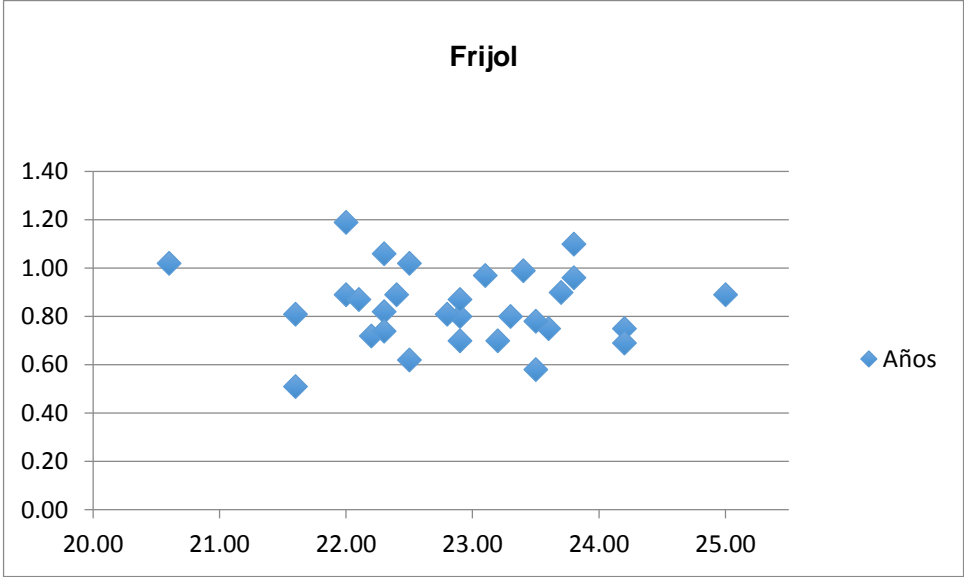
**Figura 71. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Villa Guerrero.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de frijol en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 22 a 24° C, con una producción mínima de 0.59 t/ha y máxima de 1.2 t/ha. La mayor cantidad de años se concentra en una producción de 0.8 t/ha.

**Figura 72. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Villa Guerrero.**

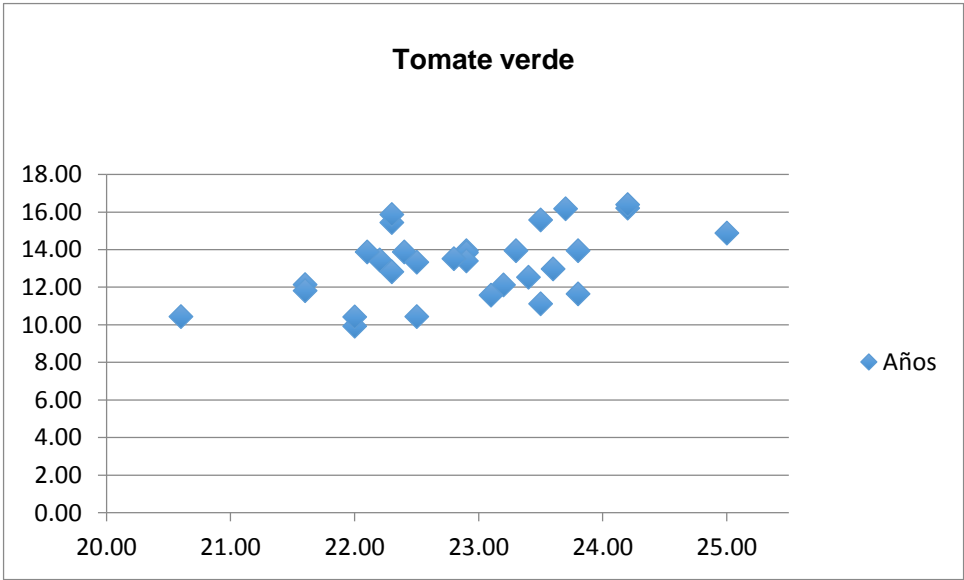


**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*



La tendencia de la producción de tomate verde en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 22 a 24° C, con una producción mínima de 10 t/ha y máxima de 16 t/ha. La mayor cantidad de años se concentra en una producción de 13 t/ha.

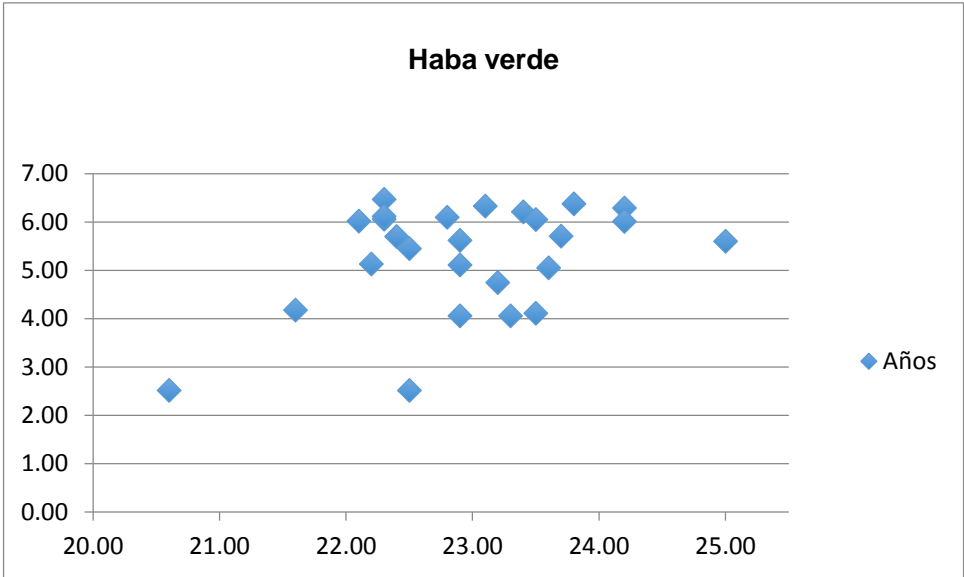
**Figura 73. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Villa Guerrero.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de haba verde en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 22 a 24.5 °C, con una producción mínima de 4 t/ha y máxima de 6.5 t/ha. La mayor cantidad de años se concentra en una producción de 6 t/ha.

**Figura 74. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de haba verde en el municipio de Villa Guerrero.**

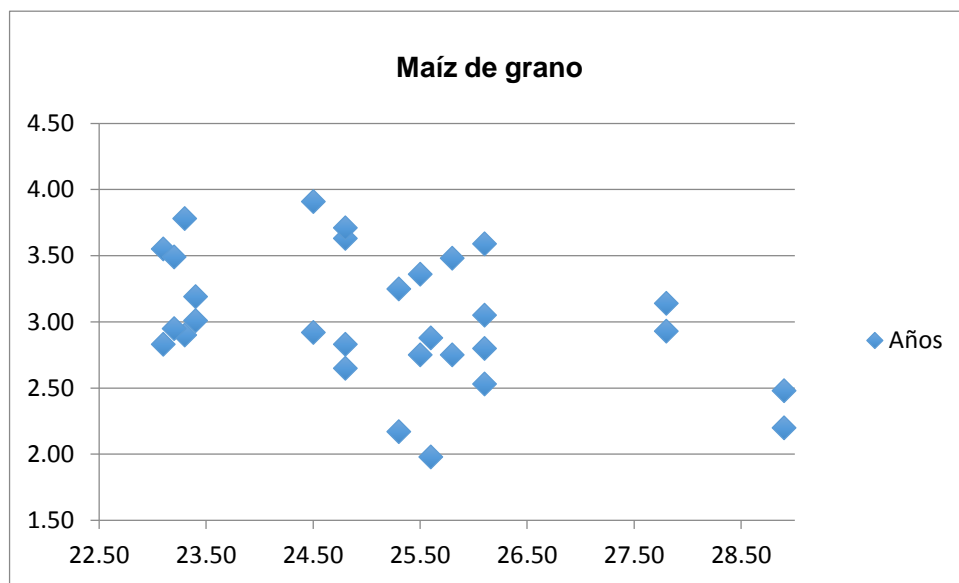


**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

- **Municipio de Zumpahuacan**

La tendencia de la producción de maíz en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 25.5 a 26.5° C, con una producción mínima de 2 t/ha y máxima de 3.6 t/ha. Otra temperatura que influye en menor es de 23° C en la que el rendimiento se presenta de 2.8 a 3.8 t/ha como máximo.

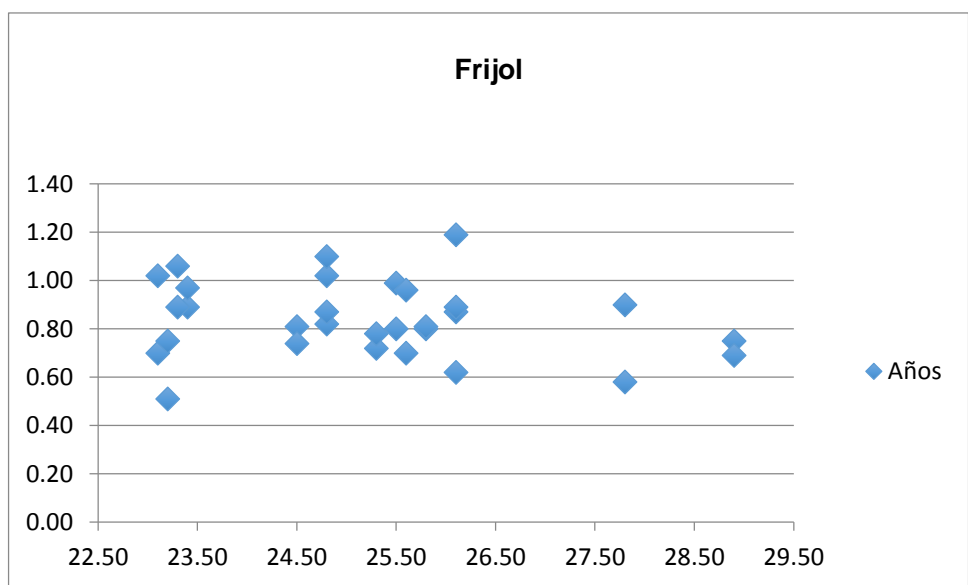
**Figura 75. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Zumpahuacan.**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La tendencia de la producción de frijol en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 24.5 a 26° C, con una producción mínima de 0.6 t/ha y máxima de 1.2 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 22.5 a 23° C en la que el rendimiento se presenta de 0.5 a 1.1 t/ha como máximo. La mayor cantidad de años se concentra en una producción de 0.8 t/ha.

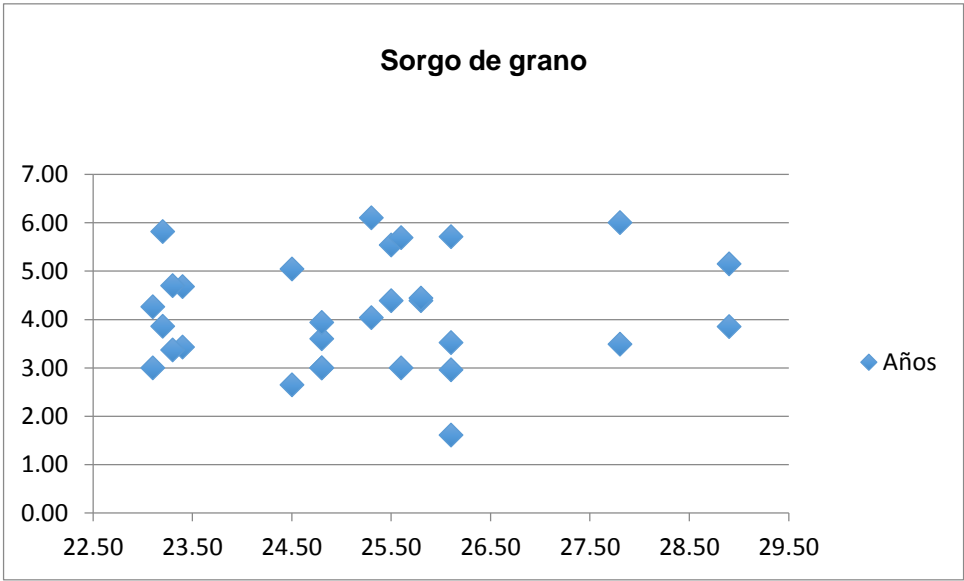
**Figura 76. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Zumpahuacan**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de sorgo de grano en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 23 a 26° C, con una producción mínima de 1.5 t/ha y máxima de 6 t/ha.

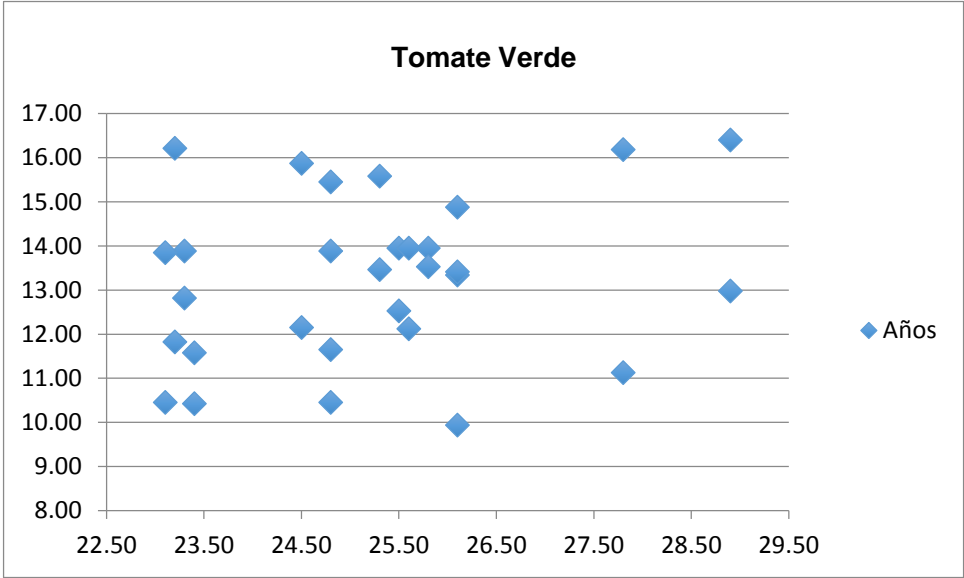
**Figura 77. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de sorgo de grano en el municipio de Zumpahuacan.**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La tendencia de la producción de tomate verde en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 22.7 a 26.º C, con una producción mínima de 10 t/ha y máxima de 16 t/ha.

**Figura 78. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Zumpahuacan.**

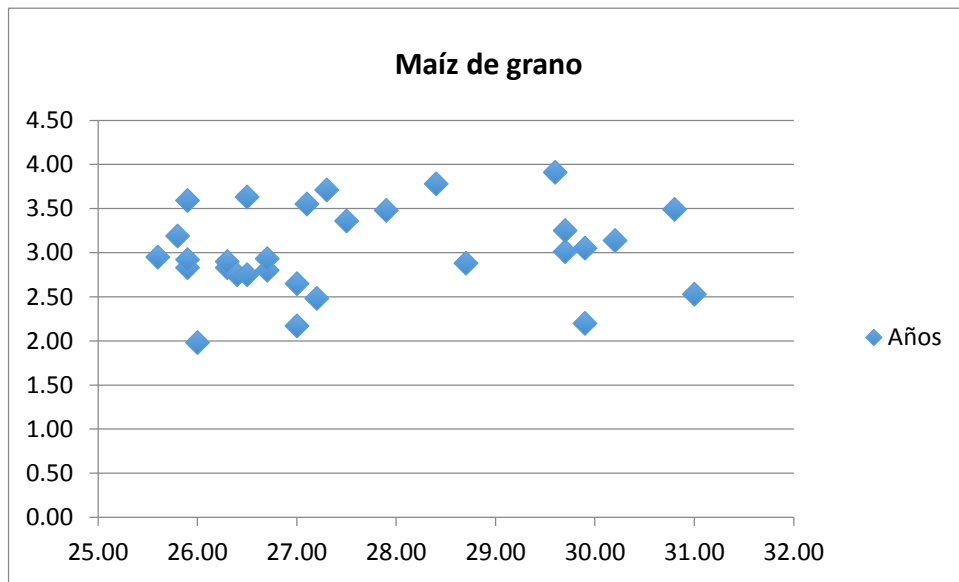


**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

- **Municipio de Tonicato**

La tendencia de la producción de maíz en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 25.5 a 27° C, con una producción mínima de 2 t/ha y máxima de 3.7 t/ha. Otra temperatura que influye en menor escala va de 30 a 31° C en la que el rendimiento se presenta de 2 a 4 t/ha como máximo.

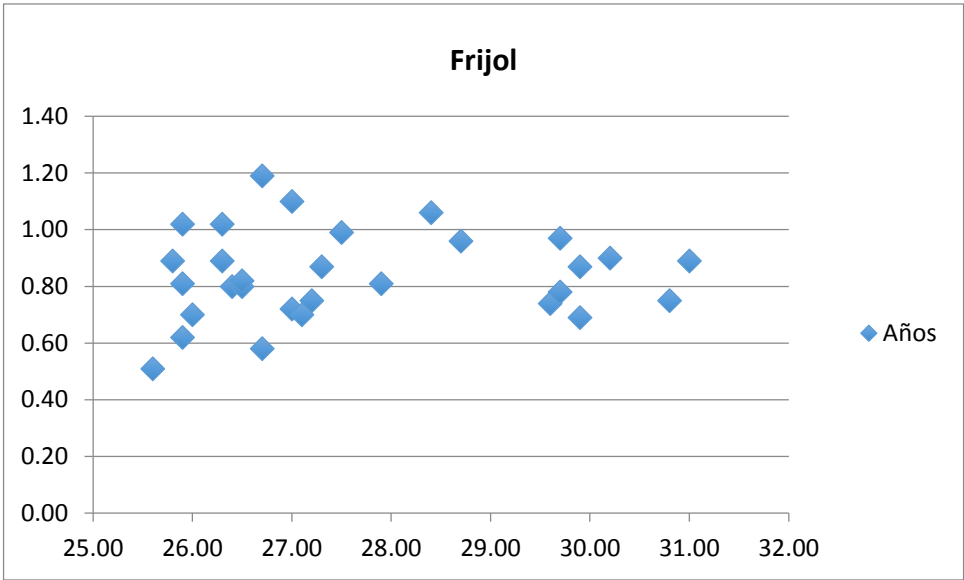
**Figura 79. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tonicato.**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La tendencia de la producción de frijol en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 25.5 a 28° C, con una producción mínima de 0.5 t/ha y máxima de 1.2 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 29.5 a 31° C en la que el rendimiento se presenta de 0.7 a 1 t/ha como máximo. La mayor cantidad de años se concentra en una producción de 0.8 t/ha.

**Figura 80. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Tonicato.**

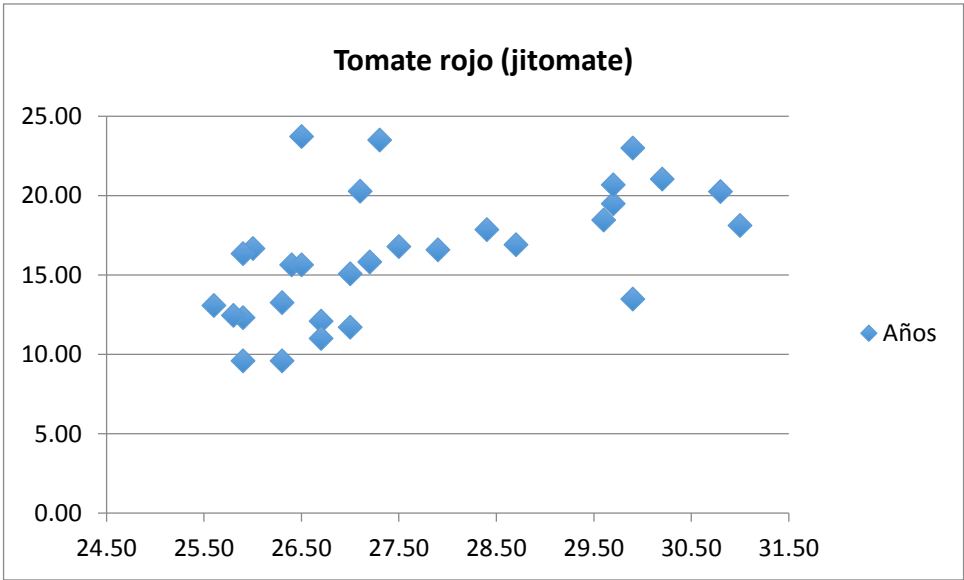


**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*



La tendencia de la producción de tomate rojo en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 25.5 a 27.5° C, con una producción mínima de 10 t/ha y máxima de 24.5 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 29.5 a 31° C en la que el rendimiento se presenta de 14 a 28 t/ha como máximo. La mayor cantidad de años se concentra en una producción de 16 t/ha.

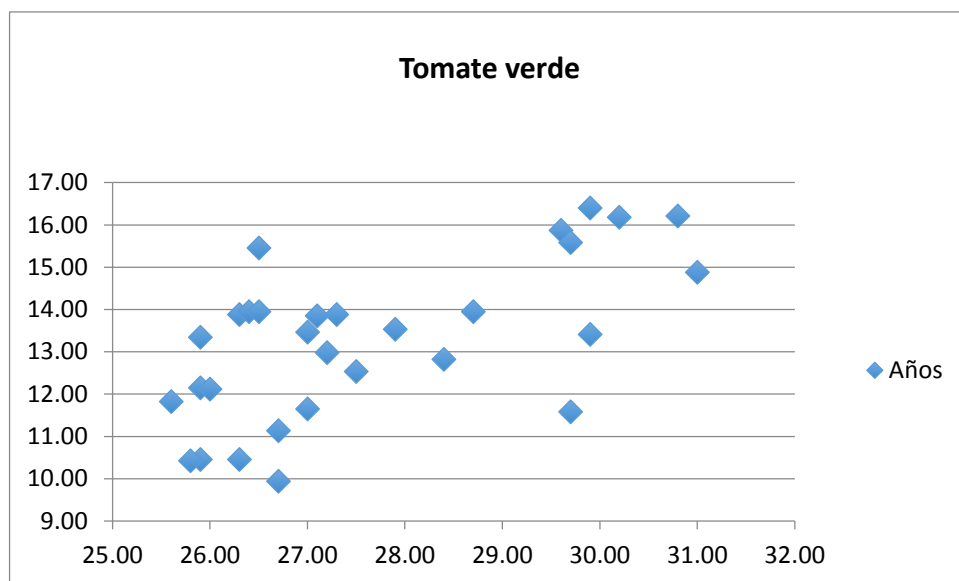
**Figura 81. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate rojo (jitomate) en el municipio de Tonicato.**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La tendencia de la producción de tomate verde en relación a la temperatura máxima es la siguiente: la producción se concentra entre las temperaturas de 25.5 a 27.5° C, con una producción mínima de 10 t/ha y máxima de 15.5 t/ha. Otra temperatura que influye en poca escala va de 29.5 a 31.5° C en la que el rendimiento se presenta de 11.5 a 16.5 t/ha como máximo.

**Figura 82. Análisis gráfico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Tonatico.**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### 3.6.3 Coeficientes de correlación entre temperatura y rendimiento

Para el análisis de los coeficientes de correlación entre los cambios de temperatura y los cambios en el rendimiento de los cultivo, se considera correlaciones: muy alta (0.80-0.99), alta (0.60-0.79), media (0.40-0.59), baja (0.20-0.39) y muy baja (0.01-0.19). Son correlaciones negativas cuando una variable crece, mientras la otra decrece; y positivas cuando ambas crecen o decrecen. El análisis de correlaciones se realizó para la temperatura mínima mensual y para la máxima mensual.

### 3.6.3.1 Correlación temperaturas mínimas mensuales-rendimiento

Para las temperaturas mínimas mensuales, se observan correlaciones medias y positivas con los cultivos de papa en Toluca, haba verde en Tenango y frijol en Zumpahuacán; lo que significa que al aumentar la temperatura mínima, aumenta el rendimiento en estos cultivos; también muy cercana a la correlación media se observa la papa en Tenango y el frijol en Villa Guerrero. Otros cultivos en los municipios, presentan correlaciones baja y muy baja (Cuadro 34).

**Cuadro 34. Coeficientes de correlación de temperaturas mínimas mensuales y rendimiento por cultivo (1980 – 2009).**

	Tenango del		Villa		
	Toluca	Valle	Guerrero	Zumpahuacan	Tonatico
<b>Maíz grano</b>	*0.0592	**0.3532	*0.1350	*0.1264	*-0.1716
<b>Chícharo</b>	**0.2758	*0.1150			
<b>Papa</b>	***0.4257	**0.3943			
<b>Trigo grano</b>	**0.3135				
<b>Haba verde</b>		***0.5258	**0.2784		
<b>Frijol</b>			**0.3743	***0.4747	**0.2058
<b>Tomate verde</b>			**0.3581	**0.3937	*0.0196
<b>Sorgo de grano</b>				**0.2909	
<b>Tomate rojo (jitomate)</b>					*-0.0276

*Fuente: Elaboración propia, 2015*

Nota: Correlación: muy alta\*\*\*\*\*; alta\*\*\*\*; media\*\*\*; baja\*\*; muy baja\*

### 3.6.3.2 Correlación temperaturas máximas mensuales-rendimiento

Para las temperaturas máximas mensuales, se observan correlaciones altas y positivas con los cultivos de papa y haba verde en Tenango y tomate verde en Tonicato; lo que significa que al aumentar la temperatura máxima, aumenta el

rendimiento en estos cultivos; correlaciones medias y positivas se observan para el haba verde y tomate verde en Villa Guerrero y muy cercana a la correlación alta para el tomate rojo en Tonicato. Otros cultivos en los municipios, presentan correlaciones baja y muy baja (Cuadro 35).

**Cuadro 35. Coeficientes de correlación de temperaturas máximas mensuales y rendimiento por cultivo (1980 – 2009).**

	Toluca	Tenango del Valle	Villa Guerrero	Zumpahuaca n	Tonicato
<b>Maíz grano</b>	** -0.3015	** 0.3808	* -0.2390	*** -0.4019	* 0.1363
<b>Chícharo</b>	** -0.2180	* 0.1771			
<b>Papa</b>	* -0.0698	**** 0.7164			
<b>Trigo grano</b>	** -0.3543				
<b>Haba verde</b>		**** 0.6404	*** 0.4034		
<b>Frijol</b>			* -0.0813	* -0.1924	* 0.0856
<b>Tomate verde</b>			*** 0.4983	** 0.2387	*** 0.6380
<b>Sorgo de grano</b>				* 0.1148	
<b>Tomate rojo (jitomate)</b>					*** 0.5482

*Fuente: Elaboración propia, 2015*

Nota: Correlación: muy alta\*\*\*\*; alta\*\*\*\*; media\*\*\*; baja\*\*; muy baja\*

### **3.6.4. Análisis específico para la década de 1990-1999 de la correlación gráfica entre las temperaturas máximas y mínimas y rendimiento de los principales cultivos de la zona de estudio**

Se considero realizar este analisis especifico de la correlacion grafica entre temperaturas maximas y mínimas y rendimiento de los principales cultivos de la

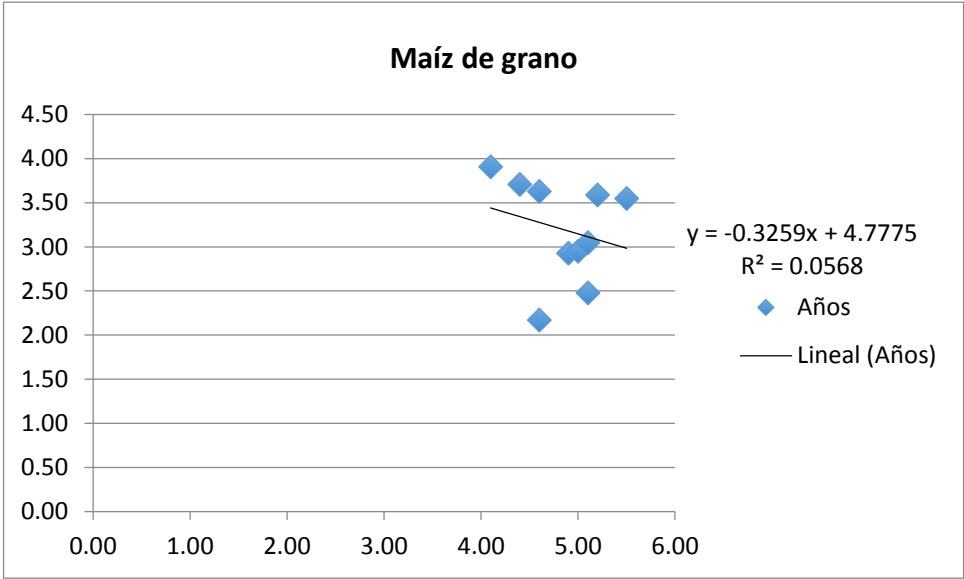
zona de estudio, para la decada 1990 -1999, dado que de acuerdo a información del IMTA (CONAGUA, 2015), se han observado mayores variaciones en esta decada de estudio (ver anexo 1)

**3.6.4.1. Análisis específico de la dinamica agricola de los principales cultivos temperatura mínima y rendimiento (1990-1999)**

- **Municipio de Toluca (1990-1999)**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1.74 t/ha, se cuenta con una R<sup>2</sup> muy baja, la relación entre la producción de maíz y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 4 y 5.5°C. En la cual el rendimiento máximo es de 3.91 t/ha con una temperatura mínima de 4.1°C y el rendimiento mínimo es de 2.17 t/ha con una temperatura mínima de 4.6°C.

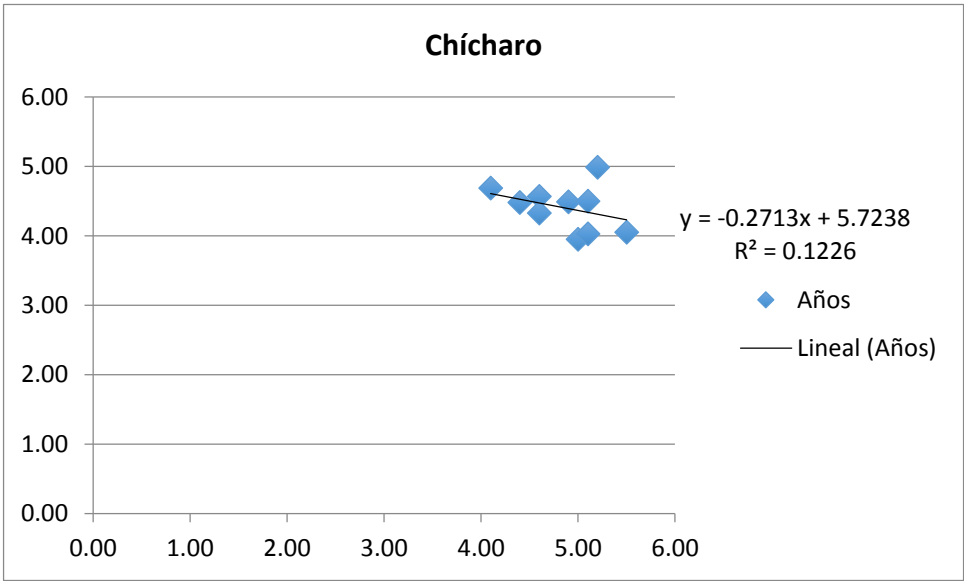
**Figura 83. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Toluca (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1.04 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de chícharo y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 4.1 y 5.5°C. En la cual el rendimiento máximo es de 4.99 t/ha con una temperatura mínima de 5.2°C y el rendimiento mínimo es de 3.9 t/ha con una temperatura mínima de 5°C.

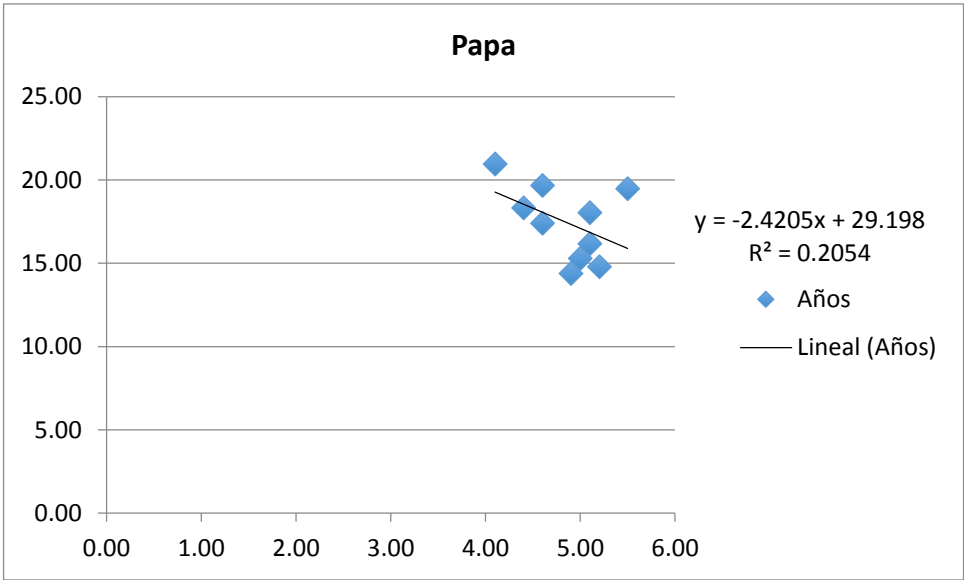
**Figura 84. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de chícharo en el municipio de Toluca (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 6.58 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de papa y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 4.1 y 5.5°C. En la cual el rendimiento máximo es de 20.97 t/ha con una temperatura mínima de 4.1°C y el rendimiento mínimo es de 14.39 t/ha con una temperatura mínima de 4.9°C.

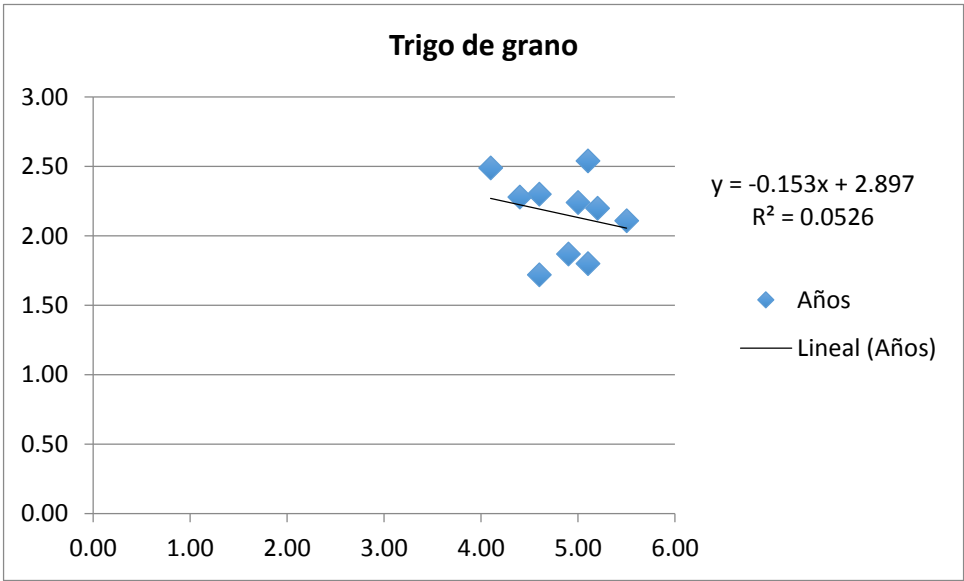
**Figura 85. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de papa en el municipio de Toluca (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 0.77 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de trigo de grano y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 4.1 y 5.5°C. En la cual el rendimiento máximo es de 2.54 t/ha con una temperatura mínima de 5.1°C y el rendimiento mínimo es de 1.72 t/ha con una temperatura mínima de 4.1°C.

**Figura 86. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de trigo de grano en el municipio de Toluca (1990-1999).**



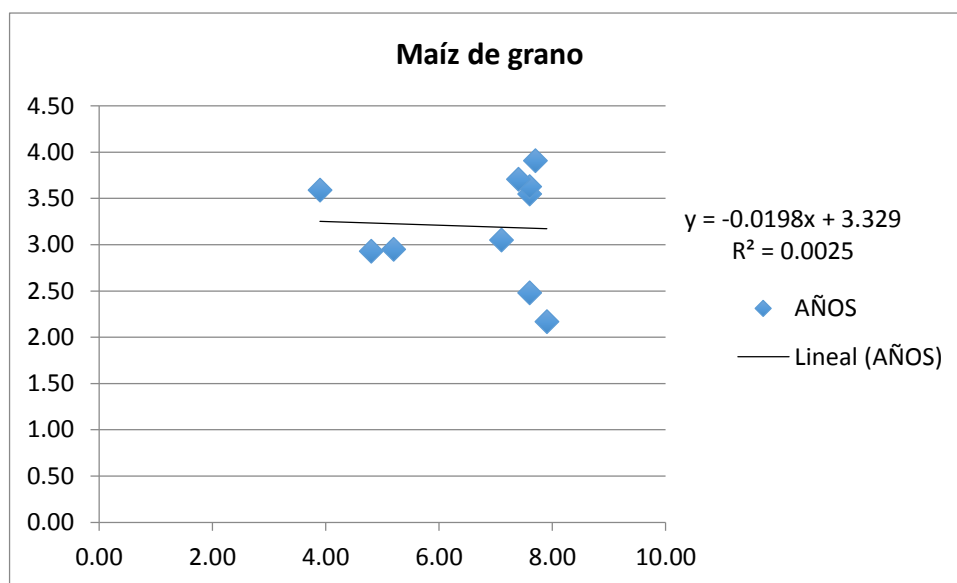
**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**



- **Municipio de Tenango del Valle (1990-1999)**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1.5 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de maíz y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 3.9 y 7.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 3.8 t/ha con una temperatura mínima de 3.9°C y el rendimiento mínimo es de 2.2 t/ha con una temperatura mínima de 7.9°C.

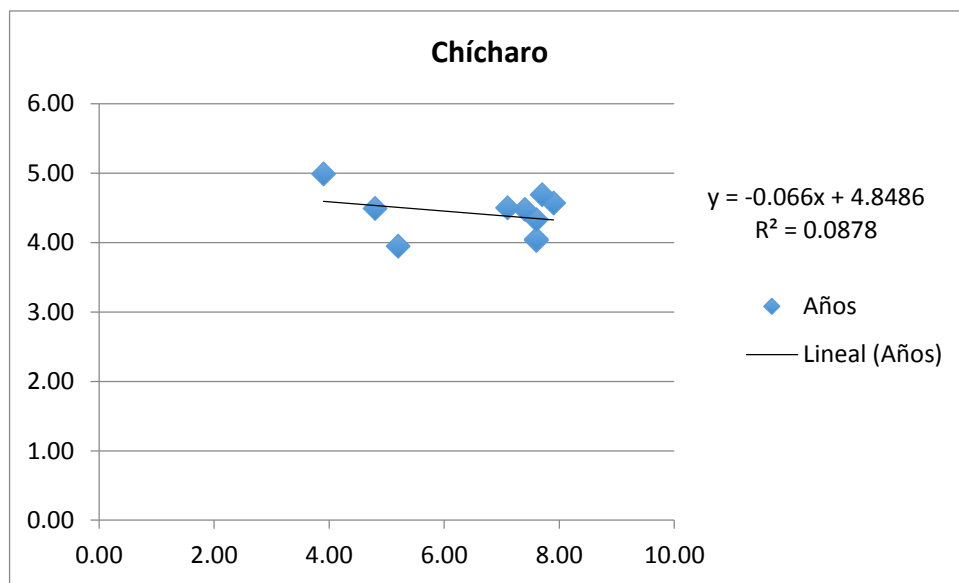
**Figura 87. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de chícharo y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 3.9 y 7.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 5 t/ha con una temperatura mínima de 3.9°C y el rendimiento mínimo es de 4 t/ha con una temperatura mínima de 5.5°C.

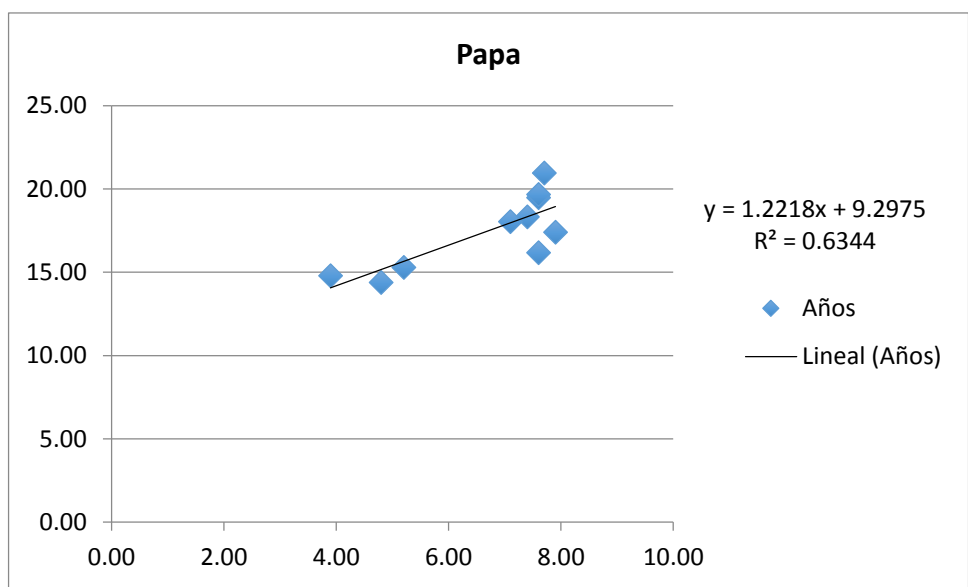
**Figura 88. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de chícharo en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 6 t/ha, la gráfica presenta una  $R^2$  alta, la relación entre la producción de papa y la temperatura mínima es proporcional y lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 3.9 y 7.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 21.5 t/ha con una temperatura mínima de 7.7°C y el rendimiento mínimo es de 14 t/ha con una temperatura mínima de 4.8°C.

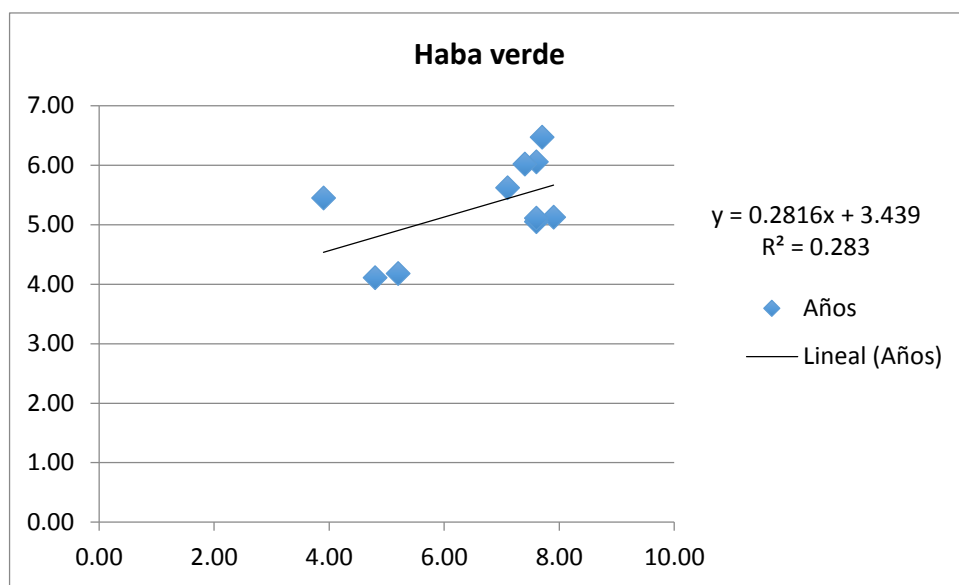
**Figura 89. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de papa en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 2.37 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de haba verde y la temperatura mínima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 3.9 y 7.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 6.47 t/ha con una temperatura mínima de 7.7°C y el rendimiento mínimo es de 4.1 t/ha con una temperatura mínima de 4.8°C.

**Figura 90. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de haba verde en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).**

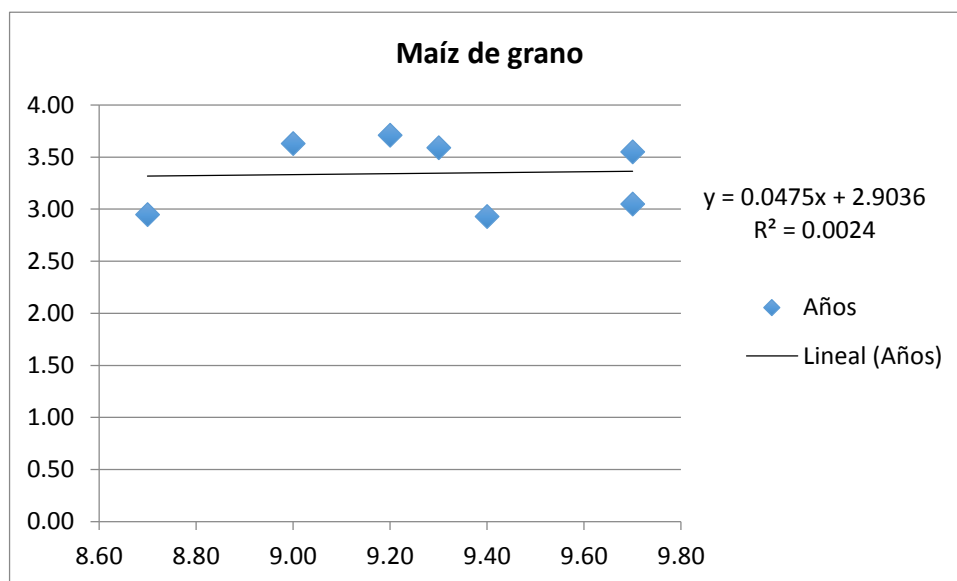


**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

- **Municipio de Villa Guerrero (1990-1999)**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 0.78 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de maíz y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 8.70 y 9.70°C. En la cual el rendimiento máximo es de 3.91 t/ha con una temperatura mínima de 9.2°C y el rendimiento mínimo es de 2.93 t/ha con una temperatura mínima de 9.4°C.

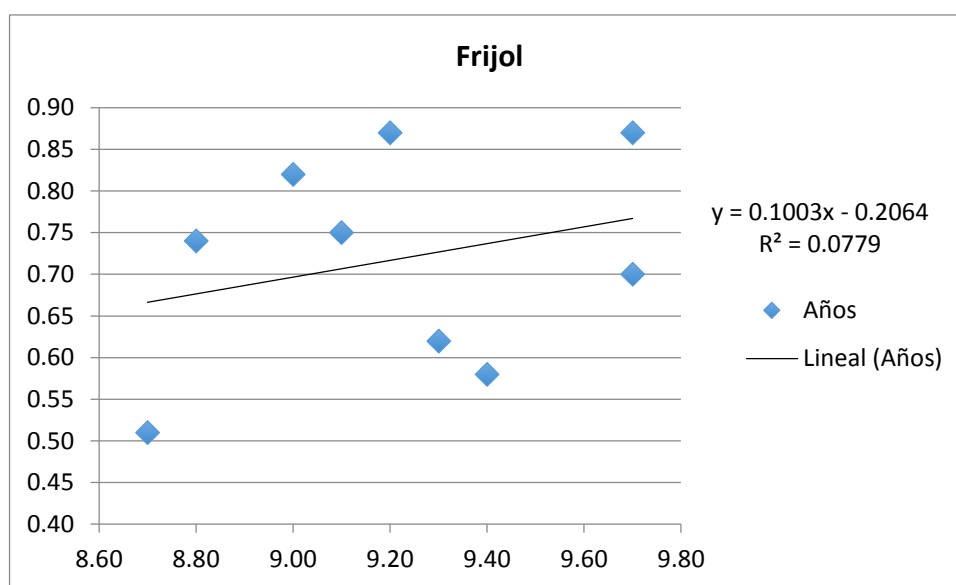
**Figura 91. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 0.36 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de frijol y la temperatura mínima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 8.70 y 9.70°C. En la cual el rendimiento máximo es de 0.87 t/ha con una temperatura mínima de 9.7°C y el rendimiento mínimo es de 0.5 t/ha con una temperatura mínima de 8.7°C.

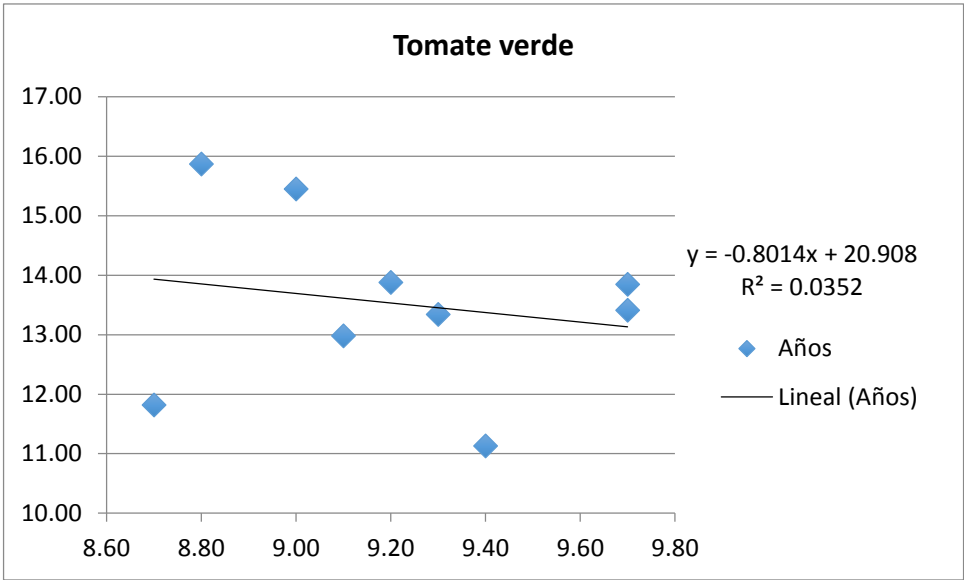
**Figura 92. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 4.74t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de tomate verde y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 8.70 y 9.70°C. En la cual el rendimiento máximo es de 15.87 t/ha con una temperatura mínima de 8.8°C y el rendimiento mínimo es de 11.13 t/ha con una temperatura mínima de 9.40°C.

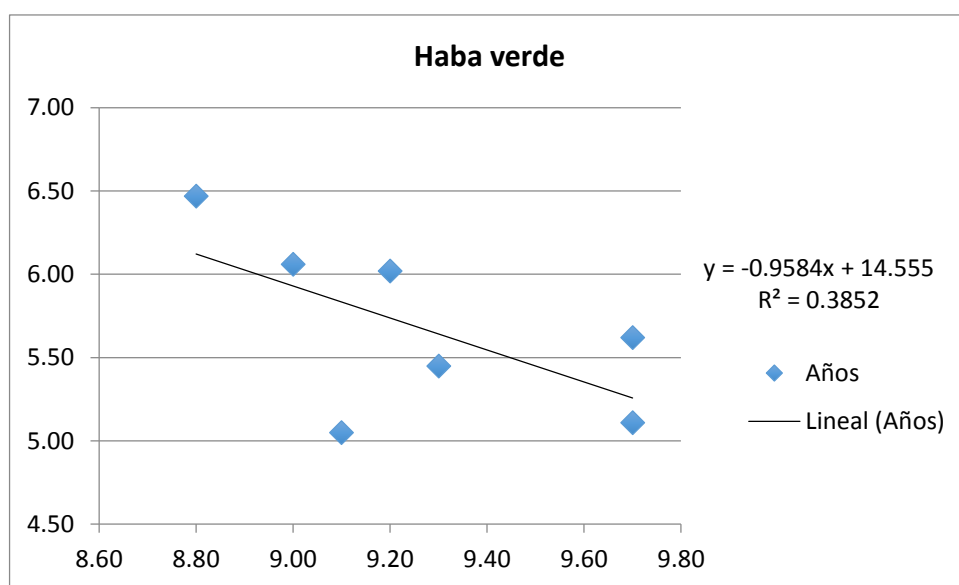
**Figura 93. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 2.5 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de haba verde y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 8.8 y 9.7°C. En la cual el rendimiento máximo es de 6.5 t/ha con una temperatura mínima de 8.8°C y el rendimiento mínimo es de 5.1 t/ha con una temperatura mínima de 9.1°C.

**Figura 94. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de haba verde en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).**



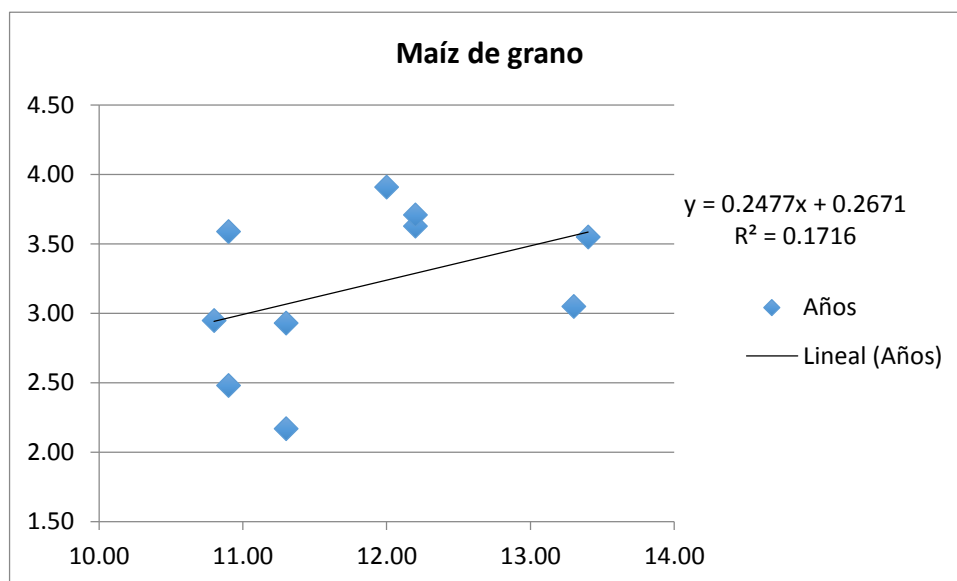
**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*



- **Municipio de Zumpahuacan (1990-1999)**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1.7 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de maíz y la temperatura mínima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 10.9 y 13.4°C. En la cual el rendimiento máximo es de 3.9 t/ha con una temperatura mínima de 12°C y el rendimiento mínimo es de 2.2 t/ha con una temperatura mínima de 11.3°C.

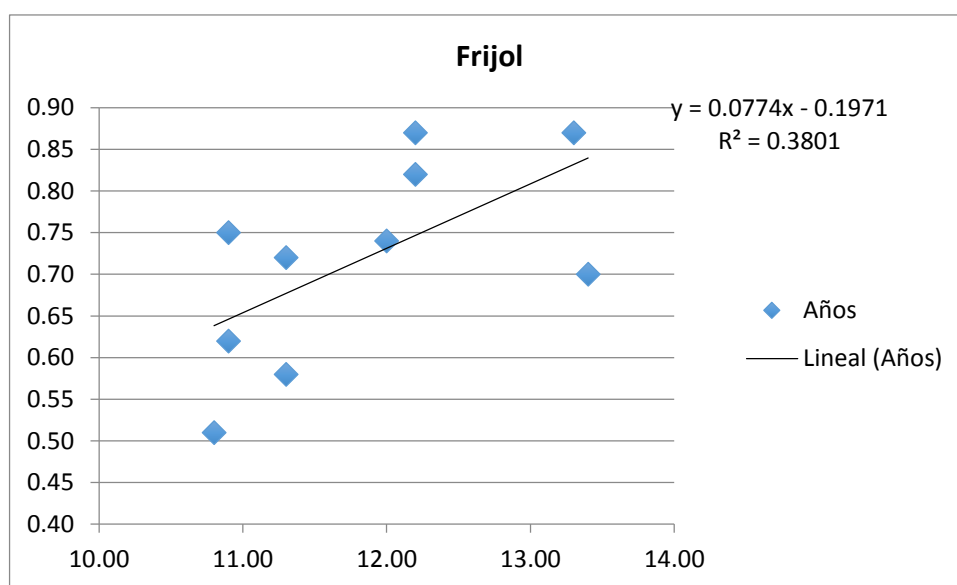
**Figura 95. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 0.36 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de frijol y la temperatura mínima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 10.9 y 13.4°C. En la cual el rendimiento máximo es de 0.8 t/ha con una temperatura mínima de 13.3°C y el rendimiento mínimo es de 0.51 t/ha con una temperatura mínima de 10.8°C.

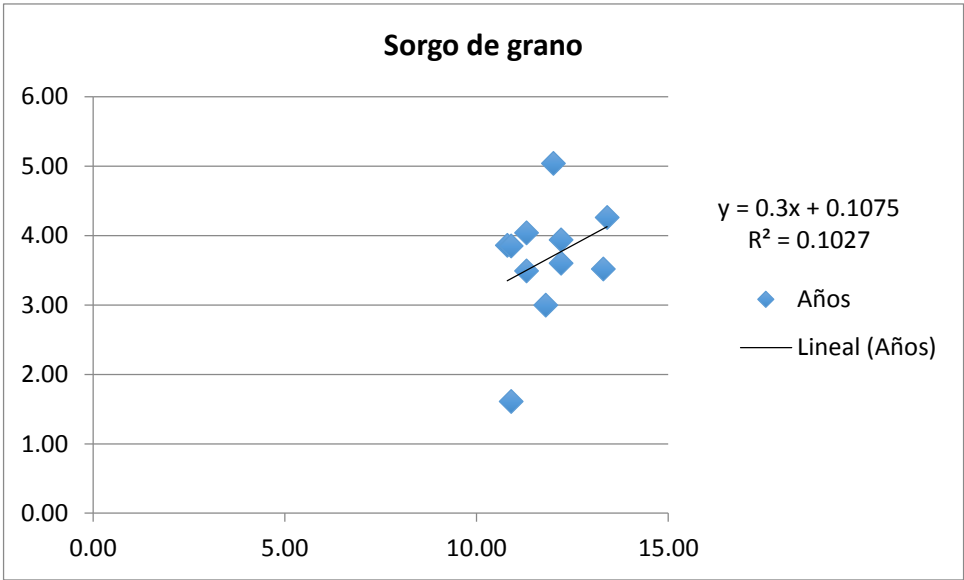
**Figura 96. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 3.43 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de sorgo de grano y la temperatura mínima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 10.9 y 13.4°C. En la cual el rendimiento máximo es de 5.04 t/ha con una temperatura mínima de 12°C y el rendimiento mínimo es de 1.61 t/ha con una temperatura mínima de 10.9°C.

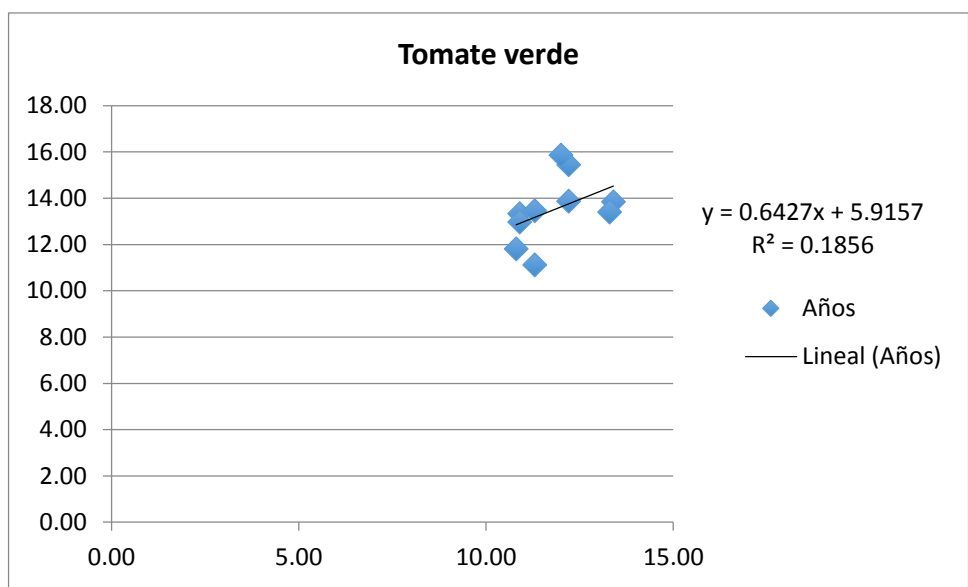
**Figura 97. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de sorgo de grano en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 4.74t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de tomate verde y la temperatura mínima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 10.9 y 13.4°C. En la cual el rendimiento máximo es de 16 t/ha con una temperatura mínima de 13.4°C y el rendimiento mínimo es de 11 t/ha con una temperatura mínima de 11.3°C.

**Figura 98. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).**

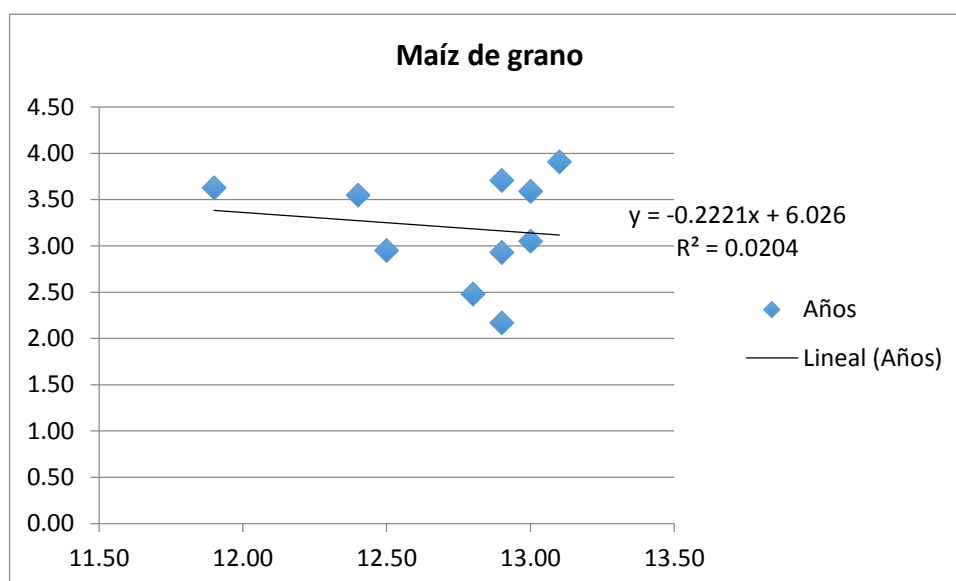


**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

- **Municipio de Tonatico (1990-1999)**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1.5 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de maíz y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 11.9 y 13.1°C. En la cual el rendimiento máximo es de 3.9 t/ha con una temperatura mínima de 13.1°C y el rendimiento mínimo es de 2.2 t/ha con una temperatura mínima de 12.9°C.

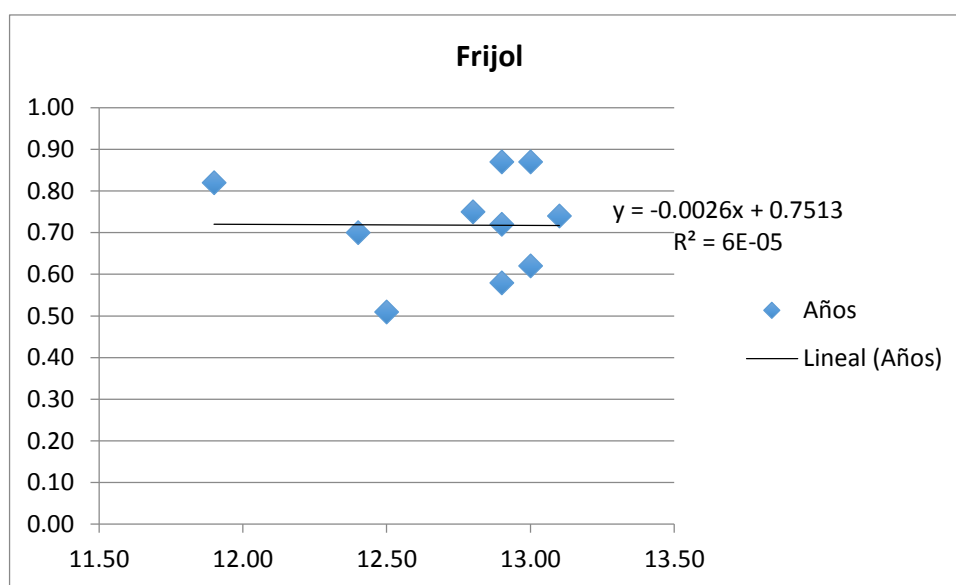
**Figura 99. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tonatico (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 0.39 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de frijol y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 11.9 y 13.1°C. En la cual el rendimiento máximo es de 0.89 t/ha con una temperatura mínima de 13°C y el rendimiento mínimo es de 0.5 t/ha con una temperatura mínima de 12.5°C.

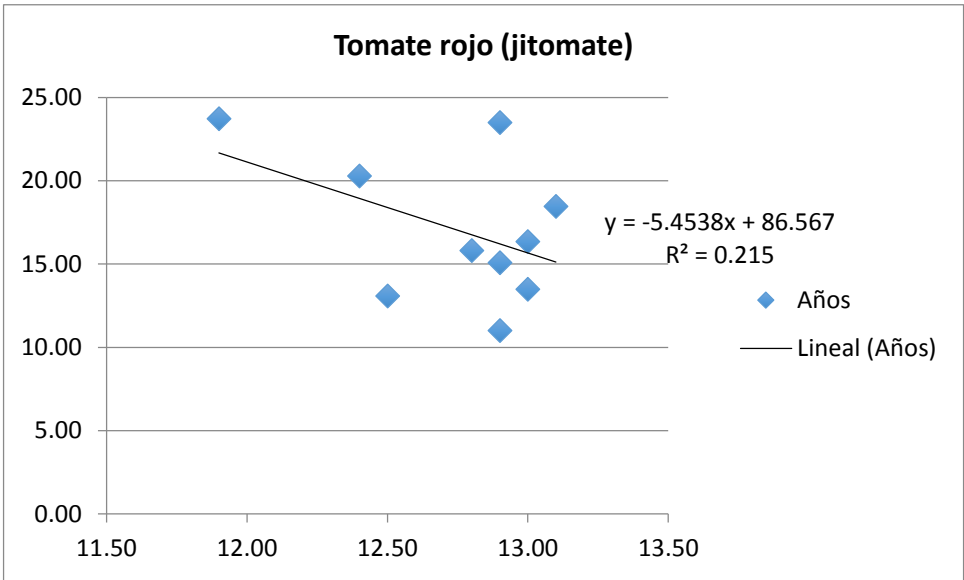
**Figura 100. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de frijol en el municipio de Tonatico (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 12.72 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de tomate rojo (jitomate) y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 11.9 y 13.1°C. En la cual el rendimiento máximo es de 23.73 t/ha con una temperatura mínima de 11.9°C y el rendimiento mínimo es de 11.01 t/ha con una temperatura mínima de 12.9°C.

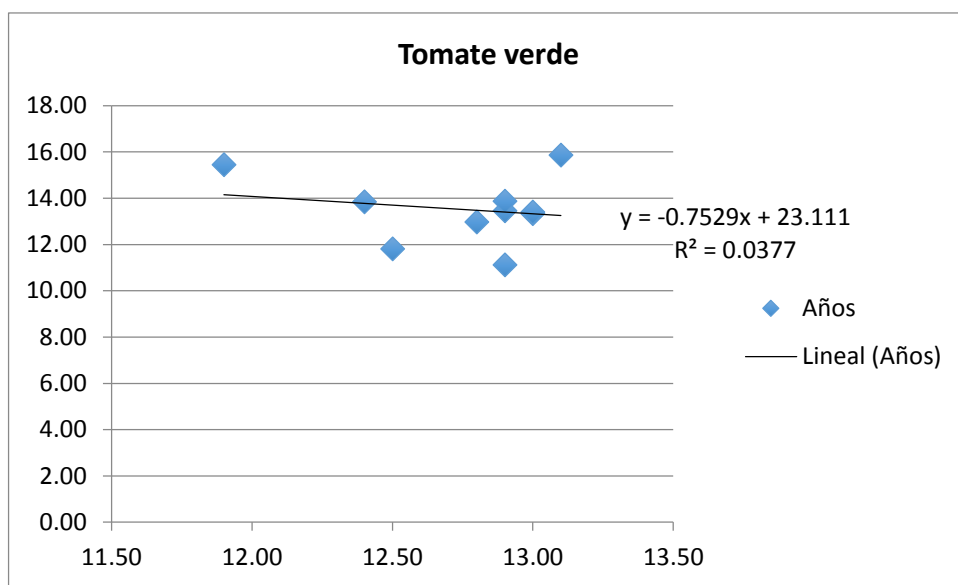
**Figura 101. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate rojo (jitomate) en el municipio de Tonicato (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura mínima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 5 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de tomate verde y la temperatura mínima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura mínima entre 11.9 y 13.1°C. En la cual el rendimiento máximo es de 16 t/ha con una temperatura mínima de 13.1°C y el rendimiento mínimo es de 11 t/ha con una temperatura mínima de 12.9°C.

**Figura 102. Análisis específico de la relación entre temperatura mínima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Tonatico (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

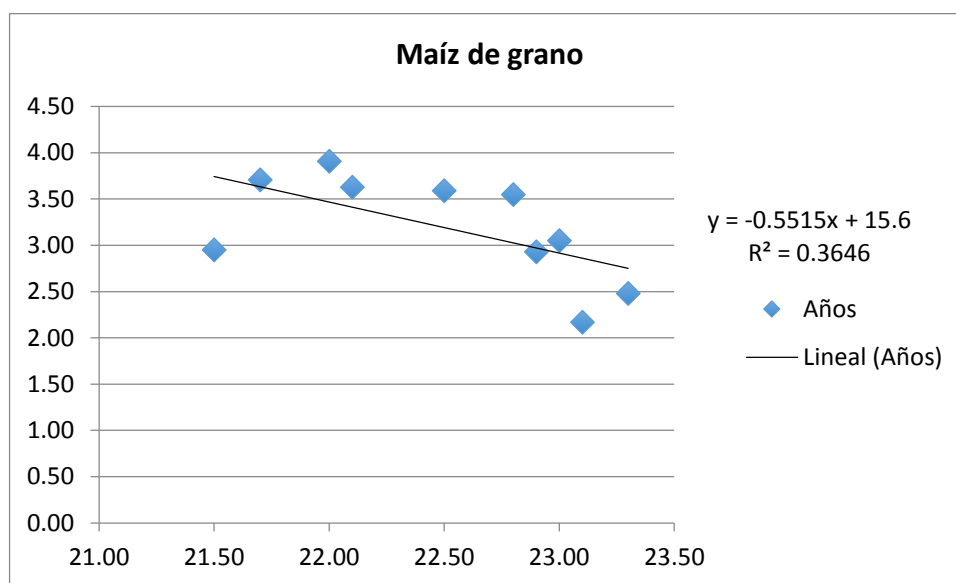


### 3.6.4.2. Análisis específico de la dinámica agrícola de los principales cultivos temperatura máxima y rendimiento (1990-1999)

- **Municipio de Toluca (1990-1999)**

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1.74 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  baja, la relación entre la producción de maíz y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 21.5 y 23.3°C. En la cual el rendimiento máximo es de 3.91 t/ha con una temperatura máxima de 22°C y el rendimiento mínimo es de 2.17 t/ha con una temperatura máxima de 23.1°C.

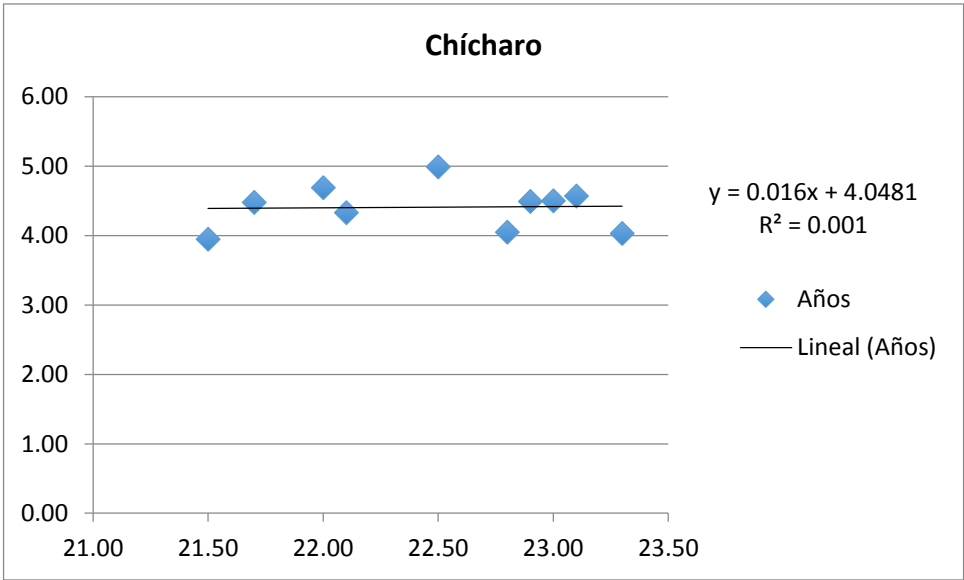
**Figura 103. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Toluca (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1.04 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de chícharo y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 21.5 y 23.3°C. En la cual el rendimiento máximo es de 4.99 t/ha con una temperatura máxima de 22.5°C y el rendimiento mínimo es de 3.9 t/ha con una temperatura máxima de 21.5°C.

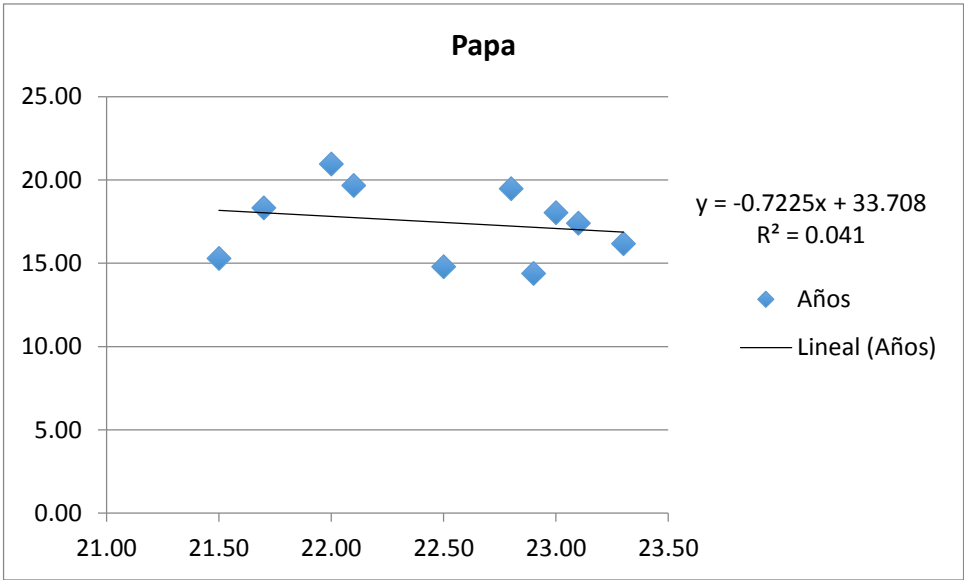
**Figura 104. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de chícharo en el municipio de Toluca (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 6.58 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de papa y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 21.5 y 23.3°C. En la cual el rendimiento máximo es de 20.97 t/ha con una temperatura máxima de 22°C y el rendimiento mínimo es de 14.39 t/ha con una temperatura máxima de 22.9°C.

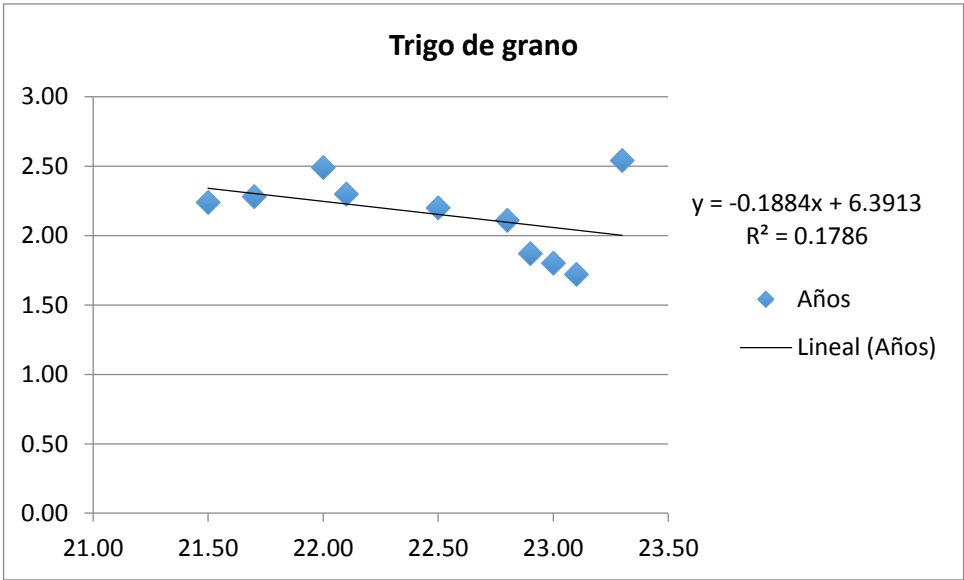
**Figura 105. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de papa en el municipio de Toluca (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 0.77 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de trigo de grano y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 21.5 y 23.3°C. En la cual el rendimiento máximo es de 2.54 t/ha con una temperatura máxima de 23.3°C y el rendimiento mínimo es de 1.72 t/ha con una temperatura máxima de 23.1°C.

**Figura 106. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de trigo de grano en el municipio de Toluca (1990-1999).**

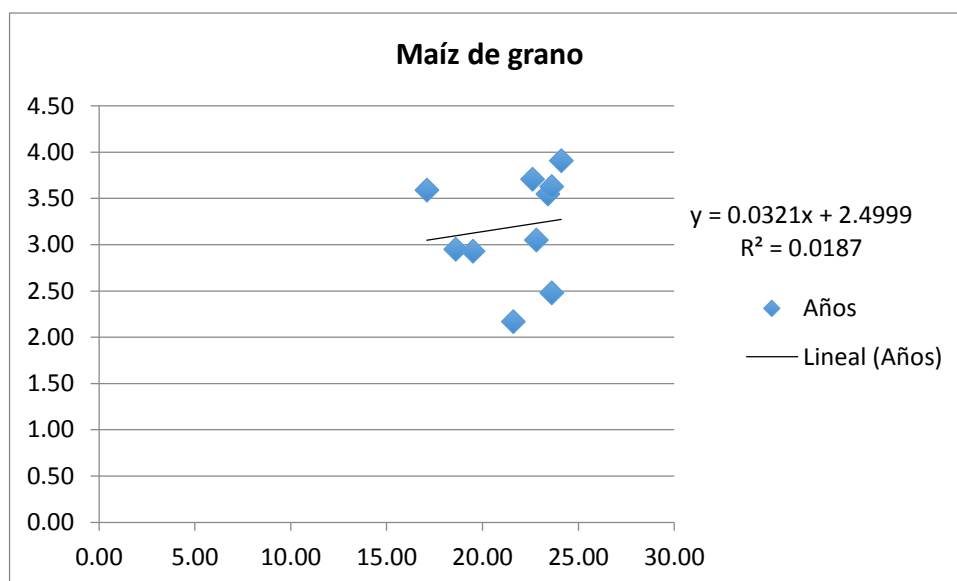


**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

- **Municipio de Tenango del Valle (1990-1999)**

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1.5 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de maíz y la temperatura máxima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 17.1 y 24.1°C. En la cual el rendimiento máximo es de 3.8 t/ha con una temperatura máxima de 24.1°C y el rendimiento mínimo es de 2.2 t/ha con una temperatura máxima de 21.6°C.

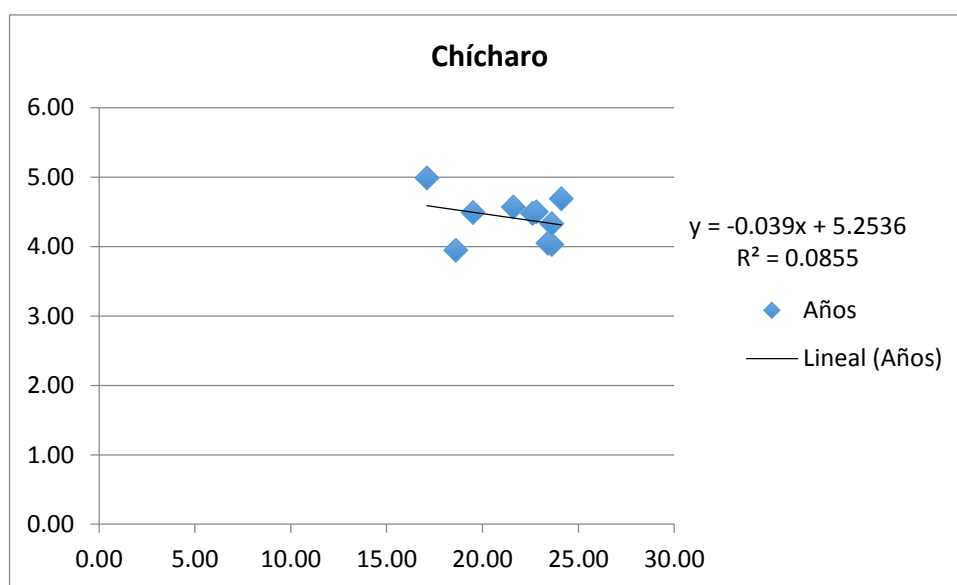
**Figura 107. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de chícharo y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 17.1 y 24.1°C. En la cual el rendimiento máximo es de 5 t/ha con una temperatura máxima de 17.1°C y el rendimiento mínimo es de 4 t/ha con una temperatura máxima de 18.6°C.

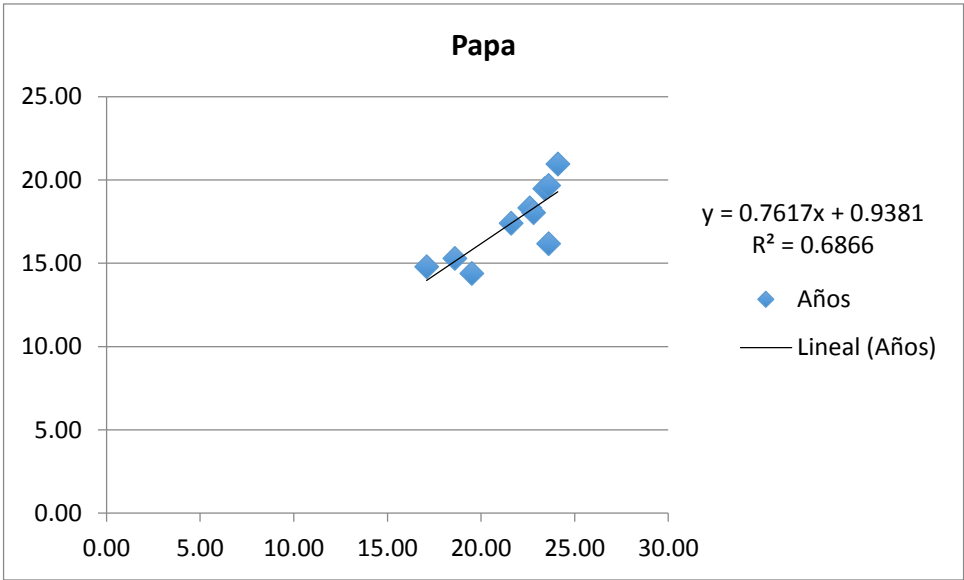
**Figura 108. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de chícharo en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 6 t/ha, la gráfica presenta una  $R^2$  alta, la relación entre la producción de papa y la temperatura máxima es proporcional y lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 17.1 y 24.1°C. En la cual el rendimiento máximo es de 21.5 t/ha con una temperatura máxima de 24.1°C y el rendimiento mínimo es de 14 t/ha con una temperatura máxima de 19.5°C.

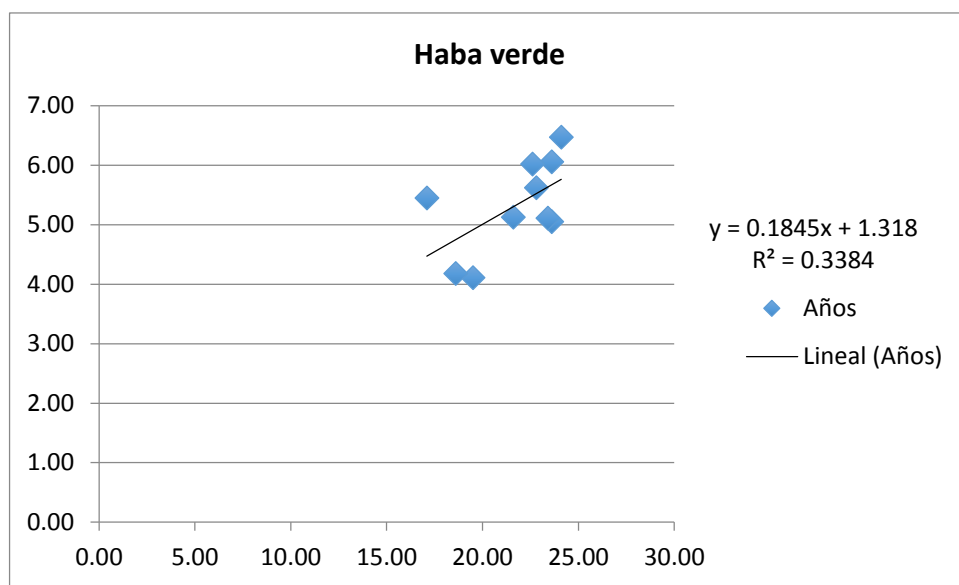
**Figura 109. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de papa en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 2.37 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de haba verde y la temperatura máxima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 17.1 y 24.1°C. En la cual el rendimiento máximo es de 6.47 t/ha con una temperatura máxima de 24.1°C y el rendimiento mínimo es de 4.1 t/ha con una temperatura máxima de 19.5°C.

**Figura 110. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de haba verde en el municipio de Tenango del Valle (1990-1999).**



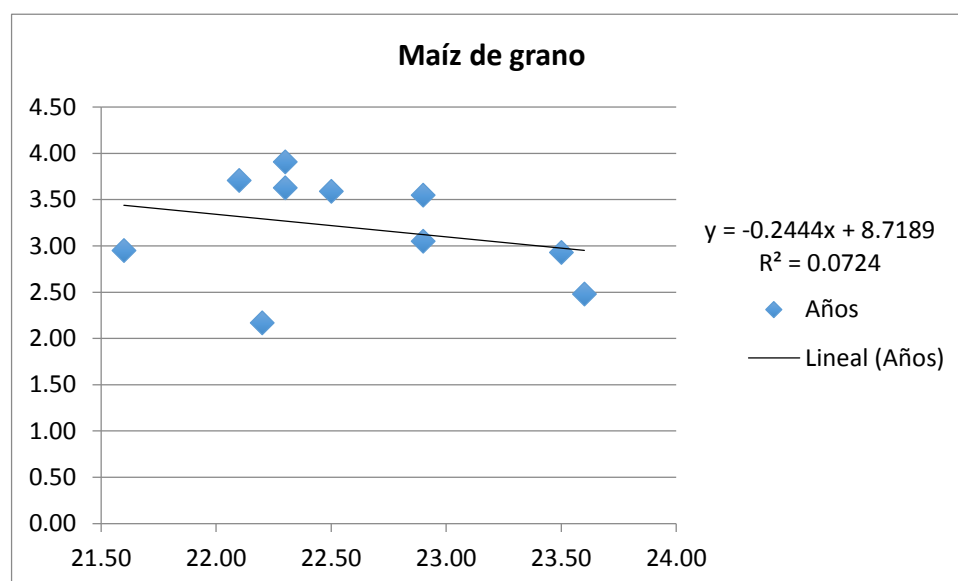
**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*



- **Municipio de Villa Guerrero (1990-1999)**

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 0.78 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de maíz y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 21.6 y 23.6°C. En la cual el rendimiento máximo es de 3.91 t/ha con una temperatura máxima de 22.3°C y el rendimiento mínimo es de 2.93 t/ha con una temperatura máxima de 22.2°C.

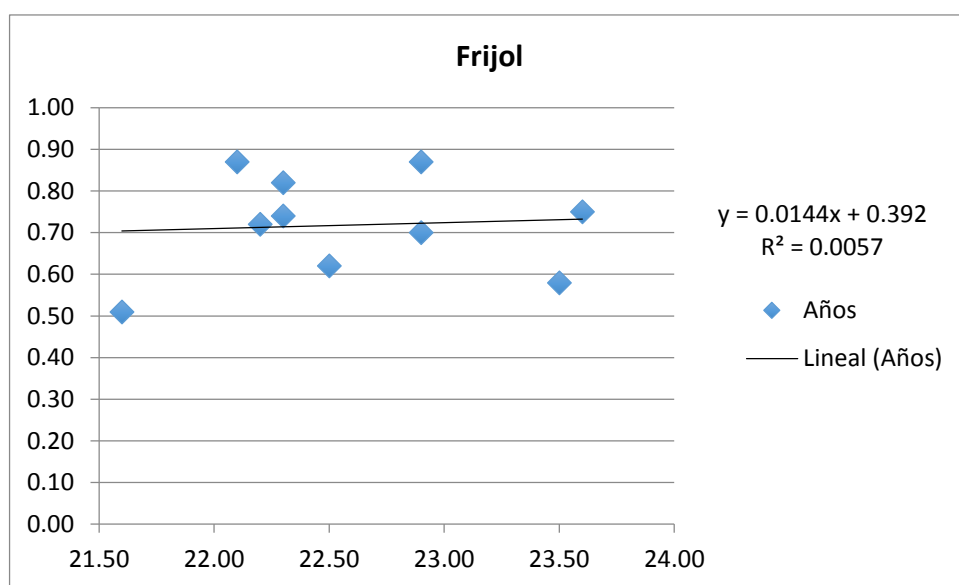
**Figura 111. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 0.36 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de frijol y la temperatura máxima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 21.6 y 23.6°C. En la cual el rendimiento máximo es de 0.87 t/ha con una temperatura máxima de 22.1°C y el rendimiento mínimo es de 0.5 t/ha con una temperatura máxima de 21.6°C.

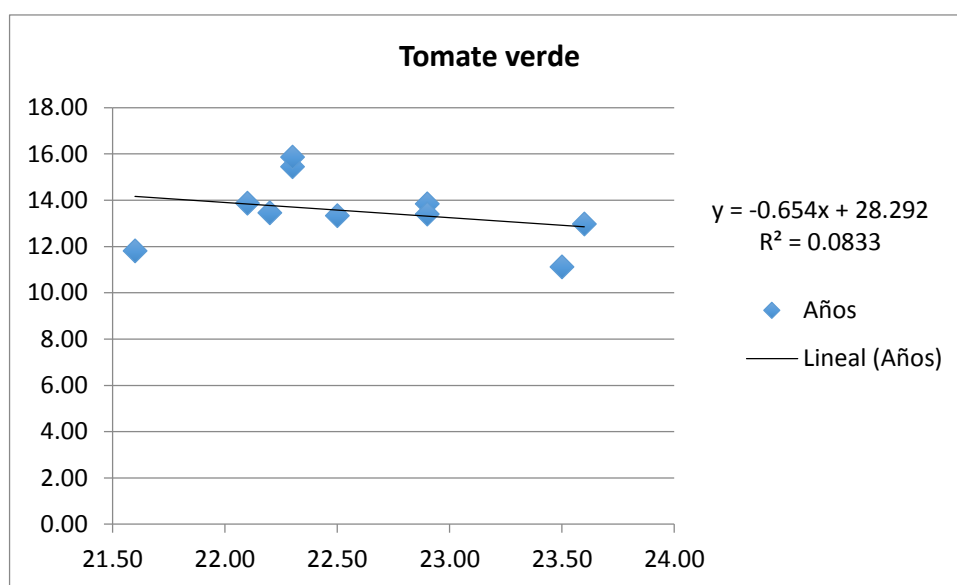
**Figura 112. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 4.74t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de tomate verde y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 21.6 y 23.6°C. En la cual el rendimiento máximo es de 15.87 t/ha con una temperatura máxima de 22.3°C y el rendimiento mínimo es de 11.13 t/ha con una temperatura máxima de 23.5°C.

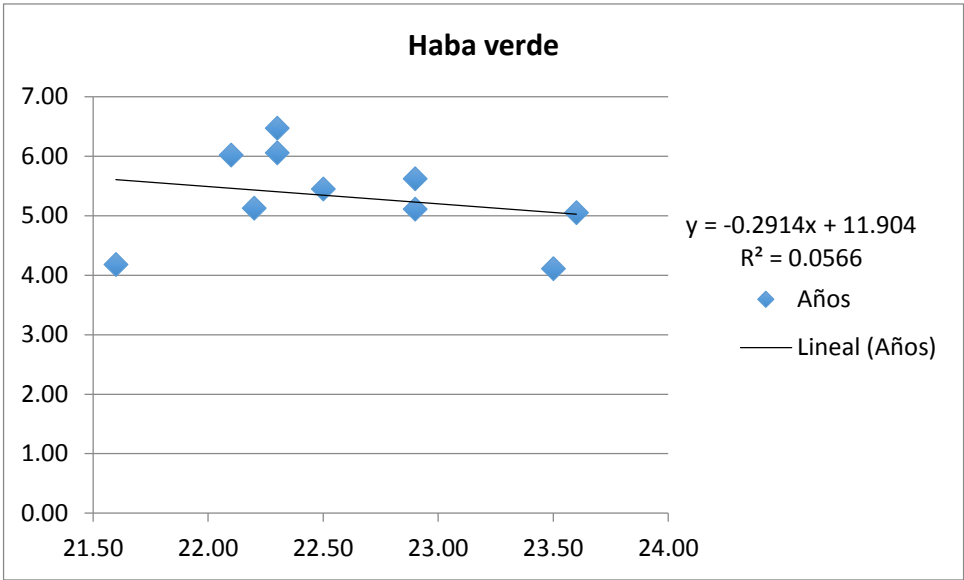
**Figura 113. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 2.5 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de haba verde y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 21.6 y 23.6°C. En la cual el rendimiento máximo es de 6.5 t/ha con una temperatura máxima de 22.3°C y el rendimiento mínimo es de 4.1 t/ha con una temperatura máxima de 23.5°C.

**Figura 114. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de haba verde en el municipio de Villa Guerrero (1990-1999).**

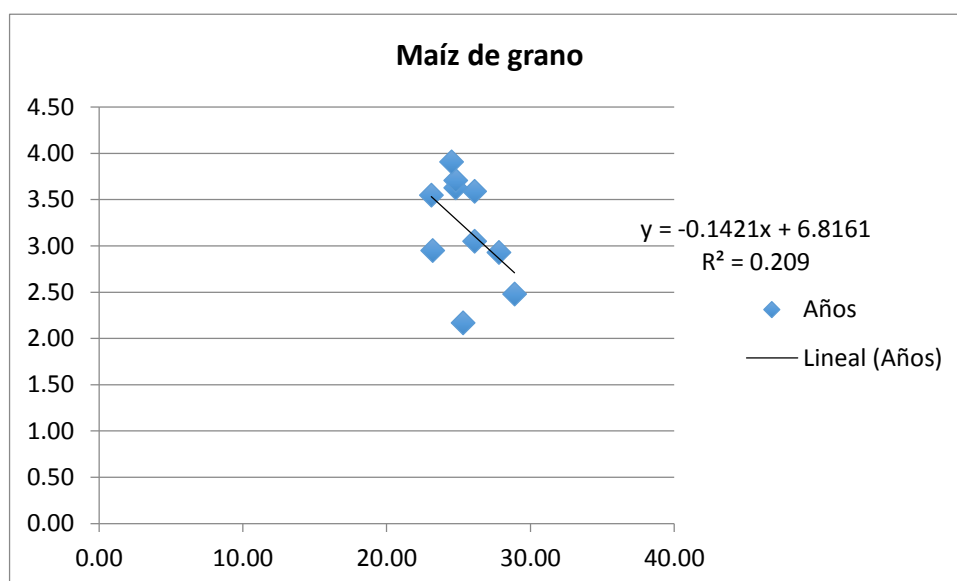


**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

- **Municipio de Zumpahuacan (1990-1999)**

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1.7 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de maíz y la temperatura máxima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 23.1 y 28.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 3.9 t/ha con una temperatura máxima de 24.5°C y el rendimiento mínimo es de 2.2 t/ha con una temperatura máxima de 25.3°C.

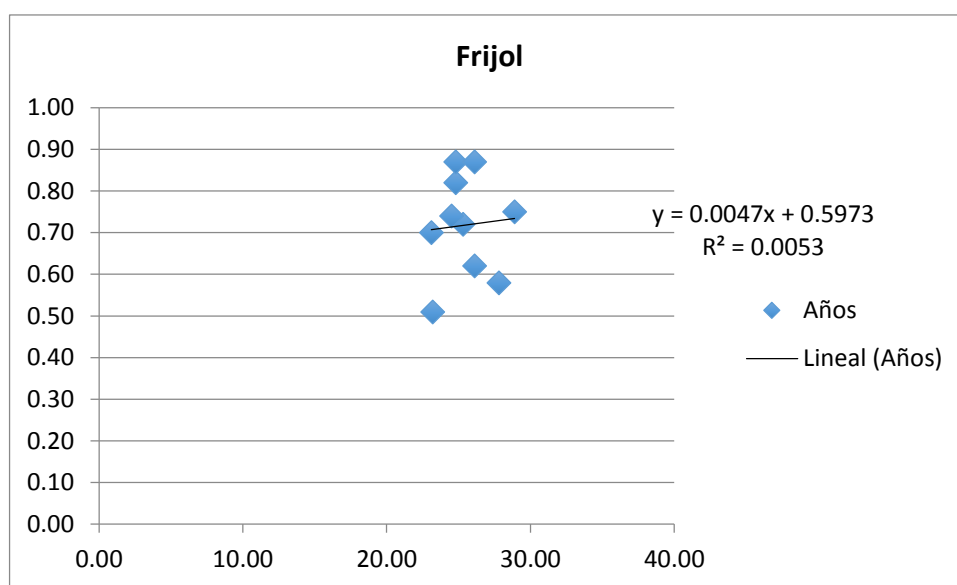
**Figura 115. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 0.36 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de frijol y la temperatura máxima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 23.1 y 28.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 0.8 t/ha con una temperatura máxima de 26.1°C y el rendimiento mínimo es de 0.51 t/ha con una temperatura máxima de 23.2°C.

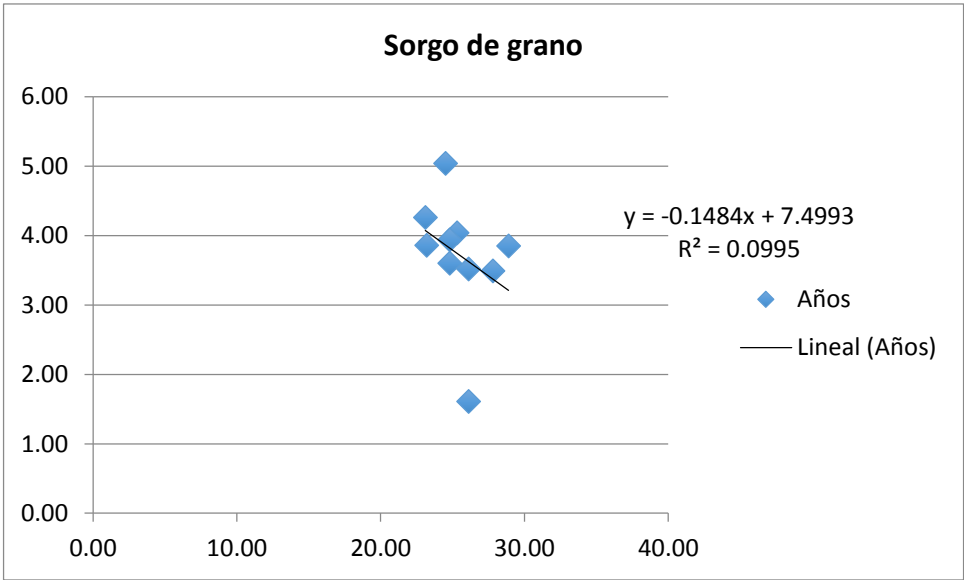
**Figura 116. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 3.43 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de sorgo de grano y la temperatura máxima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 23.1 y 28.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 5.04 t/ha con una temperatura máxima de 24.5°C y el rendimiento mínimo es de 1.61 t/ha con una temperatura máxima de 26.1°C.

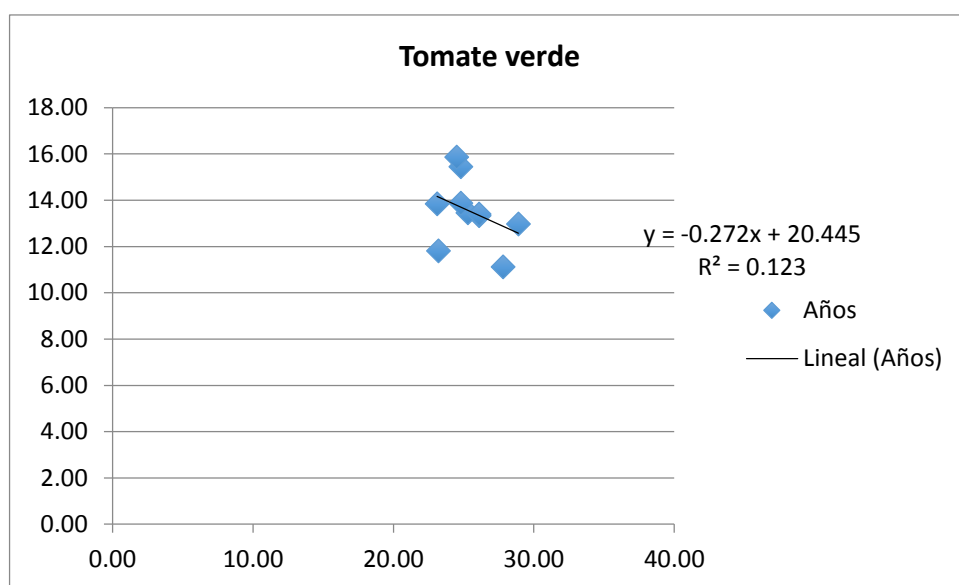
**Figura 117. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de sorgo de grano en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 4.74t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de tomate verde y la temperatura máxima es proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 23.1 y 28.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 16 t/ha con una temperatura máxima de 24.5°C y el rendimiento mínimo es de 11 t/ha con una temperatura máxima de 27.8°C.

**Figura 118. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Zumpahuacan (1990-1999).**



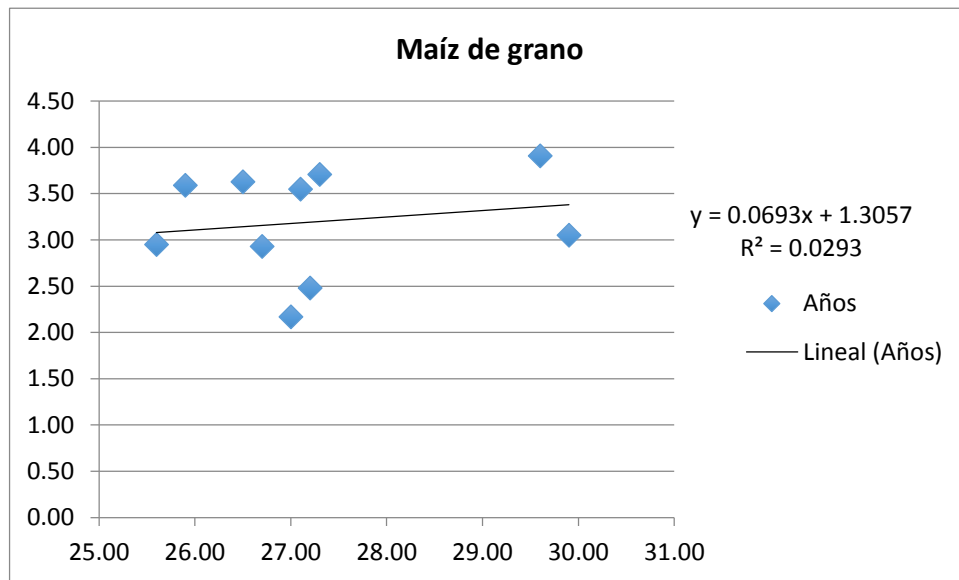
**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*



- **Municipio de Tonatico (1990-1999)**

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 1.5 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de maíz y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 25.6 y 29.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 3.9 t/ha con una temperatura máxima de 29.6°C y el rendimiento mínimo es de 2.2 t/ha con una temperatura máxima de 27°C.

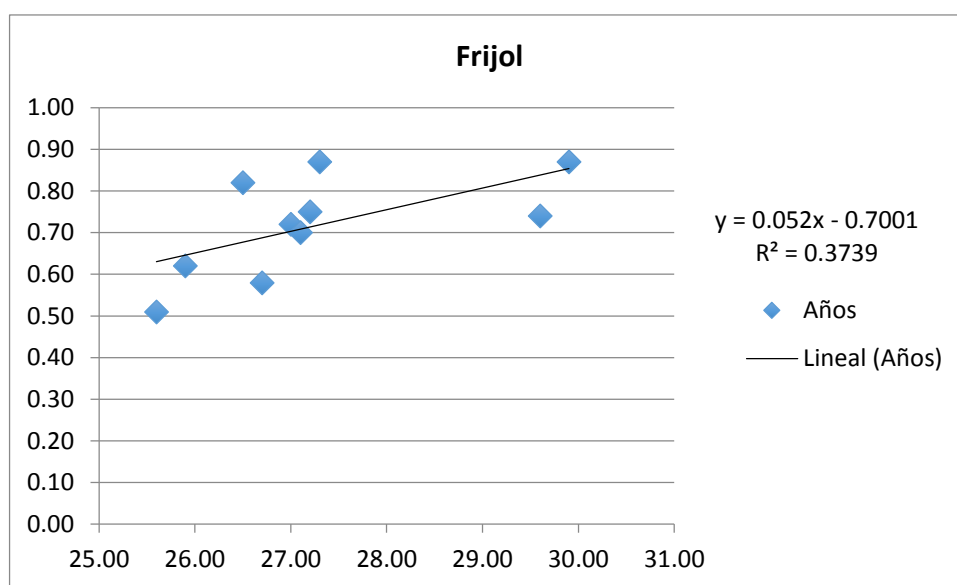
**Figura 119. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de maíz de grano en el municipio de Tonatico (1990-1999).**



**Fuente: Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.**

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 0.39 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de frijol y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 25.6 y 29.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 0.89 t/ha con una temperatura máxima de 29.9°C y el rendimiento mínimo es de 0.5 t/ha con una temperatura máxima de 25.6°C.

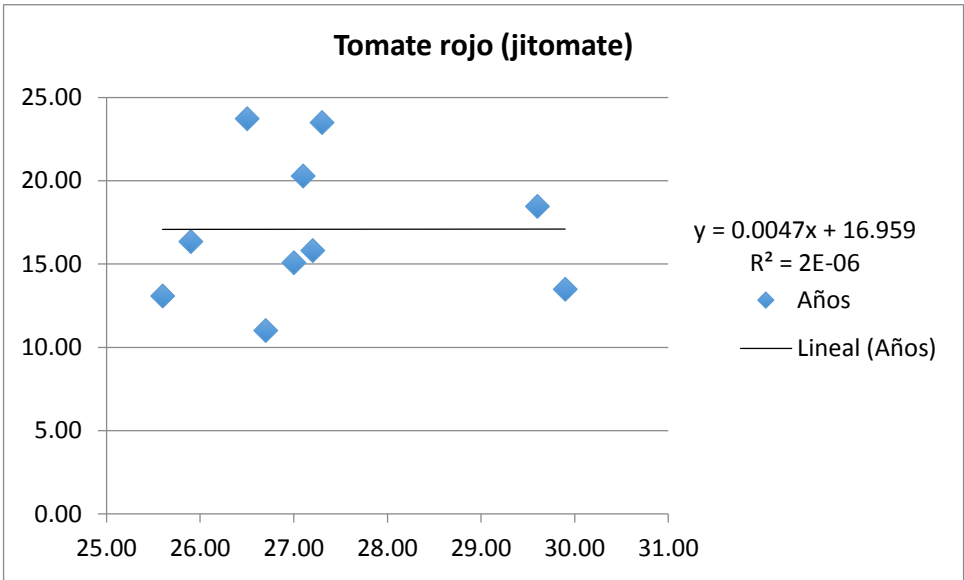
**Figura 120. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de frijol en el municipio de Tonatico (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 12.72 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de tomate rojo (jitomate) y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 25.6 y 29.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 23.73 t/ha con una temperatura máxima de 26.5°C y el rendimiento mínimo es de 11.01 t/ha con una temperatura máxima de 26.7°C.

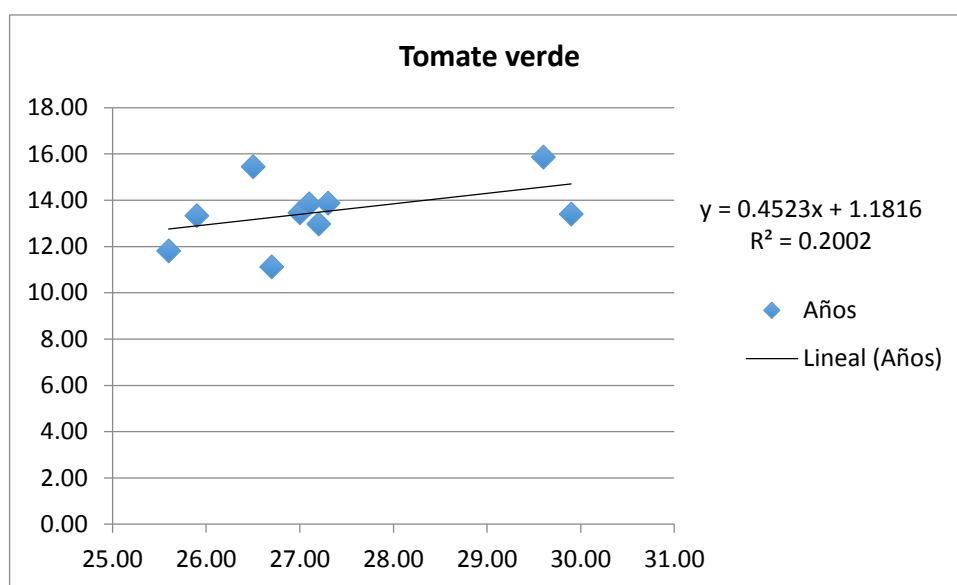
**Figura 121. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate rojo (jitomate) en el municipio de Tonatico (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

La temperatura máxima influye en el rendimiento ya que existe una diferencia de 5 t/ha, se cuenta con una  $R^2$  muy baja, la relación entre la producción de tomate verde y la temperatura máxima es inversamente proporcional y no lineal, con un rango corto de temperatura máxima entre 25.6 y 29.9°C. En la cual el rendimiento máximo es de 16 t/ha con una temperatura máxima de 29.6°C y el rendimiento mínimo es de 11 t/ha con una temperatura máxima de 26.7°C.

**Figura 122. Análisis específico de la relación entre temperatura máxima y rendimiento de tomate verde en el municipio de Tonatico (1990-1999).**



**Fuente:** *Elaboración propia, 2015, a partir del Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

### **3.7 Discusión**

A nivel nacional, en las investigaciones realizadas para medir las posibles consecuencias del cambio climático en México es posible encontrar una variedad de estudios que abordan el problema desde distintas perspectivas y sobre diversos sectores prioritarios para el país. De acuerdo a Villers y Trejo (1997) más de la mitad del territorio del país (entre el 50% y el 57%) cambiará sus condiciones de temperatura y precipitación, de manera que el clima actual podría ser clasificado en otro subtipo y los habitantes de los ecosistemas, incluida la población humana, deberán cambiar para adaptarse a las nuevas condiciones.

La creencia generalizada es que los climas templados tenderán a reducirse (Villers y Trejo, 2004; Halffter, 1992), mientras que los climas secos ocuparan mayores superficies. Lo anterior ejercerá presiones adicionales a las que los diversos ecosistemas y sus especies ya están sometidos (Arriaga y Gómez, 2004; Peterson, et al., 2002).

México resulta ser especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático al situarse en zonas que serán impactadas por sequías (Noroeste) e inundaciones (Sureste); por fenómenos meteorológicos extremos y por su débil estructura social y económica (INE-PNUD, 2008). Se estima que entre 2020 y 2050 los estados que pueden resentir mayores incrementos en sus temperaturas medias son Guanajuato, Estado de México, San Luis Potosí, Tlaxcala y Veracruz, lo que afectara las actividades humanas, incluidas las agrícolas (SEMARNAT, 2009f).

#### **3.7.1 Vulnerabilidad de la agricultura ante eventos climatológicos**

Las condiciones en que se desarrolla la agricultura en México, tanto de temporal como de riego, determinan también su vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. En particular, las prácticas agrícolas de temporal son sensibles a cualquier alteración en la precipitación estacional. Desde la época de la colonia, el fenómeno de El Niño es un evento climático extremo que ha tenido presencia constante, y al que se le atribuyen la mayoría de las sequías de verano causantes

de cuantiosas pérdidas en la producción agrícola. Durante El Niño de 1997 y 1998, la precipitación se redujo al 50%, lo que ocasionó una pérdida del 14% a la producción, estimada en cerca de 2,000 millones de dólares (Magaña, 1999).

Otra de las consecuencias más evidentes del cambio climático global es el aumento del número y la intensidad de ciclones y huracanes (Walsh y Pittock, 1998). Aunque sus efectos negativos sobre la producción agrícola son evidentes, algunos estudios los han cuantificado estadísticamente. Olivera et al. (2009) muestran que la producción de maíz en el estado de Guerrero es altamente vulnerable al clima existente, así como al número de ciclones y huracanes que la afectan con frecuencia. En sus resultados, la presencia de huracanes incrementa el número de hectáreas perdidas o no cosechadas. Al aplicar los modelos de cambio climático generados, se observa que en promedio se perderá el 8% la producción e incluso puede llegar hasta el 46% en presencia de huracanes de mayor categoría.

Esta elevada vulnerabilidad denota la importancia de pronosticar mejor eventos climáticos como El Niño, pues ello conllevaría a medidas que propiciarían una adaptación más oportuna, tales como adopción de variedades resistentes y elección adecuada de la época de siembra, entre otras, que permitan mitigar sus efectos negativos (Conde et al., 2000). Se ha documentado que el cambio climático trae consigo un incremento notable en la frecuencia y duración de las sequías asociadas a El Niño (Hernández et al., 2004; Trenberth, 1997). En este sentido, desde 2000 la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) realizan un estudio sobre la predicción y atenuación de los impactos de El Niño a fin de implementar sistemas de alerta temprana que permitan reducir las pérdidas socioeconómicas (Rueda y Gay, 2002).

### **3.7.2 Efectos sobre la producción agrícola**

De acuerdo a los pronósticos, en latitudes medias y altas un calentamiento de temperatura moderado beneficiaría los campos agrícolas y de pastoreo; mientras que en regiones secas y de latitudes bajas, aun pequeños aumentos en la temperatura disminuirían las cosechas estacionales. Las pérdidas agrícolas tienen un efecto multiplicador que se traduce en la economía y en una mayor pobreza de las áreas rurales en comparación con las urbanas (INE-PNUD, 2008).

Debido al impacto del cambio climático, la modificación de los componentes del ciclo hidrológico, principalmente la evapotranspiración y la precipitación, tendrá un efecto radical en las demandas de riego y en la gestión de los sistemas de riego. En un estudio realizado en el Distrito de Riego 075, Río Fuerte, Sinaloa se concluyó que el mayor impacto por incremento de la temperatura se apreciara en la reducción del ciclo fenológico de los cultivos anuales (Ojeda et al.2011).

De igual manera, el impacto sobre las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento de los cultivos alterará los rendimientos debido a que el inicio de la floración se modificará. En el caso del café en Veracruz se encontró que los escenarios de cambio climático apuntan a serios riesgos en la producción de café; por ejemplo, un exceso en las condiciones de humedad podría generar la aparición de enfermedades como el “mal de hilachas”(Lourdes Villers et al., 2011).

Otro de los efectos del cambio climático es la modificación en la distribución de las plagas y las enfermedades de los animales y las plantas. De acuerdo con el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (SINAVEF), la sequía prolongada y el incremento constante de temperaturas, al igual que otros fenómenos derivados del calentamiento global (ciclones y nortes), favorecerá de manera general a las especies invasoras de insectos (transfronterizas), lo que incrementaría la presión de las plagas sobre los cultivos.

Por otro lado, pronosticar la vulnerabilidad del rendimiento de cultivos en relación con los escenarios existentes, generalmente no considera la alteración de la

fertilidad del suelo atribuible al cambio climático. Sin embargo, modificar la fertilidad del suelo puede cambiar el rendimiento hasta en 20%, lo que indica su importancia en los pronósticos de los mismos (Castillo et al., 2011).

Estudios realizados señalan que en el estado de Veracruz señalan que como consecuencia del aumento de la temperatura, el frijol es susceptible a ataques a nivel viral y la papaya a modificaciones en la biología floral del cultivo, lo que repercutirá en un cambio en términos de zonas de cultivos de ambas especies (Pineda-López et al.).

Para el caso de Veracruz, Gray et al. (2004), en un estudio se aplicó un modelo econométrico para explorar la sensibilidad de la producción de café a cambios en variables climáticas y económicas. Los resultados sugieren que debido a la variación climática la situación económica de los productores empeorará, lo cual conduce a incluir al cambio climático en los planes de desarrollo agrícola.

### **3.7.3 Estudios agroclimáticos**

El desarrollo de los llamados modelos agroclimáticos ha permitido obtener estimaciones de los efectos de los escenarios climáticos futuros. En México, la diversidad de climas ocasiona que los efectos del cambio climático en la agricultura se distingan según la región considerada. Debido a esto, la mayor parte de la literatura existente consiste en aplicar modelos en regiones agroclimáticas seleccionadas como estudios de caso.

El Estudio País: México, (Conde et al., 1997; Gay, 2000), constituye una de las primeras aplicaciones de este tipo de modelos en el caso mexicano. La aplicación de los escenarios de cambio climático mostró que la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal aumenta tanto por la reducción de la superficie apta para el cultivo, como por las fuertes disminuciones en los rendimientos de las diferentes localidades de los Estados incluidos en el estudio (Puebla, Veracruz y Jalisco).



Sólo las localidades del estado de México muestran incrementos en la producción asociadas al cambio climático debido a la reducción del riesgo por heladas a causa de un aumento en las temperaturas mínimas.

Para reducir la falta de variabilidad de las fuentes de ingreso y la elevada dependencia de los productores al cultivo del maíz, el cambio en los patrones de cultivos en ambientes controlados puede representar una medida adaptativa eficaz. El uso de los invernaderos reduciría los riesgos por heladas, mientras que utilizar composta y riego por goteo podrían ser medidas adaptativas ante la degradación del suelo y las sequías.

Las proyecciones para la región señalan un incremento en los rendimientos de maíz en la zona central del país, principalmente asociados a reducir las heladas consecuencia del aumento en las temperaturas mínimas. Sin embargo, prevalece el riesgo de eventos climáticos extremos como La Niña, cuyas inundaciones tendrían efectos negativos en la producción (Conde y Heakin, 2003).

Existen otros modelos agroclimáticos que miden el efecto directo que el cambio climático sobre la productividad y rendimientos de cultivos específicos. Sin embargo, una forma alternativa de medir sus resultados económicos futuros es estudiar sus consecuencias directas en el ingreso de los productores agrícolas.

El modelo Ricardiano (Mendelsohn et al., 1994) permite establecer una relación funcional entre variables climáticas y el flujo de ingresos netos generados por una superficie de cultivo; esto es, el valor de la tierra. Este modelo ha sido el principal para analizar los efectos directos del cambio climático en el sector agrícola a nivel mundial.

Investigaciones realizadas a nivel nacional de esta temática concluyen que una gran extensión del territorio mexicano se está calentando, siendo mayor en el noreste de México; sin embargo, pequeñas porciones del territorio nacional ligeramente se están enfriando (Gay et al., 2010). En los estudios realizados de

impactos en la agricultura por el cambio climático Conde *et al.* (1997); Flores *et al.* (2000) han sugerido que existe mayor vulnerabilidad en la agricultura de maíz de temporal, decrementos en las superficies aptas y reducciones en rendimientos.

En tanto Monterroso *et al.* (2011) al comparar diversos modelos sugiere que a nivel nacional se simula que la temperatura y la precipitación aumentará en su mayor parte del año, por tanto aumentan los niveles de evapotranspiración potencial; otro aspecto importante que muestran los valores de la precipitación por décadas es que; no muestra gran variación, lo que se sugiere pensar que ha cambiado la distribución de la precipitación a lo largo de cada año, y de esta forma se podrán tomar medidas mas específicas de adaptación al cambio climático.

Particularmente la metodología utilizada permite conocer las variaciones climáticas de la cuenca y las variaciones de la producción agroalimentaria, y nos muestra las variaciones más relevantes en el rendimiento de los cultivos, a lo largo de las décadas estudiadas, así mismo se observa con tendencia a disminuir en rendimiento para: el maíz en Tenango y en Tonatico; la papa en Toluca y en Tenango; el haba verde en Tenango; el frijol en Tonatico y el tomate rojo en Tonatico. Con tendencia a aumentar en rendimiento: trigo de grano en Toluca y el tomate verde en Villa Guerrero y Tonatico.

Para las temperaturas mínimas mensuales, se observan correlaciones medias y positivas con los cultivos de papa en Toluca, haba verde en Tenango y frijol en Zumpahuacán; también muy cercana a la correlación media se observa la papa en Tenango y el frijol en Villa Guerrero. Para las temperaturas máximas mensuales, se observan correlaciones altas y positivas con los cultivos de papa y haba verde en Tenango y tomate verde en Tonatico; correlaciones medias y positivas se observan para el haba verde y tomate verde en Villa Guerrero y muy cercana a la correlación alta para el tomate rojo en Tonatico.

El IPCC menciona que factores como temperatura y precipitación influyen un 50% en el buen desarrollo de los cultivos, si bien hay otros factores que pueden influir

en el rendimiento, la temperatura y la precipitación juegan un papel importante ya que de estas dependen las condiciones para el buen desarrollo de la producción agroalimentaria.

Son relevantes las contribuciones realizadas en torno al cambio climático a nivel nacional e igualmente importante es realizar estudios más concretos, ya que las adaptaciones sugeridas por los impactos futuros, no son aplicables a escala nacional y a nivel generalizado de cultivos. Los resultados de investigaciones recientes sobre la variabilidad natural del clima permiten mejorar el conocimiento del clima regional permitiendo así sentar bases para sistemas operacionales de diagnóstico y pronóstico del clima y aunque son necesarios nuevos estudios, los resultados disponibles deben empezar a utilizarse como herramienta para toma de decisiones.

## **3.8 PROPUESTA PARA EL USO INTEGRADO Y SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS AGROALIMENTARIOS**

### **3.8 Propuesta para el uso integrado y sostenible de los recursos agroalimentarios**

En muchos países, la población rural más pobre vive en áreas expuestas y marginales, y en condiciones que los hacen muy vulnerables a los impactos negativos del cambio climático. Para estas personas, aun los menores cambios en el clima pueden tener un impacto desastroso en sus vidas y medios de sustento.

Las consecuencias pueden ser muy profundas para los agricultores de subsistencia ubicados en ambientes frágiles, donde se esperan grandes cambios en su productividad, pues estos agricultores dependen de cultivos que potencialmente serán muy afectados; por ejemplo, alimentos básicos como maíz, frijoles, papas o arroz.

Muchos investigadores expresan mayor preocupación por aquellas zonas donde la agricultura de subsistencia es la norma, pues la disminución de tan solo una tonelada de productividad podría llevar a grandes desequilibrios en la vida rural.

Sin embargo, resultados de investigaciones recientes sugieren que muchos agricultores se adaptan e incluso se preparan para el cambio climático, minimizando las pérdidas en productividad mediante la mayor utilización de variedades locales tolerantes a la sequía, cosecha de agua, policultivos, agroforestería, desyerbe oportuno, recolección de plantas silvestres y una serie de otras técnicas.

Aun hoy, en la primera década del siglo XXI, hay en el mundo millones de pequeños agricultores tradicionales que practican tipos de agricultura que proporcionan a los agroecosistemas una capacidad de resiliencia notable ante los continuos cambios económicos y ambientales, además de contribuir sustancialmente con la seguridad alimentaria a nivel local, regional y nacional.

Se predice que el calentamiento global dará lugar a una variedad de efectos físicos que afectarán negativamente la producción agrícola. Entre estos habría que destacar:

- El aumento en la temperatura del agua del mar, junto con la pérdida parcial de

glaciares, cuyo resultado será un incremento del nivel del mar. Ello podría plantear una amenaza en las áreas costeras, donde se verá afectado el drenaje de agua superficial y subterránea, y habrá una intrusión del agua de mar en los estuarios y acuíferos.

- La pérdida de materia orgánica del suelo por calentamiento; las temperaturas más altas del aire pueden acelerar la descomposición de la materia orgánica y afectar la fertilidad del suelo.
- Las estaciones de crecimiento más largas pueden permitir a varias especies de insectos plaga completar un mayor número de generaciones por año y también propiciar la proliferación de enfermedades de las plantas, con el consecuente incremento de pérdidas en las cosechas.

La mayoría de los modelos del cambio climático predicen que los daños serán compartidos de forma desproporcionada por los pequeños agricultores del tercer mundo, y, particularmente, por los agricultores que dependen de regímenes de lluvia impredecibles. Hay autores que predicen una reducción total del 10% en la producción del maíz en el año 2055 en África y América Latina, equivalente a pérdidas de dos mil millones de dólares por año.

Estas pérdidas de la producción se intensificarán de acuerdo con el incremento en las temperaturas y las diferencias en la precipitación. Algunos investigadores predicen que el cambio climático reducirá la producción de cultivos, por lo que los efectos sobre el bienestar de miles de agricultores familiares serán muy severos, especialmente si el componente de la productividad de subsistencia se reduce.

Estos cambios en la calidad y la cantidad de producción pueden afectar la productividad del trabajo de los agricultores e incluso afectar negativamente la salud de sus familias.

### **3.7.1 Estrategia de adaptación climática para los cultivos**

Una ventaja comparativa importante es la aptitud climática, la cual se define como el potencial agroclimático de una región o sitio y se determina para conciliar las variables climáticas y del suelo con los requerimientos de los cultivos por desarrollar.

Los factores del clima mayormente considerados por su impacto en los costos de producción son la temperatura y también están estrechamente relacionados con el manejo de la humedad relativa y su asociación con la presencia de plagas y enfermedades.

La mayoría de las plantas cultivadas se adaptan favorablemente a un rango de radiación solar, temperatura promedio y humedad relativa en el cual alcanzan su óptimo fotosintético y de ahí sus rendimientos.

Mientras más cercanas sean las condiciones climáticas del lugar a las requeridas por el cultivo, se necesitarán menos inversiones y menos costos de producción; por lo tanto, las ventajas comparativas que brinda un buen sitio y su clima, se pueden transformar en ventajas competitivas para acceder a los mercados globales.

Así, por ejemplo, en Almería, España, donde existen 38,500 hectáreas con agricultura protegida, tiene rangos favorables de radiación solar y temperatura media mensual durante buena parte del año, por lo cual resultan mínimas las instalaciones para adecuar estos factores del clima en los meses en los cuales salen del óptimo requerido por cada cultivo.

En México, tenemos el caso de Zacatecas, donde existe excelente aptitud climática para la instalación de invernaderos; pero cada sitio debe evaluarse tomando en cuenta la posibilidad de adoptar un sistema de manejo o nivel tecnológico, en razón de la situación técnica y socioeconómica de cada productor que le permita prever su inserción rentable en el mercado objetivo.

### **3.7.2 Estrategias de adaptación para los pequeños agricultores**

En muchas áreas del mundo los campesinos han desarrollado sistemas agrícolas adaptados a las condiciones locales que les permiten una producción continua necesaria para subsistir, a pesar de cultivar en ambientes marginales de tierra, con variabilidad climática no predecible y un uso muy bajo de insumos externos. Parte de este desempeño está relacionado con el alto nivel de agrobiodiversidad que caracteriza a los agroecosistemas tradicionales, lo cual tiene efectos positivos en el funcionamiento del agroecosistema.

La diversificación es, por lo tanto, una estrategia importante para el manejo del riesgo de la producción en sistemas agrícolas pequeños. En general, los agroecosistemas tradicionales son menos vulnerables a la pérdida catastrófica porque, en caso de pérdidas, la amplia diversidad de cultivos y variedades en los diferentes arreglos espaciales y temporales generan compensaciones. En la mayoría de los casos, los agricultores mantienen la diversidad como seguro para enfrentar el cambio ambiental o futuras necesidades sociales y económicas (Altieri 2009).

- **Sistemas de cultivos múltiples o policultivos**

Los policultivos exhiben una mayor estabilidad y menor declinación de la productividad durante una sequía que en el caso de monocultivos.

#### *Uso de la diversidad genética local*

Muchos agricultores pobres explotan la *diversidad intraespecífica* mediante la siembra simultánea y en el mismo campo, de diversas variedades locales que, en general, son más resistentes a la sequía.

- **Colecta de plantas silvestres**

En muchos países, el sector campesino todavía obtiene una parte significativa de su subsistencia a través de la recolección de plantas silvestres alrededor de los cultivos. En muchas sociedades africanas agropastoriles, la recolección de hojas comestibles, bayas, raíces, tubérculos y frutas en los matorrales alrededor de las



aldeas es una estrategia importante para la diversificación de su régimen alimenticio básico.

Durante sequías u otras épocas de estrés ambiental muchas poblaciones rurales recolectan plantas silvestres como alimento para la familia.

Para grupos indígenas de la sierra mexicana, cuando sus cosechas son destruidas por el granizo o la sequía, las especies silvestres o quelites constituyen la única fuente de alimento alternativo.

- ***Sistemas de agroforestería y mulching***

Muchos agricultores siembran sus cultivos en arreglos agroforestales utilizando la cobertura de los árboles para proteger los cultivos contra fluctuaciones extremas en microclima y humedad del suelo. Al conservar y plantar árboles, los agricultores ejercen influencia en el microclima, porque la cobertura forestal reduce la temperatura, la velocidad del viento, la evapotranspiración y protege los cultivos de la exposición directa al sol, así como del granizo y la lluvia.

La presencia de árboles en las parcelas agroforestales constituye una estrategia clave para la mitigación de los efectos impredecibles debidos a las variaciones microclimáticas, especialmente en sistemas de agricultura minifundista.

Muchos agricultores familiares aplican mulch sobre el suelo o siembran plantas de cobertura para reducir los niveles de radiación y calor en las superficies recién plantadas, también lo hacen para conservar la humedad, y para absorber la energía cinética de la lluvia y del granizo que cae.

Cuando se espera una helada nocturna, algunos agricultores queman paja u otros materiales de desecho para generar calor y producir humo, el cual atrapa la radiación. Los camellones elevados que se encuentran a menudo en sistemas tradicionales sirven para controlar la temperatura del suelo y reducir la inundación mejorando el drenaje.

### **3.7.3 Sistemas agrícolas tradicionales milenarios adaptados a condiciones ambientales cambiantes**

Muchos de estos sistemas al parecer consisten en campos elevados construidos sobre tierras de inundación estacional en sabanas y laderas de montaña (Denevan 1995).

En Perú, muchos investigadores han estudiado tales tecnologías precolombinas en busca de soluciones a problemas contemporáneos, como las heladas tan frecuentes en la agricultura en zonas de gran altitud sobre el nivel del mar. Un ejemplo fascinante es el renacimiento de un sistema ingenioso de campos elevados que evolucionó en las altiplanicies de los Andes peruanos, hace aproximadamente 3.000 años. Según evidencia arqueológica aquellos, *waru-warus* o plataformas, rodeados de zanjas llenas de agua, podían producir cosechas abundantes, a pesar de las inundaciones, sequías y heladas, frecuentes en altitudes de casi 4.000 msnm (Erickson y Chandler, 1989).

La combinación de camas elevadas y canales ha demostrado tener efectos importantes en la regulación de la temperatura, prolongando la temporada de crecimiento, lo que permite mayor productividad en los *waru-warus*, en comparación con la de los suelos normales de la puna fertilizados químicamente.

- ***Agricultura de montaña en los Andes***

El patrón de verticalidad, característico de los asentamientos humanos y sistemas agrícolas en los Andes deriva de las diferencias climáticas y bióticas relacionadas con la localización geográfica y altitudinal. La adaptación cultural más importante a estos contrastes ambientales ha sido el sistema de subsistencia: cultivos, animales y tecnologías agropastoriles diseñadas para proveer una dieta adecuada con recursos locales mientras se evitaba la erosión del suelo (Gade, 1999).

La evolución de la tecnología agraria en los Andes centrales ha producido un conocimiento muy sofisticado sobre el manejo del ambiente de montaña. La aplicación de este conocimiento resultó en la división del ambiente andino en franjas agroclimáticas dispuestas de acuerdo a la altitud, cada una caracterizada

por prácticas específicas de rotación del campo y cultivos, terrazas y sistemas de irrigación, y la selección de animales, cultivos y variedades (Brush y otros, 1981).

Otra característica importante de este manejo adaptativo es el mantenimiento de una amplia base genética que reduce la amenaza de la pérdida de cultivos debido a variaciones climáticas o por plagas y patógenos específicos a variedades particulares de los cultivos.

- ***Sistemas de cosecha de agua en ambientes secos***

En África subsahariana, el 40% de la tierra agrícola está ubicada en sabanas semiáridas, secas y subhúmedas con una precipitación anual de 300 a 1.000 mm , pero en décadas recientes, en la región de Sahel, la precipitación ha disminuido entre 20 y 40% y ha producido, además, una severa degradación del suelo. A pesar de la escasez frecuente de agua, en la mayoría de los años hay agua más que suficiente para la producción potencial de los cultivos.

El problema es que grandes volúmenes de agua se pierden por escorrentía superficial, evaporación y percolación profunda. El desafío es cómo capturar esa agua y ponerla a disposición de los cultivos en épocas de escasez (Reij, *et al* 1996).

Aunque la cantidad de precipitación que puede utilizarse efectivamente para el crecimiento de los cultivos en estas tierras es baja, muchos agricultores han creado innovadores sistemas de cosecha de agua que capturan y aprovechan la precipitación limitada (Barrow, 1999). Aquí citamos algunos ejemplos de sistemas tradicionales de cosecha de agua.

En Túnez meridional, como en la mayoría de los ecosistemas semiáridos, los cultivos han estado históricamente en riesgo de sequía fisiológica, así que el agua de lluvia se debe cosechar, concentrar y transferir rápidamente a las áreas cultivadas, reduciendo al mínimo pérdidas por evaporación y percolación.

- ***Los papago y otros indígenas de las zonas semiáridas de América del Norte.***

En estas zonas semiáridas el agua es el principal factor limitante, las experiencias de los indígenas seri, pima, papago y otros grupos, ofrecen opciones locales para agricultura que solo depende de las lluvias.

Estas culturas han usado múltiples especies vegetales del desierto con alto contenido nutritivo como recurso básico para la producción de alimentos en forma apropiada al clima de estas zonas. Algunas de ellas han desarrollado técnicas agrícolas que utilizan canales hechos a mano, terrazas, bermas y otros medios, con el fin de minimizar la pérdida de agua de lluvia por escorrentía. Además, los agricultores nativos manipulan la flora silvestre de los campos inundados eliminando o protegiendo y cosechando especies seleccionadas (Nabhan, 1979).

Este valle, que forma parte del sistema montañoso central de México, ha estado habitado por el grupo étnico otomí o *hñähñü* desde la época precolombina. Los otomí establecieron asentamientos permanentes basados en una agricultura de secano, y construyeron estructuras para la captura de agua (Toledo y otros, 1985). Según los estudios de Johnson (1977), el manejo de recursos naturales que practicaron los otomí refleja un nivel de producción diversificada, adaptada a los diversos paisajes del valle de Mezquital, así como un énfasis en la agricultura de secano y uso intensivo del maguey (*Agave spp*).

Con un conocimiento detallado de suelos, relieve, vegetación y los movimientos del agua, los otomí construyen *bordos* para atrapar el agua lluvia y concentrar los sedimentos en el suelo. La colocación de piedras y de plantas del maguey es crucial durante la construcción de bordos, y los campos se fertilizan con estiércol para mejorar el suelo.

En muchas partes de Burkina Faso y de Mali existen antiguos sistemas de cosecha de agua conocidos como *zai*. Los *zai* son hoyos que los agricultores cavan en los suelos de roca dura estéril, en los cuales el agua no podría penetrar de otra manera. Los hoyos tienen entre 20 y 30 cm de profundidad y se llenan con materia orgánica. Esto atrae a las termitas que cavan canales y mejoran así la estructura del suelo de modo que más agua pueda infiltrarse y mantenerse en el

suelo. Las termitas, al digerir la materia orgánica, permiten que los nutrientes estén más disponibles para las plantas. En un zai, la mayoría de agricultores produce mijo o sorgo, o ambos cultivos simultáneamente. También en un mismo zai siembran árboles junto con los cereales.

A través de los años, millares de agricultores en la región de Yatenga de Burkina Faso han utilizado esta técnica mejorada localmente para recuperar centenares de hectáreas de tierras degradadas. El uso del zai permite que los agricultores amplíen su base de recursos y aumenten la seguridad alimentaria de sus hogares.

No hay duda de que el sustento de miles de comunidades de agricultores familiares, de agricultores tradicionales y de los pueblos en países en desarrollo se verá afectado seriamente por los cambios climáticos (Morton, 2007). También es cierto que miles de agricultores tradicionales en muchas áreas rurales se han adaptado a los ambientes cambiantes, desarrollando sistemas diversos y resilientes en respuesta a las diversas restricciones que han enfrentado a través del tiempo.

#### **3.7.4 Otras estrategias de adaptación**

Observaciones del desempeño agrícola después de eventos climáticos extremos, realizadas durante las dos últimas décadas, han revelado que la resiliencia a los efectos de los desastres climáticos está íntimamente relacionada con los niveles de biodiversidad. Las mediciones realizadas en laderas después del huracán Mitch demostraron que los agricultores que usaban prácticas de diversificación tales como cultivos de cobertura, cultivos intercalados y agroforestería sufrieron menos daño que sus vecinos convencionales con monocultivos.

Muchos de los sistemas agrícolas tradicionales alrededor del mundo sirven como modelos de sostenibilidad que ofrecen ejemplos de medidas de adaptación que pueden ayudar a millones de pobladores rurales a reducir su vulnerabilidad al impacto del cambio climático.

- ***Algunas otras estrategias de adaptación incluyen:***
- Uso de variedades/especies adaptadas localmente mostrando adaptaciones más apropiadas al clima y a los requerimientos de hibernación o resistencia incrementada al calor y la sequía.
- Incremento del contenido de materia orgánica de los suelos a través de la aplicación de estiércol, abonos verdes, cultivos de cobertura, etc., para una mayor capacidad de retención de humedad.
- Un uso más amplio de tecnologías de captación o recolección de agua, conservación de la humedad del suelo mediante mulching, y un uso más eficiente del agua de riego.
- Manejo adecuado del agua para evitar las inundaciones, la erosión y lixiviación de nutrientes cuando la precipitación pluvial aumenta.
- Uso de estrategias de diversificación como cultivos intercalados, agroforestería, etc., e integración animal.
- Prevención de plagas, enfermedades e infestaciones de malezas mediante prácticas de manejo que promueven mecanismos de regulación biológica y otros (antagonismos, alelopatía, etc.), y desarrollo y uso de variedades y especies resistente a plagas y enfermedades.
- Uso de indicadores naturales para el pronóstico del clima para reducir riesgos en la producción.

El desafío ahora es cómo movilizar rápidamente este conocimiento de modo que pueda aplicarse en la restauración de áreas ya afectadas o para preparar aquellas áreas rurales con pronóstico de ser afectadas por el cambio climático.

Para que esta transferencia horizontal ocurra rápidamente, el énfasis debe estar en involucrar directamente a los agricultores en la extensión de innovaciones a través de redes agricultor a agricultor bien organizadas. La consolidación de la investigación local y el desarrollo de capacidades para resolver problemas deben

ser los focos principales de acción para enfrentar los retos del cambio climático.

La organización de productores y otros interesados, alrededor de proyectos para promover la resiliencia agrícola al cambio climático, debe hacer un uso eficaz de las habilidades y conocimientos tradicionales, ya que ello proporciona una plataforma para el aprendizaje y la organización local, mejorando así las posibilidades de empoderamiento de la comunidad y de estrategias de desarrollo autosuficientes frente a la variabilidad climática.

**Cuadro 36. Propuesta para el uso integrado y sustentable de los recursos agroalimentarios**

<b>Estrategia</b>	<b>Actividad</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Medidas preventivas y Estrategias de adaptación climática para los cultivos</b>	Sistemas de monitoreo climático	<i>Prevención de plagas e infestaciones de malezas</i>
	Sistemas de alarma comunicados satelitalmente con los usuarios	<i>Prevención de daños por eventos climáticos extremos</i>
	Monitoreo de plantas silvestres como indicadores biológicos de las variaciones climáticas	<i>Prevención de plagas e infestaciones de malezas</i>
	Selección de especies y variedades	<i>Uso de variedades/especies adaptadas localmente, uso de variedades y especies resistentes a plagas y enfermedades.</i>
	Planeación de fechas de siembra basadas en el monitoreo agroclimático	<i>Incremento en los rendimientos de los cultivos</i>
	Planeación de labores de cultivo	<i>Incremento en los rendimientos de los cultivos y prevención de plagas e infestaciones de malezas</i>
<b>Técnicas correctivas y Estrategias de adaptación para</b>	Sistemas de cultivos múltiples o policultivos	<i>Aumento de la adaptabilidad y resiliencia de los sistemas agrícolas</i>



<b>los agricultores</b>	Colecta de plantas silvestres	<i>Reserva de germoplasma con fines de mejoramiento genético</i>
	Sistemas de agroforestería y mulching	<i>Incremento del contenido de materia orgánica de los suelos y de la estabilidad de los sistemas</i>
<b>Sistemas agrícolas adaptados a condiciones ambientales cambiantes</b>	Uso de Técnicas Agrícolas de montaña	<i>Incremento en los rendimientos de los cultivos y prevención de pérdidas de suelo y nutrientes</i>
	Sistemas de cosecha de agua en ambientes secos	<i>Prevención de daños a los cultivos por déficit de humedad</i>
	Uso de Técnicas Agrícolas de zonas semiáridas	<i>Prevención de daños a los cultivos por déficit de humedad</i>

## **3.9 ARTÍCULO ENVIADO**

From: jocksflay14@hotmail.com  
To: emota@um.es  
CC: jggc1321@yahoo.com.mx; xanynemiga@rocketmail.com; mplata@colpos.mx  
Subject: Envío Artículo para dictamen  
Date: Wed, 10 Dec 2014 12:40:40 -0600

**Secretaría de la Revista *Papeles de Geografía***  
**Departamento de Geografía**  
**Facultad de Letras**  
**Universidad de Murcia, España**

**PRESENTE**

Por este medio me permito enviar para su dictamen y en caso favorable su publicación en esta prestigiada revista, nuestro trabajo que lleva por título:

**VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y LA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA: ANÁLISIS DE UNA CUENCA EN EL ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO.**

El documento ha sido estructurado y editado de acuerdo a las Normas de Colaboración establecidas por la revista.

Quedamos en espera de sus observaciones y sugerencias y nos despedimos con saludos cordiales.

**Atentamente.**  
**Ing. Jocksan Edrey Reyes Andrade.**  
**Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Ambientales.**  
**Universidad Autónoma del Estado de México.**

**Artículo enviado a la revista Papeles de Geografía, Universidad de Murcia, España.**

**VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y LA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA:  
ANÁLISIS DE UNA CUENCA EN EL ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO.**

J. E. Reyes Andrade\*, J. G. Gutiérrez Cedillo, X. Antonio Némiga, M. A. Balderas  
Plata

**RESUMEN.**

El objetivo de este trabajo fue evaluar la correlación entre la variabilidad climática y la producción agroalimentaria, en la Cuenca del Río Calderón, en el Altiplano Central de México, en el contexto del cambio climático. Se analizaron los patrones temporales y espaciales de temperatura en la cuenca, así como los cambios en la producción agrícola durante el período 1980-2009; finalmente se analizó la correlación existente entre los patrones de variabilidad térmica y la producción alimentaria. Las variaciones de temperatura por décadas en la cuenca han sido de hasta 1.4°C para la temperatura máxima mensual; de 0.9°C para la media mensual; y 1.2°C para la mínima mensual. Los cultivos que han incrementado su producción en las últimas décadas son el trigo en grano y el tomate verde; mientras que ha disminuido la producción de maíz, papa, haba, frijol y tomate rojo. Las correlaciones más altas con las variaciones de temperatura mínima, se observan para los cultivos de papa, haba verde y frijol; las variaciones en la temperatura máxima están mejor correlacionadas con los cultivos de papa, haba verde, tomate verde y tomate rojo.

**Palabras clave:** altiplano central de México, cuenca, producción agroalimentaria, variabilidad climática.

**CLIMATE VARIABILITY AND AGRIFOOD PRODUCTION ANALYSIS OF A  
WATERSHED IN THE CENTRAL HIGHLANDS OF MEXICO.**

**Abstract.** The objective of this study was to evaluate the correlation between climate variability and food production at the Calderón River Basin in the central highlands of Mexico, in the context of climate change. The temporal and spatial patterns of temperature in the basin as well as changes in agricultural production during the period 1980-2009 were analyzed; finally the correlation between patterns of thermal variability and food production was analyzed. Temperature variations between decades at the basin, have been until 1.4°C for maximum monthly temperature; of 0.9°C for medium monthly; and 1.2°C for minimum monthly. The crops that have been increased production at last decades are wheat for grain and green tomato; while have diminished production corn, potato, green bean, grain bean and red tomato crops. Higher correlations with minimum temperature variations, are observed with potato, green bean and grain bean crops; maximum temperature variations are better correlated with potato, green bean, green tomato and red tomato crops.

**Keywords:** agro alimentary production, basin, climatic variability, Mexico central highlands,

## I. - INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática interanual afecta actividades humanas sensibles, como la agricultura. El número creciente de eventos climatológicos extremos que han ocurrido en los pasados 15 a 20 años, sugiere que tales eventos están siendo más constantes y severos, con el aumento creciente de pérdidas económicas (HAGGAR, 2008.). Por esta razón, existe una preocupación generalizada por buscar soluciones que permitan que la población que es afectada por la inseguridad de la producción agrícola y económica, pueda adaptarse a las variaciones climáticas que afectan el proceso productivo (ALTIERI Y NICHOLLS, 2009).

Diversos efectos y condiciones se han asociado con estas variaciones en precipitación y temperatura relacionadas con el cambio climático. Este cambio de clima afectará seriamente la agricultura a nivel mundial. Otra de las consecuencias esperadas son la disminución de la calidad de los cultivos, una mayor lixiviación de nitrógeno y erosión del suelo, y la menor disponibilidad de tierras y recursos hídricos para la actividad agrícola (ORTIZ, 2008).

La adaptación de la agricultura al cambio climático debe contemplar los aumentos en las temperaturas, las épocas cortas de cultivo y la escasez de agua y el triple impacto que estos factores tienen: a nivel global y a nivel nacional. Si bien el cambio climático tendrá impactos negativos sobre la agricultura, habrá una oportunidad de forjar agroecosistemas productivos, competitivos y compatibles con el medio ambiente (ORTIZ, 2008).

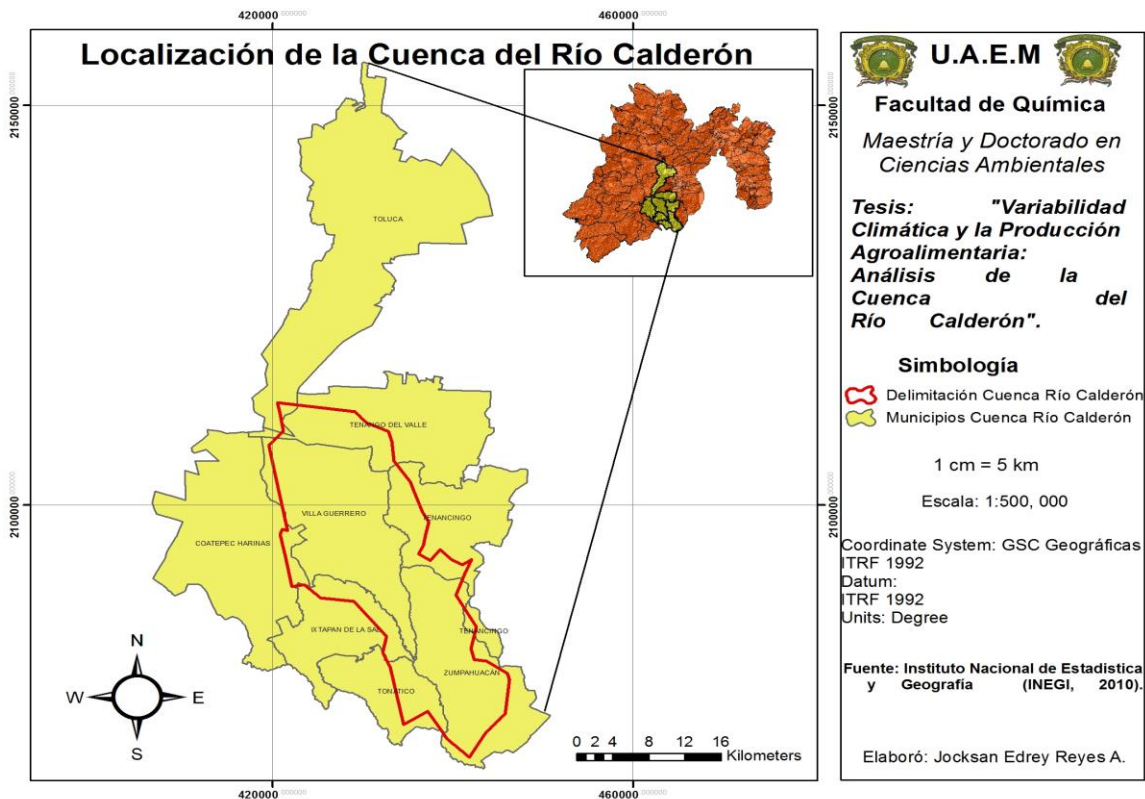
Es recomendable realizar nuevos estudios de zonificación agrícola, en vista de que las zonas que bajo las condiciones actuales se juzga son las más adecuadas para un cultivo dado o una combinación de cultivos, pueda verse reducida, ampliada o desplazada. La estructura socioeconómica de la comunidad laboral en las regiones analizadas se modifica, dependiendo de la intensidad en que los efectos de la variabilidad climática se manifiesten. Los distintos efectos que los cambios climáticos pueden tener sobre los cultivos y sobre los rendimientos, pueden también influir en el suministro alimenticio regional, en los ingresos de las

explotaciones agrícolas, en las tasas de actividad económica de la zonas afectadas, y en el empleo rural (VERNER, 2011).

## 2.- AREA DE ESTUDIO

El territorio del Estado de México presenta una zona de transición ecológica denominada Provincia de las Serranías Meridionales que divide al territorio en otras dos provincias: 1) al norte la Provincia de la Altiplanicie, y 2) al sur la Provincia de la Depresión del río Balsas, perteneciente a la Región Caribeña del Reino Neotropical, caracterizada por la presencia de climas cálidos y semicálidos. Comprende porciones de los municipios de Villa Guerrero que colinda al norte con el municipio de Toluca, al este se encuentra Tenango del Valle, al sur se encuentran los municipios Tonatico y Zumpahuacán, representa un elemento geográfico de trascendencia para las familias de la región. En este lugar coexisten diversos ecosistemas con elementos geográficos, paisajísticos, geomorfológicos, hidrológicos y amplia biodiversidad que pueden ser utilizados para el turismo alternativo. (GEM, 1995: 39).

**Mapa 1.** Ubicación geográfica del área de estudio.



Fisiográficamente en la cuenca los niveles altitudinales quedan comprendidos entre las cotas 1,160 y 4680 msnm. Y cuenta con una morfología accidentada, donde la topografía y las condiciones del relieve han originado variadas estructuras como los sistemas de barrancos, lomeríos y mesetas. El suelo predominante es el Vertisol Pélico, que es arcilloso de coloración negra y grisácea, con clase textural fina en los primeros 30 centímetros de la superficie.

El clima corresponde al grupo A(C) wg, que corresponde a un clima tropical lluvioso, semicálido, (de transición entre el clima cálido y templado) con elevadas temperaturas durante la primavera y el verano. La hidrología de esta cuenca tiene su origen en las elevaciones orientales de la región y que aumentan el caudal en el sistema de barrancas formado por los ríos Temozolapa, Tenancingo, Calderón, Nenetzingo, San Martín, San Jerónimo, Copal, Arroyo Grande y Tintocho o Juirogo (JUAN, 2010).

La cuenca por estar ubicada en una zona de transición ecológica posee amplia diversidad biológica y agrobiodiversidad que favorecen y complementan la dieta alimentaria. Por esto la cuenca cuenta con una amplia diversidad de vegetación que está compuesta por bosques de pino, aile, ocote, oyamel, encino, tepozán, ayacahuite, aile, oyamel, cedrón, madroño y llorón, bosque mixto de hojas caducas y selva baja caduciforme. En estas condiciones se desarrollan bien diversas especies de cultivos y frutas tropicales. (GEM, 1995: 39).

### **3.-MATERIALES Y METODOS**

Las actividades de investigación y desarrollo se realizaron en el espacio geográfico que comprende la Cuenca del Río Calderón, ubicada en una porción del Subtrópico del Altiplano Central México. La metodología general de trabajo se basó en la información existente a nivel local sobre la producción agrícola y variables hidroclimatológicas. Se emplearon técnicas de análisis relacionadas con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con la hidroclimatología y previsión meteorológica.



Para realizar la caracterización geográfica de la Cuenca se delimitó cartográficamente el espacio geográfico que comprende la cuenca del río Calderón. Se emplearon las técnicas de análisis como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para representar cartográficamente la cuenca de estudio. Para realizar la caracterización sistémica de la cuenca del río Calderón en el contexto de la zona de transición ecológica del Estado de México, se identificaron y representaron cartográficamente los elementos geográficos, ambientales, ecológicos y agrícolas más significativos.

Para el análisis de los patrones temporales de temperatura en la cuenca se elaboró una base de datos, que permitió analizar las variaciones de la temperatura media anual, temperatura máxima promedio anual, temperatura mínima promedio anual en un período de 40 años (de 1970 a 2009). Y se realizó el georeferenciamiento de los puntos de observación, para comparar los patrones climáticos y espaciales de la cuenca.

Para el análisis de los cambios detectados sobre la producción alimentaria, se elaboró una base de datos que permitió analizar las variaciones de la producción agroalimentaria, en un período de 30 años (de 1980 a 2009). Determinando así, las variaciones en los rendimientos de los principales cultivos de la zona. Se realizó un inventario de los principales sistemas agrícolas y tipos de cultivos, establecidos en las áreas agrícolas de la cuenca. Se estableció un sistema de relaciones para estudiar las variables climáticas de temperatura, en relación con la producción agroalimentaria.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 ANÁLISIS DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS EN LA CUENCA**

En el Cuadro 1 se presentan las variaciones en la temperatura mínima de las estaciones analizadas. El registro mínimo corresponde a la estación Toluca – Calixtlahuaca en las cuatro décadas estudiadas con un promedio de 4.5° C, la cual se encuentra a una altitud de 2,630 msnm, le sigue la estación Tenango del Valle con un promedio de 5.3° C, la estación se encuentra ubicada a 2,858 msnm, Villa

Guerrero presenta un promedio de 9° C, y se encuentra a 2,291msnm, Zumpahuacan presenta un promedio de 10.7° C la estación está ubicada a 1,934 msnm y la temperatura mínima más alta se registra en la estación Tonicico con un promedio de 12.4° C y se encuentra a una altitud de 1,584 msnm. El registro mínimo corresponde a Toluca para la década de 1970 a 1979 con un valor de 4.4° C, la máxima se observa para Tonicico en la década de 1980 a 1989 con un valor de 12.7° C. Las mayores variaciones de la temperatura mínima por década se observan para Zumpahuacán (1.2°C).

**Cuadro 1. Temperatura Mínima de las Estaciones, por décadas (1970- 2009).**

Período	Nombre y Clave de Estación.				
	Toluca-Calixtlahuaca	Tenango del Valle	Villa Guerrero	Zumpahuacan	Tonicico
	15203	15122	15299	15366	15248
<b>1970-1979</b>	4.4	5.4	9.0	11.5	12.4
<b>1980-1989</b>	4.5	5.2	8.9	10.3	12.7
<b>1990-1999</b>	4.6	5.1	9.1	10.5	12.3
<b>2000-2009</b>	4.7	5.5	9.0	10.5	12.3

***Fuente: Elaboración propia a partir del Servicio Meteorológico Nacional, 2013.***

En el Cuadro 2 se presentan las variaciones en la temperatura media de las estaciones analizadas. La estación Toluca – Calixtlahuaca en las cuatro décadas estudiadas presenta un promedio de 13.3° C; le sigue la estación Tenango del Valle con un promedio de 13.1° C; Villa Guerrero presenta un promedio de 15.8° C; Zumpahuacan presenta un promedio de 17.9° C y la temperatura media más alta se registra en la estación Tonicico con un promedio de 19.9° C. El registro mínimo de temperatura media mensual corresponde a Tenango del Valle para la

década de 1990 a 1999 con un valor de 12.7° C, la máxima se observa en Tonicico en las décadas de 1970, 1990 y 2000 con un valor de 20° C. Las mayores variaciones de la temperatura media por década se observan para Tenango del Valle (0.9°C).

**Cuadro 2. Temperatura Media de las Estaciones, por décadas (1970- 2009).**

Período	Nombre y Clave de Estación.				
	Toluca-Calixtlahuaca	Tenango del Valle	Villa Guerrero	Zumpahuacan	Tonicico
	15203	15122	15299	15366	15248
<b>1970-1979</b>	13.4	13.3	16.0	18.3	20.0
<b>1980-1989</b>	13.1	13.1	15.6	17.6	19.8
<b>1990-1999</b>	13.2	12.7	15.8	17.9	20.0
<b>2000-2009</b>	13.5	13.6	16.0	18.1	20.0

***Fuente: Elaboración propia a partir del Servicio Meteorológico Nacional, 2013.***

En el Cuadro 3 se presentan las variaciones de temperatura máxima de las estaciones analizadas. La estación Tonicico presenta la temperatura máxima con un promedio de 27.4° C; le sigue la estación Zumpahuacan con un promedio de 24.8° C, Villa Guerrero presenta un promedio de 22.5° C, Toluca presenta un promedio de 21.8° C y la temperatura máxima más baja se registra en la estación Tenango del Valle con un promedio de 20.9° C. El registro mínimo corresponde a Tenango del Valle para la decada de 1990 a 1999 con un valor de 20.3° C, la máxima se observa en Tonicico en la década de 1990 y 2000 con un valor de 27.7° C. Las mayores variaciones de la temperatura máxima por década se observan para Tenango del Valle (1.4°C), Villa Guerrero (1.2°C) y Tonicico (0.8°C).

**Cuadro 3. Temperatura Máxima de las Estaciones, por décadas (1970- 2009).**

Período	Nombre y Clave de Estación.				
	Toluca-Calixtlahuaca	Tenango del Valle	Villa Guerrero	Zumpahuacan	Tonatico
	15203	15122	15299	15366	15248
<b>1970-1979</b>	22.1	21.2	22.9	25.1	27.6
<b>1980-1989</b>	21.7	20.7	21.7	24.8	26.9
<b>1990-1999</b>	21.5	20.3	22.5	24.5	27.7
<b>2000-2009</b>	22.2	21.7	22.9	24.8	27.7

***Fuente: Elaboración propia a partir del Servicio Meteorológico Nacional, 2013.***

#### 4.2 ANÁLISIS DE LA DINÁMICA AGRÍCOLA EN LA CUENCA POR CULTIVO (1980- 2009).

##### CULTIVO DE MAÍZ

En el caso del cultivo de maíz, en cada zona la productividad varía notablemente, por lo que la importancia agrícola no debe estimarse sólo por el número de hectáreas cultivadas, sino que deben tomarse en cuenta los rendimientos y competitividad del cereal de mayor consumo de la población.

Como se muestra en el cuadro 4, el municipio que presentó mayor rendimiento fue Tenango del Valle en la década de 1980 a 1989 y el municipio que presentó menos rendimiento fue Zumpahuacan. Para la década de 1990 a 1999 Tonicato presentó el mayor rendimiento, siendo su rendimiento casi el doble del que presentó Villa Guerrero con 2.5 (Ton/ha). Para nuestra última década de estudio Tenango del Valle presentó el menor rendimiento y el municipio de Toluca presentó el mayor rendimiento con 3.37 (Ton/ha).

**Cuadro 4. Rendimiento de los principales cultivos (ton/ha).**

Municipio	1980-1989	1990-1999	2000-2009
<b>MAÍZ GRANO</b>			
Toluca	4.77	4.40	3.37
Tenango del Valle	5.80	4.07	2.40
Villa Guerrero	2.49	2.50	2.16
Zumpahuacan	2.15	2.77	2.09
Tonatico	3.26	4.96	2.52
<b>CHICHARO</b>			
Toluca	2.8	2.5	2.8
Tenango del Valle	4.0	5.0	4.6
<b>PAPA</b>			
Toluca	22.0	25.0	22.2
Tenango del Valle	30.0	24.0	27.5
<b>TRIGO DE GRANO</b>			
Toluca	2.0	1.4	3.2
<b>HABA VERDE</b>			
Tenango del Valle	8.0	6.0	5.8
Villa Guerrero	5.0	5.1	4.7
<b>FRIJOL</b>			
Villa Guerrero	1.0	1.0	0.9
Zumpahuacan	1.0	1.0	0.9
Tonatico	1.8	1.2	1.0
<b>TOMATE VERDE</b>			
Villa Guerrero	9.31	8.00	15.50
Zumpahuacan	8.81	8.79	8.00
Tonatico	4.48	10.31	10.94
<b>SORGO DE GRANO</b>			
Zumpahuacan	6.0	6.0	5.0
<b>TOMATE ROJO (JITOMATE)</b>			
Tonatico	22.28	22.58	20.28

**Fuente:** *Elaboración propia a partir del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA, 2014).*

**Nota:** *Sólo se enlistan los municipios de la cuenca con producción de cada cultivo.*

#### CULTIVO DE CHÍCHARO

En el país, el Estado de México es uno de los principales productores de chícharo; en el año 2003 se sembraron 8,000 hectáreas distribuidas en las regiones de Tenango del Valle, Coatepec Harinas, Valle de Bravo, Toluca, Tejupilco, Texcoco y Atlacomulco. En la región de Coatepec Harinas la mayor superficie se siembra

en el ciclo primavera-verano bajo condiciones de humedad residual (3,000 ha) y una menor proporción de riego (400 ha); en el ciclo otoño-invierno se siembran 900 hectáreas en humedad residual y 800 hectáreas en condiciones de riego. El cuadro 4 muestran el rendimiento promedio que presentó el cultivo; en Tenango del Valle se presenta mayor rendimiento en todas las décadas de estudio, en la década de 1990 a 1999 se obtuvo el doble del rendimiento del que se presentó en el municipio de Toluca.

#### CULTIVO DE PAPA

Los datos de producción de papa, en el Estado de México, indican que tiene gran importancia socioeconómica, ya que en 2008, contribuyó con 126 mil toneladas, con un valor aproximado de 41 millones de dólares, lo cual le ubica en cuarto lugar nacional de producción, después de Sinaloa, Sonora y Chihuahua, esta producción se obtuvo en 4554 ha, distribuidas en 26 municipios (SEDAGRO 2008). El cuadro 4 muestra el rendimiento del cultivo de papa que se presenta en los municipios de Toluca y Tenango del Valle; este último presenta mayor rendimiento con respecto al municipio de Toluca en las décadas de 1980 a 1990 y del 2000 a 2009.

#### CULTIVO DE TRIGO

Después del maíz y el frijol, el trigo es una de las tres fuentes más importantes de nutrientes, es por esto que el cultivo de trigo como producto básico es de gran relevancia para el desarrollo socioeconómico de México. El rendimiento promedio nacional del ciclo otoño-invierno es de 5.3 toneladas por hectárea; el de primavera-verano, de aproximadamente 2.0 toneladas por hectárea (VILLASEÑOR Y ESPITIA, 2000 a). Como se muestra en el cuadro 4, solo en el municipio de Toluca se cultiva el trigo de grano, y fue la última década de estudio la que presentó un rendimiento de más del doble en comparación de la década de 1990 a 1999.

## CULTIVO DE HABA VERDE

A nivel nacional, el Estado de México es el principal productor de haba verde, que se comercializa principalmente en la Ciudad de México y Toluca, y en menor proporción se distribuye en los mercados locales. El cuadro 4 muestra los rendimientos que presentó este cultivo en los municipios de Tenango del Valle y Villa Guerrero. Para la década de 1980 en Tenango se presentó un rendimiento alto de 8 ton/ha que ha ido disminuyendo, ya que para la última década de estudio fue de 5.8 ton/ha. Para el municipio de Villa Guerrero el rendimiento mostrado a lo largo de este periodo fue estable y no ha tenido gran variación.

## CULTIVO DE FRIJOL

El cultivo del frijol ocupa un lugar importante en la economía agrícola del país, tanto por la superficie que se le destina, como por la derrama económica que genera. En conjunto con el maíz constituyen los productos de mayor importancia socioeconómica, tanto por la superficie de siembra como por la cantidad consumida per cápita. En el cuadro 4 se muestra un rendimiento estable para Villa Guerrero y Zumpahuacan; el municipio de Tonalico presentó mayor rendimiento en la década de 1980 a 1999.

## CULTIVO DE TOMATE VERDE

El cultivo de tomate verde se produce en los municipios de Villa Guerrero, Zumpahuacan y Tonalico, en Villa Guerrero se presentó el mayor rendimiento en la última década de estudio, para Tonalico el rendimiento ha ido en aumento en las últimas dos décadas analizadas, Zumpahuacan ha presentado un rendimiento estable.

## CULTIVO DE SORGO DE GRANO

El cultivo de sorgo es el quinto cereal más importante del mundo (FAO-ICRISAT, 1997); y según la Comisión Latinoamericana de Investigadores de Sorgo (CLAIS), ocupa el segundo lugar en América Latina; los países más importantes por su producción y superficie son Estados Unidos de América y México, donde existe un

patrón muy definido para la producción del grano que se destina a la comercialización para consumo animal en forma de alimento balanceado. El cultivo de sorgo en la cuenca se produce sólo en Zumpahuacan y presenta menor rendimiento en la última década de estudio.

#### CULTIVO DE TOMATE ROJO (JITOMATE)

México ocupa el segundo lugar en exportaciones mundiales de tomate. El tomate rojo se cultiva en el municipio de Tonatico y tiene un rendimiento promedio de 22 ton/ha, el cultivo de jitomate es cada vez más difícil de realizar, debido a las condiciones ambientales adversas de temperatura, nubosidad y precipitación, así como plagas y enfermedades.

En resumen las variaciones más relevantes en el rendimiento de los cultivos, a lo largo de las décadas estudiadas, se observa con tendencia a disminuir para: el maíz en Tenango (-58.6%) y en Tonatico (-49.2%); la papa en Toluca (-18.2%) y en Tenango (20.0%); el haba verde en Tenango (-27.5%); el frijol en Tonatico (-44.4%) y el tomate rojo en Tonatico (-10.2%). Con tendencia a aumentar en rendimiento: trigo de grano en Toluca (57.8%) y el tomate verde en Villa Guerrero (48.4%) y Tonatico (59.04%).

#### 4.3 ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LOS PATRONES DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA.

Para el análisis de la correlación entre los cambios de temperatura y los cambios en el rendimiento de los cultivo, se considera correlaciones: muy alta (0.80-0.99), alta (0.60-0.79), media (0.40-0.59), baja (0.20-0.39) y muy baja (0.01-0.19). Son correlaciones negativas cuando una variable crece, mientras la otra decrece; y positivas cuando ambas crecen o decrecen. El análisis de correlaciones se realizó para la temperatura mínima mensual y para la máxima mensual.



Para las temperaturas mínimas mensuales, se observan correlaciones medias y positivas con los cultivos de papa en Toluca, haba verde en Tenango y frijol en Zumpahuacán; lo que significa que al aumentar la temperatura mínima, aumenta el rendimiento en estos cultivos; también muy cercana a la correlación media se observa la papa en Tenango y el frijol en Villa Guerrero. Otros cultivos en los municipios, presentan correlaciones baja y muy baja (Cuadro 5).

**Cuadro 5. COEFICIENTES DE CORRELACION DE TEMPERATURAS MINIMAS MENSUALES Y RENDIMIENTO POR CULTIVO (1980 - 2009).**

	<b>Toluca</b>	<b>Tenango del Valle</b>	<b>Villa Guerrero</b>	<b>Zumpahuacan</b>	<b>Tonatico</b>
<b>Maíz Grano</b>	*0.0592	**0.3532	*0.1350	*0.1264	*-0.1716
<b>Chícharo</b>	**0.2758	*0.1150			
<b>Papa</b>	***0.4257	**0.3943			
<b>Trigo Grano</b>	**0.3135				
<b>Haba Verde</b>		***0.5258	** -0.2784		
<b>Frijol</b>			**0.3743	***0.4747	** -0.2058
<b>Tomate Verde</b>			** -0.3581	** -0.3937	*0.0196
<b>Sorgo de Grano</b>				** -0.2909	
<b>Tomate Rojo (Jitomate)</b>					* -0.0276

Fuente:

Nota: Correlación: muy alta\*\*\*\*\*; alta\*\*\*\*; media\*\*\*; baja\*\*; muy baja\*

Para las temperaturas máximas mensuales, se observan correlaciones altas y positivas con los cultivos de papa y haba verde en Tenango y tomate verde en Tonicato; lo que significa que al aumentar la temperatura máxima, aumenta el rendimiento en estos cultivos; correlaciones medias y positivas se observan para el haba verde y tomate verde en Villa Guerrero y muy cercana a la correlación alta

para el tomate rojo en Tonalico. Otros cultivos en los municipios, presentan correlaciones baja y muy baja (Cuadro 6).

**Cuadro 6. COEFICIENTES DE CORRELACION DE TEMPERATURAS MAXIMAS MENSUALES Y RENDIMIENTO POR CULTIVO (1980 - 2009).**

	<b>Toluca</b>	<b>Tenango del Valle</b>	<b>Villa Guerrero</b>	<b>Zumpahuacan</b>	<b>Tonalico</b>
<b>Maíz Grano</b>	** -0.3015	** 0.3808	* -0.2390	*** -0.4019	* 0.1363
<b>Chícharo</b>	** -0.2180	* 0.1771			
<b>Papa</b>	* -0.0698	**** 0.7164			
<b>Trigo Grano</b>	** -0.3543				
<b>Haba Verde</b>		**** 0.6404	*** 0.4034		
<b>Frijol</b>			* -0.0813	* -0.1924	* 0.0856
<b>Tomate Verde</b>			*** 0.4983	** 0.2387	**** 0.6380
<b>Sorgo de Grano</b>				* 0.1148	
<b>Tomate Rojo (Jitomate)</b>					*** 0.5482

Fuente:

Nota: Correlación: muy alta\*\*\*\*; alta\*\*\*\*; media\*\*\*; baja\*\*; muy baja\*

## 5. CONCLUSIONES

Las mayores variaciones de la temperatura mínima por década se observan para Zumpahuacán; las mayores variaciones de la temperatura media por década se observan para Tenango del Valle; las mayores variaciones de la temperatura máxima por década se observan para Tenango del Valle ,Villa Guerrero y Tonalico.

Las variaciones más relevantes en el rendimiento de los cultivos, a lo largo de las décadas estudiadas, se observa con tendencia a disminuir para: el maíz en Tenango y en Tonatico; la papa en Toluca y en Tenango; el haba verde en Tenango; el frijol en Tonatico y el tomate rojo en Tonatico. Con tendencia a aumentar en rendimiento: trigo de grano en Toluca y el tomate verde en Villa Guerrero y Tonatico.

Para las temperaturas mínimas mensuales, se observan correlaciones medias y positivas con los cultivos de papa en Toluca, haba verde en Tenango y frijol en Zumpahuacán; también muy cercana a la correlación media se observa la papa en Tenango y el frijol en Villa Guerrero. Para las temperaturas máximas mensuales, se observan correlaciones altas y positivas con los cultivos de papa y haba verde en Tenango y tomate verde en Tonatico; correlaciones medias y positivas se observan para el haba verde y tomate verde en Villa Guerrero y muy cercana a la correlación alta para el tomate rojo en Tonatico.

### **Bibliografía**

1. ALTIERI, M. Y C. NICHOLLS. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología* 3: 7–28.
2. FAO-ICRISAT. La Economía del sorgo y del mijo en el mundo; hechos, tendencias y perspectivas. ICRISAT. 123 p. 1997
3. HAGGAR, J. 2008. *Impact of ClimateChange on Coffee Farming Households in Central America and Steps for Adaptation in the Future*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
4. ORTIZ, R. 2008. Crop genetic engineering under global climate change. *Annals of Arid Zone* 47: 343–54.
5. ORTIZ, R., K. D. SAYRE, B. GOVAERTS, R. GUPTA, G. V. SUBBARAO, T. BAN, D. HODSON ET AL. 2008. Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 126: 45–58.

6. PÉREZ, J. I. J; ANTONIO, N. X; MONROY G. J. F; GUTIÉRREZ, C.J. G; BALDERAS, P. M. Á; LOIK, M. E.; HERNÁNDEZ, G. M. M; CAMACHO, S. J. M. Variaciones climáticas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, Estado de México: 1960-2007. CIENCIA ergo sum, Vol. 17-2, julio-octubre 2010. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. Pp. 143 - 153.
7. SEDAGRO (2008, 4 DE ABRIL). Reglas de operación del programa reforestación y restauración integral de microcuencas. Gaceta del Gobierno, (64). (GEM).
8. VERNER, D. 2011. Social implications of climate change in Latin America and the Caribbean. *Economic Premise* 61. Washington D.C.: Banco Mundial.
9. VILLASEÑOR M., H. E. 2000A. Importancia del trigo. *In: El Trigo de Temporal en México*. Villaseñor M., H. E., y Espitia R., E. (eds.). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación del Centro (CIRCE), Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Estado de México, M

## CONCLUSIONES

Incrementar la capacidad de comprensión de la variabilidad climática actual y futura implica desarrollar estrategias de mediano y largo plazo, mejorar el sistema actual de información, el rescate de información histórica en papel y generar un sistema abierto de bases de datos son solo algunos de los lineamientos sugeridos en el presente documento.

Comprender la variabilidad climática es solo una parte de la capacidad de adaptación y transformación actual y futura. De acuerdo a la información presentada en este documento, la mayor vulnerabilidad del sistema productivo no parece estar relacionada a un cambio sustancial en la variabilidad del sistema natural.

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación entre los científicos ya que variables climáticas claves para el crecimiento de los cultivos (por ejemplo: precipitación, temperatura, etc.) podrían ser severamente afectadas y así impactar la producción agrícola.

Aunque los efectos de los cambios en el clima sobre la producción de cultivos varía ampliamente de una región a otra, se espera que los cambios anticipados tengan grandes efectos y de gran envergadura principalmente en zonas tropicales de países en desarrollo con regímenes de precipitación que se encuentran entre semiárido y húmedo (Cline 2007).

Los peligros incluyen el incremento en las inundaciones en las áreas bajas, mayor frecuencia y severidad de sequías y calor excesivo en áreas semiáridas, condiciones que en su conjunto pueden limitar el crecimiento de los cultivos y sus rendimientos (Howden 2007).

La mayoría de los modelos de cambio climático predicen que los daños serán compartidos de manera desigual por agricultores pequeños en vías de desarrollo, y particularmente por aquellos que dependen de las lluvias.

El incremento en temperatura, sequía, precipitaciones fuertes, etc.; podrían reducir la productividad hasta en un 50% en algunas regiones, especialmente en zonas secas. Algunos investigadores predicen que en la medida que el cambio climático reduzca los rendimientos, los efectos sobre el bienestar de las familias dedicadas a la agricultura de subsistencia pueden ser muy severos, especialmente si el componente de productividad es reducido.

A medida que las temperaturas continúan elevándose, el impacto en la agricultura será significativo (Doering *et al* 2002). Un incremento en la intensidad de los ciclones tropicales causará daño en los cultivos en ecosistemas costeros, mientras que al subir el nivel del mar los acuíferos costeros se salinizarán. Las islas del Pacífico y los grandes deltas ya están siendo afectados por estos fenómenos.

Los sectores más pobres están ubicados con frecuencia en zonas áridas o semiáridas, y en montañas y colinas que son ecológicamente vulnerables (Conway 1997).

En muchos países, en especial la gente con bajos niveles de ingresos, son ahora forzados a vivir en áreas expuestas y marginales (por ejemplo: áreas inundables, zonas de laderas expuestas, y tierras áridas o semiáridas), poniéndolos en riesgo a los impactos negativos del cambio climático. Para esta gente, aun los cambios menores en el clima pueden tener un impacto desastroso en sus vidas y fuentes de sustento. Las implicaciones pueden ser muy profundas para los agricultores de subsistencia ubicados en ambientes frágiles, donde se esperan grandes cambios en productividad, pues estos agricultores dependen de cultivos potencialmente afectados (p. ej. maíz, frijoles, papas, arroz, etc.) para su seguridad alimentaria. Muchos investigadores expresan mayor preocupación por áreas donde la agricultura de subsistencia es la norma, porque la disminución de tan solo una

tonelada de productividad podría llevar a grandes desequilibrios en la vida rural (Jones y Thornton 2003).

Muchos estudios y modelos predicen una disminución de la seguridad alimentaria en países en desarrollo asumiendo escenarios de severos cambios en el clima, poco crecimiento económico, incremento en los precios de los alimentos, crecimiento rápido de la población y poca capacidad de adaptación a los cambios a nivel de fincas (Reddy y Hodges 2000).

Los modelos existentes en el mejor de los casos proporcionan una aproximación superficial de los efectos esperados y ocultan la enorme variabilidad en cuanto a estrategias internas de adaptación.

Entre las comunidades rurales dominadas por agricultura tradicional, los agricultores parecen afrontar la situación a pesar de las fluctuaciones del clima (Mortimore y Adams 2001).

De hecho investigaciones recientes sugieren que muchos agricultores se las adaptan e incluso se preparan para el cambio climático, minimizando las pérdidas en productividad mediante el uso incrementado de variedades locales tolerantes a la sequía, cosecha de agua, policultivos, agroforestería, desyerbe oportuno, colecta de plantas silvestres y una serie de otras técnicas.

Dado esto se hace necesario reevaluar la tecnología indígena como fuente clave de información sobre la capacidad adaptativa que exhiben algunos agricultores para enfrentar el cambio climático (Altieri 2002).

Las mayores variaciones de la temperatura mínima por década se observan para Zumpahuacán; las mayores variaciones de la temperatura media por década se observan para Tenango del Valle; las mayores variaciones de la temperatura máxima por década se observan para Tenango del Valle ,Villa Guerrero y Tonicato.

Las variaciones más relevantes en el rendimiento de los cultivos, a lo largo de las décadas estudiadas, se observa con tendencia a disminuir en rendimiento para: el maíz en Tenango y en Tonatico; la papa en Toluca y en Tenango; el haba verde en Tenango; el frijol en Tonatico y el tomate rojo en Tonatico. Con tendencia a aumentar en rendimiento: trigo de grano en Toluca y el tomate verde en Villa Guerrero y Tonatico.

Para las temperaturas mínimas mensuales, se observan correlaciones medias y positivas con los cultivos de papa en Toluca, haba verde en Tenango y frijol en Zumpahuacán; también muy cercana a la correlación media se observa la papa en Tenango y el frijol en Villa Guerrero. Para las temperaturas máximas mensuales, se observan correlaciones altas y positivas con los cultivos de papa y haba verde en Tenango y tomate verde en Tonatico; correlaciones medias y positivas se observan para el haba verde y tomate verde en Villa Guerrero y muy cercana a la correlación alta para el tomate rojo en Tonatico.



## SUGERENCIAS

Manejo adecuado del agua para evitar las inundaciones, la erosión y lixiviación de nutrientes cuando la precipitación pluvial aumenta.

Uso de indicadores naturales para el pronóstico del clima para reducir riesgos en la producción.

Uso de variedades/especies adaptadas localmente mostrando adaptaciones más apropiadas al clima y a los requerimientos de hibernación o resistencia incrementada al calor y la sequía.

Incremento del contenido de materia orgánica de los suelos a través de la aplicación de estiércol, abonos verdes, cultivos de cobertura, etc., para una mayor capacidad de retención de humedad.

Un uso más amplio de tecnologías de “cosecha” de agua, conservación de la humedad del suelo mediante mulching, y un uso más eficiente del agua de riego.

Uso de estrategias de diversificación como cultivos intercalados, agroforestería, e integración animal.

Prevención de plagas, enfermedades e infestaciones de malezas mediante prácticas de manejo que promueven mecanismos de regulación biológica y otros (antagonismos, alelopatía), y desarrollo y uso de variedades y especies resistente a plagas y enfermedades.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T.C. Peterson y J. Wieringa (2003). Guidelines on Climate Metadata and Homogenization, WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. Geneva, 55 pp.
- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Vazquez-Aguirre, J.L. y et al, 2006. "Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation." *Journal of Geophysical Research*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290
- Altieri, M.A., 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93: 1-24.
- Altieri, M. y C. Nicholls. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología* 3: 7–28.
- Altieri, M. y C. Nicholls. 2009 Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. LEISA revista de agroecología | 24.4 | Marzo 2009.
- Assad, E. D. y H. S. Pinto (editores). 2008. *Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasil.
- Alvarado, Ma.; Foroughbakhch, R.; Jurado, E. y Rocha, A. 2002. El cambio climático y la fenología de las plantas. *Ciencias UANL*. 3(4):493-500.
- Battisti, D. S. y R. L. Naylor. 2009. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science* 323: 240–44.
- Barrow, C. J., 1999. Alternative irrigation: the promise of runoff agriculture. Earthscan Publications, Londres, Reino Unido.
- Beaubien, E. G. and Freeland, H. J. 2000. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *Int. J. Biometeorol.* 44(2):53-59.
- Beddington, J.; Asaduzzaman, M.; Fernández, A.; Clark, M.; Guillou, M.; Jahn, M.; Erda, L.; Mamo, T.; Van Bo, N.; Nobre, C.; Scholes, R.; Sharma, R. & Wakhungu, J. (2011). Lograr la seguridad alimentaria ante el cambio climático: Resumen para responsables de la política de la Comisión sobre la Agricultura Sostenible y el Cambio Climático.

- Bradley, N. L.; Leopold, A. C.; Ross, J. and Huffaker, W. 1999. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96:9701-9704.
- Brush, S. B., H. Carney y Z. Huamán, 1981. Dynamics of Andean Potato Agriculture. *Economic Botany* 35(1): 70-88.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2010. *La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe - Síntesis*. Santiago, Chile.
- . 2011a. Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación. *CEPAL Serie Seminarios y Conferencias* 65. Santiago, Chile.
- CLINE, W.R., 2007: *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates*, Peterson Institute for International Economics, Washington, DC, USA, 207 pp.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2006. Estadísticas del agua en México. México, D. F. 198 pp.
- Conde, C., D. Liverman, M. Flores, R. Ferrer, R. Araujo, E. Betancourt, G. Villarreal y C. Gay. 1997. Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change. *Climate Research* 9: 1-23.
- Conde, C.; Vinocur, M.; Gay, C.; Seiles, R. y Estrada, F. 2007. Climatic threat spaces in México and Argentina. *In: Climate change and vulnerability*. Leary, N.; Conde, C.; Kulkarni, J.; Nyong; Pulhin, J. (eds.). Earthscan. Londres, RU. 276-306 pp.
- Conway GR. 1997. *The doubly green revolution*, Penguin, London.
- Denevan, W. M., 1995. Prehistoric agricultural methods as models for sustainability. *Adv. Plant Pathology* 11: 21-43.
- Doering OC, Randolph JC, Southworth S, Pfeifer RA. 2002. *Effects of climate change and variability on agricultural production systems*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands
- Eakin, H. 1998. *Adapting to climate variability in Tlaxcala, Mexico: Constraints and opportunities for small-scale maize producers*. Masters Thesis. Geography and Regional Development. Tucson: University of Arizona.
- Erickson, C.L. y K.L. Chandler, 1989. Raised fields and sustainable agriculture in the lake Titicaca basin of Perú. *En: J. O. Browder (ed.). Fragile Lands of Latin America*. Westview Press, Boulder, EEUU, pp. 230-243.

- FAO. 2007. Cambio climático y seguridad alimentaria: un documento marco. Resumen.
- FAO, 2008(a): *Climate change and food security: a framework document*, FAO, Rome, Italy (<http://www.fao.org/docrep/010/k2595e/k2595e00.htm>).
- FAO, 2008(b): *The carbon sequestration potential in agricultural soils*, a submission to the UNFCCC 3rd Session of the ad hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention (AWG-LCA3), FAO, Rome, Italy (<http://unfccc.int/resource/docs/2008/smsn/igo/010.pdf>).
- FAO, 2009: *Enabling agriculture to contribute to climate change mitigation*, a submission to the UNFCCC 5th Session of the ad hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention (AWG-LCA5), FAO, Rome, Italy (<http://unfccc.int/resource/docs/2008/smsn/igo/036.pdf>).
- Gade, D. W., 1999. *Nature and Culture in the Andes*. University of Wisconsin Press, Madison, EEUU.
- Ferrer, R. 1999. *Impactos del Cambio Climático en la Agricultura Tradicional en el Municipio de Apizaco, Tlaxcala*. Tesis. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Flores, E. M., R. Araujo, E. Betancourt y D. Liverman. 1996. Comportamiento de la superficie potencialmente apta para el cultivo del maíz de temporal ante un cambio climático. *Memorias del Segundo Taller de Estudio de País: México. México Ante el Cambio Climático*, 8 a 11 mayo, 1996. Pp.179-184. Cuernavaca, Morelos, México.
- Garduño, R. (1994). *El veleidoso clima*. Colección La Ciencia Para Todos. Fondo de Cultura Económica. 1a Ed. México. Consultado en línea en marzo 2008. Biblioteca Digital del ILCE <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/127/htm/veleidos.htm>
- Garduño, R. (1999). Aportaciones Mexicanas al Estudio del Clima. *Revista Geofísica* Número 51. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Julio-Diciembre.
- Gay, C., et al. 2001. *Integrated Assessment of Social Vulnerability and Adaptation to Climate Variability and Change Among Farmers in Mexico and Argentina*. UNDEP- START Project, Funded by GEF.

- GOMMES, R., T. EL HAIRECH, D. ROSILLON, R. BALAGHI and H. KANAMARU, 2009: World Bank-Morocco study on the impact of climate change on the agricultural sector: Impact of climate change on agricultural yields in Morocco, FAO, Rome, Italy ([ftp://ext-ftp.fao.org/SD/Reserved/Agromet/WB\\_FAO\\_morocco\\_CC\\_yield\\_impact/report/](ftp://ext-ftp.fao.org/SD/Reserved/Agromet/WB_FAO_morocco_CC_yield_impact/report/)).
- Hill, J. y W. Woodland . 2003. Contrasting water management techniques in Tunisia : Towards sustainable agricultural use. *The Geographical Journal* 169: 342-348.
- Holt-Gimenez, E., 2001. Midiendo la resistencia agroecológica contra el huracán Mitch . *LEISA revista de agroecología* 17(1): 7-10.
- Howden, S. M. y otros, 2007. Adapting agriculture to climate change. *PNAS* 104: 19691-19696.
- INE-SEMARNAP (Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente Re- cursos Naturales y Pesca). 1997. *Primera Comunicación Nacional Ante la Con- vención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México: INE- SEMARNAP.
- INE, U.S. Country Studies Program Support for Climate Change Studies, UNAM. 1996. *Memorias del Segundo Taller de Estudio de País: México*. México *Ante el Cambio Climático*, 8 a 11 mayo, 1995, Cuernavaca, Morelos, México. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001a. Working Group I. *Newsletter No.8*. WMO, UNEP. ——. 2001b. *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policy Makers*. Working Group II. IPCC.
- Haggan, J. 2008. *Impact of Climate Change on Coffee Farming Households in Central America and Steps for Adaptation in the Future*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Henson, R. (2008). *The Rough Guide to Climate Change*. Royal Society Prizes for Science Books 07. New York USA.
- Hernández, R.; J. Madrigal y C. Morales (2005). “El monóxido de carbono y el clima en Toluca, de 1995 a 2001”, *ciencia ergo sum*. Vol. 11. Número 3. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1995). *Second Assessment Report: Climate Change*. WMO. UNEP. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *Third Assessment Report: Climate Change*. WMO. UNEP. Cambridge University Press.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Fourth Assessment Report: Climate Change. WMO.UNEP. Cambridge University Press.
- Jáuregui, E. (2000). “El clima de la Ciudad de México”, Investigaciones Geográficas. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Jáuregui, E. (2004). “Impacto del uso del suelo en el clima de la Ciudad de México”, Investigaciones Geográficas, Núm. 055. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Johnson, K., 1977. Do as the land bids: A study of Otomí resource use on the eve of irrigation. PhD dissertation. Clark University , EEUU.
- Jones, C. A. and R. Kiriny (eds.). 1986. *CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development*. Texas: A & M University Press. College Station.
- Jones, P. G. y P. K. Thornton. 2003. The potential impact of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change* 13: 51–59.
- Karl, T.R., N. Nicholls, y A. Ghazi, 1999: CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*, 42, 3-7.
- Lobell, D. B., M. B. Burke, C. Tebaldi, M.D. Mastrandrea, W. P. Falcon y R. L. Naylor. 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319: 607–610.
- Lovelock, J. (2007). La venganza de la Tierra. La teoría de Gaia y el futuro de la humanidad. Planeta, España.
- Magaña, V.O., J.L. Vázquez, J.L. Pérez y J.B. Pérez (2003). Impacto of El Niño on Precipitation in México. *Geof. Int.* 42, 3:313-330.
- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez and C. Gay. 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios. *Climate Research* 9: 107-114.
- Magaña, V.(ed.).1999. *Los Impactos del Niño en México*. México:UNAM/CONACYT.SG/IAI.
- Magrin, G. O., M. I. Travasso y G. R. Rodríguez. 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change* 72: 229–49.

- . 2008. Global warming and wheat production in Argentina. En Proceedings of the Global Conference on Global Warming –2008 (GCGW-08), Estambul, Turquía, 6–10 de julio.
- Morales, C.; D. Madrigal y L. González (2008). “Isla de calor en Toluca, México”. *Ciencia ergo sum*. Vol. 14, Núm. 3. Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Mortimore, M.J and W.M Adams 2001 Farmer adaptation , change and crisis in the Sahel. *Global Environmental Change* 11: 49-57
- Morton, J. F., 2007. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture . *PNAS* 104: 19697-19704.
- Nabhan, G. P., 1979. The ecology of floodwater farming in arid southwestern North América . *Agreocosystems* 5: 245- 255.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2008). *El Calentamiento Global*. Cambridge University Press.
- Nelson, G.C., M.W. Rosegrant, J. Koo, R. Robertson, T. Sulser, T. Zhu, C. Ringler, S. Msangi, A. Palazzo, M. Batka, M. Magalhaes, R. Valmonte-Santos, M. Ewing, and D. Lee. 2009. *Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation*. IFPRI Food Policy Report, Washington DC.
- Neueschwander Alvarado, A. y J. F. Zabaleta Caicheo. 2010. *El Cambio Climático en el Sector Silvoagropecuario de Chile*. Santiago, Chile: Fundación para la Innovación Agraria.
- O'Brien, K.L. y R.M. Leichenko. 2000. *Global Environmental Change* 10: 221-232.
- Ortiz, R. 2008. Crop genetic engineering under global climate change. *Annals of Arid Zone* 47: 343–54.
- . 2011. Agrobiodiversity management for climate change. En J. Lenné y D. Wood (editores), *Agrobiodiversity Management for Food Security: Critical Review*, 189– 211. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Ortiz, R., K. D. Sayre, B. Govaerts, R. Gupta, G. V. Subbarao, T. Ban, D. Hodson *et al.* 2008. Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 126: 45–58.
- Parry, M. 1993. Climate change and the future of Agriculture. *International Journal of Environment and Pollution* 1-3(3): 13-30.

- Pastrana (2000). "Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Secretaría sobre el Cambio Climático (unfccc)". México. <<http://www.greenpeace.org/espana/campaigns/energ-a>> (17 de enero 2009).
- Peng, S., J. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno *et al.* 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 9971–75.
- Pérez, J. I. J; Antonio, N. X; Monroy G. J. F; Gutiérrez, C.J. G; Balderas, P. M. Á; Loik, M. E.; Hernández, G. M. M; Camacho, S. J. M. Variaciones climáticas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca, Estado de México: 1960-2007. *CIENCIA ergo sum*, Vol. 17-2, julio-octubre 2010. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. Pp. 143 - 153.
- Peterson, T.C., 2005: Climate Change Indices. *WMO Bulletin*, 54 (2), 83-86.
- Petrich, B. 2001. El desastre alimentario de Centroamérica. Desnutrición, cambios climáticos y el proceso globalizador azotan la región. En: *La Jornada*. 2 octubre, 2001. México.
- Raso, M. (2002). "Relación entre las temperaturas diarias y la mortalidad en Barcelona y su ajuste mediante funciones polinómicas", en Guijarro, J.A. *et al.* (eds). *El agua y el clima*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (aec), Serie A, Núm. 3.
- Raso, M. (2007). *El clima y la salud*. Colección Nueva Geoambiente xxi. Editorial Davinci Continental, España.
- Reddy KR, Hodges HF. 2000 *Climate change and global crop productivity*. CABI Publishing, Wallingford.
- Reij, C., I. Scoones y C. Toulmin, 1996. *Sustaining the soil: indigenous soil and water conservation in Africa*. Earthscan, Londres, Inglaterra.
- Rosenzweig, C.; Casassa, G.; Karoly, D. J.; Imeson, A.; Liu, C.; Menzel, A.; Rawlins, S.; Root, T. L.; Seguin, B. and Tryjanowski, P. 2007. Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. *In: impacts, adaptation and vulnerability*. contribution of working group ii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; van der Linden, P. J. and Hanson, C. E. (eds.) Cambridge University Press. Cambridge, UK. 79-131.



- Ruíz, C. J. A.; Ramírez, D. J. L.; Flores, M. G. J. y Sánchez, C. 2000. Cambio climático y su impacto sobre la estación de crecimiento de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:169-182.
- Sánchez-Cohen, I.; Lopes, V. L.; Slack, D. C. and Hernández, Y. C. 1995. Assessing risk for water harvesting systems in arid environments. *J. Soil Water Cons.* 50(5):446-449.
- Sánchez, C. I.; Lopes, V. L.; Slack, D. C. and Fogel, M. 1997. Water balance model for small scale water harvesting systems. *J. Irrig. Drain. Eng.* 123(2):123-128.
- Sánchez-Cohen, I. 2005. Fundamentos para el manejo integral del agua. Una aproximación de simulación de procesos. INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, Durango. Libro científico Núm. 2. 272 pp.
- Sánchez-Cohen, I.; Ojeda, B. W.; Chebhouni, E.; Orona, C. I.; Villanueva, D. I.; González, B. J. L y González, C. G. 2008 a. Variabilidad climática en México: algunos impactos hidrológicos, sociales y económicos. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XXIII, núm 4. 5-24 pp.
- Sánchez-Cohen, I.; Díaz, P. G.; Estrada, A. J. y Cueto, W. J. 2008 b. Incertidumbre climática y toma de decisiones. Consideraciones de riesgo y vulnerabilidad social. INIFAP CENID RASPA. Folleto científico Núm. 25. 55 pp.
- Sánchez-Cohen, I.; González, B. J. L.; Díaz, P. G y Velásquez, V. M. 2010. Cambio climático e incertidumbre: impacto en las variables hidrológicas de las cuencas. *In: manejo comparado de cuencas hidrológicas: Incertidumbre climática, vulnerabilidad ecológica y conflicto social*: González, B. J. L y Sánchez, C. I. (Eds.) Gómez Palacio, Durango, México. 23-42 pp.
- Sellers, W. 1975. *Physical climatology*. The University of Chicago Press. Chicago, U.S.A. 272 pp.
- Stern, P. C. y W. E. Easterling (eds.). 1999. *Making Climate Forecasts Matter*. Washington, D.C.: National Academy Press. Disponible en: <http://www.nap.edu>.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts. 764 p.
- Tiscareño, L. M. 2006. Hurricane activity and droughts in México. Paper presented at the North American Drought Monitor International Meeting. National Weather Service. México, D. F.

- Travasso, M. I., G. O. Magrin, W. E. Baethgen, J. P. Castaño, G. R. Rodríguez, J. L. Pires, A. Giménez et al. 2006. Adaptation measures for maize and soybean in Southeastern South America. AIACC Working Paper 28. Washington, D.C.: Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change.
- Trenberth, K. E. (1997), "The definition of El Niño", Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 78, núm. 12, pp. 2771-2777.
- Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden y P. Zhai, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Toledo, V.M., J. Carabias, C. Mapes y C. Toledo, 1985. Ecología y autosuficiencia alimentaria. Siglo XXI, México D. F
- Verner, D. 2011. Social implications of climate change in Latin America and the Caribbean. Economic Premise 61. Washington D.C.: Banco Mundial.
- Vázquez-Aguirre, J.L. (2000). *Caracterización objetiva de los nortes del Golfo de México y su variabilidad interanual*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Atmosféricas. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. México.
- Vázquez-Aguirre, J.L. (2007). *Variabilidad de la lluvia en la República Mexicana*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. 110 p.
- Villalobos F. R. y Retana B. J. A. 1999. Evaluación del impacto de la variabilidad climática sobre la producción agrícola de Costa Rica. Ministerio del ambiente y energía instituto meteorológico nacional. The institute for environmental studies, vrije university, amsterdam.
- Villers, L.; Arizpe, N.; Orellana, R.; Conde, C. y Hernández, J. 2009. Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia* 34(5):322-329.
- WMO (2003). World Meteorological Organization Press Release No. 695. July 2. Geneva, CH

# Anexos

## Anexo 1. Graficas de anomalías de temperatura y precipitación.

