



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN GEOGRAFÍA

**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS POTENCIALES DE LA VARIABILIDAD Y
CAMBIO CLIMÁTICOS EN LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ (*Coffea arabica*) EN
COATEPEC, VERACRUZ.**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

GUILLERMO TOMÁS ROSALES DORANTES

TUTOR

Dra. Ana Cecilia Conde Álvarez, Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM.

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Dra. Guadalupe Rebeca Granados Ramírez, Instituto de Geografía, UNAM.

Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas, Departamento de Suelos, CHAPINGO.

Dra. Rosa Irma Trejo Vásquez, Instituto de Geografía, UNAM.

Dra. María de Lourdes Villers Ruiz, Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM.

MÉXICO, D. F. 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo:

A mis **padres**.

Guillermo y Georgina por darme la vida y mucho amor, y así como ser el pilar para mi formación personal y académica.

A mis **hermanos**.

Teresa, Judad, Siddhartha e Ione por tener su apoyo y la alegría de saber que tengo una gran familia.

A mis **seres queridos y amigos**.

Magdalena Escobar, María Elena Rosales, Consuelo Rosales, Patricia Rosales, María Eugenia Rosales, Ricardo Rosales, Marcos Rosales, Erwin Wunsch, Carlos Wunsch. Carlos WunschRosales. Oswaldo, Magdalena González, María de Jesús, Lorena, Mónica, Ángel, Sebastián, Caridad, Georgina, Atenea, Arturo, Regina, Montserrat, Jaime, Rosa, Hugo, Jaime, Williams, Rosa, Romina, Blanca, Jesús, Ricardo, Dafne, Lilia, Rosa, Rosa Ayala, Guadalupe Olvera, Laura Cerón, Edith Ugalde, Verónica, Jesús, José Pinacho y familia, Miguel y Mario Fuantos.

A mis **amigos** de la UNAM y la Universidad Veracruzana.

Alberto Díaz., Anais Vermont, Ana de la Peña, Beatriz Palma, Rosa Elena Morales, Angelina Cos, Angélica Navarro, Efrén Ospina. Elda Luyando, Fanny López, María de la Paz Medina, Mario Casasola, Melissa, Oscar Sánchez, Teresa Jiménez, Berenice Tapia y Antonio Luna.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación fue posible gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México, con los proyectos:

IN-119106“Los Servicios Ambientales de la Subregión Centro de Veracruz ante el Cambio y la Variabilidad Climáticos. Posibles propuestas de Adaptación”;IN-122309 “Evaluación integrada de algunos factores ambientales que determinan la capacidad adaptativa de los productores de café en la región central de Veracruz, México, ante condiciones de variabilidad y cambio climático”;IN-109211 “Vulnerabilidad y capacidad adaptativa de los productores de café en la Región Central de Veracruz, México ante los desastres hidrometeorológicos”.

Agradezco a la Dra. Cecilia Conde, quien es una grata persona y una excelente investigadora del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM por dirigir el trabajo de investigación en el cual proporciona mucha de su experiencia al compartir sus conocimientos y reflexiones de forma dedicada tanto en campo como en gabinete. No menos importante tener su amistad.

Agradezco a la Dra. Irma Trejo, destacada y admirable investigadora del Instituto de Geografía de la UNAM por sus atinados comentarios y sugerencias para culminar lapresente investigación.

Agradezco a la Dra. Lourdes Villers, distinguida y admirable investigadora del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM por sus aportes y sugerencias que enriquecieron la conclusión de la presente investigación.

Agradezco a la Dra. Rebeca Granados, importante y admirable investigadora del Instituto de Geografía de la UNAM por sus sugerencias y comentarios que permitieron concluir este trabajo de investigación.

Agradezco al Dr. Alejandro Monterroso destacado y excelente académico del Colegio de Chapingo por sus sugerencias y contribuciones, tanto en campo como en gabinete para el desarrollo y conclusión de la investigación.

Se agradece el aporte y participación de las autoridades y los miembros del Consejo Regional del Café de Coatepec, A.C. (CRCC). Esta agrupación la conforman miembros productores de café de 87 localidades, pertenecientes a 17 municipios localizados en la zona central del estado de Veracruz, tales como Actopan, Alto Lucero, Coatepec, Cosautlán, Chiconquiaco, Emiliano Zapata, Ixhuacán de los Reyes, Jilotepec, Juchique de Ferrer, Misantla, Naolinco, Teocelo, Tepetlan, Tlaltetela, Xalapa, Xico y Yecuatla.

Gracias al apoyo en la realización de los talleres focales por el Dr. Alejandro Monterroso, la Dra. Cecilia Conde y la Bióloga Rosa Ferrer. Asimismo, agradezco la participación de las maestras de la Universidad Veracruzana, la M.C. Beatriz Palma, la M.C. Rosa Elena Morales, la M.C. Berenice Tapia y M.C. Antonio Luna. A mis compañeras del Posgrado de Ciencias de la UNAM, Fanny López y Mónica Lozano, y estudiantes de licenciatura de la UNAM y la universidad Veracruzana. Además se contó con el apoyo del M.C. Oscar Sánchez para el uso de programas para extracción y compilación de las bases de datos de los modelos de circulación general.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	1
1.2 Hipótesis.....	2
1.3. Descripción de los capítulos.....	2
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.....	3
CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1. Clima y cambio climático.....	5
3.1.1 Clima y el estado del tiempo.....	5
3.1.2. Diagramas ombrotérmicos.....	6
3.1.3. Amenazas climáticas y eventos extremos.....	6
3.1.4. Variabilidad del clima.....	7
3.1.4.1. Índice El Niño/ Oscilación del Sur (ENSO).....	7
3.1.5. El impacto potencial del cambio climático.....	9
3.1.5.1. El enfoque de los estudios de los impactos de la variabilidad y cambio climático.....	9
3.1.6. Cambio climático.....	11
3.1.7. Escenarios de cambio climático.....	12
3.2. El café (Coffea arabica L.).....	13
3.2.1. Aspectos climáticos, sociopolíticos y económicos de la producción de café en el Estado de Veracruz.....	13
3.2.2. Causas socioeconómicas de la crisis cafetalera.....	14
3.2.3 Causas políticas de la crisis cafetalera.....	15
3.2.4. El clima y su influencia en los precios medios rurales del café en Veracruz.....	15
3.2.5. La producción de café (Coffea arabica L.) en el Estado de Veracruz (1970-2006).....	16
3.2.6 Superficie plantada, superficie cosechada, producción de café y precios rurales en el Municipio de Coatepec, Veracruz.....	18
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA.....	20
4.1. Descripción del área de estudio.....	21
4.2. Componentes y criterios empleados en las metodologías de evaluación de los impactos del café.....	21
4.2.1. Bases de datos.....	21
4.2.2. Criterios de identificación Oscilación del Sur/El Niño (ENSO) de períodos bimensuales y estacionales con señal fuerte MEI para la República Mexicana.....	22
4.2.3. Criterios de construcción del escenario base u observado (1961-1990).....	23
4.2.4. Criterio de selección de los escenarios de cambio climático.....	23
4.2.5. Requerimientos climáticos y etapas fenológicas del café.....	24
4.3. Métodos de impactos potenciales en la producción de café.....	25
4.3.1. Talleres participativos.....	25
4.3.2. Diagramas ombrotérmicos.....	27
4.3.3. Espacios de amenaza climática.....	31

4.3.3.1. Comparación de los ciclos de producción del café	35
4.3.4. Modelo econométrico del café.....	35
CAPÍTULO V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DE COATEPEC, VERACRUZ.....	37
5.1. Localización geográfica del Municipio de Coatepec, Veracruz	37
CAPÍTULO VI. RESULTADOS.....	42
6.1. El Clima de Coatepec, Veracruz.....	42
6.2. Requerimientos Agroclimáticos del café (Coffea arabica L.).....	43
6.3. Fenología del café.....	43
6.4. Talleres participativos.....	45
6.4.1. Posibles amenazas a mediano plazo	46
6.4.2. La percepción de las amenazas actuales anómalas del clima.....	46
6.4.3. Calendario de producción del café y manejos agrológicos en las fincas cafetaleras	47
6.4.4. Las amenazas identificadas para el café	48
6.5. Diagramas ombrotérmicos.....	50
6.5.1. Diagramas ombrotérmicos anuales de los años de 1996 y 2005.....	52
6.5.1.1. Diagrama ombrotérmico del año de 1996.....	54
6.5.1.2. Diagrama ombrotérmico del año de 2005.....	54
6.5.2. Diagramas ombrotérmicos anuales de 1974 (La Niña) y 1998 (El Niño).....	55
6.5.2.1. Diagrama ombrotérmico del año de 1974.....	56
6.5.2.2. Diagrama ombrotérmico del año de 1998.....	57
6.5.3. Diagramas ombrotérmicos para los escenarios de cambio climático y para el horizonte 2050	57
6.5.3.1. Diagrama ombrotérmico del modelo MPI ECHAM5_A1B del horizonte 2050.....	58
6.5.3.2. Diagrama ombrotérmico del modelo UKMO HADGEM1_A1B del horizonte 2050	59
6.6. Los espacios de amenaza climática.....	63
6.6.1. Identificación de años con períodos interanuales estacionales ENSO con características MEI fuerte El Niño y la Niña.....	64
6.6.2. Descripción de las anomalías de los escenarios de cambio climático.....	67
6.6.2.1. Descripción estacional de los escenarios de cambio climático	69
6.6.3. Espacios de amenazas climáticas para el café	70
6.6.3.1. Comparación de ciclos de producción de 1974-1975, 1996-1997, 1998-199 y 2005-2006.....	71
6.6.3.2. Espacio de amenaza climática de invierno para el café en Coatepec.....	72
6.6.3.3. Espacio de amenaza climática de primavera para el café en Coatepec.....	74
6.6.3.4. Espacio de amenaza climática de verano para el café en Coatepec	76
6.6.3.5. Espacio de amenaza climática de otoño para el café en Coatepec	78
6.6.3.6 Condiciones generales de los ciclos de producción	80
6.7. Modelo econométrico del café.....	82
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS	86
Propuestas como medidas de adaptación contra amenazas climáticas para el cultivo de café	90
Consideraciones finales	92
Perspectivas	94
BIBLIOGRAFÍA.....	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4-1. Fórmulas para el cálculo de las superficies de los polígonos de los diagramas ombrotérmicos.	29
Cuadro 5-1. Uso del Suelo y Vegetación Natural por Superficie Absoluta y Relativa del Municipio de Coatepec, Veracruz.	40
Cuadro 6-1. Localización y características de la información de la estación climatológica de Teocelo, Veracruz.	42
Cuadro 6-2. Tipo de aptitud por requerimientos de altitud, precipitación, temperatura y sequía relativa para el café (<i>Coffea arabica</i>).	43
Cuadro 6-3. Descripción de las etapas de la floración y la fructificación del café con limitantes térmicas e hídricas ajustadas al calendario fenológico del café para el municipio de Coatepec.	44
Cuadro 6-4. Efectos por condición hídrica y térmica en las etapas de la floración y la fructificación del grano de café.	44
Cuadro 6-5. Características del clima en condiciones estándar en el municipio de Coatepec.	45
Cuadro 6-6. Calendarización de amenazas climáticas normales y a mediano plazo en el municipio de Coatepec.	46
Cuadro 6-7. Observaciones del clima.	46
Cuadro 6-8. Fases del crecimiento y desarrollo de <i>Coffea arabica L.</i> asociado a prácticas agronómicas.	48
Cuadro 6-9. Principales amenazas durante las fases de desarrollo y reproducción del café.	49
Cuadro 6.10 Identificación por estación del año del Índice MEI, fase cálida El Niño y fase fría La Niña. Cuadro 6-10.	64
Cuadro 6-11. Características estacionales de primavera de las anomalías de la precipitación y la temperatura de eventos El Niño y la Niña comparada con la variabilidad climática normal.	66
Cuadro 6-12. Características estacionales de verano de las anomalías de la precipitación y la temperatura de eventos El Niño y la Niña comparada con la variabilidad climática normal.	66
Cuadro 6-13. Características estacionales de otoño de las anomalías de la precipitación y la temperatura de eventos El Niño y la Niña comparada con la variabilidad climática normal.	66
Cuadro 6-14. Características estacionales de otoño de las anomalías de la precipitación y la temperatura de eventos El Niño y la Niña comparada con la variabilidad climática normal.	66
Cuadro 6-15. Descripción de las anomalías de la temperatura y la precipitación estacionales, obtenidas de los escenarios de cambio climático con escenarios de emisiones y horizontes de análisis.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Localización de las regiones El Niño en el Océano Pacífico.....	8
Figura 3-2. Índice ENSO multivariado (MEI). Variaciones estandarizadas (sigmas) desde enero de 1950 hasta enero de 2013.....	9
Figura 3-3. Superficie plantada, Superficie cosechada y Producción en el Estado de Veracruz.....	17
Figura 3-4. Precios Deflactados Medios Rurales del Café en el Estado de Veracruz (1980-2006).	17
Figura 3-5. Superficie plantada, superficie cosechada y producción del Municipio de Coatepec, Veracruz.	19
Figura 4-1. Diagrama metodológico de la tesis.....	20
Figura 4-2. Elaboración de Calendario Fenológico y las amenazas climáticas al café	26
Figura 4-3. Priorización de amenazas climáticas al problemas del Café.	26
Figura 4-4. Elaboración de cuadros con información que señalan las condiciones normales del clima y las amenazas climáticas al café.	26
Figura 5-1. Mapa de Localización del Municipio de Coatepec, Veracruz.	37
Figura 6-1. Estación climatológica Teocelo (30179), Teocelo, Veracruz.	42
Figura 6-2. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del período base (1961-1990) y su relación con las etapas fenológicas del café.	51
Figura 6-3. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del año de 1996 y su relación con las etapas fenológicas del café para el ciclo de producción del café de 1996-1997.....	53
Figura 6-4. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del año de 2005 y su relación con las etapas fenológicas del café para el ciclo de producción del café de 2005-2006.....	53
Figura 6-5. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del año de 1974 y su relación con las etapas fenológicas del café para el ciclo de producción del café de 1974-1975.....	56
Figura 6-6. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del año de 1998 y su relación con las etapas fenológicas del café para el ciclo de producción del café de 1998-1999.....	56
Figura 6-7. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del modelo MPI ECHAM5 A1B del horizonte 2050 y su relación con las etapas fenológicas del café.	60
Figura 6-8. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del modelo UKMO HADGEM1 A1B del horizonte 2050 y su relación con las etapas fenológicas del café.....	61
Figura 6-9. Distribución de los incrementos de la temperatura (°C) y las razones de cambio de la precipitación (%) de forma estacional de las salidas de los escenarios de emisiones para los horizontes 2020, 2050 y 2080 para la región Centro de Veracruz.....	68
Figura 6-10. Espacio de amenaza climática de invierno con umbral de café, variabilidad climática natural, ENSO y escenarios de cambio climático.	73
Figura 6-11. Espacio de amenaza climática de primavera con umbral de café, variabilidad climática natural, ENSO y escenarios de cambio climático.	75
Figura 6-12. Espacio de amenaza climática de verano con umbral de café, variabilidad climática natural, ENSO y escenarios de cambio climático.	77
Figura 6-13. Espacio de amenaza climática de otoño con umbral de café, variabilidad climática natural, ENSO y escenarios de cambio climático.	79
Figura 6-14. Proyecciones futuras de la producción del café en %, obtenidos de los Modelos de Circulación General GFDL_CM2.0, MPI_ECHAM5 y UKMO_HADGEM1 y Escenarios de Emisiones A1B, A2 y B1 para los horizontes de análisis 2030, 2050 y 2080 y calculados por medio de la ecuación econométrica del café para la región central del Estado de Veracruz.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6-1. Normal climatológica del período de 1961-1990 de la estación climatológicas de Teocelo, Teocelo.	42
Tabla 6-2. Valores de Temperatura media mensual y precipitación total mensual. Escenario Base. Resultados en Áreas y Porcentaje de los Polígonos según las distintas Condiciones de Humedad de la Estación Climatológica de Teocelo.	51
Tabla 6-3. Comparación de la precipitación y la temperatura del año de 1996 con el período base de 1961-1990.....	54
Tabla 6-4. Comparación de la precipitación y la temperatura del año de 2005 con el período base de 1961-1990.....	54
Tabla 6-5. Comparación de la precipitación y la temperatura del año de 1974 con el período base de 1961-1990.....	57
Tabla 6-6. Comparación de la precipitación y la temperatura del año de 1998 con el período base de 1961-1990.....	57
Tabla 6-7. Valores de Temperatura media mensual y precipitación total mensual. Escenario Base. Resultados en Áreas y Porcentaje de los Polígonos según las distintas Condiciones de Humedad de la Estación Climatológica de Teocelo.	60
Tabla 6-8. Valores de Temperatura media mensual y precipitación total mensual. Escenario Base. Resultados en Áreas y Porcentaje de los Polígonos según las distintas Condiciones de Humedad de la Estación Climatológica de Teocelo.	61
Tabla 6-9. Estimaciones estacionales de la temperatura media mínima y la precipitación promedio del escenario base de los años de 1961 hasta 1990	63
Tabla 6-10. Comparación de las condiciones climáticas estacionales de los ciclos de producción de 1975, 1997, 1998 y 2006.....	71
Tabla 6-11. Valores de las salidas de los modelos de circulación general y escenarios de emisiones para los horizontes 2020, 2050 y 2080 para estimar con el Modelo Econométrico la producción potencial futura y evaluar los impactos potenciales por cambio climático en la región central del Estado de Veracruz.	78

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene por objetivo medir la sensibilidad del café (*Coffea arabica L.*) a partir de las variaciones mensuales y estacionales climáticas que afectan los ciclos de producción del cultivo en el municipio de Coatepec, el cual forma parte de la región central del Estado de Veracruz. Para cumplir los objetivos propuestos se evaluaron los impactos potenciales de la producción de la planta en condiciones actuales, variabilidad climática y escenarios de cambio climático con la fenología del café. Se emplearon diversos métodos complementarios entre sí, tales como: talleres participativos, los espacios de amenaza climática, los diagramas ombrotérmicos y el Modelo Económico del Café que permitieron contrastar su aplicabilidad y certeza para la obtención de resultados en esta zona particular del país.

Los métodos antes citados utilizaron los datos climáticos mensuales y estacionales con referencia a un “escenario base” que abarca un período de tiempo de los años de 1961 a 1990. Se compararon datos con variabilidad climática y proyecciones a futuro, utilizando las salidas de los modelos de circulación general: GFDL_CM2.0, MPI_ECHAM5 y UKMO_HADGEM1, con los escenarios socioeconómicos A1B, A2 y B1, en los horizontes proyectados a los años de 2020, 2050 y 2080.

El municipio de Coatepec tiene un régimen de lluvias intermedias, precipitaciones tanto en la época de verano como en el invierno. Cuando las lluvias inician en el mes de marzo se tienen floraciones normales que abarcan los meses de marzo a abril y las colectas del café se dan en los meses de noviembre a diciembre. Por otro lado, al incremento de la disponibilidad de las lluvias en el invierno, precisando en el mes de febrero, debido a la variabilidad climática natural, la variabilidad climática ENSO (Oscilación del Sur/El Niño) o por cambio climático, las floraciones del café son o tenderán a ser de tipoprecoces. Las floraciones se distribuirán en los meses de febrero a mayo y las recolectas de café durante los meses de noviembre hasta febrero del siguiente año. Por lo tanto, siempre serán variables las cosechas y los ciclos de producción de café cereza.

Los impactos potenciales sobre la producción regional de café proyectada con los escenarios de cambio climático con el modelo econométrico, muestran que para el horizonte del año 2020 puede

reducirse el rendimiento entre el 3% y el 12.8%. En el caso del horizonte al año 2050 también se reduciría entre el 17.5% y 55.7%, y en el horizonte 2080, el modelo muestra decrementos de 56% y hasta la pérdida total. Pero, considerando el diagrama ombrotérmico y los espacios de amenaza climática propuestos en esta tesis, esta pérdida puede fluctuar en alrededor de un 50%.

Palabras clave: Impactos potenciales, Cambio climático, Diagrama ombrotérmico, Espacio de amenaza climática, Modelo econométrico de café, Café, Variabilidad climática.

INTRODUCCIÓN

El mundo moderno está viviendo cambios ambientales diversos, entre ellos se encuentran los efectos de una acentuada variabilidad climática, incluidos los asociados a fuertes eventos ENSO (El Niño/Oscilación del Sur), además de las consecuencias provocadas por el calentamiento global, y, más generalmente, al cambio climático. Estos temas se han convertido de gran relevancia para la geografía actual en México porque afectan el desarrollo de las actividades humanas principalmente en la producción agrícola y consecuentemente en la cadena productiva.

Si bien, los impactos de la variabilidad y cambio climáticos en la agricultura de México pueden ser inciertos, existe también un consenso general de que tendrán efectos negativos en las producciones y ciclos agrícolas a diferentes escalas territoriales, ya sea a nivel local, regional y/o nacional.

Por ser el café una planta de tradición histórica, social, cultural y económica en el municipio de Coatepec, requiere de un conocimiento profundo que proporcione a los productores de café los tipos de afectaciones que sobre la fenología de la planta y en producción pueden presentarse en condiciones de variabilidad climática como fuertes eventos de El Niño y en condiciones de cambio climático.

Por lo anterior, esta investigación busca coadyuvar a presentes y futuras investigaciones, así como a apoyar a especialistas estudiosos de los impactos potenciales de la variabilidad y cambio climático en la producción del café y en otros cultivos del territorio nacional.

1.1. Objetivos

Objetivo General

Evaluar los impactos potenciales de la variabilidad climática y el cambio climático en la producción del café en el municipio de Coatepec, Veracruz.

Objetivos Particulares.

1. Elaborar el calendario fenológico del cultivo de café para Coatepec, Veracruz.
2. Detectar las amenazas climáticas que han afectado la producción de café en Coatepec, Veracruz.
3. Evaluar la sensibilidad del café en condiciones observadas, de variabilidad climática y de cambio climático.

1.2 Hipótesis

La producción de café en Coatepec se ve afectada negativamente por la variabilidad y el cambio climático, especialmente si se presentan en etapas fenológicas críticas para el desarrollo del cultivo.

1.3. Descripción de los capítulos

La tesis se integra por 7 capítulos, así el capítulo 1 hace referencia al alcance de objetivos propuestos y la hipótesis del trabajo. El capítulo 2 describe la aplicación de cada método empleado en otros trabajos. El capítulo 3 muestran los aspectos teóricos-conceptuales que sustentan diversos planteamientos aquí desarrollados. El capítulo 4 describe los métodos utilizados para la evaluación de la producción del café en condiciones observadas, variabilidad climática y las proyectadas a futuro. En el capítulo 5 se describen las características geográficas del área de estudio de forma general. En tanto que en el capítulo 6 se exponen los resultados obtenidos conforme a la metodologías aplicadas en cada uno de los procedimientos a seguir. Y por último, en el capítulo 7 se dan a conocer relevantes conclusiones que permitieron llegar a los resultados definitivos finales y proponer recomendaciones que reduzcan los impactos potenciales a la producción de café.

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES

Los estudios actuales sobre adaptación al cambio climático están desarrollando metodologías y empleando herramientas que permitan la evaluación de los impactos a los sistemas humanos y biológicos por la variabilidad y cambios climáticos (Lim, *et al*, 2006; UNFCCC, 2008). Los trabajos que han empleado los métodos utilizados en la presente tesis son elaborados por la necesidad de responder preguntas de investigación de distintos grupos de trabajo y se han enfocado en el estudio de los impactos por la variabilidad y cambio climáticos. Los resultados obtenidos de los trabajos citados pueden resumirse en la siguiente forma:

En el estudio por parte de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ), (2010) realizó 3 talleres participativos piloto, relacionados con la adaptación al cambio climático con productores de café de Chiapas, México; Estelí, Nicaragua y Piura, Perú. Obtuvieron calendarios locales de producción de café-similares a los de este estudio-,y propusieron medidas de adaptación contra las amenazas climáticas que afectan al café.

En la investigación realizada en la región de Huatusco, Veracruz, por Villers, *et al.*, (2009), se aplicaron encuestas a profundo y se emplearon los diagramas ombrotérmicos con escenario base (1961-1990), variabilidad climática y escenarios de cambio climático-previos a los usados en este estudio-. Se obtuvieron resultados que muestran una disminución de tres a sólo una floración anual, debido al adelanto o atraso de las lluvias. Estos resultados se profundizan y precisan en la presente tesis.

En los estudios de Conde, *et al*, (2006; 2008), se aplicó el método de análogos geográficos o históricos, empleando los gráficos de espacios de amenaza climática para comunicar a los tomadores de decisiones cuál es la relación entre los cultivos y el clima. Además, se consideraron los posibles cambios producidos por la variabilidad climática y la tendencia de las amenazas climáticas a futuro. En el presente estudio se obtienen resultados más precisos y actualizados.

En el estudio sobre impactos del café por Gay, *et al*, (2006), se construye un modelo econométrico, mediante una ecuación de producción del café aplicado en el Estado de Veracruz, México, señalando sus resultados una reducción alrededor del 34% de la producción de café para el horizonte 2020. En este caso de estudio se realizó la comparación de los horizontes 2020, 2050 y 2080 para el caso específico del municipio de Coatepec, Veracruz.

CAPITULO III. MARCO TEÓRICO

3.1. Clima y cambio climático

Las observaciones meteorológicas de un lugar proporcionan información valiosa para diferentes actividades humanas, pero la amplitud de la serie histórica caracterizará un momento o las condiciones generales del sitio o región territorial, por ello, es importante la distinción de dos conceptos que son el clima y el tiempo atmosférico.

3.1.1 Clima y el estado del tiempo

García (1989) apunta respecto a las definiciones sobre el tiempo atmosférico y el clima: “El estado de la atmósfera en cualquier momento y lugar se expresa por una combinación de sus propiedades físicas...conocidas como los elementos del tiempo y del clima”. Los elementos del clima son la temperatura, la precipitación y la humedad, la dirección y fuerza del viento, la presión atmosférica, la nubosidad, la radiación solar y la visibilidad.

La autora distingue el tiempo atmosférico y el clima de la siguiente forma: “El tiempo desde el punto de vista climático es la suma total de las propiedades físicas de la atmósfera, o sea de los elementos, en un período cronológico corto, es el estado momentáneo de la atmósfera. [...] El clima es [...] el estado más frecuente de la atmosfera en un lugar determinado, y comprende los extremos y todas las variaciones. El tiempo varía de un día a otro, el clima de un lugar a otro”. Las causas que modifican a estos elementos del tiempo y del clima, continúa García, son los factores climáticos, tales como la latitud (distancia angular del ecuador); la altitud (altura sobre el nivel del mar); el relieve (configuración superficial de la Tierra); la distribución de tierras y aguas, y las corrientes marinas.

El clima actualmente es visto (IPCC, 2007) como un sistema producto de la complejidad de interacción de la atmósfera, la hidrosfera, la criósfera, la superficie terrestre y la biósfera que “...evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y por efecto de

forzamientos externos, como las erupciones volcánicas, y de forzamientos antropogéneos como las modificaciones en la composición de la atmósfera o el cambio de uso de la tierra.”

3.1.2. Diagramas ombrotérmicos

Existen formas de representación gráficas de las variables de la precipitación y la temperatura que muestra las constantes de éstas a través del tiempo, sea anual o de las condiciones de un período amplio, mínimo de 30 años, describiendo el clima de un lugar. Las representaciones gráficas son los climogramas, y, de manera más compleja son los diagramas ombrotérmicos.

Señalan García, *et al*, (1983) el diagrama ombrotérmico es una forma de representación gráfica del clima con la intención de evidenciar rápidamente similitudes climáticas de una región o localidad, a partir de dos elementos del clima, la precipitación mensual expresada en milímetros (mm) y la temperatura media mensual medida en grados centígrados (°C), obtenidas de una o varias estaciones climatológicas con una serie histórica mínima de 30 años. Esta forma de representación permite evidenciar la eficiencia o deficiencia de la precipitación con relación al tipo de régimen de lluvia y la temperatura sobre el crecimiento de las plantas (Orellana, *et al*, 2009).

3.1.3. Amenazas climáticas y eventos extremos

Una amenaza es un fenómeno que puede ser causado tanto por la naturaleza (ciclones tropicales, sequías, olas de calor, tsunamis, sismos, erupciones volcánicas, entre otros) o provocados por el hombre por ejemplo, la explosión de plantas nucleares, disipación de sustancias tóxicas de las industrias químicas; su magnitud determina la afectación a diferentes escalas de un espacio geográfico y puede presentarse en cualquier momento, siendo una fuente principal en causar daños a la vida de una sociedad y sus bienes materiales (García, 2006).

Las amenazas de tipo climática serán aquellas donde se involucre uno o más eventos de tipo hidrometeorológicos (ciclones tropicales, lluvias torrenciales, sequías, vendavales, olas de calor, ondas frías, heladas y granizadas) y afecten potencialmente, dañando un entorno físico y espacial en cualquier momento dado, la vida de la sociedad. Grupos sociales distintos tendrán diversos grados de vulnerabilidad según su entorno físico y su capacidad socioeconómica (Lim, *et al*, 2006).

3.1.4. Variabilidad del clima

En las últimas décadas ha despertado gran interés el estudio de la variabilidad del clima que se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático, y tener repercusiones geográficas de amplitud regional, como, por ejemplo, El Niño/ Oscilación del Sur (ENSO) (IPCC, 2007).

En América Latina, El Niño/ Oscilación del Sur (ENSO), señalan Conde y Saldaña (2007), es la fuente más importante de variabilidad y ha causado grandes pérdidas económicas e impactos sociales. Fuertes eventos ENSO (en sus fases positivas, Niño o negativas Niña) han modificado las condiciones climáticas e impactado severamente, particularmente a la agricultura de temporal. En el caso de México, se han observado importantes cambios en los patrones de lluvia durante fuertes eventos de Niño (1982-1983; 1997-1998), así como durante fuertes eventos de Niña (por ejemplo, 1988-1989). En casi todo el territorio de México se presentan severas sequías de verano durante fuertes Niños, provocando importantes pérdidas económicas, por ejemplo durante el Niño de 1997-1998 éstas fueron de 1.5 mil millones de dólares. Se puede señalar también que los huracanes han incrementado su frecuencia y severidad en el norte de América Latina y el Caribe, afectando severamente a la región caribeña, México y a Centroamérica.

3.1.4.1. Índice El Niño/ Oscilación del Sur (ENSO)

La Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, señala que el ENSO es resultado de las anomalías positivas o negativas de la temperatura de la superficie oceánica y es el más importante fenómeno que vincula los sistemas acoplados océano-atmósfera, y es causante de la variabilidad climática global durante series de tiempo interanuales.

El área geográfica de origen de este fenómeno es el Pacífico ecuatorial, comprendiendo una superficie que abarca entre las longitudes de 80° W a 160° W, y entre las latitudes de 5° N y 5° S. La región se divide en cuatro subregiones de El Niño: Niño 1 + 2 (0 - 10°S, 90 - 80W), Niño 3 (5°N -

5°S; 150° - 90°W), Niño 3.4 (5°N - 5°S, 170 - 120°W) y Niño 4 (5°N - 5°S, 160°E - 150°W). La Región Niño 3.4 es el área de interés que manifiesta las condiciones de anomalías que impactan a México y Norteamérica (Figura 3-1).

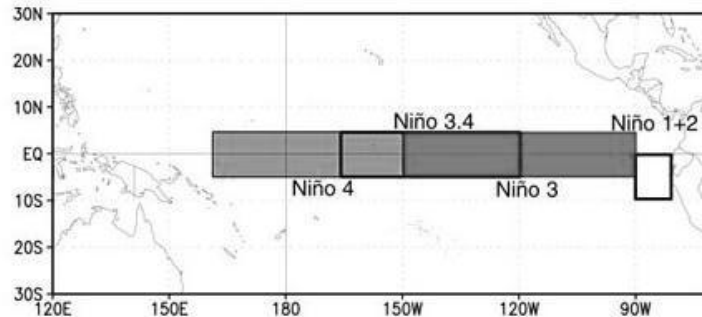


Figura 3-1. Localización de las regiones El Niño en el Océano Pacífico. (Tomado de http://www.hidromet.com.pa/nino_nina.php).

La NOAA (2013), señala que el Índice Multivariado El Niño/ Oscilación del Sur (MEI, por siglas en inglés), se calcula como el primer componente principal sin rotar de seis campos observados y combinados: a) La presión del nivel del mar; b) las componentes del viento en la superficie con dirección oeste y este; c) el viento con trayectoria sur y norte; d) las anomalías de la temperatura a nivel del mar; e) la temperatura del aire en superficie; f) la fracción de la cantidad total de la nubosidad en el cielo. Esto se logra mediante la normalización de la varianza total de cada campo primero, y entonces se realiza la extracción de la componente principal en la primera matriz de covarianza de los campos combinados (Wolter y Timlin, 1993).

Con el fin de mantener el MEI comparable, todos los valores estacionales están normalizados con respecto a cada estación y para el periodo de referencia 1950-1993. El MEI se calcula por separado para cada uno de los doce deslizamientos bimensuales (diciembre / enero, enero / febrero,..., noviembre / diciembre).

Los años de fase cálida El Niño, según NOAA (2013) presentaron variaciones estandarizadas MEI con tres bimestres consecutivos igual o por arriba de 0.5: fueron 1951, 1957, 1958, 1959, 1963, 1965, 1969, 1972, 1973, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1986, 1987, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1997, 1998, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2009, 2010 y 2012 (Figura 3-2).

Los años de fase fría La Niña, según NOAA (2013) mostraron variaciones estandarizadas MEI con tres bimestres consecutivos igual o por debajo de -0.5: fueron 1950, 1951, 1954, 1955, 1956, 1962, 1963, 1964, 1967, 1968, 1970, 1971, 1973, 1974, 1975, 1976, 1985, 1988, 1989, 1998, 1999, 2000, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011 (Figura 3.2).

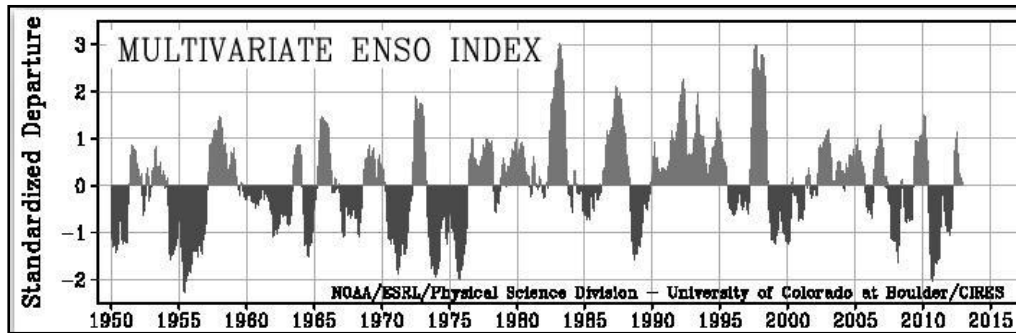


Figura 3-2. Índice ENSO multivariado (MEI). Variaciones estandarizadas (sigmas) desde enero de 1950 hasta enero de 2013. (Tomado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>).

3.1.5. El impacto potencial del cambio climático

El IPCC (2007) define al Impacto del cambio climático como los efectos del cambio sobre los sistemas naturales y humanos. El impacto puede clasificarse de dos formas: como el potencial y el residual. El impacto potencial, el que pudiera sobrevenir con un cambio proyectado del clima, sin tener en cuenta la adaptación; si fuera el caso contrario, se consideraría como impacto residual.

3.1.5.1. El enfoque de los estudios de los impactos de la variabilidad y cambio climático

En los estudios de adaptación al cambio climático (Lim, *et al*, 2006), incluyen en la metodología, los trabajos de la identificación de las amenazas climáticas sobre los sistemas humanos y naturales causados por los impactos de la variabilidad y cambio climáticos.

La planeación y aplicación de políticas públicas concernientes al sector agrícola, sumándose la agenda el problema del cambio climático no sólo es responsabilidad de los ministerios de agricultura o de tipo académica, requiere de la participación de los actores clave que devendrán con estrategias, acciones conscientes de tipo local y regional.

En Lim, *et al*, (2006) opinan que la “exploración a la sensibilidad climática con las partes interesadas forma parte del aprendizaje práctico”. Principalmente permite identificar los problemas que involucran las variables climáticas con el desarrollo de su actividad productiva. Se puede con ello identificar no sólo la afectación pasada y presente, sino formular acciones para la simulación futura con escenarios climáticos. Además, es posible identificar los factores no climáticos que afectan su actividad económica y, puede considerarse como una oportunidad para discutir el entorno institucional y de políticas públicas que afectan a su actividad.

En este contexto se propuso la utilización de dos tipos de métodos, el cualitativo y el cuantitativo. El método cualitativo se caracterizó por emplear el método de análogos geográfico o históricos, se requiere una reconstrucción climática histórica del clima observado y establecer entre éste la relación que guardaría con alguna actividad económica de interés, que involucra el empleo del método de los talleres participativos o procesos de multiactores (Multistakeholder Processes) (Geilfus, 1997; UNFCCC, 2008) de forma independiente ofrece una información de primera fuente del sector.

La información recabada es analizada con las herramientas propuestas como el espacio de amenaza climática y el diagrama ombrotérmico para la evaluación de los impactos potenciales por la variabilidad y cambios climáticos en la fenología y la producción de café.

Los talleres participativos o grupos focales (Geilfus, 1997) es un método de investigación colectiva que aplica diversas técnicas que posibilitan por medio de un facilitador, saber y entender, por medio del diálogo, las interacciones y las opiniones los problemas de los interesados que son clave para un grupo o sector económico, que en forma conjunta aportan soluciones y alternativas a su problemática en particular. Siendo focalizados los problemas permiten con otras herramientas de análisis entender y dar solución a las partes interesadas.

Desde el punto de vista del método de los análogos geográficos o históricos, se emplean los espacios de amenaza climática, construidos con las variables de temperatura y precipitación con la finalidad de lograr una reconstrucción climática del lugar asociado con la fenología del cultivo para la identificación de las principales amenazas climáticas que afectan la producción, tal son los casos en

Atzalán, Veracruz con el café, y Apizaco, Tlaxcala con el maíz (Conde, *et al*, (2006; 2008). Se permite, además, incluir los escenarios de cambio climático para proyectar las amenazas futuras que serán más frecuentes para los cultivos. Puede cruzarse información derivada de talleres participativos: Calendario fenológico del cultivo; Encuestas en profundo, referencias bibliográficas y hemerográficas.

De la investigación realizada sobre las floraciones del café en la región de Huatusco, Veracruz por Villers, *et al.*, (2009) se emplean los gráficos de los diagramas ombrotérmicos para observar el comportamiento con clima observado, con variabilidad climática y cambio climático sobre las repercusiones de las floraciones del café. Se involucra la participación de los productores con encuestas a profundo en varias localidades y la realización del calendario fenológico del café por altitudes.

El estudio sobre impactos del café por Gay, *et al*, (2006), emplean un método cuantitativo que parte del desarrollo de un modelo econométrico que involucran variables climáticas de precipitación y temperatura de forma estacional que está ligado a la fenología del café. También se emplea la serie histórica de producción anual y los salarios mínimos del Estado de Veracruz. Al aplicar la fórmula resultante, que además pasa para su empleo de varios controles de calidad estadística, permite la estimación de la producción anual y con cambio climático.

3.1.6. Cambio climático

El IPCC (2007) señala los nuevos resultados de las observaciones directas, indicando de forma rotunda “*el calentamiento del sistema climático es inequívoco*”. Esto está asociado a las acciones humanas, principalmente a la quema de combustibles fósiles y a procesos de cambio de uso de suelo (básicamente a la deforestación). Debido a esos dos procesos, las concentraciones de bióxido de carbono aumentaron de 280 ppm a 390 ppm (partes por millón) desde la época pre-industrial (1790) al año 2005, y, para el mismo periodo, las concentraciones del metano aumentaron de 715 ppm a 1774 ppm, y mientras el óxido nitroso aumentó de 270 ppm a 319 ppm.

Las principales consecuencias de tipo físico son el incremento en los últimos 100 años de la temperatura del aire de 0.74°C de forma desigual en el planeta, manifestando aumentos del nivel del

mar que ha aumentado desde 1961 a 1.8 mm/año. La extensión de nieves y hielos ha disminuido, según datos satelitales observados desde 1978, un 2.7 % por decenio. También los sistemas hidrológicos han sido afectados por un incremento en la escorrentía por deshielos y nieve cambiando la estructura térmica y calidad del agua (IPCC, 2007).

En el caso de los eventos extremos, las precipitaciones han aumentado en la parte septentrional del continente americano, así como la actividad ciclónica en el Atlántico Norte. Las ondas de calor se han acrecentado en tierra, así como la disminución del número de noches frías y de escarcha, y se han incrementado las sequías. (IPCC, 2007)

Las efectos observados en los ecosistemas terrestres son la anticipación de las primaveras; el desplazamiento hacia los polos y hacia mayores alturas del ámbito geográfico de la flora y de la fauna. (IPCC, 2007)

3.1.7. Escenarios de cambio climático

El recurso empleado en las evaluaciones de los impactos del clima futuro es el empleo de los Modelos de Circulación General (GCM, por sus siglas en inglés) de Atmósfera y Océano Acoplados (AOGCMs). Estos modelos se basan en leyes físicas y simulan procesos en un rango amplio de escalas espaciales y temporales entre diversos subsistemas climáticos. Al emplearse sus resultados en los estudios de cambio climático para el caso de la concentración de gases de efecto invernadero, se convierten en escenarios de cambio climático para diversas variables y son proyectados a diferentes horizontes de tiempo (Conde, *et al*, 2008). Los escenarios de cambio climático no son un pronóstico, son más bien una alternativa de cómo puede comportarse el clima futuro (Conde, 2003). El horizonte de tiempo entre más lejana sea la proyección, mayor será la incertidumbre (IPCC, 2007).

Los escenarios de cambio climático emplean Escenarios de Emisiones, según el Reporte Especial (SRES, por sus siglas en inglés), señalan los forzantes que determinan los posibles futuros económicos y medioambientales (Conde, *et al*, 2008). En general, existen dos grandes familias de escenarios. Los escenarios “A” describen un mundo futuro con alto crecimiento económico y los escenarios “B” un moderado crecimiento económico. Los escenarios A1 y B1 señalan una

globalización de las economías. En cambio en los escenarios A2 y B2 el desarrollo es más regional. Los forzantes que señalan la magnitud de concentraciones de gases de invernadero y caracterizan cada uno de estos escenarios futuros son el crecimiento poblacional, la economía, la tecnología, la energía disponible, el uso de suelo y la agricultura (Conde, *et al*, 2008; IPCC, 2007).

3.2. El café (*Coffea arabica L.*)

Durante la época porfirista (a finales del siglo XIX), el municipio de Coatepec tuvo un auge en la producción y beneficio del grano de café. El patrón de localización se debió a sus condiciones ambientales y climáticas del lugar, pero sobre todo con el desarrollo del sistema ferroviario eficiente en su momento favoreció la accesibilidad y transporte de grandes volúmenes del café, mismos que se dirigían al cercano puerto de Veracruz, donde posteriormente fueron embarcados para su envío al mercado exterior norteamericano y europeo (Córdova, 2005).

Al concluir la década de los ochentas, los factores del cambio de la política internacional sobre el libre mercado de las cotizaciones del café en la bolsa de Nueva York y las decisiones tomadas en cuanto a la dirección de la política económica en México, Contribuyeron a la afectación directa de los pequeños productores, provocando un proceso de desarticulación de los mercados internos y externos y la comercialización de éstos (Martínez, 1993).

En el presente, la actividad cafetalera de Coatepec sufre, como en otras regiones cafetaleras del país, problemas con los precios en el mercado internacional, la carencia de los apoyos institucionales, la comercialización y la competencia desleal de importaciones de volúmenes de café de países asiáticos, y se cierne en ellos la intromisión y cultivo probable de café transgénico de menor calidad, producción de café sin sombra, por la firma transnacional Nestlé (Pérez, 2010)

3.2.1. Aspectos climáticos, sociopolíticos y económicos de la producción de café en el Estado de Veracruz

La variabilidad de los ciclos de producción de las unidades productivas pueden probablemente ser afectadas por:

- a. La acción de la variabilidad climática: El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) y por los eventos climáticos extremos como nortes, heladas, sequía, lluvias torrenciales y otros, actuando de forma independiente o combinadas.
- b. Pueden verse afectados debido a condiciones biológicas como las plagas y enfermedades a las plantas de café, asociadas a las condiciones del clima.
- c. Causas antrópicas por el tipo de manejo de prácticas agrológicas en las fincas de café.
- d. Finalmente, como consecuencia de las acción emprendidas por los productores ante los costos de producción, las oportunidades de los precios del mercado sobre el aromático y las políticas económicas del país sobre apoyos en seguros y financiamientos.

Respecto a los aspectos no climáticos que influyen en la estadística de producción puede añadirse, como mencionan Gay, *et al*, (2006), "... cuando los bajos precios del café se encuentran en el mercado, implican para el productor en la recolecta de la cereza de café un costo mayor en los salarios de los jornales, y representan el 80% de los costos de producción".

3.2.2. Causas socioeconómicas de la crisis cafetalera

Los acuerdos para la fijación de los precios de café sobre la cuotas de producción a nivel mundial, establecidos por la Organización Internacional del Café (OIC), se rompen en el año de 1988 (Martínez, 1993), estableciéndose el libre mercado de la oferta y la demanda de la producción del aromático. Así, los precios del café se comienzan a fijar en la bolsa de valores de Nueva York.

Mientras, crecen las oportunidades en el contexto internacional de países emergentes como Vietnam en la producción de café. Particularmente, disponen de superficies más amplias de producción, los jornales de trabajo más baratos y realizan investigación en variedades mejoradas de café, de tal forma que introducen la variedad *Coffea robusta* al mercado internacional, teniendo la capacidad de obtenerse de ella altos rendimientos (Mestries, 2003; Rivadeneyra, *et al*, 2006)

En los países tradicionalmente productores de café como México, y ante la situación de unidades de producción pequeñas, sin una innovación tecnológica y pago de jornales altos, se presenta una crisis económica del sector cafetalero nacional, derivada sobretudo de los intereses de las transnacionales como la Nestlé con el gran mercado del café soluble. (Mestries, 2003)

3.2.3 Causas políticas de la crisis cafetalera

La política económica del país durante el gobierno de Salinas de Gortari (1988-1994), tuvo un corte neoliberal (Domínguez, 2009), por lo que se toma la decisión a nivel federal de privatizar los activos y pasivos del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE). Esta acción fue fuente de la primera crisis al sector cafetalero que hasta hoy no se ha resuelto. El INMECAFE, a partir de 1989, inicia un proceso de deterioro, limitando sus funciones de apoyo técnico y de los mismos créditos bancarios hacia los productores de café, que lo harán sucumbir en 1994.

También, aspectos de índole socioeconómicos como los precios del café en la bolsa de valores de Nueva York y las políticas agrarias por el Estado, establecen el comportamiento del productor en la cosecha de café por el beneficio económico por la realización de la actividad. Finalmente, las estadísticas productivas son responsabilidad de las instituciones gubernamentales estatales y federales, encargadas de coleccionar y contabilizar los certificados de compra y venta del café cereza por los beneficios de café, que en ocasiones no reportan en algunos años la valiosa estadística por situaciones desconocidas.

3.2.4. El clima y su influencia en los precios medios rurales del café en Veracruz

Durante el invierno, precisando los días 23 y 24 de Diciembre de 1989 en el Estado de Veracruz, Hidalgo, Puebla y San Luis Potosí, son impactados los cultivos de café por una helada. Eso repercute en la producción de 1989-1990, suficiente para disminuir alrededor del 30% de la superficie plantada, que para el año de 1988 era cerca de 149000 ha en el Estado de Veracruz (Pérez, 1996).

Las oportunidades de los precios del aromático se presentarán, sobre todo, cuando incidan eventos hidrometeorológicos extremos en países competidores. La H. Cámara de Diputados, (2001), afirma que las heladas de julio de 1981 y agosto de 1984, además de la sequía de 1985, alteraron la oferta cafetalera de Brasil, gran productor de café y con ello, la disponibilidad mundial de excedentes, permitiendo a México una mejora de los precios medios rurales del café.

La H. Cámara de Diputados, (2001), también señala que “en 1997 se registraron importantes alzas en los precios mundiales del café, resultado de la caída en la producción mundial, ocasionada, a su vez, por diversos factores atribuidos al fenómeno climatológico conocido como el Niño, entre los que destacaron las heladas en Brasil (el principal productor de café en el mundo), la sequía en Colombia y los huracanes en México y Guatemala, además de la sequía e incendios en Indonesia y los problemas socio-políticos en Kenia y Etiopía”. Sin embargo, los precios del café vuelven a descender en 1998 por fluctuaciones de las monedas asiáticas y los costos de producción se incrementan.

Hoffman (1986), señala la existencia, a partir del año de 1970, de condiciones propicias en el mercado del café y que son aprovechadas de forma eficaz con el apoyo de políticas públicas. Lo anterior se ve reforzado por un organismo creado en 1958, el INMECAFE (Instituto Mexicano del Café), que coordina la cadena productiva del café en el país.

En el caso de Veracruz, el INMECAFE tuvo como principal tarea la realización de campañas para la instalación de fincas de café en algunos casos sustituyendo a las actividades prevalecientes de cultivos de cítricos y la ganadería, entre otros. Además, el sector cafetalero en los setentas era muy apoyado por el gobierno, tanto que había las facilidades de incremento en el número de créditos a pequeños productores tanto privados como de ejidatarios. Por tanto, estas acciones promueven la ampliación de la frontera cafetalera en el Estado de Veracruz.

3.2.5. La producción de café (*Coffea arabica L.*) en el Estado de Veracruz (1970-2006)

De acuerdo a (Nolasco, 1985; SIACON, 2011), la información disponible sobre la superficie plantada, superficie cosechada y producción a nivel estatal puede señalarse dos períodos de incrementos de la superficie plantada. El período del año de 1970 a 1984 y el período del año de 1985 hasta el año de 2006 (Figura 3-3).

Puede observarse que en el segundo período muestra una variabilidad de la producción que consecuentemente puede ser por impactos del clima o por las fluctuaciones de los precios internacionales del café. No obstante, en el año de 1989 se combinan acontecimientos de índole socioeconómica y política que afectarán al sector cafetalero nacional, aunado a la adversidad del

impacto de una helada sobre las fincas de café en varias entidades del país, y entre ellos, el Estado de Veracruz. La superficie plantada disminuyó a 133,341 has y la producción obtenida fue de 490,862 toneladas. Entre los años de 1989 y 1990, los precios medios rurales en precios constantes, respectivamente, se reducen a \$3, 731,838.5 y \$4, 540,473.5 pesos mexicanos (Figura 3-3 y Figura 3.4).

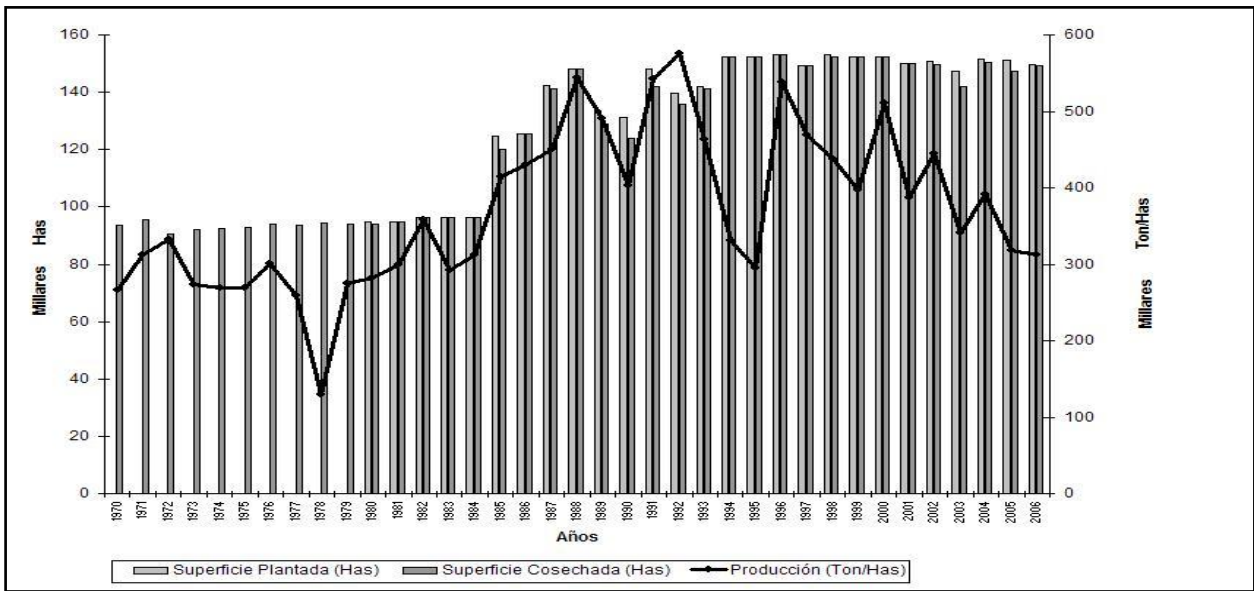


Figura 3-3. Superficie plantada, Superficie cosechada y Producción en el Estado de Veracruz.

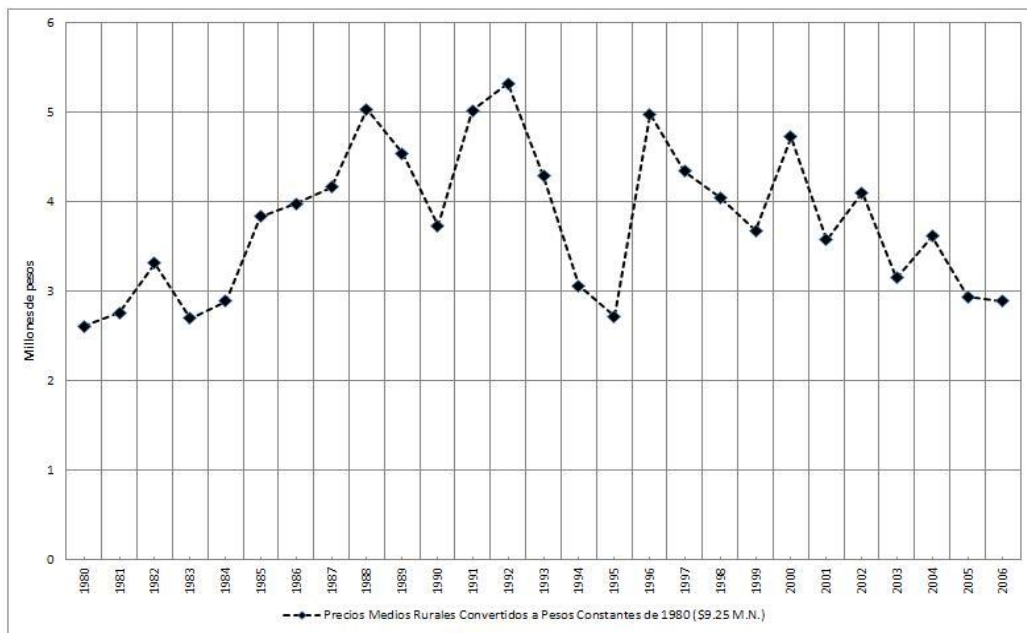


Figura 3-4. Precios Deflactados Medios Rurales del Café en el Estado de Veracruz (1980-2006).

Entre los años de 1988 hasta 1994, existen altibajos de las superficies plantadas y las superficies cosechadas, modificando las superficies entre 139,798 y 152,438 has, al igual que la producción lograda es variable: de 331,213 a 575,425 toneladas. Mientras, los precios medios rurales de café en pesos constantes señalan años con buenos y malos precios, las diferencias se encuentran entre los \$3,063,720.25 y \$5,322,681.25 de pesos mexicanos (Figura 3-3 y Figura 3-4).

De los años subsecuentes del año de 1994 al año de 2006, la variación de la superficie plantada no ha fluctuado tan abruptamente como el descrito anteriormente: de 147,441 a 152,923 has. No obstante, existe mucha variabilidad de las oportunidades en los precios medios rurales a pesos constantes e indican mucha incertidumbre en el mercado de café. Los precios varían de \$2, 723,200 a \$4, 978,359.25 pesos mexicanos (Figura 3-3 y Figura 3-4).

3.2.6 Superficie plantada, superficie cosechada, producción de café y precios rurales en el Municipio de Coatepec, Veracruz.

La unidad básica de análisis territorial es el municipio, representa las condiciones locales propias de una unidad territorial sobre la que se ve directamente influenciada por factores climáticos y socioeconómicos.

El ciclo de producción de café de 1994-1995 presentó la mayor superficie plantada y cosechada, respectivamente con 10,626 ha. En tanto, la menor superficie plantada y cosechada se produjo en el ciclo de producción 2003-2004, respectivamente con 8,461 ha y 8,436 ha. Finalmente, el ciclo de producción de 1996-1997 del café tuvo el máximo de producción con 36,100 toneladas y de forma contrastante fue el ciclo de producción de 2000-2001 con tan sólo 12,348 toneladas (Figura 3-5).

Los precios medios rurales son también decisivos en el comportamiento del trabajo en las fincas y en la producción. Las decisiones para algunos productores en trabajar o no en las fincas estarán determinadas por la incertidumbre en los precios medios rurales por los incrementos en los costos de insumos o por los salarios de los jornales. Además, debe tomarse en cuenta los efectos adversos de las amenazas climáticas que afectan etapas críticas del desarrollo vegetativo en el ciclo productivo del café.

Las oportunidades de las alzas de los precios del aromático en el mercado internacional son dadas por aspectos de infortunios en grandes países productores por eventos de heladas, lluvias torrenciales y sequías. Observando la Figura 3-4, la fluctuación que ha tenido el precio medio rural (pesos / ton) transformados de precios corrientes a pesos constantes, tomando como base el año de 1980 (deflactación), han sido desde el año de 1970 hasta el 2006, sobresalientes los años de 1988, 1991, 1992 y 1996 con precios igual o mayores a 5 millones de pesos para el Estado de Veracruz en México.

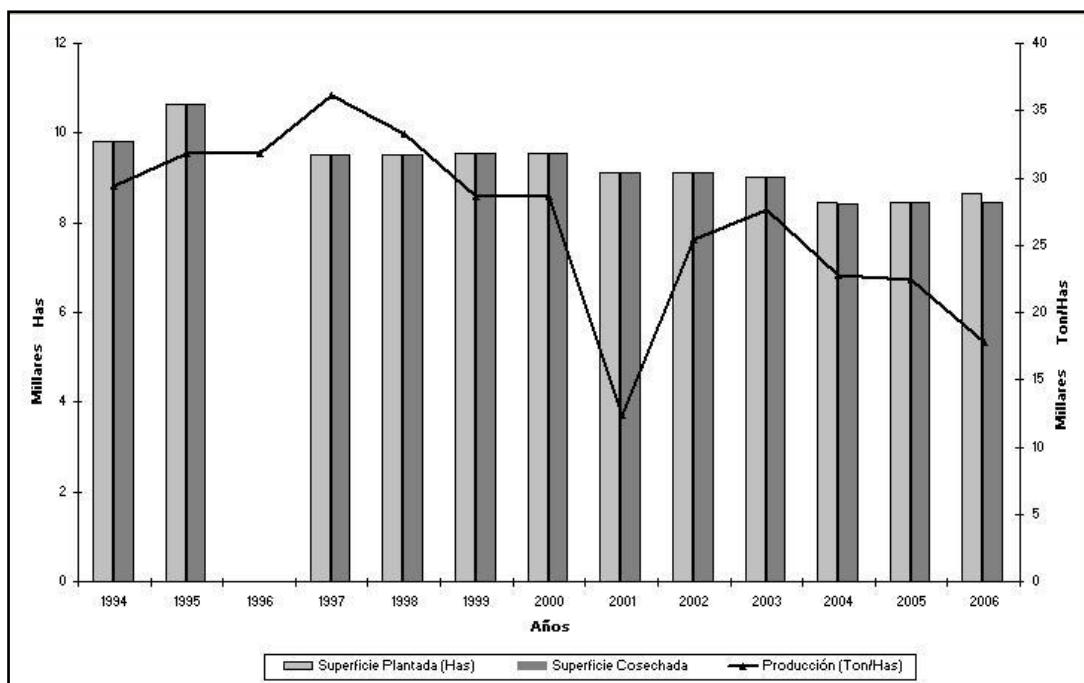


Figura 3-5. Superficie plantada, superficie cosechada y producción del Municipio de Coatepec, Veracruz.

Otras de las probables respuestas a la variación de la producción del café pueden derivarse de los contrastes de las características que conforman sus paisajes. Los enclaves cafetaleros se sitúan en distintos pisos altitudinales con variaciones en la pendiente, tipo de suelos, la exposición y orientación del terreno, encontrando diferencias térmicas y pluviométricas que definen el clima. Por otro lado, hay que tomar en cuenta también el tipo de variedades de café con respectivos rendimientos, el manejo agronómico de las fincas y sus procesos de producción, las condiciones socioeconómicas y organizativas de los productores, las articulaciones de las redes comerciales y abasto del café.

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

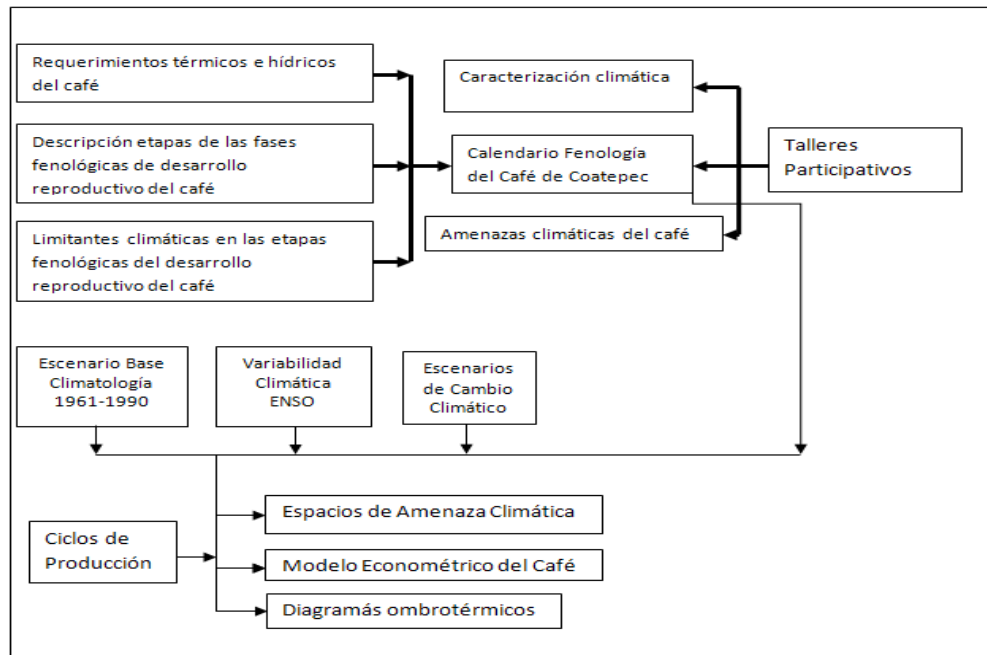


Figura 4-1. Diagrama metodológico de la tesis.

Como observamos en la Figura 4.1, los resultados de los talleres participativos (trabajo de campo) en el municipio de Coatepec, permitieron la caracterización del clima y sus amenazas climáticas. Por otro lado, gracias a esos talleres y a otras fuentes de información, se realizó la elaboración del calendario fenológico y la identificación de las principales amenazas climáticas al café.

Se realizó la revisión bibliográfica para obtener los requerimientos térmicos y pluviométricos para el café y detallamos las etapas de las fases fenológicas de la floración y la fructificación del grano de café con relación a su sensibilidad al clima. Además, se construyeron las bases de datos de producción del café a nivel del municipio de Coatepec y del Estado de Veracruz para relacionar las condiciones que determinaron años con buena, regular y mala producción.

En otras etapas sucesivas se determinó el escenario base con el período de 1961-1990 con las variables de precipitación y temperatura con arreglo mensual o estacional. Se identificaron los períodos interanuales bimensuales y estacionales en los años ENSO con señal El Niño y La Niña.

También, se obtuvieron las anomalías de los datos de las salidas de los escenarios de cambio climático, que fueron posteriormente calculados de forma mensual y estacional con el escenario base. Finalmente, se emplearon los datos en cada metodología propuesta para evaluar los impactos a la producción del café con los espacios de amenaza climática, los diagramas ombrotérmicos y el modelo econométrico.

4.1. Descripción del área de estudio

Se realizaron búsquedas bibliográficas y cartográficas para el municipio de Coatepec con el fin de caracterizar históricamente al municipio como centro productor de café, eso permitió describir las características del clima, el uso de suelo y vegetación, las fincas de café y trabajos asociados en el estudio de la variabilidad climática regional. Se realizó un mapa para localizar el municipio de Coatepec, Veracruz con base a la información de los mapas digitales del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) como las áreas geoestadísticas municipales (INEGI, 2010) y empleamos el continuo de elevaciones mexicano (CEM) 2.0 <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoElevaciones.aspx>, y el servicio WMS de ArcGIS Online [serviceshttp://www.esri.com/software/arcgis/arcgisonline-services/index.html](http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisonline-services/index.html).

4.2. Componentes y criterios empleados en las metodologías de evaluación de los impactos del café

A continuación, para dar cumplimiento del objetivo general y particulares, y responder la hipótesis de trabajo, especificamos las componentes y criterios que permitieron la evaluación de los impactos potenciales a la producción de café.

4.2.1. Bases de datos

Trabajo de Gabinete.

- i. Se revisó las estaciones climatológicas del municipio y alrededores de Coatepec con base a la información disponible por el Servicio Meteorológico Nacional con el sistema Clima Computarizado (SMN, CLICOM, 2008) para identificar una estación climatológica con una serie de tiempo amplia que tenga como mínimo 30 años de observaciones, únicamente se

encontró con este criterio la estación de Teocelo con clave 30179. La estación se ubica en el municipio de Teocelo, Veracruz.

- ii. De la información estadística climática se extrajeron las variables de precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima diaria y se agruparon los datos tanto de forma mensual como estacional. Con la temperatura mínima y máxima se obtuvo la temperatura promedio arreglada de forma mensual y estacional de la estación climatológica de Teocelo.
- iii. Se revisó y consultó el Sistema de Información Agroalimentaria (SIACON) con información estadística de los años de 1980 hasta el 2010 del Estado de Veracruz sobre superficie plantada, superficie cosechada, producción y precios medios rurales a nivel. (SIACON, 2011; Nolasco, 1985)
- iv. Se buscó información estadística municipal de superficie plantada, superficie cosechada y producción del café de los anuarios estadísticos del Estado de Veracruz (INEGI, 1991a, 1992b, 1993c, 1994d, 1995e, 1996f, 1997g, 1998h, 1999i y 2000j) y en el Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP, 2012) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). No obstante, faltan datos en el año de 1996.

4.2.2. Criterios de identificación Oscilación del Sur/El Niño (ENSO) de períodos bimensuales y estacionales con señal fuerte MEI para la República Mexicana

Trabajo de Gabinete.

En estudios de Conde, (2003) y Magaña, *et al*, (2004) se sugiere analizar el ENSO con el MEI con anomalías por arriba de 1 y por debajo de -1, que se consideran señales fuertes. Respectivamente representan la fase cálida El Niño y la fase fría La Niña.

Se realizó la consulta bibliográfica en Magaña, *et al* (2004) y se encontró la referencia estacional de los períodos estacionales de verano e invierno de algunos años con presencia de ENOS. La consulta de las bases de datos de NOAA, (2013), para caracterizar al ENSO, fue tomado de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>, al elegirse de forma estacional la información se consideró el criterio que al menos la presencia de dos bimestres o tres bimestres consecutivos en el

marco de cada estación del año, el MEI fuera mayor o igual a 1 o menor de -1. Se presentaron cuadros descriptivos estacionales.

4.2.3. Criterios de construcción del escenario base u observado (1961-1990)

En los estudios de impactos por la variabilidad y cambio climático se requirió de un escenario base con el cual se comparó la serie histórica de la estación climática estudiada. El escenario base se construyó con una serie de 30 años, comprendida por el período de los años de 1961 hasta 1990 de la estación climatológica de Teocelo. Las variables climáticas empleadas fueron la precipitación en mm y la temperatura en °C. La información climática se organizó de forma mensual o estacional (trimestral) de acuerdo al requerimiento de los datos por cada una de las metodologías.

La caracterización del clima requirió de los datos de temperatura media mensuales y anual (°C), y la precipitación promedio mensuales y anual (mm) del período de 1961-1990. Los datos fueron empleados en el algoritmo propuesto por García (2004) para la clasificación climática modificada al sistema de Köppen con el propósito de obtener una fórmula climática que después se describió y permitió conocer el régimen de lluvias para ser empleado en la construcción de los diagramas ombrotérmicos tanto del período base (1961-1990), la variabilidad climática y los escenarios de cambio climático.

4.2.4. Criterio de selección de los escenarios de cambio climático

Los escenarios de cambio climático que se emplearon en las proyecciones futuras en este trabajo fueron los seleccionados por el departamento de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, sugeridos para los trabajos de la Cuarta Comunicación de México a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés).

Los modelos de circulación general propuestos son el GFDL-CM2.0 (norteamericano), el UKHADGEM1 (inglés) y el ECHAM5/MPI (alemán) (Conde, *et al.*, 2011) con los escenarios de emisiones A1B, A2 y B1 para los horizontes 2020, 2050 y 2080. Se piensa que con estas combinaciones se podrán cubrir las tres fuentes de incertidumbres descritas anteriormente. Los datos están disponibles de forma mensual y de tipo estacional en

<http://www.pacificclimate.org/tools/select>. La resolución de cada escenario de cambio climático representa una superficie mayor al territorio de un municipio y los valores son representativos a nivel regional en este caso de la región central de Veracruz.

Finalmente, se realizó el cálculo de las anomalías de la temperatura (°C) y porcentajes de la precipitación de las salidas de los escenarios de cambio climático sobre las variables de las temperaturas en °C y la precipitación en mm de la climatología observada (1961-1990). Las anomalías mensuales se ocuparon para los diagramas ombrotérmicos. Las anomalías estacionales para los espacios de amenaza climática y el modelo econométrico del café.

4.2.5. Requerimientos climáticos y etapas fenológicas del café

De acuerdo a Hinojosa (1981) el estudio de las divisiones del ciclo vegetativo se realiza a través de la fenología y contempla fundamentalmente:

- los *períodos* que es el tiempo requerido para que una planta sea estimulada por los elementos externos del clima como la duración astronómica del día, la temperatura y la precipitación para que tenga una reacción biológica intermitente (apertura y cierre de las flores y otros);
- Las *fases* son la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos de las plantas. Pueden ocurrir en tiempos muy breves (la transformación de flor a fruto bastan con sólo tres días en el café), distinguiéndose en el caso del café: cosecha a floración, floración a fructificación y fructificación hasta la cosecha.
- Por otro lado, Arcila, (2007) señala que el café presenta diferentes *etapas de las fases fenológicas* de la floración y la fructificación en el café. En el caso de la floración: la inducción floral, el desarrollo de botones florales, el crecimiento de botones florales, la preantesis y la florescencia.
- En la fructificación: El crecimiento, el llenado, la conformación de la almendra y la maduración.
- Finalmente, c) el *subperíodo* que es el intervalo de tiempo limitado por dos fases donde un elemento del clima puede ser benéfico para la planta en un subperíodo y perjudicial en otro, tal el caso del estímulo de una cantidad excedente de la precipitación en febrero cuando se encuentra la etapa de la formación de los botones florales del café y en estado de dormancia, provocando inmediatamente anticiparse la preantesis y la florescencia del café.

También, se consultó diversas fuentes bibliográficas que establecen los requerimientos climáticos favorables o limitantes de forma mensual o anual para el desarrollo de la floración y la fructificación del grano de café. Los trabajos que se retoman y emplean en la presente investigación son: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO-ECOCROP, 2010), (Ruíz, *et al*, 1999), (Regalado, 1996), (Díaz, *et al*, 2001), (Castillo, *et al*, 1996); (Fundación Produce Nayarit, 2012); (Sys, *et al*, 1993) y (Arcila, 2007). En cuanto a los requerimientos de tipo estacional, los mencionaremos cuando sean observados los criterios para los umbrales estacionales del café.

4.3. Métodos de impactos potenciales en la producción de café

A continuación, se describe la construcción de cada método que utilizó en la evaluación del impacto a la producción de café en la presente investigación.

4.3.1. Talleres participativos

Se contó con la participación del Consejo Regional del Café de Coatepec en la realización de los talleres participativos. Ellos relacionaron sus observaciones sobre la caracterización de la variabilidad del clima, la fenología del café y de las amenazas al cultivo en el municipio de Coatepec, Veracruz. Con esta actividad se crearon productos novedosos e invaluable como el calendario del comportamiento normal y anómalo del clima, que reseña al clima en forma interanual, las observaciones sobre las variables climáticas de la precipitación y la temperatura. También, el calendario fenológico del café relacionado con la sensibilidad a las amenazas climáticas y sus actividades agronómicas.

La aplicación del método proporcionó información detallada que no hubiera sido posible encontrar en fuentes bibliográficas. La información generada permitió ajustar las etapas de las fases fenológicas del café asociadas a los requerimientos agroclimáticos del cultivo en las metodologías de los diagramas ombrotérmicos y los espacios de amenaza climática. Así mismo, la posibilidad de explicar con las observaciones mensuales o estacionales en conjunto, las condiciones propicias o limitantes en los ciclos de producción.

En los talleres participativos se requirió de quipos de trabajo con diez miembros del municipio que compartan características similares de terreno; Se formaron cinco mesas de trabajo con un facilitador y un secretario que tomó notas, pero no intervino en la discusión, a menos que observó que algún productor no estuvo participando, en cuyo caso, puedo preguntar su opinión, para incorporarlo al trabajo colectivo.



Figura 4-2. Elaboración de Calendario Fenológico y las amenazas climáticas al café



Figura 4-3. Priorización de amenazas climáticas a los problemas del Café.



Figura 4-4. Elaboración de cuadros con información que señalan las condiciones normales del clima y las amenazas climáticas al café.

Se enlistan las actividades realizadas con el Consejo Regional del Café de Coatepec:

- i. Se usó una dinámica de “romper el hielo” para una relación abierta y sin jerarquías para posibilitar la tarea de la participación de los miembros de cada equipo por sesión.
- ii. Se elaboraron cuadros donde los productores señalaron las características climáticas normales y las frecuentes amenazas climáticas del municipio de Coatepec.
- iii. Se realizó un diagrama donde se presenta el calendario fenológico del café de forma mensual.

- iv. De acuerdo al calendario fenológico del café, se señalaron las amenazas climáticas que son sensibles al café.
- v. Se presentó un cuadro sobre sus observaciones sobre las amenazas climáticas.
- vi. Se realizó un informe de trabajo final por cada mesa por respectivos responsables y secretarios.

4.3.2. Diagramas ombrotérmicos

i. Bases de datos

Se obtuvo la base de datos diarios de las variables de la precipitación, temperatura mínima y la temperatura máxima de la estación climatológica de Teocelo, proveniente de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional, CLICOM, (2008). La información se organiza de forma mensual con el período comprendido de los años de 1961 a 1990 considerado como la normal climática.

ii. Gráfico

El diagrama ombrotérmico es un gráfico donde se representa la temperatura y precipitación; sobre el eje de la *x* abscisas, se anotan los meses del año y sobre el de *y* las ordenadas. Hay dos escalas: la izquierda [Y1] se emplea en el trazo de la gráfica de temperatura anual mes por mes, y la de la derecha [Y2], la gráfica de la precipitación; la condición es que la escala de la precipitación sea el doble que la de temperatura.

El ajuste del eje [Y2] se realizó como sugirió García (1983), de acuerdo al tipo de régimen de lluvias. Se obtuvo el régimen de lluvias al aplicar el algoritmo que se utiliza en las modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen por E. García (2004) (adaptado a las condiciones de la República Mexicana). Para ello se aplicaron los datos de temperatura y precipitación mensuales de la estación climatológica de Teocelo.

Las formulas empleadas para determinar el tipo de régimen de lluvias que se encuentran en el país son:

$P=2t + 28$, donde p es la precipitación total y t la temperatura media, correspondiendo al régimen de lluvias de verano; $P= 2t + 21$ para el régimen de lluvias de verano pero alto porcentaje de lluvias invernal (>10.5 respecto al anual) y $P= 2t + 14$ al régimen de lluvias intermedio o uniformemente repartidas.

En el gráfico se observa, al producirse la intersección de las curvas de la temperatura y la precipitación pluvial, la formación de una suma de polígonos donde se definieron distintas condiciones de eficiencia de la humedad y la temperatura (Orellana, 2009; Villers, *et al*, 2009), A continuación definimos los tipos de eficiencias y su cálculo:

Déficit hídrico. Es el área de la gráfica que representa un aporte de lluvia insuficiente para mantener húmedo el suelo. Este valor se obtiene como:

$$\text{Déficit hídrico} = (\Sigma(\text{precipitación}) + \Sigma(\text{temperatura } n))$$

Considerando la suma de la precipitación de los meses secos (noviembre a abril) y la temperatura $n = (\text{temperatura} \times 100)/t$, t es el tipo de régimen de lluvia señalado abajo + el valor de la temperatura promedio.

Condición húmeda. Se considera los meses donde la precipitación es entre 60 y 100mm, este valor es considerado como máximo para realizar el cálculo. Es el área que representa el aporte de lluvia entre 60 y 100 mm, lo cual mantiene el suelo cercano a la humedad permanente y libre de estrés a las plantas cultivadas y silvestres. Regularmente se refiere al área del diagrama del período de lluvias que está por debajo del superávit y por encima del déficit hídrico. Este valor se calcula como: $\Sigma(\text{precipitación} - \text{temperatura } n)$.

Superávit. Es la cantidad de lluvia recibida por encima de los 100mm en el período lluvioso, y que rebasa la capacidad de campo del suelo. Este valor se calcula como: $\Sigma (\text{precipitación}) - 100$.

En los meses en donde la precipitación es mayor a 100 mm, se resta ésta cantidad ya que este valor corresponde al área del polígono de condición húmeda.

Sequía intraestival o canícula. Disminución de la cantidad de lluvia durante el período de verano. Corresponde al área según los meses que se presenta en el diagrama como reducción de lluvia durante el verano. Se calcula según Mosiño y García(1966) como:

Sequía intraestival (%) = área del polígono calculada / cantidad de lluvia total de mayo a octubre.

Sequía preestival. Es el área que representa el período más pronunciado de deficiencia de agua durante el invierno. Es el rango que puede llevar a las plantas al estrés hídrico. Se estima como: sequía preestival (%) = área del polígono calculada / cantidad de lluvia total de noviembre a abril.

Los cálculos de las áreas de los polígonos en el gráfico que representan la sequía intraestival y la sequía preestival, se realizaron como sugirieron (Mosiño y García, 1966) aplicando la geometría Euclidiana. De acuerdo a la amplitud de los vértices que consten los polígonos para cada área encontrada se pueden utilizar las siguientes fórmulas (Cuadro 4-1)

Cuadro 4-1. Fórmulas para el cálculo de las superficies de los polígonos de los diagramas ombrotérmicos.

Tipo de polígono	Formula
Fórmula 1. Área del polígono 1, 2, 3	$A_{1,2,3} = (1/2) Y_1 - Y_2 + (1/2) Y_3$
Fórmula 2. Área del polígono 1, 2, 3, 4	$A_{1,2,3,4} = Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4$
Fórmula 3. Área del polígono 1, 2, 3, 4, 5	$A_{1,2,3,4,5} = (3/2) Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 + (3/2) Y_5$
Fórmula 4. Área del polígono 1, 2, 3, 4, 5, 6	$A_{1,2,3,4,5,6} = 2 Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 - Y_5 + 2 Y_6$
Las $Y_1 - Y_2 - Y_3 \dots$ son las alturas mensuales de la lluvia.	

Fuente: Mosiño y García, (1966).

iii. Escenario base

La precipitación en cada uno de los meses se promedió mensualmente con el período de los años de 1961 a 1990, resultando la precipitación promedio mensual normal. En el caso de la temperatura media mensual se promedió la temperatura mínima con la temperatura máxima de cada uno de los meses referentes al período de los años de 1961 a 1990, obteniéndose de cada mes, la temperatura

media mensual normal. Se organizó la información mensual y procedió, según García, (1983) a la realización del diagrama ombrotérmico.

iv. Variabilidad Climática ENSO

Se siguió el criteriodescrito en el apartado 4.2.2. Se eligió el año de 1998 que tuvo la condición El Niño y el año de 1974 que se caracterizó como La Niña. Se elaboró forma similar el diagrama ombrotérmico como el escenario base.

v. Cambio climático

Fueron elegidos los escenarios como se señaló en la sección 4.2.4. Los diagramas ombrotérmico seleccionados en este apartado se construyeron siguiendo los siguientes criterios:

Con base a los 12 datos mensuales normales de la temperatura del período de los años de 1961 a 1990, se calculó para cada mes la anomalía mensual en grados centígrados de cada uno de los escenarios de cambio climático y horizonte de análisis. Se obtuvo así la temperatura media normal futura. Además, con los 12 datos mensuales normales de la precipitación del período de los años de 1961 a 1990, estimamos para cada mes las razones de cambio mensual en porcentaje de cada uno de los escenarios de cambio climático y horizonte de análisis, resultando la precipitación promedio normal futura.

Al calcularse los datos de cada una de las salidas de los escenarios de cambio climático con los valores del escenario base, se obtuvieron nuevos arreglos en los valores mensuales de las variables de la precipitación y la temperatura. Posteriormente, fueron ingresados al algoritmo de García, (2004) y se obtuvo la clasificación climática de cada uno de ellos.

Se eligieron los escenarios MPI_ECHAM5_A1B y UKMO_HADGEM1_A2 para el horizonte 2050 porque los escenarios de cambio climático de 2020 son idénticas las clasificaciones climáticas al tipo climático obtenido del escenario base. En el horizonte 2050, los modelos GFDL con los escenarios de emisiones empleados son similares a la clasificación del clima base. En el caso de los escenarios Echam, solo el modelo MPI_ECHAM5_A2 clasificó parecidoal clima base. La similitud

de los modelos MPI_ECHAM5 y UKMO_HADGEM1 presenta en su clasificación el clima templado del grupo de los cálidos, aunque la diferencia en ambos es que el modelo Echam se aprecia un régimen de lluvias de verano y en los modelos UKMO_HADGEM1 el régimen de lluvias intermedio, uniformemente repartidas. En el horizonte 2080, se obtuvieron tres clasificaciones de tipos climáticos resultantes, tal como el semicálido, el templado de los cálidos y el cálido tropical. La incertidumbre apunta probablemente a condiciones climáticas templadas del grupo de los cálidos y el que ejemplificamos en el presente trabajo. Los diagramas ombrotérmicos para el caso de cambio climático fueron elaborados como el diagrama ombrotérmico base. Los resultados se integraron en un cuadro con las clasificaciones climáticas de cada modelo con su escenario de emisiones y respectivo horizonte de análisis.

Una vez al elaborado el diagrama ombrotérmico, el siguiente paso fue incorporar en la parte inferior de la figura, el calendario fenológico del café producto de los talleres participativos. El análisis se realizó con la información de las limitantes en las etapas fenológicas del café por Arcila, (2007); Datos de producción municipal de Coatepec de SIAP, (2012); Recopilación bibliográfica de eventos hidrometeorológicos del 2005 (Gutiérrez, *et al*, 2006 y, Acevedo y Luna, 2006)

4.3.3. Espacios de amenaza climática

Se seleccionaron los espacios de amenaza climática de forma estacional para observar la relación de las etapas fenológicas de la floración y la fructificación del grano del café con las condiciones del clima que limitan, o permiten, el desarrollo reproductivo de la planta de café y determinan los ciclos de producción de la cereza de café.

i. Bases de datos

Se usaron las variables de precipitación diarias de la precipitación, la temperatura mínima y la temperatura máxima de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional, CLICOM, (2008) referente a la estación climatológica de Teocelo, clave (30179) del municipio de Teocelo, Veracruz.

La información estadística climática se organizó de forma estacional y con ella se construyeron los cuatro gráficos de espacios de amenaza climática. Los espacios de amenaza climática de invierno, la

primavera y el otoño emplearon la variable de la temperatura mínima. En el caso del verano se usó la variable de la temperatura máxima.

ii. Gráfico

El espacio de amenaza climática es un gráfico de dispersión de puntos que representan en un sistema cartesiano, la distribución de las variables de precipitación en porcentaje (%) de la anomalía acumulada respecto al eje de las ordenadas en vertical, y la anomalía de la temperatura en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$), correspondiendo al eje de las abscisas en horizontal, y con datos distribuidos de forma estacional. Los puntos con etiquetas indican con los dos últimos dígitos el año (46 es igual a 1946; 06 es igual a 2006).

Los puntos en el gráfico representan el arreglo de las anomalías de dos variables, la precipitación en porcentaje y la temperatura mínima o máxima en grados centígrados. Cada dato de la serie histórica del año de 1945 hasta 2006 fue comparada con su media y de ahí derivaron las anomalías.

En el caso de las anomalías de la precipitación se calculó sus valores anómalos de forma absoluta y después fue transformada en porcentaje para el empleo de éste método.

iii. Escenario base

Los valores de las series históricas de la precipitación y la temperatura (la máxima o la mínima), fueron tratados estadísticamente para encontrar la precipitación promedio estacional normal en mm y la temperatura media estacional normal en $^{\circ}\text{C}$ con base en el período comprendido del año de 1961 a 1990. Lo anterior permitió establecer el escenario base, adecuado a cada variable empleada. Los resultados se sintetizaron en un cuadro comparativo.

Los datos de las series históricas de cada una de las variables climáticas empleadas se compararon con su respectivo escenario base y resultaron las anomalías de temperatura en $^{\circ}\text{C}$ y de precipitación en mm. Los valores de la precipitación de forma absoluta en mm se convirtieron en anomalías de razones de cambio. La distribución de los puntos en los espacios de amenaza climáticos estacionales muestran las variaciones de las dos variables climáticas utilizadas en forma de anomalías.

iv. Variabilidad climática y períodos extremos

El área representada por un rectángulo de color negro sobre cada uno de los gráficos, son determinados por los umbrales de la variabilidad natural que se construye con las medianas de las dos series históricas de cada variable climática que están en función del primer rango intercuartílico (percentil 25) y el tercer rango intercuartílico (percentil 75), constituyendo el 50% de los datos de la serie histórica climática y mostrando la condición de la variabilidad climática. El rango intercuartílico es una medida de tendencia central robusta, donde los valores extremos no influyen en la distribución de los rangos. Fuera del recuadro se mostraron las anomalías estacionales de la precipitación y la temperatura que podrían representar una amenaza climática. Esta variabilidad climática es particular del área de estudio.

v. Variabilidad climática ENSO (El Niño/Oscilación del Sur)

Se seleccionaron los valores del índice multivariado del ENSO (MEI) como se indicó en el apartado 2.4.2.

vi. Cambio climático

Fueron elegidos los escenarios de cambio climático como se indicó en el apartado 4.2.4. En cada uno de los gráficos estacionales fueron simbolizados los puntos por figuras geométricas que señalan los horizontes de análisis y un pie de texto simbolizando el modelo de circulación general y correspondiente escenarios de emisiones.

vii. Umbrales estacionales del café

La delimitación estacional de los umbrales del café fueron determinados con base en los requerimientos consultados de forma mensual de la temperatura y la precipitación para el desarrollo reproductivo de la planta de café. Se utilizaron los años de 1974, 1996, 1998 y 2005 para caracterizar esos umbrales y describir los años Niño o Niña. Pero, con el fin de establecerlos de forma estacional, tomamos los siguientes criterios:

Temperatura media estacional. Promedios del trimestre respectivo de los datos de temperatura (mínima o máxima) y el valor resultante se comparó con la tabla de los requerimientos mensuales térmicos. Se calificó así la estación como óptima, buena y marginal. Los rangos de la temperatura mínima mensual deben encontrarse entre 10 a 19.9°C, porque el café es sensible a las bajas temperaturas. En el caso de las temperatura máximas mensuales, están deben encontrarse entre los valores de 21 y 30.6°C, porque al incrementarse el café detiene las funciones fisiológicas de la planta (Regalado, 1996).

Precipitación total estacional. De acuerdo a las limitantes de disponibilidad hídrica para la floración y la fructificación del café que se observaron en los diagramas ombrotérmicos de los años de 1974, 1996, 1998 y 2005, proponemos:

- En el invierno se deben presentar meses secos que no excedan los 135 mm, considerando que si las lluvias sobrepasan esa cantidad, detienen la condición de latencia de los botones florales, comenzando la floración de forma dispersa, ampliando los períodos para el crecimiento, llenado, conformación del grano y maduración de la cereza de café.
- La primavera debe contar con la disponibilidad hídrica de 170 a 270 mm, tomando en cuenta que la disponibilidad hídrica va en aumento desde los meses de marzo a abril. Si se excede la cantidad de precipitación, se pueden desarrollar flores estrella o floraciones incompletas. Por debajo de esa cantidad de lluvia se presentan problemas de disponibilidad hídrica produciendo flores estrella y secamiento de frutos tiernos.
- Durante el verano, la deficiencia hídrica menor a 680 mm puede causar problemas con el llenado del café. En el caso de ser superior a 970 mm, la cantidad de precipitación no produce ningún efecto fisiológico a la planta, pero puede afectar de forma indirecta a través de las plagas y las enfermedades a la planta de café.
- Finalmente en el otoño, si la precipitación es menor a 290 mm, se retarda la maduración y si excede de 750 mm sucede lo mismo como en la estación de verano.

En cada gráfico de las figuras de los espacios de amenaza climática estas condiciones fueron representadas por un rectángulo de líneas punteadas y de color negro.

4.3.3.1. Comparación de los ciclos de producción del café

Expondremos cuatro casos de estudio, realizados con los ciclos de producción de café 1974-1975, 1996-1997, 1998-1999 y 2005-2006 referido por el SIAP, (2012). La determinación de un ciclo de producción empieza a finales del año e inicios del siguiente año. El objetivo es mostrar que las sumas de las observaciones de cada espacio de amenaza permiten explicar la comparación marcadamente variable de los cuatro ciclos de producción. El método empleado se describió en el apartado 4.2.5, ajustado al calendario fenológico del café señalado por los productores de Coatepec, Veracruz.

4.3.4. Modelo econométrico del café

El modelo econométrico del café es una fórmula donde se combinan variables climáticas de forma estacional y económicas, relacionados con coeficientes estimados. Para su construcción se empleó información de producción anual estatal de 1969 hasta 1998. El cálculo permitió obtener una producción estimada en la región, y el modelo permitió proyectar en condiciones de cambio climático dicha producción.

i. Base de datos

Información de las variables de precipitación promedio en mm de primavera y la temperatura media en °C del invierno y el verano de la estación climatológica de Teocelo, Veracruz, obtenida de la base de datos de Servicio Meteorológico Nacional de CLICOM, 2008. Los datos anuales de los salarios mínimos se aplicaron según proponen Gay, *et al*, (2006).

Los datos estacionales proyectados se obtuvieron de la página de *Pacific Climate Impacts Consortium*, (2010), consultada en la dirección electrónica www.pacificclimate.org, se dispone de un mapa que permite seleccionar de forma puntual una celda o polígonos (grupo de celdas) que contienen información de índole climática organizada de forma mensual, estacional y anual, sobre escenarios de cambio climático.

ii. Modelo econométrico del café

$$P_{\text{cafe}} = -35965262.4 + 2296269.52 * T_{\text{VERA}} + (-46298.6704) * (T_{\text{VERA}})^2 + 658.061761 * P_{\text{PRIM}} + 813976.348 * T_{\text{INV}} + (-20318.2693) * (T_{\text{INV}})^2 + (-3549.71015) * S_{\text{MINVERA}}.$$

P_{cafe}= Producción de Café; T_{VERA}= Temperatura promedio de verano; P_{PRIM}= Precipitación promedio de primavera; T_{INV}= Temperatura promedio de invierno; S_{MINVERA}= Salario mínimo de Veracruz.

iii. Escenario base

Establecen Gay, *et al*, (2006) que al año de 1991, la producción de café en el Estado de Veracruz fue de 54,7198 toneladas y el modelo econométrico estimó la producción de 539,651.1 toneladas con una temperatura promedio de verano de 24.5°C, con una precipitación media de primavera de 81.1 mm y la temperatura promedio invernal de 20.5°C. El salario promedio mínimo fue de \$46.06 (cuarenta y seis pesos 06/100). La producción calculada se aproxima a la real. En cuanto a los requerimientos de las variables climáticas estacionales, estos se asemejan a los teóricos del modelo, a excepción del salario mínimo.

Por ello, el criterio en la elaboración del modelo econométrico consiste en considerar los valores de la temperatura promedio de verano de 24.79°C, la temperatura media invernal de 20.06°C, la precipitación media de primavera de 81.5 mm y si los salarios mínimos no se incrementaran permaneciendo constantes en \$41.28 (cuarenta y un pesos 28/100 M.N.), se tendría una producción de 554,235.5 toneladas de café cereza. Los valores descritos permiten establecer las condiciones del escenario base.

iv. Cambio climático

Los escenarios de cambio climático empleados en este trabajo fueron elegidos como se indica en el apartado 4.2.4, dejando constantes los salarios mínimos óptimos propuestos por los autores citados.

CAPÍTULO V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DE COATEPEC, VERACRUZ

5.1. Localización geográfica del Municipio de Coatepec, Veracruz

La localización del municipio de Coatepec se encuentra referido por las coordenadas extremas de $19^{\circ} 21' 20''$ y $19^{\circ} 32' 00''$ de latitud Norte; y $96^{\circ} 47' 20''$ y $97^{\circ} 06' 40''$ de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. Delimitan los municipios, por el norte: Acajete, Tlanelhuayocan y Xalapa; por el este: Emiliano Zapata; al sureste por Jalcomulco; Al sur por los municipios de Teocelo y Tlaltetela; al oeste por Xico y finalmente por el noroeste el municipio de Perote (Figura 5.1).

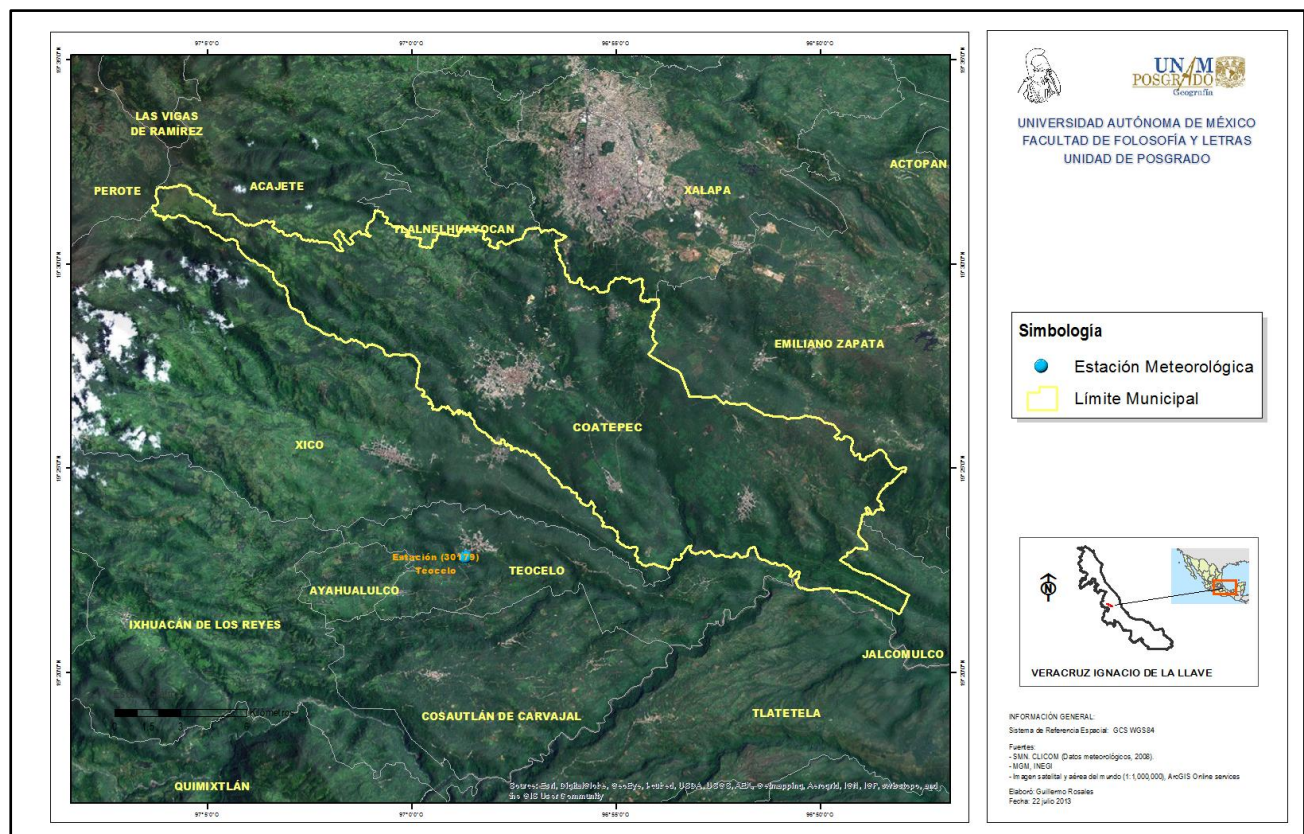


Figura 5-1. Mapa de Localización del Municipio de Coatepec, Veracruz.

El municipio de Coatepec está ubicado en las estribaciones en barlovento, en la porción oriental del Cofre de Perote. La configuración municipal se orienta con dirección Noroeste a Sureste, referente

al Cofre de Perote, y prosigue con dirección Este hacia el Golfo de México y muestra un progresivo gradiente altitudinal entre los 500 a 3000 msnm. La extensión territorial del municipio, comprende una superficie de 202.478 Km² (Figura 5-1).

El territorio de Coatepec se encuentra en la región central de Veracruz. Hoy en día es parte del corredor del café que abarca desde el municipio de Martínez de la Torre que se encuentra al norte hasta el sur el municipio de Huatusco.

Destaca el municipio de Coatepec como uno de los primeros productores del aromático a finales del siglo XIX y alrededor de esta actividad económica se va creando una cultura del café. Sin embargo, empezó su gran auge respecto al café a partir del reparto agrario después de 1918. El reparto agrario posibilitó la crisis y extinción de haciendas cañeras. El café desde esta zona empieza su expansión a las áreas aledañas y se convierte en el centro cafetalero por excelencia. Al norte avanzó y fue delimitado por la ciudad de Xalapa; hacia el oeste se extendió en las partes altas del mismo municipio y al municipio de Xico, las delimitaciones fueron ecológicas debido que se encuentran las zonas altas y con presencia de heladas; hacia el este, abarcó los municipios de Emiliano Zapata y tierras bajas de Jalcomulco. Finalmente, al sur delimitado por las cañadas del municipio de Cosautlan (Marshall, *et al*, 1985).

El desarrollo del enclave cafetalero se debe a las condiciones ambientales de suelos y del clima que favorecen a la planta de café y a la infraestructura de vías de comunicación, la difusión de las técnicas agronómicas y el incremento de centros de beneficio de café que consolidan una agroindustria importante para la comercialización, y por tanto, los mercados hacía los Estados Unidos y los países europeos por su cercanía al puerto de Veracruz (Marshall, *et al*, 1985).

En el caso del año de 2011, en el país se tienen 15 estados productores de café. El estado de Chiapas ocupa el primer lugar con una producción de 42.4% y en el segundo lugar, el estado de Veracruz concentra el 26% de la producción nacional. (SIAP, 2012). Por otra parte, en el año de 2011, el estado de Veracruz tiene 100 municipios productores. El municipio de Coatepec en el estado de Veracruz poseía el segundo lugar con el 6.6% de producción del aromático (SIAP, 2012).

Las investigaciones en algunos sitios donde han trabajado en el estudio de la biodiversidad, (Mansón, *et al*, 2008), el manejo y la conservación de los agrosistemas cafetaleros en el municipio de Coatepec tienen las siguientes categorías con sus propias características:

- **Fragmento de bosque.** Mezcla de especies primarias y secundarias sin algún tipo de manejo.
- **Policultivo tradicional.** Utiliza diferentes combinaciones de árboles del bosque y especies frutales introducidas. El manejo incluye control de arvenses, poda selectiva del café, se puede presentar una fertilización por ciclo y no presenta control fitosanitario. Se asocia a pequeños y medianos productores.
- **Policultivo Comercial.** Se remueve el dosel natural y se siembran árboles para dar sombra que tienen un uso comercial, por lo regular de dos a tres especies. El manejo se realiza con labores generales y particulares para cada cultivo, se utilizan cantidades considerables de agroquímicos. Se asocia a pequeños y medianos productores.

Las fincas de café son heterogéneas en cuanto a su asociación con diversos tipos de vegetación natural y usos de suelo. También existen diferencias en su organización y el capital que definen la escala de la producción.

Se consultó el mapa del Inventario Forestal de Veracruz (IFN) de SEMARNAT-UNAM, (2001) y se observó que la distribución espacial de los usos de suelo y vegetación que se encuentran en el municipio de Coatepec, Veracruz. Cada grupo es representativo por un tipo de comunidad vegetal.

En el Cuadro 5.1 se identifican los usos de suelo y de vegetación por superficie absoluta y relativa (%), en el municipio de Coatepec, Veracruz. El bosque de pino-encino, bosque de encino y el bosque mesófilo de montaña, representan tan solo el 4% de la superficie municipal que puede definirse como natural. La restante superficie muestra una marcada acción antrópica y de perturbación sobre el territorio debido a las actividades agrícola, ganadera, industrial y de crecimiento urbano.

Cuadro 5-1. Uso del Suelo y Vegetación Natural por Superficie Absoluta y Relativa del Municipio de Coatepec, Veracruz.

Uso de Suelo y Vegetación Natural de Coatepec (SEMARNAT-UNAM, 2001)	Has.	%
Bosque de pino-encino. (incluye encino-pino)	480.5	2.4
Bosque de encino	45.8	0.2
Bosque mesófilo de montaña	284.2	1.4
Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	2185.2	10.8
Selva mediana caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea.	7546.8	37.3
Pastizal cultivado	3280.8	16.2
Agricultura de humedad	224.9	1.1
Agricultura de riego (incluye riego eventual)	193.4	1.0
Agricultura de temporal con cultivos anuales	1233.6	6.1
Agricultura de temporal con cultivos permanentes y semipermanentes	4346.4	21.5
Asentamiento humano	426.2	2.1
Total	20247.8	100

Fuente: Inventario Forestal Nacional (SEMARNAT-UNAM, 2001)

De acuerdo al Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP), (2012), que administra los Distritos de Desarrollo Rural (DDR), se tiene que el municipio de Coatepec pertenece al DDR “Coatepec” con clave 170. El SIAP reporta para el año de 2010, por importancia de superficie sembrada destinada a la producción de cultivos, los siguientes datos:

Café cereza, 10,439 has; caña de azúcar, 3,149.5 has; maíz grano 350 has; mango 120 has; macadamia, 90 has; limón, 86 has; papa, 30 has; plátano 25 has; frijol, 15 has y maracuyá, 5 has.

Las condiciones de la variedad de bosques tropicales a templados, y de cultivos en el municipio de Coatepec son debidos al gradiente térmico que está en función de la altitud.

Los climas que se describen en el municipio de Coatepec, según el mapa digital de García-CONABIO (1998), son cálidos a templados con régimen de lluvias de verano en las partes bajas y régimen de lluvias intermedias tanto en verano como en invierno en las partes altas y, con un importante porcentaje de lluvias de invernol. En verano y parte del otoño, señala García (1970) se encuentra la zona influenciada por ciclones y en invierno, por masas de aire frío y Nortes.

En investigaciones relacionando el fenómeno ENSO se tienen las siguientes observaciones:

Pereyra, *et al*, (2000) encontraron que “la precipitación acumulada por decenas de la ciudad de Xalapa, de años normales con años de La Niña, disminuye durante todos los periodos; el húmedo 3.3%, el seco 8.6% y durante el periodo canicular 22.4%. En los años de El niño, durante el periodo húmedo la precipitación disminuye 5.8%, en el seco 3.3% y durante la canícula se incrementa un 5.1%”.

También Pereyra, *et al*, (1995) confrontaron las anomalías de la Oscilación del Sur (El Niño/Oscilación del Sur) y las variaciones de la precipitación anual de las estaciones climatológicas del Estado de Veracruz, normalizando a ambas, para tratar de encontrar una correlación entre el fenómeno de El niño y las sequías del estado de Veracruz. Sus resultados fueron que el fenómeno El Niño en su categoría muy fuerte (1982, 1983 y 1987) ha originado fuertes sequías en la región de Xalapa. Eventos de El Niño menos fuertes se presentaron en 1963 y 1975-1976, confirmando lo expuesto por Cavazos y Hastenrath, (1990) y Pereyra,*et al*, (1991). Los primeros afirman el efecto que tienen los Niños sobre las lluvias de la República Mexicana y el segundo indica que los Niños muy fuertes hacen disminuir la precipitación en la región de Xalapa en un 14.4%, señalando que en la región de Xalapa se han presentado cuatro períodos de sequía severa, siendo dos prolongadas (1961-1968 y 1976-1979) y dos cortas (1970-1971 y 1982-1983) y una en 1987.

Finalmente, Pereyra, *et al*, (1994), realizaron un análisis estadístico de la precipitación mensual y encontraron una relación entre El Niño /Oscilación del Sur (ENSO) y la canícula o sequía intraestival que se presenta en el estado de Veracruz. Dicha relación mostró una disminución o desaparición de la canícula para la región costera del estado (llueve más) y un incremento para las partes altas cuando se presenta el ENSO (llueve menos). En dicho estudio se consideraron solamente años de El Niño y el resto del periodo como años normales.

CAPÍTULO VI. RESULTADOS

6.1. El Clima de Coatepec, Veracruz

La estación climatológica de Teocelo está próxima al municipio de Coatepec y tiene una altitud de 1218 m.s.n.m., encontrándose ubicada en el Barrio de San Pedro en la cabecera municipal (Figura 6-1). Las características de la información de las variables climáticas se describen en el Cuadro 6-1.



Figura 6-1. Estación climatológica Teocelo (30179), Teocelo, Veracruz.

Cuadro 6-1. Localización y características de la información de la estación climatológica de Teocelo, Veracruz.

Clave	Estado de Veracruz	Municipio	Longitud Oeste	Latitud Norte	Altitud msnm	Temperatura mínima y máxima		Años	Precipitación pluvial		Años
						Inicio	Fin		Inicio	Fin	
30179 GPS	Teocelo	Teocelo	96°58'39.9"	19°22'49.2"	1190	1944	1999 2001-2007	61	1944	1999 2001-2007	61

Fuente: CLICOM, SMN, 2008 y GPS.

El clima se calculó con la normal climatológica de 1961-1990 de la estación meteorológica de Teocelo (Tabla 6-1) y se clasificó como semicálido con verano templado subtropical, con poca oscilación en la temperatura (6°C) y marcha de la temperatura tipo Ganges. El clima es húmedo con régimen de lluvias intermedias, y presencia de monzón. El porcentaje de lluvias invernales es de 8.9%. Hay presencia de canícula (sequía de medio verano). Clave climática **(A)Ca(fm)(i)gw"**.

Tabla 6-1. Normal climatológica del período de 1961-1990 de la estación climatológicas de Teocelo, Teocelo.

Estación	Municipio	Clave	Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Teocelo	Teocelo	30179	Temperatura	16.2	17.2	19.3	21.3	22.1	21.5	20.8	21.0	20.7	19.6	18.5	16.9	19.6°C
			Precipitación	56.7	61.4	85.7	74.8	145.9	354.5	297.7	278.6	358.2	174.2	102.5	68.6	2058.8 mm

6.2. Requerimientos Agroclimáticos del café (*Coffea arabica L.*)

Díaz, *et al.*, (2001) señalan que el factor y los elementos del clima que se requieren para la producción de café, son la altitud, la temperatura y la precipitación. Aunque bien, puede influir en la distribución de las zonas potenciales del café la pendiente, los tipos de suelos y sus características físicas y químicas. Además del tipo de prácticas agroecológicas utilizadas por los productores en el manejo de las fincas de café.

Se obtuvieron los requerimientos del café (*Coffea arabica L.*) que se muestran en el Cuadro 6-2. Los rangos descritos por las definiciones anteriores coinciden con los que usamos en este trabajo.

Cuadro 6-2. Tipo de aptitud por requerimientos de altitud, precipitación, temperatura y sequía relativa para el café (*Coffea arabica*).

	Marginal	Buena	Óptima	Buena	Marginal
Altitud (msnm)	< 600	600 – 900	900 – 1300		> 1300
Precipitación media anual (mm)	< 1500	1500 – 1800	1800 - 2500	2500 –3000	> 3000
Temperatura media anual (°C)	< 14	14 – 17	17 – 23	23 – 27	> 27
Temperatura media mensual (°C)	<10	16 – 18	18 – 21	21 – 24	> 24
Temperatura media diaria mínima del mes más frío (°C)	7				
Temperatura mínima promedio (°C)	7	10		19.9	
Temperatura máxima promedio (°C)		21		30.6	34
Temperatura media diaria mínima del mes más frío (°C)	4 -7	7 – 10	10 – 19	19 – 21	21 – 23
Sequía Relativa preestival (# meses)			2 – 3		
Requerimientos hídricos para la inducción a la floración			50 mm		

Fuente: Díaz, P. G., *et al.*, 2001;(INIFAP)-Fundación Produce Nayarit, (2012); Sys, *et al.*, (1993); Castillo, *et al.*, (1996). (FAO-ECOCROP, 2010). Regalado, (1996) y Ruíz, *et al.*, (1999)

6.3. Fenología del café

Se muestra el Cuadro 6-3, que fue ajustado sobre el calendario fenológico de café en Coatepec por períodos de cada 15 días. Se identificaron 5 etapas que abarcan desde la inducción floral hasta la florescencia que dura 5 meses. La fructificación dura ocho meses, se presenta en cinco etapas incluyendo la maduración. En cada una de las etapas de las fases fenológicas del café incorporamos las limitantes climáticas.

Continuación Cuadro 6-4	
Fructificación	<ul style="list-style-type: none"> En la etapa 1 del desarrollo del fruto del café, la deficiencia hídrica puede generar el secamiento de frutos tiernos. En el caso de presentarse períodos muy lluviosos se esperan menores valores de cuajamiento y retención de frutos En la etapa 2 con deficiencia hídrica puede tener diferentes efectos sobre el desarrollo del fruto: <p>Grano vacío (flotantes): Uno o ambos lóculos del fruto aparecen vacíos, sin ninguna formación del endospermo. Cuando se benefician producen el defecto “espuma”.</p> <p>Grano parcialmente formado: Uno o ambos lóculos del fruto presentan formación parcial del endospermo, sin que se llegue al llenado completo.</p> <p>Grano negro: Frutos en un estado de desarrollo muy avanzado con una ligera tonalidad amarillenta y que al partirlos muestra una o ambas almendras desarrolladas y color café muy oscuro. Al beneficiarlos producen el defecto “espuma”</p> <p>Grano pequeño: El fruto se desarrolla pero adquiere un tamaño inferior al normal.</p> <ul style="list-style-type: none"> En la etapa 3, la deficiencia hídrica tiene efectos menos severos debido a que el fruto se encuentra completamente desarrollado. En cambio, combinado por los incrementos de temperatura, favorece las condiciones para las plagas y enfermedades. En las etapas 4 y 5, son sensibles a las bajas temperaturas.

Fuente: Arcila, (2007) y FAO-ECROPS, (2012).

6.4. Talleres participativos

Los cafecultores del CRCC por medio de los talleres participativos permitieron la caracterización del clima y las amenazas climáticas de forma mensual que inciden en el municipio de Coatepec (Cuadro 6-5).

Cuadro 6-5. Características del clima en condiciones estándar en el municipio de Coatepec.

	MESES DEL AÑO											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
SOBRE PRECIPITACIÓN:												
Chipichipi	x											
Neblina y chipichipi		x										
Poco seco			x									
Empiezan los aguaceros.				x								
Son fuertes las lluvias hasta el 14 de julio					x	x	x					
Del 14 de julio al 14 o 22 de agosto es la canícula							x	X				
Más lluviosos que junio, con la actividad de ciclones se dan los aguaceros									x	X		
Empieza a bajar la lluvia											x	
Chipichipi												x
Sequía de marzo a abril			x	x								
Granizadas normales			x	x								
Inicio de las lluvias 15 de mayo hasta septiembre.					x	x	x	X	x			
Nortes con lluvias torrenciales									x	X	x	
Surada en mayo					x							

Continuación Cuadro 6-5												
SOBRE TEMPERATURAS:	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Continúa el frío hasta mediados de febrero	x	x										
Mediados de febrero a mediados de mayo los calores		x	x	x	x							
Mediados de mayo a junio baja el calor					x	x						
Con la canícula aumenta la temperatura y las plagas. En el día hace mucho calor y las noches con mucho frío						x	x					
Inicia la baja temperatura y es frío											x	x

X: presencia

6.4.1. Posibles amenazas a mediano plazo

Los cafeticultores perciben cambios importantes en las condiciones climáticas en cuanto a la frecuencia, duración e intensidad de eventos extremos. El cuadro 6-6, resume las condiciones observadas por los cafeticultores en los últimos años.

Cuadro 6-6. Calendarización de amenazas climáticas actuales y a mediano plazo en el municipio de Coatepec.

AMENAZAS	MESES DEL AÑO											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sequía						X	X	X	X	X	X	
Surada					X	X	X	X				
Onda de Calor			X	X								
Nortes	X	X	X						X	X	X	X
Inundaciones									X			
Granizadas			X	X	X	X						
Lluvias Torrenciales	X	X					X		X	X	X	X
Canícula							X	X	X	X		

X	Amenazas Actuales
X	Amenazas Futuras

6.4.2. La percepción de las amenazas actuales anómalas del clima

A continuación se describen algunas percepciones de los cafeticultores respecto al clima presente y que puede ser una amenaza a mediano plazo en el municipio de Coatepec (Cuadro 6-7).

Cuadro 6-7. Observaciones del clima.

Clima	<ul style="list-style-type: none"> • Perciben que las estaciones del año ahora ya no son muy marcadas. • Menos neblina. • Ahora hay retraso de lluvias de junio, antes no. • Perciben que llueve por zonas, en unas zonas si y en otra no, cuando se esperarían en la mayoría de ellas • Durante el medio día para la tarde, hay amenaza de agua pero no descarga, dicen que podría ser por una distribución irregular por corrientes, la concentra menos, ahora el aire se lleva todo. • En 2006, no hubo canícula. • El patrón de vientos es hacia el oeste en lugar de norte. • Se ha sentido mucho calor desde 2007. • En los años sesentas el clima era diferente, los periodos eran más regulares. • A fines de los años setentas y principios de los años ochenta se empezaron a notar los cambios. En los inviernos había mucha niebla y ahora hay en primavera.
-------	--

Continuación Cuadro 6-7	
Granizadas	<ul style="list-style-type: none"> • En marzo, abril y mayo, las granizadas eran raras. Ahora las granizadas son perjudiciales para el café porque tumba las hojas y hasta los granos y la flor.
Heladas.	<ul style="list-style-type: none"> • Las heladas las perciben como un gran riesgo; En 1989 hubo una gran helada, pero por lo regular no ocurren, aunque durante el invierno 2010 –2011, se presentaron fuertes heladas, lo que motivó la solicitud de una conferencia explicativa por parte del grupo de investigación del proyecto. Esta alarma indica que en realidad no esperan eventos tan severos en la región.
Ondas de calor	<ul style="list-style-type: none"> • Durante el 2007 se presentaron golpes de calor y noches de bochorno. En julio se sintió calor y no debería ser así; en Las Lomas por la noche se siente mucho calor.
Nortes	<ul style="list-style-type: none"> • Los nortes son de septiembre a noviembre y ahora son mucho más fuertes. Cuando son más fuertes son huracanados, en 2006 voló techos.
Suradas	<ul style="list-style-type: none"> • También se llegan a presentar Suradas (aire del sur que es caliente), estos eventos son poco fuertes en general, pero ahora son más frecuentes e intensos. Se presentan como adelantos de huracanes y se observan a partir de mayo, aunque son esporádicas.

6.4.3. Calendario de producción del café y manejos agrológicos en las fincas cafetaleras

El sistema productivo del café, inicia de forma controlada y manejada por los productores con diversas prácticas agroecológicas, desde el semillero bajo cubierta de los invernaderos hasta su plantación en las fincas. Al trasplantarse las plantas de café continúan con su proceso de crecimiento vegetativo y el proceso de desarrollo reproductivo. Las prácticas agronómicas realizadas por los cafetaleros de la Región Centro de Veracruz son las siguientes de acuerdo a la fase fenológica del café:

Limpieza de las matas de café en el mes de febrero al finalizar la cosecha, de marzo a abril se podan árboles para regular la sombra al interior de los cafetales de finca y favorecer la floración. En mayo se hace otra poda a los cafetales limpiando de malezas el terreno. La fertilización se realiza en el mes de junio, inicios de la época de lluvias. Durante la canícula, en el período de lluvias, se aplica otra poda y deshije proporcionando las condiciones de crecimiento y llenado de la cereza de café.

El café en la etapa de desarrollo y reproducción presenta tres fases fenológicas, la primera de ellas la podemos ubicar durante la floración, dura dos meses. Después, la siguiente fase consiste en el crecimiento o llenado del grano, que dura seis meses. Por último, la maduración, que representa el momento del corte o cosecha del grano de café y se realiza entre los meses de noviembre hasta febrero del siguiente año. Aproximadamente son tres cortes los que se realizan por cosecha. Sin

embargo, las condiciones altitudinales referentes de zona baja o alta de lomerío señalan variaciones en el inicio y la terminación del período de maduración del fruto o grano de café (Cuadro 6-8).

Cuadro 6-8. Fases del crecimiento y desarrollo de *Coffea arabica L.* asociado a prácticas agronómicas.

FENOLOGÍA DE CAFÉ	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Cosecha	X	X									X	X
Floración			X	X								
Crecimiento y llenado del grano			X	X	X	X	X	X	X	X		
Limpia		X										
Poda y Regulación de Sombra			X	X								
Poda					X							
Fertilización						X						
Limpia y Deshije							X	X				

Presencia: X

6.4.4. Las amenazas identificadas para el café

Las principales amenazas del café por influencia de anomalías del clima son aquellas que influyen en la producción de café (cuadro 4.4). Entre ellas se encuentra la sequía que, como los productores han señalado, puede presentarse en el mes de junio hasta noviembre afectando la calidad del grano. La *canícula* normalmente es de julio a agosto y trae consigo la aparición de las plagas. El fenómeno de la *surada*, han señalado los productores, puede presentarse en mayo, pero puede también ocurrir entre los meses de junio a agosto y se caracteriza por ser un viento con fuerte intensidad que afecta a la producción de café porque causa la caída de los granos en formación. Las ondas de calor, si pasan durante la floración entre febrero y marzo, pueden secar las matas o marchita la flor, y si el grano se encuentra en una etapa incipiente, toma forma de “arroz”, pudiendo crecer hueco, implicando una disminución importante en la producción final.

Con el *Norte*, si se presentan temperaturas muy bajas, se quema el grano de café. Las granizadas, según el tamaño del granizo repercuten con daño mecánico a las plantas de café, tira la flor o el incipiente grano. Las lluvias torrenciales, si se presentan durante la época de la floración (dicen los productores) “transforma la flor en hoja” lo que implica que las flores se caen y tendrán plantas sin producción. Las lloviznas abren el grano de café y no se puede cosechar. La helada, como la presentada en 1989, evidenció una alta sensibilidad de la planta a las bajas temperaturas, causando una pérdida total de la cosecha.

Se concluyó que las condiciones anómalas climáticas observadas por los productores afectan al café, y éstas constituyen un peligro mayor porque se han vuelto más frecuentes, y pueden ser proyectadas como grandes amenazas a medianoplazo.

Cuadro 6-9. Principales amenazas durante las fases de desarrollo y reproducción del café.

AMENAZAS CAFÉ	AL	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Sequía							x	x	x	x	x	x	
Canícula							x	x	x				
Surada						x	x	x	x				
Ondas de calor				X	x								
Nortes	x	x	X							x	x	x	x
Granizadas			X	x									
Lluvias torrenciales	x	x	X	x						x	x	x	x
Llovizna			x	X									
Helada	x	x	X								x	x	x

Floración
Crecimiento y llenado del grano de café
Maduración y cosecha

La realización de los talleres participativos con los productores de café, permitió la identificación del calendario fenológico del café en el municipio de Coatepec. Las actividades agronómicas que aplican en las fincas de café están aunadas a la fenología del aromático y las condiciones climáticas por la distribución de la disponibilidad hídrica y la temperatura en el ciclo de la producción del café. Con los resultados de esta actividad se cumplió un objetivo particular de este trabajo.

Otro objetivo particular cumplido fue la identificación de los tipos de amenaza climática que afectan al cultivo del café. Para ello primero se reconstruyó “la historia del clima” del lugar, detectando en ese proceso los eventos y años críticos para el café. Los productores resaltaron con su memoria histórica y vida cotidiana, los contrastes que encuentran en el antes y el ahora con el comportamiento del clima. Posteriormente, señalaron las amenazas climáticas que son sensibles a cada etapa fenológica del café y sus repercusiones a la planta o a la cereza de café. Resaltaron los eventos extremos propios de cada época del año, si se han sufrido modificaciones y con frecuencia, y la incidencia en meses distintos de los habituales que pueda afectar al café.

Finalmente, la contribución del primer método de los talleres participativos fue ofrecer el calendario fenológico de café para el municipio de Coatepec que fue empleado en los siguientes métodos. También, fue el punto de partida de identificación de diversas amenazas climáticas de acuerdo a la

fenología de la planta que comparativamente en los siguientes métodos observaremos si son similares a las observaciones mencionadas por los productores.

6.5. Diagramas ombrotérmicos

La figura 6-2, muestra el diagrama ombrotérmico del período base con la distribución interanual de la precipitación y la temperatura del período de 1961 a 1990. Se ajustó la ordenada Y2 con base en el régimen de lluvias que se obtuvo de la clasificación climática (García, 2004) que resultó como $P=2t + 14$. En la parte inferior de forma mensual se identifican las etapas fenológicas del café.

La estación climatológica de Teocelo nos indicó que la temperatura media anual es de 19.6 °C y la precipitación promedio anual se encuentra en 2058.4 mm (Tabla 6-2a). La Tabla 6-2b, señala las diferentes condiciones de humedad contenidas en el diagrama ombrotérmico (Figura 6-2). La superficie del superávit representa el 47.5% del total y se presenta en los meses de mayo a noviembre. Mientras la condición húmeda significa el 16% del total y es constante en todos los meses del año. Finalmente el déficit hídrico consta del 36.5% del total. En el caso de la sequía intraestival del período lluvioso es durante los meses de julio y agosto que representó 8.5%.

Se observó en la época invernal que de forma regular en el mes de febrero, la precipitación es superior a los 50 mm y es suficiente de la requerida para romper la latencia de los botones florales e iniciar la floración del café que normalmente es en el mes de marzo. Por tanto, es frecuente que existan floraciones anticipadas. La consecuencia de ello es la producción de floraciones dispersas igual que los cortes para la cosecha de la cereza de café implicando elevados costos en la recolecta por parte del productor.

En la primavera entre los meses de marzo y abril, las temperaturas medias mensuales se consideran óptimas. Las lluvias por lo regular son superiores a los 70 mm, y pueden estar propensas la formación regular de flores estrella.

Los productores señalaron que en condiciones estándar, las floraciones inician en el mes de marzo y continúan en el mes de abril. El tiempo que ocurre entre una floración y el inicio de la fructificación dura tres días.

El período de crecimiento, el llenado y la maduración de la cereza de café debe durar ocho meses. La cosecha se inicia en el mes de noviembre. No obstante, los cortes se pueden prolongar hasta el mes de febrero del siguiente año. Las condiciones de disponibilidad hídrica cuando ocurren en el mes de febrero provocan recolectas dispersas y por ello explica el crecimiento lento de la cereza de café y las cosechas hasta el mes de febrero.

Entre los meses de mayo a julio, entre el final de la primavera y la mitad del verano, existe una importante disponibilidad hídrica para el crecimiento y llenado de la almendra del café. Los requerimientos térmicos son buenos.

Entre los meses de julio a septiembre, se mantuvieron los requerimientos térmicos que son considerados como óptimos. La canícula favorece el incremento de la temperatura y la disponibilidad hídrica, la consolidación del desarrollo final y aumento de peso de la cereza de café.

Observamos que en el otoño, durante los meses de septiembre a noviembre, normalmente los requerimientos térmicos estándar se consideran óptimos. La maduración del café se caracteriza por los cambios de coloración que determinan en el mes de noviembre el inicio del corte del aromático.

6.5.1. Diagramas ombrotérmicos anuales de los años de 1996 y 2005

Se compararon las condiciones climáticas de los ciclos de producción de los años de 1996 y 2005, considerados respectivamente como producción de año bueno y año malo. Las figuras 6-3 (lado izquierdo) y 6-4 (lado derecho) muestran los diagrama ombrotérmicos con la distribución interanual de la precipitación y la temperatura de los años de 1996 y 2005. En la parte inferior se encuentran las fases fenológicas del café.

El diagrama ombrotérmico de 1996 muestra las condiciones que calificamos como buenas con una producción de 36,100 toneladas para el ciclo de producción de 1996-1997(lado izquierdo). También, el diagrama ombrotérmico que consideramos como malo con una producción de 17,768 toneladas en el ciclo de producción de 2005-2006(lado derecho) en el municipio de Coatepec.

Comparando los diagramas ombrotérmicos anuales con respecto al diagrama ombrotérmico base, se observó que se presentaron sequías preestivales en el invierno y períodos secos durante la primavera. También se observan anomalías en los períodos intraestivales como desaparición de la canícula en el año de 1996 o presencia sólo para el mes de junio en el año de 2005. Otro factor que se resalta son las lluvias por encima de lo normal en el verano del año de 2005 y que las temperaturas se comportaron con condiciones más cálidas a lo normal. En el año de 1996, hubo variaciones térmicas con anomalías de 0.3 a 1.9°C y en el año de 2005 incrementos de temperatura que fluctuaron de 0.5 a 2.4°C.

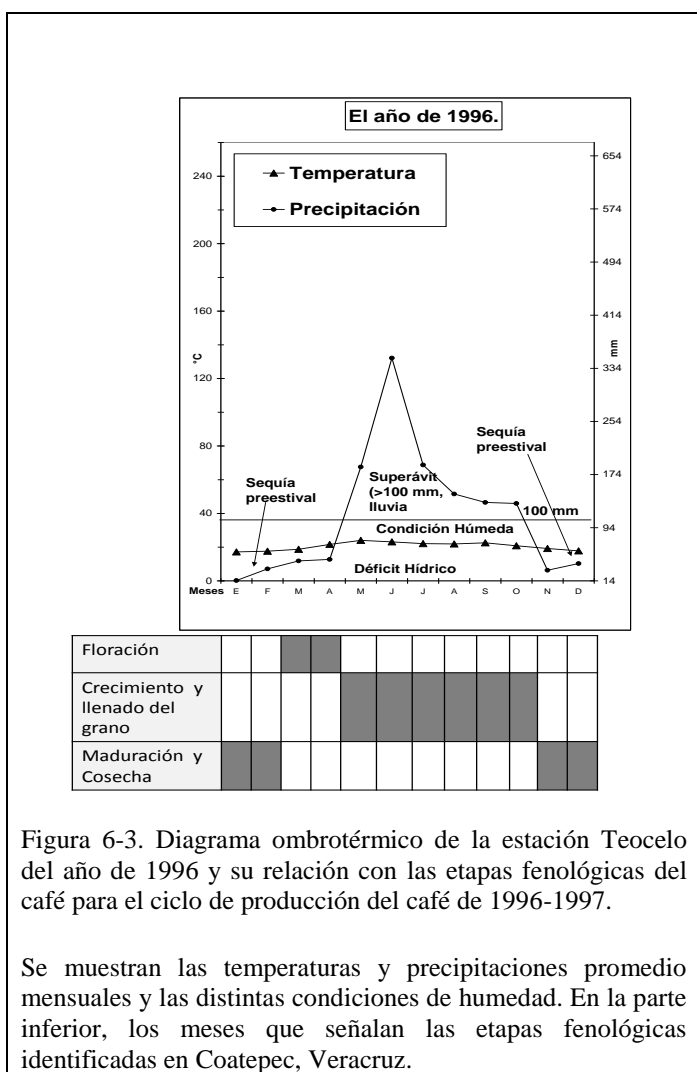


Figura 6-3. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del año de 1996 y su relación con las etapas fenológicas del café para el ciclo de producción del café de 1996-1997.

Se muestran las temperaturas y precipitaciones promedio mensuales y las distintas condiciones de humedad. En la parte inferior, los meses que señalan las etapas fenológicas identificadas en Coatepec, Veracruz.

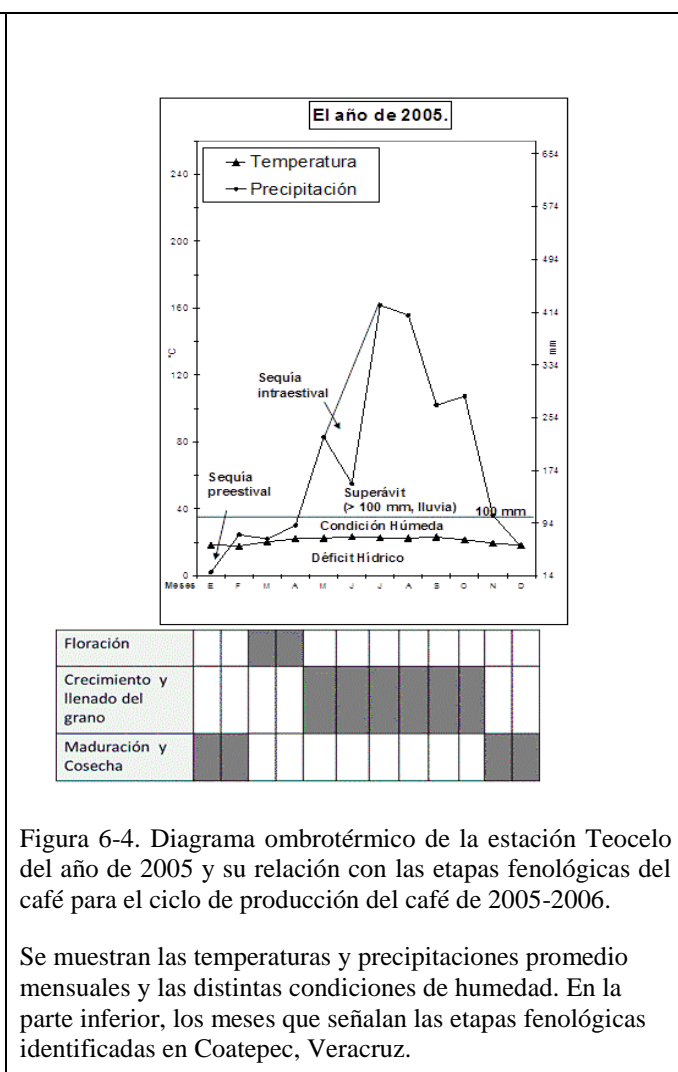


Figura 6-4. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del año de 2005 y su relación con las etapas fenológicas del café para el ciclo de producción del café de 2005-2006.

Se muestran las temperaturas y precipitaciones promedio mensuales y las distintas condiciones de humedad. En la parte inferior, los meses que señalan las etapas fenológicas identificadas en Coatepec, Veracruz.

6.5.1.1. Diagrama ombrotérmico del año de 1996

Los meses de enero y febrero cumplen el requerimiento de 2 a 3 meses de sequía preestival. En el mes de marzo los valores que propiciaron las precipitaciones fueron mayores de 40 mm. Se consideró que entre 40 y 45 mm son los mínimos requeridos para el inicio de la floración y el crecimiento del fruto de café. Además, los requerimientos de temperatura media mensual se encontraron como óptimos. Los meses subsecuentes mostraron disponibilidad hídrica y las condiciones de requerimientos térmicos buenos antes de la recolecta del café. Aunque la canícula desapareció en el verano, el superávit se mantuvo por encima de los 100 mm (Tabla 6-3 y Gráfico 6-3).

Tabla 6-3. Comparación de la precipitación y la temperatura del año de 1996 con el período base de 1961-1990.

Año		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1996	T	17.1	17.6	18.7	21.6	24.0	23.1	22.1	21.9	22.6	20.8	19.2	17.8
	P	14.5	32.0	44.0	46.3	185.5	349.5	188.5	144.8	132.0	130.5	30.0	40.0
1961-1990	T	16.2	17.2	19.3	21.3	22.1	21.5	20.8	21.0	20.7	19.6	18.5	16.9
	P	56.7	61.4	85.7	74.8	145.9	354.5	297.7	278.6	358.2	174.2	102.5	68.6

T: Temperatura (°C); P: Precipitación (mm)

Se concluye entonces que las condiciones no afectan la producción de café.

6.5.1.2. Diagrama ombrotérmico del año de 2005

Se observa en la Tabla 6-4 que el requerimiento térmico se calificó como óptimo en el invierno. La precipitación estuvo por encima de los 50 mm en el mes de febrero, lo que apunta a floraciones anticipadas y formando las flores estrella. No obstante, los acontecimientos de la presencia de los impactos de las tormentas tropicales Gert en el mes de julio y José en el mes de agosto (Acevedo y Luna, 2006) mostraron aumentos de la precipitación (Tabla 6-4), que no afectaron el término del desarrollo sólido e incremento del peso de la almendra de café, pero estuvieron las condiciones propicias para la presencia de plagas y enfermedades, y por ello estaban propensos los daños físicos a la planta y al grano de café.

Tabla 6-4. Comparación de la precipitación y la temperatura del año de 2005 con el período base de 1961-1990.

Año		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2005	T	18.5	17.9	20.4	22.2	22.6	23.4	22.8	22.6	23.1	21.6	19.6	18.2
	P	19.6	76.4	70.2	90.7	224.4	153.7	424.7	409.4	273	286.5	105.8	58.4
1961-1990	T	16.2	17.2	19.3	21.3	22.1	21.5	20.8	21.0	20.7	19.6	18.5	16.9
	P	56.7	61.4	85.7	74.8	145.9	354.5	297.7	278.6	358.2	174.2	102.5	68.6

T: Temperatura (°C); P: Precipitación (mm)

Por otro lado, el ciclón tropical Stan impactó a finales del mes de octubre. Ese meteoro provocó daños al sector agrícola de Veracruz. De la superficie plantada de café se tenía 139,459 (Ha) y sólo se cosecho una superficie de 87,185 (Ha) y perdiéndose el 62% de la superficie de café en el Estado de Veracruz (Gutiérrez, *et al*, 2006). En el caso del municipio de Coatepec, según SIAP (2012), de la superficie plantada de café se contaba con 8,637 (Ha) y se cosecharon 8,436 (Ha), la superficie siniestrada fue del 2%. Por tanto, el aumento de la disponibilidad hídrica, en cierta manera, no afecta el desarrollo de la fructificación del café (Tabla 6-4). Pero, las consecuencias de las lluvias torrenciales significan daños mecánicos a la planta y al grano de café que estaban ya listos para la recolecta al mes siguiente. Por consiguiente, las condiciones climáticas similares a este año se consideran negativas para la producción del café.

6.5.2. Diagramas ombrotérmicos anuales de 1974 (La Niña) y 1998 (El Niño)

Las figuras 6-5 (lado izquierdo) y 6-6 (lado derecho), muestran los diagrama ombrotérmicos con la distribución interanual de la precipitación y la temperatura de los años de 1974 y 1998. Respectivamente se manifestó la señal fuerte La Niña y El Niño. Abajo se encuentra la fenología del café.

Los diagramas ombrotérmicos de los años de 1974 y 1998 muestran las condiciones que se calificaron como regulares. La producción fue de 268,728.3 toneladas para el ciclo de producción de 1974-1975. La información del ciclo de producción de 1974-1975 fue a nivel estatal y comparado con los ciclos de los años de 1970 hasta 1984, la producción máxima registrada fue en el año de 1982 con 358,955 toneladas.

De la comparación general de los diagramas ombrotérmicos de los años de 1974 y 1998 con respecto al diagrama ombrotérmico del escenario base, se obtuvo que en la época invernal del año de 1998 estuvo presente la sequía preestival. En ambos casos se presentó una disminución de la precipitación en la primavera en meses distintos. En el verano tuvieron en común que la canícula fue en el mes de agosto. En otoño, particularmente en el mes de septiembre fueron dos años muy lluviosos. En el año de 1998 la señal El Niño se presentó desde los meses de enero hasta junio, mientras que en el año La Niña se apreció su efecto desde los meses de enero a abril.

6.5.2.1. Diagrama ombrotérmico del año de 1974

En el año de 1974, el mes de enero fue lluvioso con condiciones húmedas y muy probablemente provocó problemas en la recolecta de café. En cuanto el mes de febrero se presentaron lluvias superiores a los 50 mm y una anticipación de la floración. Sin embargo, fue muy pronunciada la sequía en los meses de marzo a abril con poca disponibilidad hídrica, aunque probablemente la capacidad de campo del suelo no se haya visto tan afectada por las lluvias anteriores, lo que ayudó a la disminución del estrés hídrico a la planta de café. Consideramos que durante el ciclo de producción de 1974-1975 fue acentuada la pérdida de la producción en el municipio de Coatepec (Tabla 6-5 y Gráfico 6-5).

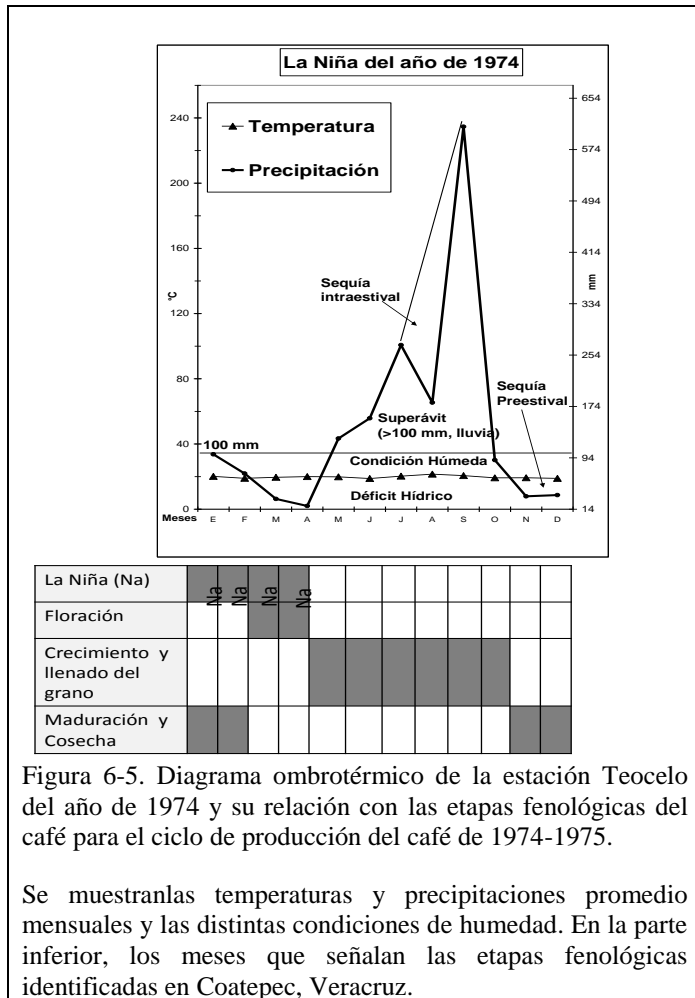


Figura 6-5. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del año de 1974 y su relación con las etapas fenológicas del café para el ciclo de producción del café de 1974-1975.

Se muestran las temperaturas y precipitaciones promedio mensuales y las distintas condiciones de humedad. En la parte inferior, los meses que señalan las etapas fenológicas identificadas en Coatepec, Veracruz.

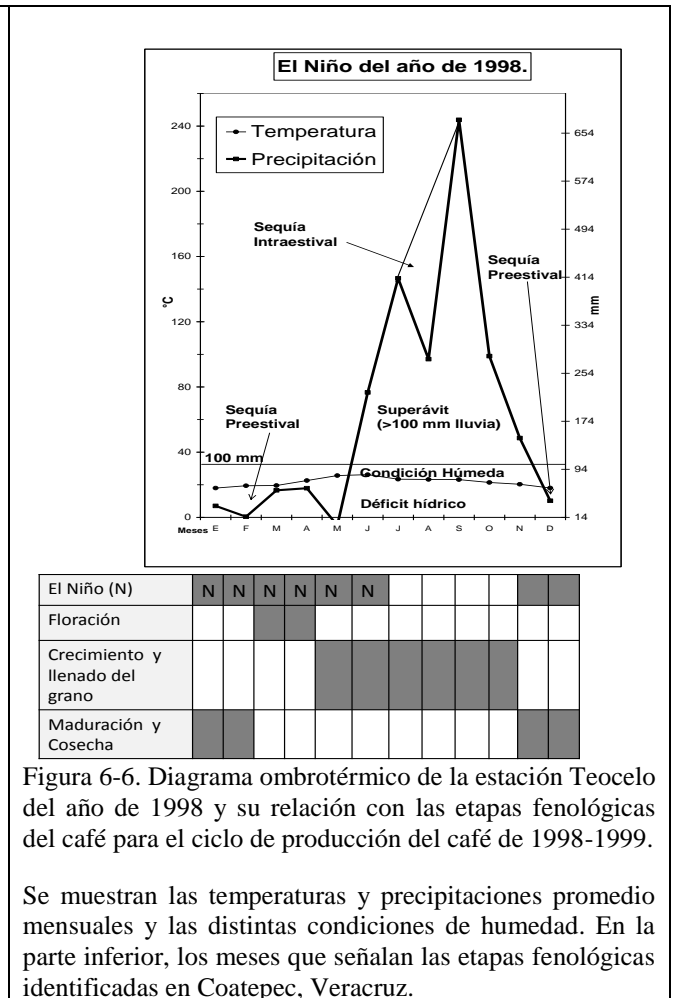


Figura 6-6. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del año de 1998 y su relación con las etapas fenológicas del café para el ciclo de producción del café de 1998-1999.

Se muestran las temperaturas y precipitaciones promedio mensuales y las distintas condiciones de humedad. En la parte inferior, los meses que señalan las etapas fenológicas identificadas en Coatepec, Veracruz.

Tabla 6-5. Comparación de la precipitación y la temperatura del año de 1974 con el período base de 1961-1990.

Año		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1974	T	20.1	19.0	19.6	20.0	19.9	18.8	20.3	21.5	20.6	19.3	19.3	18.9
	P	99.5	69.5	30.0	19.0	124.0	155.5	269.5	180.0	609.5	90.5	34.0	36.0
1961-1990	T	16.2	17.2	19.3	21.3	22.1	21.5	20.8	21.0	20.7	19.6	18.5	16.9
	P	56.7	61.4	85.7	74.8	145.9	354.5	297.7	278.6	358.2	174.2	102.5	68.6

T: Temperatura (°C); P: Precipitación (mm)

6.5.2.2. Diagrama ombrotérmico del año de 1998

En el año de 1998, la floración inició en el mes de marzo con condiciones hídricas por arriba de 50 mm y los requerimientos de la temperatura mensual fueron óptimos. La disponibilidad hídrica se redujo en el mes de mayo, lo que pudo ocasionar daños en el crecimiento y el llenado de la almendra de café. La planta enfrentó condiciones adversas marginales por temperatura más altas. Es posible entonces que se presentara un estrés en las funciones fisiológicas de la planta y ante el estrés hídrico, la reacción de una reducción del crecimiento. Las condiciones hídricas de los meses de junio y julio se fueron incrementando, para alcanzar la condición de superávit. Pero en el mes de junio se incrementó la temperatura más que el mes anterior, que combinada con la disponibilidad hídrica proporcionó las condiciones para que la planta de café pudiera ser atacada por plagas y enfermedades. No obstante, la producción del ciclo se consideró regular. (Tabla 6-6 y Gráfico 6-6).

Tabla 6-6. Comparación de la precipitación y la temperatura del año de 1998 con el período base de 1961-1990.

Año		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1998	T	18.0	19.4	19.5	22.6	25.6	26.2	23.4	23.2	23.2	21.4	20.3	18.0
	P	33.0	15.0	59.0	62.5	0.5	222.0	412.0	277.5	676.0	282.5	146.0	41.5
1961-1990	T	16.2	17.2	19.3	21.3	22.1	21.5	20.8	21.0	20.7	19.6	18.5	16.9
	P	56.7	61.4	85.7	74.8	145.9	354.5	297.7	278.6	358.2	174.2	102.5	68.6

T: Temperatura (°C); P: Precipitación (mm).

6.5.3. Diagramas ombrotérmicos para los escenarios de cambio climático y para el horizonte 2050

Las figuras 6-7 y 6-8, muestran los diagrama ombrotérmicos con la distribución interanual de la precipitación y la temperatura proyectadas de los modelo MPI ECHAM5 (Echam) y UKMO HADGEM1 (Hadley) con el escenario de emisiones A1B para el horizonte 2050. Debajo de estos diagramas ombrotérmicos se encuentra la fenología del café observada en el municipio de Coatepec. Además, en las Tablas 6-7a y 6-8acomparan los valores mensuales de la temperatura y la

precipitación proyectada. Las Tablas 6-7b y 6-8b muestran las diferentes condiciones de humedad. La ordenada [Y2] en el escenario MPI ECHAM5 se ajustará como propuso García (1983) como $P=2T+28$; En el modelo UKMO HADGEM1 se empleó $P=2T+14$.

El escenario base indicó que la temperatura media anual es de 19.6 °C y aumentará según el modelo ECHAM con escenario de emisiones A1B a 21.6°C. El modelo HADLEY con el escenario de emisiones A1B la temperatura se incrementará a 21.8°C. Las temperaturas anuales se encuentran en las condiciones óptimas al café. Por otro lado, la precipitación promedio anual se encuentra en 2058.4 mm, el modelo Echam indica que la lluvia disminuirá a 1868.5 mm y con el modelo HADLEY se reducirá a 1683.1 mm. De acuerdo a los requerimientos anuales del café se encuentran en el umbral de tipo óptimo. Sin embargo, es importante conocer su distribución para observar el tipo de impactos biofísicos a la floración y al desarrollo del fruto de café (Tablas 6-7a y 6-8a).

6.5.3.1. Diagrama ombrotérmico del modelo MPI ECHAM5_A1B del horizonte 2050

Se observó que el modelo MPI ECHAM5 al determinar su tipo climático se comporta, de acuerdo a García, (2004), como un clima semicálido del grupo de los cálidos y el régimen de lluvias es de verano. Las temperaturas mensuales son más altas que el escenario base.

El mes de enero mostró un incremento por arriba de 40 mm que señalaría problemas en la maduración y daños mecánicos a la cereza de café, además de problemas en la recolección, lo que dañaría económicamente al ciclo de producción. El mes de febrero se presentaron condición térmica mensual óptima y de disponibilidad hídrica más estable, aunque su cantidad estuvo por arriba de los 40 mm, lo que podría representar floraciones anticipadas.

En los meses subsecuentes, las condiciones térmicas mensuales se caracterizaron como buenas y no hay deficiencia hídricas para el proceso de la fructificación y maduración del grano de café.

En las tablas 6-2b y 6-7b, puede observarse las condiciones de la humedad. La superficie del superávit del escenario base representa el 47.5% del total y con el modelo MPI ECHAM disminuye a 38.7% y se presentaría en los meses de mayo a noviembre, exceptuando el mes de julio. Mientras, la condición húmeda en el escenario base representa el 16% del total, lo que aumenta en este escenario a 16.4%, durante los meses de abril a diciembre. Finalmente el déficit hídrico en el

escenario base, que es del 36.5% del total, aumentará en este escenario a 45.0%. En el caso de la sequía intraestival, en el escenario base representó el 8.5%, lo que aumentaría a 34.9%, y se presentaría en los mismos meses. En el escenario base no se identificó la sequía preestival, pero en este escenario abarcaría un 25.4%, que se presentaría en los meses de enero y febrero (Figura 5.6). Cabe señalar que en estas condiciones de cambio climático, el café tiene en el mes de febrero las condiciones hídricas para el inicio de la floración.

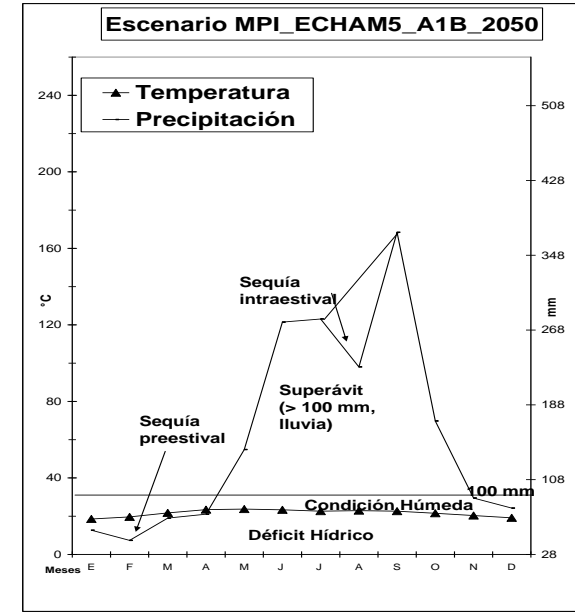
6.5.3.2. Diagrama ombrotérmico del modelo UKMO HADGEM1_A1B del horizonte 2050

En el caso del modelo UKMO HADGEM1, el tipo climático que resultó fue un clima semicálido de los cálidos, pero con régimen de lluvias repartidas todo el año. Las temperaturas apuntaron a un incremento respecto al escenario base y menores al escenario MPI ECHAM5. La disponibilidad hídrica y la térmica propiciarían que las floraciones, que se adelantarían al mes de febrero. Se pueden presentar problemas con la formación de flores estrella, dispersión de las cosechas y reducción de los ciclos de producción. También se notó que en el mes de julio se reduce el superávit de lluvia, lo que puede retardar la maduración.

En las tablas 6-2b y 6-8b, pueden observarse las condiciones de la humedad. La superficie del superávit del escenario base representa el 47.5% del total y con el modelo MPI ECHAM aumenta a 44.9% y se presentara en los meses de mayo a octubre. Mientras, la condición húmeda en el escenario base representa el 16% del total, se reduce a 14.6% y se presentaría en los meses de abril a diciembre. Finalmente el déficit hídrico en el escenario es 36.5% del total, y aumentaría a 40.5%. En el caso de la sequía intraestival del período lluvioso, que ocurre durante los meses de julio y agosto en el escenario base, representó 8.5% y con este escenario aumentaría a 9.6%, presentándose sólo en el mes de agosto. En el escenario base no se identificó la sequía preestival, pero con este escenario abarcaría en un 19.3%, que se presentaría en los meses de enero y febrero (Figura 5.6). El café tendría en el mes de marzo las condiciones hídricas para el inicio de la floración.

Tabla 6-8. Valores de Temperatura media mensual y precipitación total mensual. Escenario Base. Resultados en Áreas y Porcentaje de los Polígonos según las distintas Condiciones de Humedad de la Estación Climatológica de Teocelo.

a. Temperatura y Precipitación (2050)				
Mes	Tmp °C	Pcp mm	Tmp n	Pcp - Tmp n
Enero	18.5	57.8	51.7	6.1
Febrero	19.8	52.8	55.3	-2.5
Marzo	21.6	64.3	60.3	4.0
Abril	23.3	77.8	65.1	12.7
Mayo	23.8	172.2	66.5	33.5
Junio	23.0	333.3	64.2	35.8
Julio	23.1	86.3	64.5	21.8
Agosto	23.5	136.5	65.6	34.4
Septiembre	22.9	326.0	64.0	36.0
Octubre	21.7	195.1	60.6	39.4
Noviembre	21.2	103.5	59.2	40.8
Diciembre	19.3	77.5	53.9	23.6
Anual	21.8	1683.1		
35.8				
Régimen de lluvias distribuidas todo el año $P=2T+14$				
b. Distintas condiciones de humedad				
Condición	Área/Polígono		% del área	
Superávit	666.6		38.7	
Húmeda	282		16.4	
Déficit hídrico	774		45.0	
Suma	1723.4		100.0	
Condición	% de Sequía	Meses		
Sequía Intraestival	34.9	Julio y Agosto		
Sequía preestival	25.4			



Floración																				
Crecimiento y llenado del grano																				
Maduración y Cosecha																				

Figura 6-8. Diagrama ombrotérmico de la estación Teocelo del modelo UKMO HADGEM1 A1B del horizonte 2050 y su relación con las etapas fenológicas del café.

Se muestran las temperaturas y precipitaciones promedio mensuales y las distintas condiciones de humedad. En la parte inferior, los meses que señalan las etapas fenológicas identificadas en Coatepec, Veracruz.

La realización de los diagramas ombrotérmicos permitió cumplir los objetivos particulares de la evaluación de los impactos biofísicos del café de acuerdo al comportamiento de la temperatura y la precipitación en condiciones actuales, de variabilidad climática y cambio climático sobre la repercusión de la fenología del café en el municipio de Coatepec. Los resultados de forma general con base en el diagrama ombrotérmico normal, señalan que el municipio de Coatepec tiene de forma recurrente lluvias anticipadas en el mes de febrero que provocan las floraciones prematuras y consecuentemente floraciones dispersas y formación de flores mal desarrolladas. Cuando los años presentan sequías preestivales y disponibilidad hídrica por debajo de 45 mm se favorece un alza en la producción.

Mediante los diagramas ombrotérmicos, evaluamos ciclos de producción a nivel municipal, excepto el ciclo de 1974-1975 que fue a nivel estatal, donde se reconstruyeron las condiciones anuales del año de 1974 y se infirió comparativamente con la información de producción del año de 2005.

- El año de 1996 tuvo las condiciones para la mejor producción del ciclo de producción de 1996-1997.
- El año de 2005 quedó clasificado como el peor año para el ciclo de producción de 2005-2006
- El año de 1974 con presencia de La Niña muestra que la producción fue mala.
- El año de 1998 con la señal El Niño muestra que la producción fue de condición regular para el ciclo de producción de 1998-1999.
- Los escenarios de cambio climático realizados con los modelos MPIECHAM5 y UKMO HADGEM1 con el escenario de emisiones A1B para el horizonte 2050 ejemplifican condiciones de sequía preestival pero con precipitaciones por encima o por debajo de los 45 mm durante el mes de febrero y por consecuencia son indeterminadas las floraciones adelantadas.

Los diagramas ombrotérmicos con variabilidad climática ENSO, señalan como seca la presencia de La Niña en primavera. El Niño tanto en invierno como en primavera son secos. En ambos casos, con poca disponibilidad hídrica, pero si la precipitación es superior a los 45 mm, más que la requerida, se presentarían afectaciones con la formación de flores estrella, sufriendo el secamiento de los incipientes frutos de café.

Los diagramas ombrotérmicos con cambio climático proyectan condiciones climáticas diferentes a la actual, con características de los climas semicálidos del grupo de los cálidos donde los regímenes de lluvia puedan presentarse en verano o con distribución de lluvias intermedias. Las condiciones de sequía preestival son irregulares y la disponibilidad hídrica con aumentos o disminuciones de 45 mm que señalarían períodos con presencia de floraciones anticipadas.

Finalmente, se obtuvieron los requerimientos mensuales para el rompimiento de la latencia de los botones florales y el inicio de la floración, con un estimado superior de 45 mm para el municipio de Coatepec.

6.6. Los espacios de amenaza climática

A continuación se muestra en la Tabla 6-9, los resultados obtenidos que determinaron el escenario base para la media de la temperatura normal y el promedio de la precipitación normal en cada estación del año. La variabilidad climática natural se estableció en función del rango intercuartílico. Fuera de estos límites, las anomalías del período estacional se consideran como el espacio de amenaza.

Tabla 6-9. Estimaciones estacionales de la temperatura media mínima y la precipitación promedio del escenario base de los años de 1961 hasta 1990. Incluye, la mediana, los valores anómalos extremos (0 y 4), y los rangos intercuartiles, primer intercuartil (percentil 25) y tercer intercuartil (percentil 75) para la construcción de los espacios de amenaza del café.

Temperatura							Temperatura						
Primavera							Verano						
Media Mínima	Cuartiles				Mediana	Rango	Media Mínima	Cuartiles				Mediana	Rango
1961-1990	1	3	0	4		Intercuartílico	1961-1990	1	3	0	4		Intercuartílico
15.3	14.8	15.8	13.3	16.9	15.2	1.1	26.2	26.09	27.39	24.54	31.48	26.42	1.3
Precipitación							Precipitación						
Primavera							Verano						
Promedio					Mediana	Rango	Promedio					Mediana	Rango
1	3	0	4			Intercuartílico	1	3	0	4			Intercuartílico
306.4	240.05	393.5	101.5	824.5	304.8	153.45	930.8	760.3	1126.8	262.2	1535.5	939.5	366.5
Temperatura							Temperatura						
Otoño							Invierno						
Media Mínima	Cuartiles				Mediana	Rango	Media Mínima	Cuartiles				Mediana	Rango
1961-1990	1	3	0	4		Intercuartílico	1961-1990	1	3	0	4		Intercuartílico
14.7	14.2	15.2	13.3	16.4	14.7	1.0	11.9	11.13	12.06	10.0	16.48	11.71	0.93
Precipitación							Precipitación						
Otoño							Invierno						
Promedio					Mediana	Rango	Promedio					Mediana	Rango
1	3	0	4			Intercuartílico	1	3	0	4			Intercuartílico
634.4	521.9	734.8	292.5	1104.5	661.9	212.9	186.7	94.75	217.75	31.4	439.2	161.0	123.0

6.6.1. Identificación de años con períodos interanuales estacionales ENSO con características MEI fuerte El Niño y la Niña

En el Cuadro 6-10, se identificaron estacionalmente los años con variabilidad climática ENSO de acuerdo al índice MEI con características de señal fuerte y que fueron etiquetados en cada uno de los gráficos.

Cuadro 6.10 Identificación por estación del año del Índice MEI, fase cálida El Niño y fase fría La Niña.

Primavera			Verano			Otoño			Invierno		
MEI	Año	Fuente	MEI	Año	Fuente	MEI	Año	Fuente	MEI	Año	Fuente
La Niña	1950	2	La Niña	1950	2	La Niña	1954	2	La Niña	1949-1950	1
La Niña	1955	2	La Niña	1954	2	La Niña	1955	2	La Niña	1950-1951	2
La Niña	1956	2	La Niña	1955	2	La Niña	1956	2	La Niña	1955-1956	1
El Niño	1958	2	La Niña	1956	2	El Niño	1957	2	El Niño	1957-1958	1
El Niño	1965	1	La Niña	1964	1	La Niña	1964	2	La Niña	1964-1965	1
La Niña	1967	2	El Niño	1965	1	El Niño	1965	2	El Niño	1965-1966	1
La Niña	1971	2	La Niña	1970	1	La Niña	1970	2	La Niña	1970-1971	1
El Niño	1972	1	La Niña	1971	2	La Niña	1971	2	El Niño	1972-1973	1
La Niña	1974	2	El Niño	1972	2	El Niño	1972	2	La Niña	1973-1974	1
La Niña	1976	2	La Niña	1973	1	La Niña	1973	2	La Niña	1975-1976	1
El Niño	1982	1	La Niña	1975	1	La Niña	1974	2	El Niño	1982-1983	1
El Niño	1983	2	El Niño	1982	2	La Niña	1975	2	La Niña	1986-1987	1
El Niño	1987	2	El Niño	1983	2	El Niño	1982	2	La Niña	1988-1989	1
El Niño	1992	2	La Niña	1985	1	El Niño	1987	2	El Niño	1991-1992	1
El Niño	1993	2	El Niño	1986	1	La Niña	1988	2	El Niño	1997-1998	1
El Niño	1998	2	El Niño	1987	2	El Niño	1991	2	La Niña	1998-1999	1
			La Niña	1988	1	El Niño	1994	2	La Niña	1999-2000	2
			El Niño	1991	2	El Niño	1997	2			
			El Niño	1993	2	La Niña	1999	2			
			El Niño	1997	1						

Fuente: 1: Magaña, *et al*, 2004; 2: NOAA, 2013.

A continuación señalaremos el comportamiento estacional de los años que se presentaron los fenómenos El Niño y La Niña, respecto a la variabilidad climática estándar y fuera de ella.

Características de comportamiento ENSO en invierno.

El Niño fue más cálido, algo húmedo o se comporta semejante a la variabilidad climática natural. Se identificó que La Niña se comporta como su variabilidad climática natural, y se ha comportado el invierno de La Niña en general como frío y a veces húmedo o seco (Cuadro 6-14 y Figura 6-9).

Características de comportamiento ENSO en primavera.

Los años El Niño pueden comportarse como la variabilidad climática natural. Pueden presentarse más cálidos y secos, y en ocasiones húmedos. En cambio en los años La Niña, pocas veces pueden ser similares a las características de la variabilidad climática natural y tendieron a mostrarse más secos y en ocasiones se comportaron como húmedos, cálidos y fríos (Cuadro 6-11 y Figura 6-10).

Características de comportamiento ENSO en verano.

Los años de El Niño pueden comportarse como la variabilidad climática natural. Además, en general son cálidos y secos, y raramente húmedos. Por otro lado, los años de La Niña, se comportaron similares a la variabilidad climática natural, y otros se caracterizaron por presentarse fríos y húmedos (Cuadro 6-12 y Figura 6-12).

Características de comportamiento ENSO en otoño.

Los años de El Niño en otoño pueden comportarse como la variabilidad climática natural. No se encuentran bien definidos porque pueden comportarse tanto con características de secos como húmedos y rara vez son cálidos. Los años de La Niña en este período estacional no suelen comportarse como a su variabilidad climática natural. Tendieron a ser más fríos que cálidos, también son más húmedos que secos (Cuadro 6-13 y Figura 6-12)

Cuadro 6-11. Características estacionales de primavera de las anomalías de la precipitación y la temperatura de eventos El Niño y la Niña comparada con la variabilidad climática estándar.

Primavera		1	2	3	4	5
MEI	Año					
La Niña	1950	X				
La Niña	1955					X
La Niña	1956	X				
El Niño	1958					X
El Niño	1965		X			X
La Niña	1967			X	X	
La Niña	1971					X
El Niño	1972				X	X
La Niña	1974					X
La Niña	1976		X			
El Niño	1982		X			
El Niño	1983		X			X
El Niño	1987	X				
El Niño	1992		X		X	
El Niño	1993					X
El Niño	1998		X			X

Cuadro 6-12. Características estacionales de verano de las anomalías de la precipitación y la temperatura de eventos El Niño y la Niña comparada con la variabilidad climática estándar.

Verano		1	2	3	4	5
MEI	Año					
La Niña	1950					
La Niña	1954			X	X	
La Niña	1955			X	X	
La Niña	1956			X		
La Niña	1964	X				
El Niño	1965	X				
La Niña	1970			X	X	
La Niña	1971	X				
El Niño	1972			X		
La Niña	1973			X	X	
La Niña	1975					
El Niño	1982		X			X
El Niño	1983	X				
La Niña	1985	X				
El Niño	1986	X				
El Niño	1987	X				
La Niña	1988	X				
El Niño	1991		X			
El Niño	1993				X	
El Niño	1997		X			X

Cuadro 6-13. Características estacionales de otoño de las anomalías de la precipitación y la temperatura de eventos El Niño y la Niña comparada con la variabilidad climática estándar.

Otoño		1	2	3	4	5
MEI	Año					
La Niña	1954			X	X	
La Niña	1955				X	
La Niña	1956			X		X
El Niño	1957	X				
La Niña	1964			X		
El Niño	1965					X
La Niña	1970			X		
La Niña	1971				X	
El Niño	1972		X			X
La Niña	1973		X			
La Niña	1974			X		
La Niña	1975			X		
El Niño	1982					X
El Niño	1987	X				
La Niña	1988	X				
El Niño	1991				X	
El Niño	1994	X				
El Niño	1997				X	

Cuadro 6-14. Características estacionales de invierno de las anomalías de la precipitación y la temperatura de eventos El Niño y la Niña comparada con la variabilidad climática estándar.

Invierno		1	2	3	4	5
MEI	Año					
La Niña	1949-1950	X				
La Niña	1950-1951					X
La Niña	1955-1956			X		
El Niño	1957-1958	X				
La Niña	1964-1965			X	X	
El Niño	1965-1966				X	
La Niña	1970-1971			X		X
El Niño	1972-1973		X			
La Niña	1973-1974				X	
La Niña	1975-1976	X				
El Niño	1982-1983		X			
La Niña	1986-1987	X				
La Niña	1988-1989		X			
El Niño	1997-1998		X			

1: Similar a la variabilidad climática estándar, 2: Anomalías positivas más cálido, 3: Anomalías negativas más frío, 4: Anomalías positivas más húmedo y 5: Anomalías positivas más seco.

6.6.2. Descripción de las anomalías de los escenarios de cambio climático

El Cuadro 6-15, presentan las anomalías estacionales que fueron obtenidas de cada uno de los escenarios de cambio climático con sus escenarios de emisiones y horizontes de análisis. La distribución de las anomalías en cada uno de los horizontes de análisis se muestra en la Figura 6-9. El comportamiento respecto a la variabilidad climática natural, puede observarse en cada uno de los gráficos representados por una forma geométrica y etiquetados con una letra que señalan el modelo, el escenario de emisiones y el horizonte de análisis (Figuras 6-10, 6-11, 6-12 y 6-13).

Las variaciones estacionales de la temperatura y la precipitación proyectada mostraron que la diferencia de la temperatura en primavera desde el horizonte 2020 al 2080, puede oscilar entre 0.5 a 4.4°C y la precipitación porcentual en el mismo periodo estacional puede fluctuar entre -42 hasta 20%; En el verano las fluctuaciones estarían entre 0.8 a 4.1°C y la precipitación porcentual en el mismo periodo estacional puede oscilar entre -26 hasta 20%; En el caso de otoño desde el horizonte 2020 al 2080, las variaciones en la temperatura se encontraron entre 0.6 a 4.2°C y la precipitación porcentual en el mismo periodo estacional puede diferir entre -6 hasta 34.7. Finalmente, en el invierno las variaciones serían entre 0.5 a 3.6°C y la precipitación porcentual en el mismo periodo estacional puede fluctuar entre -15.2 hasta 13.

El escenario de emisiones más pesimista en cuanto al incremento de la temperatura es el A2, después los A1B y finalmente los B1, condición recurrente en cada estación del año. En el caso de las variaciones porcentuales de la precipitación estacional, según los escenarios de emisiones son irregulares pues algunos tienden a indicar una disminución mientras que otros indican incrementos.

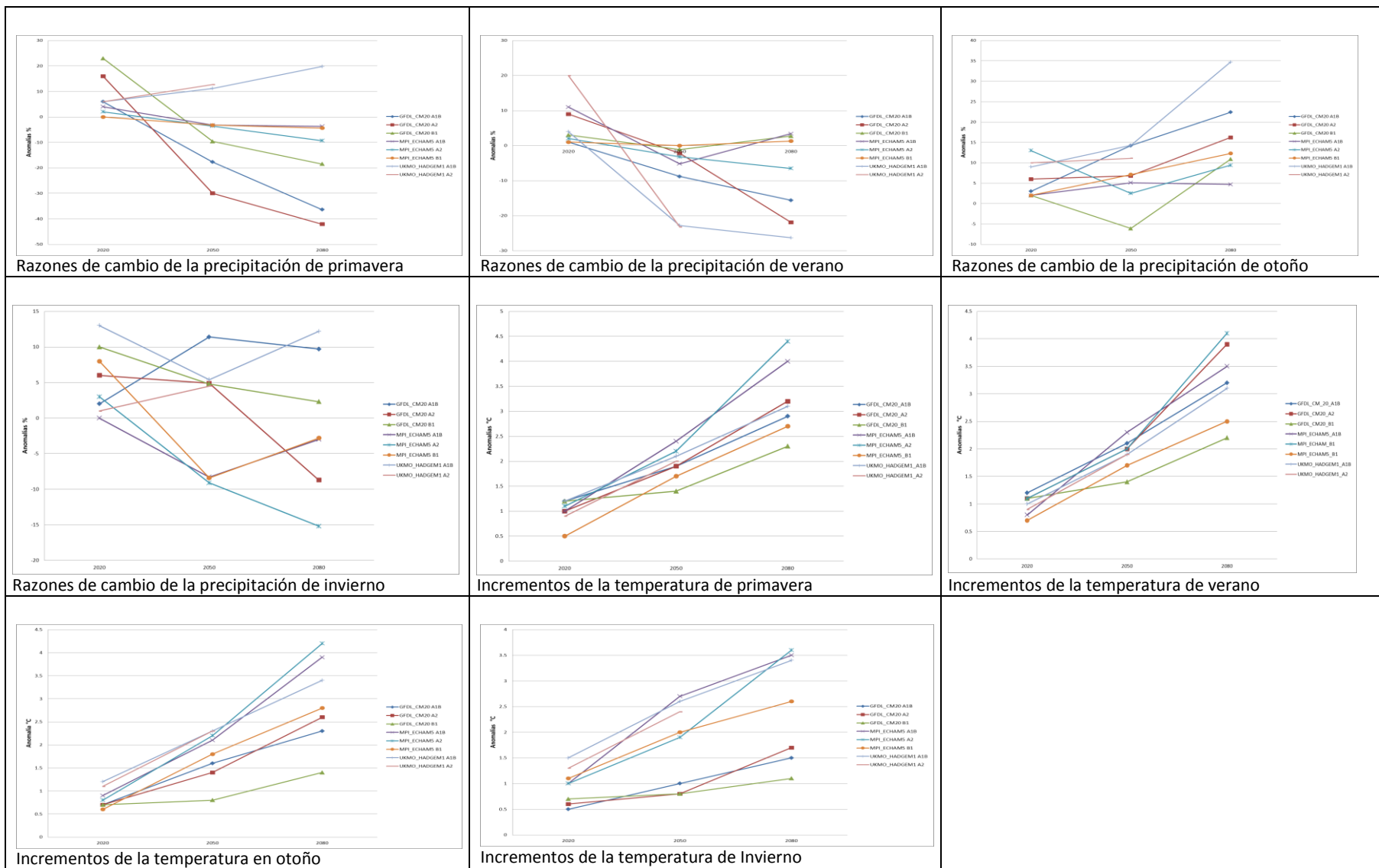


Figura 6-9. Distribución de los incrementos de la temperatura (°C) y las razones de cambio de la precipitación (%) de forma estacional de las salidas de los escenarios de emisiones para los horizontes 2020, 2050 y 2080 para la región Centro de Veracruz.

6.6.2.1. Descripción estacional de los escenarios de cambio climático

En el invierno, todos los escenarios de cambio climático se comportaron, con respecto a la precipitación, similares a la variabilidad climática natural. No obstante, todos apuntaron a un incremento de la temperatura estacional (Figura 6-10).

Se observó en las proyecciones de los escenarios de cambio climático que la primavera podría a presentarse más cálida con respecto a la variabilidad climática natural, con excepción del modelo MPI_Echam5_B1 para el horizonte 2020. También, los escenarios indican que el comportamiento de la precipitación será similar a la variabilidad climática natural en buena parte de los escenarios, aunque los modelos GFDL_CM20_A2 en el horizonte 2050 y los modelos GFDL_CM20_AIB y GFDL_CM20_A2 en el horizonte 2080 (Figura 6-11) indican que esa estación podría ser más seca.

En el verano el comportamiento de las proyecciones de los escenarios de cambio climático indicaron que, para el horizonte 2020 las condiciones en general son similares a las de la variabilidad climática natural, con excepción de los modelos UKMO HADGEM1 A1B y A2 del horizonte 2050, que serían más secos y cálidos. Por último el modelo GFDL CM2.0 AIB y el modelo UKMO HADGEM A1B del horizonte 2050 son más cálidos y secos (Figura 6-12).

El comportamiento de las proyecciones de los escenarios de cambio climático en el otoño señaló que en los horizontes 2020, 2050 y 2050 se tendría un comportamiento anómalo de la temperatura, con incrementos significativos. Los modelos GFDL CM2.0 A1B y UKMO HADGEM1 A1B, apuntan con condiciones más húmedas (Figura 6-13).

Cuadro 6-15. Descripción de las anomalías de la temperatura (°C) y la precipitación (%) estacional, obtenida de los escenarios de cambio climático con escenarios de emisiones y horizontes de análisis.

Simbología	Descripción	Modelo	Escenario de Emisiones	Horizonte	Primavera		Verano		Otoño		Invierno	
					Δ Temperatura	Δ Precipitación	Δ Temperatura	Δ Precipitación	Δ Temperatura	Δ Precipitación	Δ Temperatura	Δ Precipitación
▲	A	GFDL_CM20	A1B	2020	1.2	6	1.2	1	0.7	3	0.5	2
▲	B	GFDL_CM20	A2	2020	1	16	1.1	9	0.7	6	0.6	6
▲	C	GFDL_CM20	B1	2020	1.2	23	1.1	3	0.7	2	0.7	10
▲	D	MPI_ECHAM5	A1B	2020	1	4	0.8	11	0.9	2	1	0
▲	E	MPI_ECHAM5	A2	2020	1.1	2	1.1	2	0.8	13	1	3
▲	F	MPI_ECHAM5	B1	2020	0.5	0	0.7	1	0.6	2	1.1	8
▲	G	UKMO_HADGEM1	A1B	2020	1.2	6	1	4	1.2	9	1.5	13
▲	H	UKMO_HADGEM1	A2	2020	0.9	6	0.9	20	1.1	10	1.3	1
◆	A	GFDL_CM20	A1B	2050	1.9	-17.7	2.1	-8.8	1.6	14.2	1	11.4
◆	B	GFDL_CM20	A2	2050	1.9	-30	2	-2.2	1.4	6.8	0.8	4.9
◆	C	GFDL_CM20	B1	2050	1.4	-9.6	1.4	-1.1	0.8	-6.1	0.8	4.8
◆	D	MPI_ECHAM5	A1B	2050	2.4	-3.2	2.3	-5.2	2.1	5.1	2.7	-8.3
◆	E	MPI_ECHAM5	A2	2050	2.2	-3.6	2	-3.2	2.2	2.5	1.9	-9.1
◆	F	MPI_ECHAM5	B1	2050	1.7	-3.2	1.7	0	1.8	7.1	2	-8.4
◆	G	UKMO_HADGEM1	A1B	2050	2.1	11.2	1.9	-22.8	2.3	14.3	2.6	5.4
◆	H	UKMO_HADGEM1	A2	2050	2.0	12.7	1.9	-23.2	2.3	11.1	2.4	4.5
●	A	GFDL_CM20	A1B	2080	2.9	-36.4	3.2	-15.6	2.3	22.4	1.5	9.7
●	B	GFDL_CM20	A2	2080	3.2	-42.1	3.9	-21.9	2.6	16.2	1.7	-8.7
●	C	GFDL_CM20	B1	2080	2.3	-18.5	2.2	2.7	1.4	10.9	1.1	2.3
●	D	MPI_ECHAM5	A1B	2080	4.0	-3.7	3.5	3.4	3.9	4.7	3.5	-3
●	E	MPI_ECHAM5	A2	2080	4.4	-9.3	4.1	-6.5	4.2	9.4	3.6	-15.2
●	F	MPI_ECHAM5	B1	2080	2.7	-4.4	2.5	1.3	2.8	12.3	2.6	-2.8
●	G	UKMO_HADGEM1	A1B	2080	3.1	19.8	3.1	-26.3	3.4	34.7	3.4	12.2

Fuente: www.pacificclimate.org

6.6.3. Espacios de amenazas climáticas para el café

El análisis de los ciclos de producción se realizó considerando cada uno de los espacios de amenaza, los cuales incluyen los umbrales de los requerimientos óptimos de disponibilidad hídrica y térmica de acuerdo a las etapas fenológicas del café. Los escenarios de amenaza climática del invierno y la primavera son determinantes en los ciclos de producción.

6.6.3.1. Comparación de ciclos de producción de 1974-1975, 1996-1997, 1998-1999 y 2005-2006

En la Tabla 6-10, se compararon 4 ciclos de producción. El ciclo del año de 1996-1997 se destaca por su mejor producción. El ciclo del año de 1998-1999 con regular producción e influencia de señal de El Niño. El ciclo del año 1974-1975 presenta la señal de La Niña. El ciclo del año de 2005-2006 posee la más baja producción. Se describen las condiciones fenológicas según el comportamiento de las variables de la temperatura y la precipitación. Al realizar cada uno de los espacios de amenazas estacionales y al integrar el umbral de los requerimientos térmicos y de precipitación respectivos, se obtuvieron las siguientes observaciones:

Tabla 6-10. Comparación de las condiciones climáticas estacionales de los ciclos de producción de 1975, 1997, 1998 y 2006.

Ciclo de Producción	1996-1997	2005-2006	1998-1999	1974-1975 vs 1981-1982 Estado
Producción (Toneladas)	36100	17768	28599	268728.3 vs 358955.0
Invierno. Crecimiento del botón de flor de café.				
Año análisis	1995-1996	2004-2005	1997-1998	1973-1974
Variabilidad climática de la temperatura normal °C (10.32 a 12.32 °C)				
Temperatura media mínima °C	11.1	11.6	13.25	11.2
Variabilidad climática de la precipitación mm (149.36 a 242.71 mm)				
Precipitación mm	137	37	146.5	367.5
Primavera. Etapas de la preantesis y la florescencia. Inicio etapa del cuajamiento del grano del café.				
Año análisis	1996	2005	1998	1974
Variabilidad climática de la temperatura normal °C (14.74 a 15.76 °C)				
Temperatura media mínima °C	16.1	14.8	16.9	16.0
Variabilidad climática de la precipitación mm (240.05 a 393.5 mm)				
Precipitación mm	275.8	385.3	122	173.0
Verano. Crecimiento y llenado del grano de café				
Variabilidad climática de la temperatura normal °C (26.1 a 27.3 °C)				
Temperatura media mínima °C	28.0	29.7	31.5	24.5
Variabilidad climática de la precipitación mm (747.0 a 1117.7 mm)				
Precipitación mm	682.8	315.0	911.5	605.0
Otoño. Crecimiento de la cereza de café				
Variabilidad climática de la temperatura normal °C (13.97 a 15.8. °C)				
Temperatura media mínima °C	16.33	14.8	16.0	16.4
Variabilidad climática de la precipitación mm (522 a 734 mm)				
Precipitación mm	292.5	665.3	1104.5	734
Invierno. Final fructificación (maduración) de la cereza de café.				
Invierno	1996-1997	2005-2006	1998-1999	1974-1975
Variabilidad climática de la temperatura normal °C (10.32 a 12.32 °C)				
Temperatura mínima °C	11.11	12.0	-----	16.5
Variabilidad climática de la precipitación mm (149.36 a 242.71 mm)				
Precipitación mm	110.2	43.5	-----	95.0

6.6.3.2. Espacio de amenaza climática de invierno para el café en Coatepec

En el escenario base invernal del período de los años de 1961 a 1990, se presentó una temperatura media mínima normal de 11.9°C y la precipitación promedio normal de 186.7 mm (Tabla 6-9). La distribución de la variabilidad climática natural de invierno, varía entre las anomalías de la temperatura media mínima de -0.58°C y 0.4°C, respectivamente, de las temperaturas mínimas entre 11.13°C a 12.06°C; la precipitación muestra una variabilidad entre el 20% (94.75 mm) a 30% (217.75 mm). Los valores en referencia a las medianas y los rangos intercuartílicos que consideraron los valores de las anomalías de la serie histórica fueron comparadas con la media y el promedio del período del escenario base de cada variable (Tabla 6-9 y Figura 6-10).

La distribución de la variabilidad climática natural en el gráfico se debió a que la mayoría de los valores de la temperatura se concentran por debajo de la mediana de 11.84°C. En el caso de la precipitación se concentraron la mayoría de los datos por debajo de la mediana de 161 mm. Aunque, encontramos que los requerimientos térmicos de la planta de café son más amplios en el margen térmico y casi similares a la mediana de la precipitación de la variabilidad climática natural.

El umbral del café en la época invernal respecto a la temperatura mínima, no debe ser inferior a 10°C y el año de 1958 mostró estas condiciones. Al incrementarse la temperatura no será dañada la planta de café por bajas temperaturas y permitirá la maduración de la cereza de café para su corte.

La disponibilidad hídrica debe mantenerse inferior a los 150 mm y han sido muchos años que no se han cumplido estas condiciones, por ello, son regulares las floraciones anticipadas y que fomentan la formación de flores estrella o flores sin desarrollo, lo que causa las floraciones dispersas y el paulatino desarrollo del fruto de café, afectando los ciclos de producción (Figura 6-10)

En el invierno de los años de 1973-1974, 1974-1975; 1995-1996, 1996-1997; 1997-1998, la temperatura mínima osciló entre 11.1 a 16.5°C. La disponibilidad hídrica fue menor a 150 mm e indicó la presencia de sequía preestival. En cambio, la precipitación de 1974 rebasó los 367.5 mm, por lo que probablemente el municipio de Coatepec presentó problemas en los cortes de café y la presencia de floraciones dispersas que afectó el ciclo de producción de 1974-1975. Los inviernos con episodios de El Niño, para el cultivo de café, suelen ser húmedos e indican anomalías de

En el invierno, todos los escenarios de cambio climático se comportaron, con respecto a la precipitación, similares a la variabilidad climática natural. No obstante, todos apuntaron a un incremento de la temperatura estacional (Figura 6-10).

6.6.3.3. Espacio de amenaza climática de primavera para el café en Coatepec

En el escenario base de primavera construido para período 1961 a 1990, la temperatura presentó una media máxima normal de 15.3°C y la precipitación promedio normal fue de 306.8 mm (Tabla 6-10). La distribución de la temperatura normal de primavera, varía entre las anomalías de la temperatura media máxima de -0.57°C y 0.43°C, a las temperaturas máximas entre 14.76°C a 15.76°C; la precipitación muestra una variabilidad entre el -21.65% (240.05 mm) a 28.44% (393.5 mm) (Tabla 6-9 y Figura 6-11).

Se encontró que los requerimientos de la planta de café por las características de la temperatura máxima promedio tienen más amplitud que la variabilidad climática natural. En el caso de la precipitación es adecuada a la mediana de la variabilidad climática natural con 661.8 mm.

El umbral del café en el período de primavera respecto a la temperatura máxima promedio oscila entre 18.4 a 23.2°C, con lo que estarían en condiciones térmicas regulares a buenas, los años representativos fueron 1974 y 1991. Esto permitiría el desarrollo de la floración y el crecimiento del grano de café. En cuanto a la disponibilidad hídrica, ésta debe mantenerse en el rango de 170 a 280 mm. Se presentaron los valores superiores al rango propuesto, implicando desaceleración del crecimiento del grano de café y formación de flores estrella. Por debajo del rango, la formación de flores implicaría un mal desarrollo y el secamiento de los frutos tiernos. Esto puede acarrear afectaciones económicas en los ciclos de producción (Figura 6-11).

En la primavera de los años de 1974 y 1996, las temperaturas máximas promedio tuvieron condiciones regulares por debajo de 20.9°C. Por otro lado, las condiciones se caracterizaron como buenas por encima de 20.9°C en los años de 1998 y 2005. La disponibilidad hídrica requerida se mantuvo en los años de 1974 y 1996. Por debajo del rango el año de 1998 y por encima, el año de 2005. Estos dos años muestran problemas con la floración y el crecimiento del grano de café que consecuentemente afectaron respectivamente los ciclos de producción (Figura 6-11).

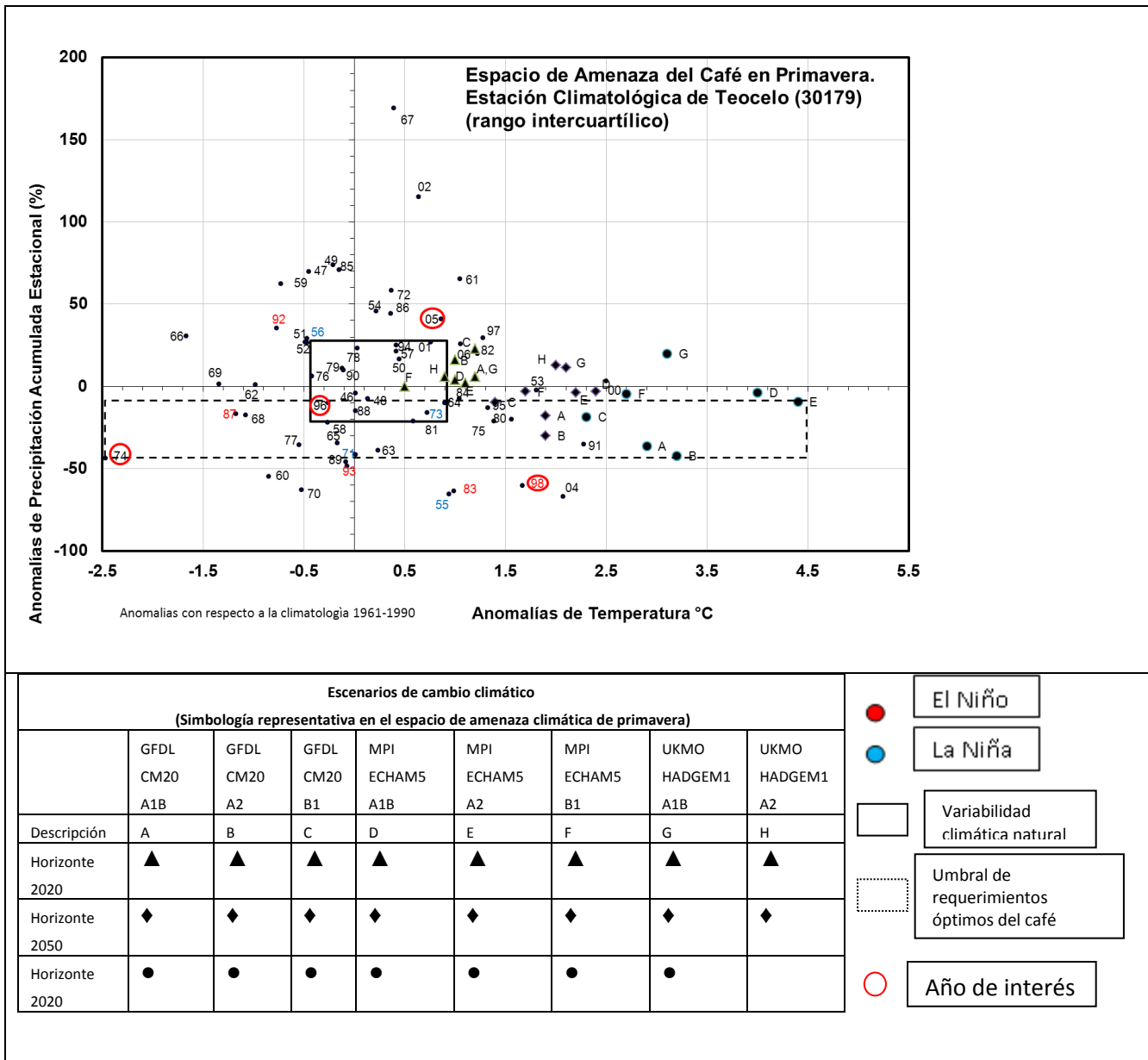


Figura 6-11. Espacio de amenaza climática de primavera con umbral de café, variabilidad climática natural, ENSO y escenarios de cambio climático.

Para el cultivo del café los años de El Niño en la estación de primavera, podrían comportarse, en cuanto a las condiciones térmicas, como regulares a buenas. Con base en la disponibilidad hídrica normalmente son secos e indican formación de flores inconclusas y secamiento de frutos tiernos. No en muchos de los casos son iguales al comportamiento de la variabilidad climática natural o mostraron ser húmedos. En el caso de los años con inviernos de La Niña, no está bien definido su comportamiento (6-11).

Los escenarios de cambio climático de primavera para los horizontes de análisis de 2020, 2050 y 2080 se comportarían con relación a las temperaturas máximas promedio, semejantes o más cálidas a la variabilidad climática natural y para el cultivo de café con condiciones térmicas buenas. Las temperaturas oscilan entre los 21.4 a 25.3°C. En cuanto a la precipitación se presentarían más húmedos por arriba de 280 mm y afectarían con la formación de flores estrella. Lo anterior ocurre excepto para los escenarios de cambio climático con escenarios de emisiones, GFDL CM2.0 A1B y A2 del horizonte 2050 y GFDL CM2.0 A1B, A2 y A1B, y MPI ECHA5 A2 para el horizonte 2080 (Figura 6-11).

6.6.3.4. Espacio de amenaza climática de verano para el café en Coatepec

En el escenario base de verano del período de los años de 1961 a 1990, se presentó una temperatura media máxima normal de 26.3°C y una precipitación promedio normal de 930.8 mm (Cuadro 6-9). La distribución de la variabilidad climática natural de verano, varía entre las anomalías de la temperatura media máxima de -0.11°C y 1.08°C, respectivamente de las temperaturas máximas entre 26.1°C a 27.3°C; la precipitación muestra una variabilidad entre el -19.7% (747.0 mm) a 20.15% (1117.7 mm) (Cuadro 6-9 y Figura 6-12).

La distribución de la variabilidad climática natural en el gráfico se debió a que la mayoría de los valores de la temperatura se concentraron por encima de la mediana de 26.49°C. En el caso de la precipitación fue más equitativa su distribución sobre la mediana de 912 mm.

Encontramos por los requerimientos de la planta de café que las características de la temperatura máxima promedio, tienen más amplitud que la variabilidad climática natural. En el caso de la precipitación debe encontrarse entre los 970 mm por encima de su mediana y a 680 mm por debajo de la variabilidad climática natural (Figura 6-12).

Se encontró que el umbral del café en la estación de verano, respecto a la temperatura máxima promedio, oscila entre 24.5 a 29°C, colocándolo en condiciones térmicas óptimas y buenas, permitiendo, el desarrollo de la floración y el crecimiento del grano de café. Los años representativos fueron 1975 y 2005.

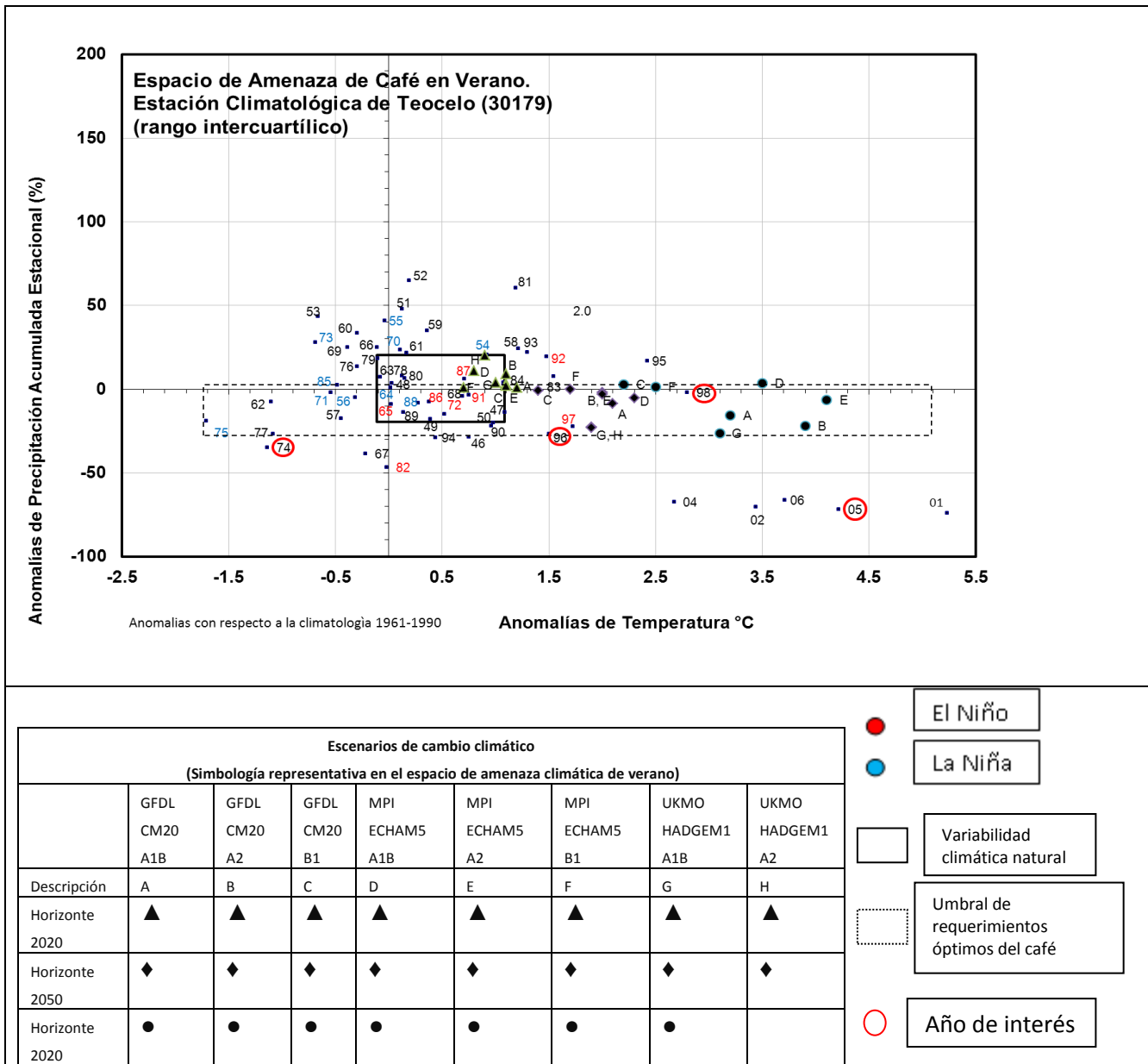


Figura 6-12. Espacio de amenaza climática de verano con umbral de café, variabilidad climática natural, ENSO y escenarios de cambio climático.

No obstante el año de 2001 fue un año muy cálido y pudiendo causar problemas en el desarrollo del grano de café. En cuanto a la disponibilidad hídrica debía mantenerse en el rango de 680 a 970 mm.

Se observó que en muchos años los valores superiores al rango propuesto pudieron afectar el llenado y el desarrollo sólido del grano de café. Pero también, un aumento de disponibilidad hídrica ha favorecido las condiciones para el desarrollo de las plagas y enfermedades de la planta y el grano de café. Por debajo del rango, tenemos la presencia de años donde se ha afectado el llenado y además

retardado la maduración de la almendra de café. Esto ha causado afectaciones económicas en los ciclos de producción (Figura 6-12).

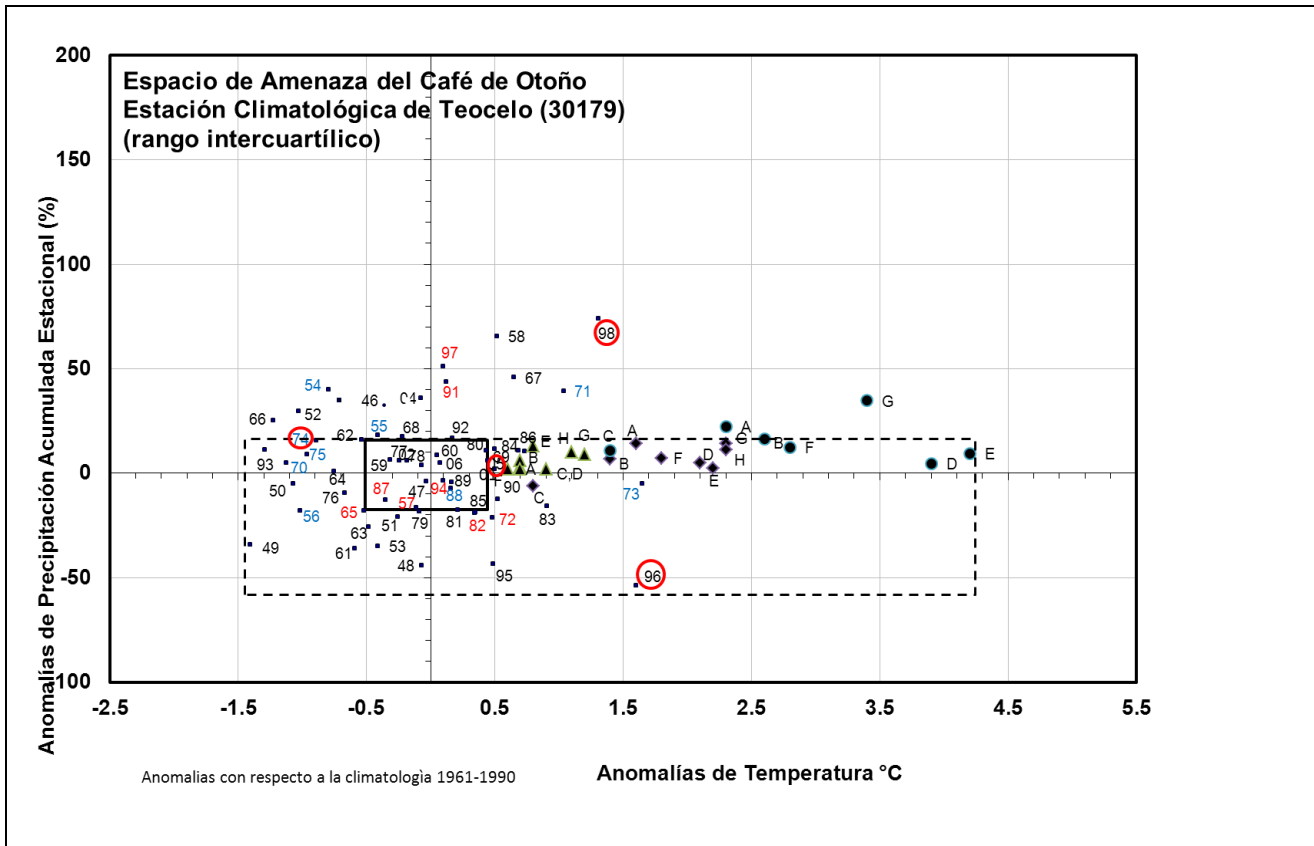
En el verano de los años de 1974, 1996, 1998 y 2005, las temperaturas máximas promedio tuvieron condiciones óptimas y buenas. La disponibilidad hídrica requerida se mantuvo en los años de 1976 y 1998. Por debajo del rango, en los años de 1974 y 2005 provocaron problemas en el llenado y el retardo de la maduración. Los dos años mostraron afectaciones económicas en sus ciclos de producción.

Los años con verano de El Niño, para el cultivo de café las condiciones térmicas tuvieron un comportamiento de óptimo a bueno. Con base en la disponibilidad hídrica normalmente son semejantes a los que requiere el café. En ocasiones los veranos son húmedos y afectan el desarrollo sólido del café. En muy pocas ocasiones están por debajo del umbral y provocan problemas en el llenado y retardo en la maduración. Por otro lado, los años con verano, La Niña, la temperatura es igual al umbral térmico del café. A veces, se comportan con la disponibilidad hídrica semejante a los umbrales requeridos de humedad y en su mayoría están por arriba de los umbrales siendo un problema para el desarrollo sólido del café (Figura 6-12).

Los escenarios de cambio climático de verano para los horizontes de análisis de 2020, 2050 y 2080 tienen un buen comportamiento en relación a las temperaturas máximas promedio requeridas para el café. Las temperaturas oscilarán entre los 27 a 30.4°C. En cuanto a la precipitación, los veranos se comportan respecto al umbral, pero los escenarios GFDL CM2.0 A2 y A1BMPI ECHA5 A2, UKMO HADGEM1 A1B en el horizonte 2020 estarán por encima del umbral que afectarán el desarrollo sólido del grano de café (Figura 6-12).

6.6.3.5. Espacio de amenaza climática de otoño para el café en Coatepec

En el escenario base de otoño del período de los años de 1961 a 1990, se presentó la temperatura media máxima normal de 14.7°C y la precipitación promedio normal de 634.9 mm (Cuadro 6-9). La distribución de la variabilidad climática natural de verano, varía entre las anomalías de la temperatura media máxima de -0.57°C y 0.43°C, las temperaturas máximas entre 14.76°C a 15.76°C; la precipitación muestra una variabilidad entre el -21.65% (240.05 mm) a 28.44% (393.5 mm) (Cuadro 6-9 y Figura 6-13).



Escenarios de cambio climático								
(Simbología representativa en el espacio de amenaza climática de otoño)								
	GFDL CM20 A1B	GFDL CM20 A2	GFDL CM20 B1	MPI ECHAM5 A1B	MPI ECHAM5 A2	MPI ECHAM5 B1	UKMO HADGEM1 A1B	UKMO HADGEM1 A2
Descripción	A	B	C	D	E	F	G	H
Horizonte 2020	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Horizonte 2050	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Horizonte 202	●	●	●	●	●	●	●	

- El Niño
- La Niña
- Variabilidad climática natural
- Umbral de requerimientos óptimos del café
- Año de interés

Figura 6-13. Espacio de amenaza climática de otoño con umbral de café, variabilidad climática natural, ENSO y escenarios de cambio climático.

La distribución de la variabilidad climática natural en el gráfico se debió a que la mayoría de los valores de temperatura se concentraron por debajo de la mediana de 14.7°C. En el caso de la precipitación se distribuyó por debajo de la mediana de 661.9 mm.

En el umbral del café en el otoño, respecto a la temperatura mínima promedio se encontró que oscila entre 13.3 a 16.3°C, lo cual significa condiciones térmicas regulares. Los años representativos

fueron 1949 y 1996, permitiendo el proceso de la maduración de la almendra de café. En cuanto a la disponibilidad hídrica debe mantenerse en el rango de 280 a 750 mm. Se observó que varios años tuvieron valores superiores al rango propuesto, por lo que pudieron amenazar la maduración del grano de café. (Figura 6-13).

En el otoño de los años de 1974, 1996, 1998 y 2005, las temperaturas máximas promedio tuvieron condiciones buenas. La disponibilidad hídrica requerida se mantuvo en los años de 1974, 1996 y 2005. Por encima del rango estuvo el año de 1998, lo que provocó problemas en el llenado y el retardo de la maduración.

Los años con otoño de El Niño, para el cultivo de café, las condiciones térmicas pueden considerarse como óptimas a buenas. Con base en la disponibilidad hídrica normalmente son semejantes a los que requiere el café y pocas las ocasiones que son más húmedos y retardando la maduración de aromático. Por otro lado, en años con verano de La Niña, la temperatura es igual al umbral térmico del café. Por disponibilidad hídrica se comportan como El Niño (Figura 6-13).

Los escenarios de cambio climático de otoño para los horizontes de análisis de 2020, 2050 y 2080 se comportarían por encima con relación a las temperaturas mínimas promedio, requeridas para el café. Las temperaturas oscilaran entre los 15.3 a 18.9°C. En cuanto a la precipitación, los escenarios se comportarían semejantes respecto al umbral, exceptuando el modelo y escenario socioeconómico GFDL CM2.0y UKMO HADGEM1 A1B para el horizonte 2080, donde el exceso de humedad ocasionaría problemas con plagas y enfermedades del café (Figura 6-13).

6.6.3.6 Condiciones generales de los ciclos de producción

Al integrar los comportamientos interanuales estacionales en referencia a los umbrales del café, concluimos que el año de 1996 cumplió con los requerimientos térmicos, ya sea por las temperaturas mínimas promedio o por las temperaturas máximas promedio, además de la precipitación. Se caracterizó entonces se caracterizó como un año bueno para el ciclo de producción de 1996-1997.

En el año de 1998 con fase de El Niño, el invierno fue húmedo y se adelantaron las floraciones. La primavera fue seca y el verano presentó disponibilidad hídrica que menguó en parte la producción del ciclo de 1998-1999.

Los años de 1974 con fase La Niña y 2005, fueron malos porque se anticiparon las lluvias en invierno, se tuvieron problemas de disponibilidad hídrica en la primavera y el verano, y sabemos que la producción de café se redujo a más del 50% en 2005, comparada con el año de 1996, y el municipio igualmente tuvo una importante pérdida de producción en el año de 1974.

Respecto a los escenarios de cambio climático, todos señalan para el invierno lluvias por encima de su umbral, que provocará adelanto de las floraciones y mejoras en los incrementos térmicos; La primavera se caracterizará por un aumento térmico, pero la mayoría de los escenarios mostraron problemas de formaciones de flores inconclusas por aumentos de disponibilidad hídrica y unos pocos serán similares a su umbral estacional. Sin embargo, mejora la condición térmica. En el verano, la mayoría de los escenarios se asemejarían al umbral estacional del café y otros mostraron ser más húmedos, lo que implicará el retraso del término del desarrollo sólido del café. Además, podrían aparecer problemas como la aparición de plagas y enfermedades. En el otoño, los escenarios se comportarían semejante al del café. Las condiciones invernales para las subsecuentes cosechas del siguiente año son de tipo húmedas, que podrán afectar la maduración y el número de cortes que tienen un impacto en la producción final de los ciclos del cultivo.

Ante lo mencionado en este apartado, se lograron los objetivos particulares de evaluar la sensibilidad climática de acuerdo a los requerimientos climáticos estacionales relacionados con el calendario fenológico del café de Coatepec. Lo anterior fue realizado en condiciones observadas del escenario base de 1961-1990, de variabilidad climática y de cambio climático. Establecimos los umbrales de requerimientos hídricos y de temperatura en cada uno de los espacios de amenaza climática estacional.

Existe en la variabilidad climática natural del clima con o sin influencia de ENSO, tanto períodos húmedos como secos que afectan en el invierno y la primavera a la planta de café. Por consecuencia se han presentado floraciones estándar en la primavera o anómalas en el invierno donde pueden ocurrir de dos a tres floraciones por ciclo de producción. También, se observaron ciclos con baja disponibilidad hídrica en invierno y primavera que no han menguado la producción de café.

Opinamos que en años con presencia de inviernos menos húmedos la capacidad de campo del suelo muestra que es posible un almacenamiento de humedad tal que aun cuando en la primavera se

presente con déficit hídrico y se esté preparando la floración, ésta condición contribuya a reducir el estrés de la planta para la realización de las funciones fisiológicas. Además, es posible que la planta de café tenga una capacidad de adaptación de reducir sus funciones fisiológicas y de evapotranspiración por medio de un estado de dormancia en espera de la cantidad necesaria de humedad para continuar su desarrollo reproductivo.

Los escenarios de cambio climático señalan la época invernal como una época que se caracterizará por floraciones precoces de forma constante, teniendo regularmente de dos a tres. En la primavera se excedería el umbral de disponibilidad hídrica en varios de esos escenarios. Por tanto, apreciamos que se aminorará la producción de los ciclos de producción de los horizontes 2020, 2050 y 2080.

6.7. Modelo econométrico del café

Al aplicar el modelo econométrico del café (Gay, *et al*, 2006) con los datos de las variables climáticas de Teocelo para construir el escenario base y con variabilidad climática, encontramos las condiciones térmicas por debajo del estimado por la ecuación. La ecuación estima bien las producciones anuales bajo un umbral de sus parámetros térmicos y de precipitación, y con el valor de la variable de salarios mínimos que son representativos para la región central de Veracruz.

El municipio de Coatepec se ubica dentro de la región central de Veracruz y se emplearon los valores de las variables climatológicas sugeridas por los autores: temperatura media de verano de 24.79°C, la precipitación promedio de 81.5 mm, la temperatura de invierno de 20.06°C y el salario mínimo constante de \$41.28 pesos con el que establecimos el escenario base. El resultado arrojó una producción de 554,235.5 toneladas.

La relevancia de emplear el modelo econométrico del café fue el de estimar la producción futura. La Tabla 6-11, muestra las estimaciones de las producciones futuras de los horizontes de 2020, 2050 y 2080, mientras que en la Figura 6-14, se presenta el comportamiento de las incertidumbres futuras sobre la producción de café de forma porcentual y su evolución en cada uno de los horizontes de 2020, 2050 y 2080.

Se observó que la disponibilidad hídrica en primavera es determinante en el comportamiento de los escenarios de cambio climático, su exceso o déficit tiene implicaciones en la producción final.

Se podría observar en el horizonte 2020 que la variación de la producción se reduce entre un 3.7% a 12.8%. El modelo más benevolente es el MPI_ECHAM5 y sus respectivos escenarios de emisiones A1B, A2 y el B1. Enseguida el modelo UKMO_Hadgem1 correspondiente al escenario de emisiones A2, concentrando las anomalías negativas de producción entre 3.7% a 9.7%. Obtuvimos una anomalía máxima negativa de producción con el modelo GFDL_CM2.0, con su escenario de emisiones A1B, de 12.8% (Tabla 6-11 y Figura 6-14).

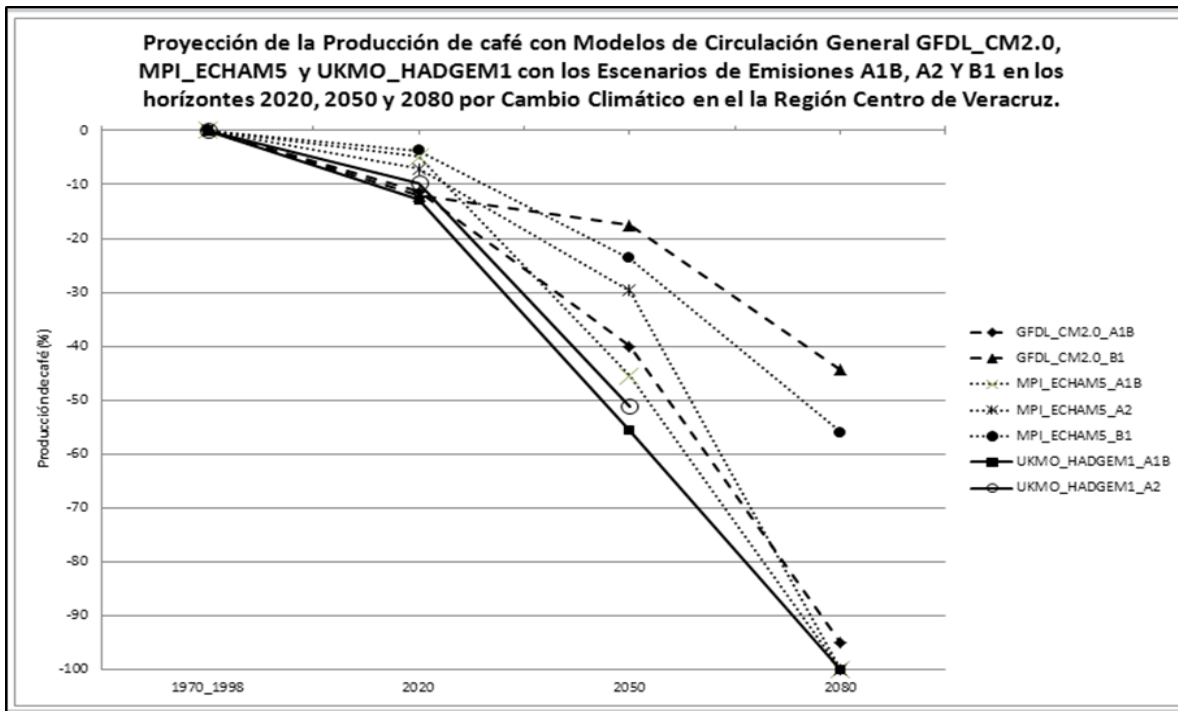


Figura 6-14. Proyecciones futuras de la producción del café en %, obtenidos de los Modelos de Circulación General GFDL_CM2.0, MPI_ECHAM5 y UKMO_HADGEM1 y Escenarios de Emisiones A1B, A2 y B1 para los horizontes de análisis 2030, 2050 y 2080 y calculados por medio de la ecuación econométrica del café para la región central del Estado de Veracruz.

El horizonte 2050 se muestra que en la producción de café los modelos de circulación poseen una variabilidad más amplia y de características negativas, abarcando desde 17.5% a 55.7%. Se describirá el modelo en orden de menor a mayor afectación y respectiva anomalía negativa hacia la producción de café.

Tabla 6-11. Valores de las salidas de los modelos de circulación general y escenarios de emisiones para los horizontes 2020, 2050 y 2080 para estimar con el Modelo Econométrico la producción potencial futura y evaluar los impactos potenciales por cambio climático en la región central del Estado de Veracruz.

MCG EE	Anomalías MCG y EE			Temperatura mínima de Invierno °C	Temperatura máxima de Verano °C	Precipitación de Primavera mm	Salario Mínimo \$	Producción Teórica Base	Producción Absoluta (ton)	Anomalía % Producción
	Invierno °C	Verano °C	Primavera (%)							
GFDL_CM20_A1B_20	0.5	1.2	-6	20.56	25.99	76.61	41.28	554235.5	491378.9	-11.3
GFDL_CM20_A1B_50	1	2.1	-18	21.06	26.89	66.83	41.28	554235.5	332304.3	-40.0
GFDL_CM20_A1B_80	1.5	3.2	-36	21.56	27.99	52.16	41.28	554235.5	27594.8	-95.0
GFDL_CM20_B1_20	0.7	1.1	-23	20.76	25.89	62.755	41.28	554235.5	487717.1	-12.0
GFDL_CM20_B1_50	0.8	1.4	-10	20.76	25.89	62.755	41.28	554235.5	487717.1	-12.0
GFDL_CM20_B1_80	1.1	2.2	-18	20.86	26.19	73.35	41.28	554235.5	457032.7	-17.5
MPI_ECHAM5_A1B_20	0.9	0.7	2	20.96	25.49	83.13	41.28	554235.5	527407.2	-4.8
MPI_ECHAM5_A1B_50	2.3	1.8	-10	22.36	26.59	73.35	41.28	554235.5	301814.1	-45.5
MPI_ECHAM5_A1B_80	3.1	2.9	-25	23.16	27.69	61.125	41.28	554235.5	-33464.2	-100.0
MPI_ECHAM5_A2_20	0.8	0.9	0	20.86	25.69	81.5	41.28	554235.5	515248.7	-7.0
MPI_ECHAM5_A2_50	1.6	1.6	-9	21.66	26.39	74.165	41.28	554235.5	389981.0	-29.6
MPI_ECHAM5_A2_80	3.1	3.2	-35	23.16	27.99	52.975	41.28	554235.5	-123319.6	-100.0
MPI_ECHAM5_B1_20	0.8	0.6	-4	20.86	25.39	78.24	41.28	554235.5	533703.4	-3.7
MPI_ECHAM5_B1_50	1.7	1.3	-9	21.76	26.09	74.165	41.28	554235.5	423202.1	-23.6
MPI_ECHAM5_B1_80	2.3	2.1	-17	22.36	26.89	67.645	41.28	554235.5	244124.9	-56.0
UKMO_HADGEM1_A1B_20	1.4	1	8	21.46	25.79	88.02	41.28	554235.5	483285.0	-12.8
UKMO_HADGEM1_A1B_50	2.4	2.1	4	22.46	26.89	84.76	41.28	554235.5	245718.8	-55.7
UKMO_HADGEM1_A1B_80	3.2	3.4	20	23.26	28.19	97.8	41.28	554235.5	-167699.7	-100.0
UKMO_HADGEM1_A2_20	1	1.1	21	21.06	25.89	98.615	41.28	554235.5	500595.1	-9.7
UKMO_HADGEM1_A2_50	2.2	2.1	15	22.26	26.89	93.725	41.28	554235.5	270549.6	-51.2

El modelo GFDL_CM2.0_B1 (17.5%), MPI_ECHAM5_B1 (23.6%), MPI_ECHAM5_A2 (29.6%), GFDL_CM2.0_A1B (40%), MPI_ECHAM5_A1B (45.5%), UKMO__HADGEM1_A2 (51.2%) y UKMO__HADGEM1_A1B (55.7%) (Tabla 6-11 y Figura 6-14).

Finalmente, el horizonte 2080, muestra pérdidas significativas de producción de café. El modelo GFDL_CM2.0_B1 presenta pérdidas de 44.4% y el modelo MPI_ECHAM5_B1 con una reducción de 56% en la producción. Los demás modelos muestran una muy fuerte reducción de la producción de forma negativa desde un 95%, como el caso del modelo GFDL_CM2.0_A1B y los otros modelos señalaron al municipio de Coatepec como marginal para el cultivo del café (Figura 6-14). La producción tenderá a disminuir por el decremento o aumentos de la precipitación causada por el cambio climático (Tabla 6-11 y Figura 6-14).

El objetivo particular analizado fue la medición de la sensibilidad de la planta de café con base en la respuesta de la fenología de este cultivo a las variables climáticas, utilizando para ello el modelo econométrico del café propuesto por Gay et al (2006). Los valores climáticos y la variable socioeconómica como los salarios mínimos o pago de los jornales, permiten la estimación de la producción de café en toneladas.

Los datos de las variables climáticas estacionales de la estación climatológica de Teocelo, no fueron utilizados ya que los valores empleados están subestimados por la ecuación. El mérito de la aplicación de la fórmula se realizó con base a los requerimientos térmicos y pluviométricos que estimó el modelo. Esto permitió formular el escenario base y calcular sobre éste, las anomalías de la temperatura y las razones de cambio de la precipitación de los escenarios de cambio climático, de esta manera se pudo proyectar el comportamiento de la producción a nivel regional. La variación del comportamiento de la precipitación en primavera es determinante porque un decremento o exceso de disponibilidad hídrica afectará los ciclos de producción del café.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

Se puede afirmar que de acuerdo a los antecedentes y estudios realizados en esta investigación, las variables de la precipitación y la temperatura relacionadas con los subperíodos de las fases fenológicas, afectan de forma distinta los ciclos de producción del café. Utilizando la fenología de este cultivo, se obtuvieron resultados en la aplicación y seguimiento de los métodos y técnicas empleadas para determinar la evaluación de la sensibilidad a la variabilidad climática natural, la variabilidad climática ENSO y por el cambio climático.

El método de los talleres participativos contribuyeron gran medida para definir con exactitud el calendario fenológico del café para el municipio de Coatepec, Veracruz. Se determinó que la información proporcionada por los productores resultó ser congruente cuando éstos afirmaron que los buenos ciclos de producción del café coinciden con el inicio de las lluvias durante los meses de marzo a abril, presentándose de forma adecuada la floración y el inicio de la fructificación del café (*Coffea arabica*), y mientras, los meses de noviembre a diciembre, se concentran la maduración del grano con características comerciales y permite la recolecta uniforme de la cereza de café.

En contraparte, la experiencia de los productores indicó que en el caso de adelantarse las lluvias en el mes de febrero e incrementarse la disponibilidad de humedad en la época invernal, perjudican desde el mes de febrero hasta el mes de mayo con el adelanto de la amplitud de las floraciones y la formación de flores mal desarrolladas. Además, se desfasa el crecimiento y llenado de la almendra de café y, en consecuencia, las cosechas se distribuyen en el mes de noviembre hasta el mes de febrero del año siguiente, reduciendo la producción del aromático.

Una de las principales amenazas climáticas que inciden directamente en la producción del aromático son las anomalías provocadas por los excedentes de la precipitación que no permiten el óptimo desarrollo de las flores y su fructificación causando su marchitación prematura. Otros efectos fueron la aparición de las plagas y enfermedades, además de los daños mecánicos provocados a la planta y a la cereza de café; aunado a ello otras amenazas climáticas como las lluvias torrenciales, las

inundaciones, los Nortes, las sequías, las ondas de calor, la amplitud de la canícula, las heladas, la surada, el granizo y eventos climáticos de escala temporal diaria.

A partir del calendario fenológico del café derivado de los talleres participativos, se ajustaron los métodos de evaluación de los impactos potenciales de la producción de este cultivo.

En el diagrama ombrotérmico normal (1961 a 1990) se detectó que la variabilidad de las lluvias en condición natural del clima en el municipio de Coatepec, propician floraciones precoces. Las lluvias se presentan de forma regular en el mes de febrero y son superiores a los 45 mm, lo que estimula la floración y la propagación de las floraciones de dos a cuatro meses.

En cambio, la presencia de sequía preestival con precipitaciones menores a los 45 mm pronostican condiciones de buenas cosechas como se observó en el diagrama ombrotérmico del año de 1996. Los productores señalaron que se incrementa la producción cuando las lluvias son abundantes en el mes de marzo y las cosechas se concentran durante los meses de noviembre a diciembre, y si estas se adelantan en el mes de febrero la producción baja.

En los diagramas ombrotérmicos analizados con la variabilidad climática ENSO de los años de 1974 y 1998, se observa un comportamiento indefinido al inicio del año, pudiendo presentar sequía preestival o condiciones húmedas. Se debe tomar en cuenta que la disponibilidad hídrica durante la sequía preestival es determinante en los ciclos de producción.

Se evidenció que las condiciones climáticas del escenario base observado (1961-1990) son diferentes al tipo climático de los horizontes 2050 y 2080. El clima clasificado para el escenario base, de acuerdo a García (2005), fue semicálido del grupo C con régimen de lluvias intermedias, mientras que los escenarios de cambio climático, tal como los empleados en la presente investigación (HADGEM1_A1B y ECHAM_A1B horizontes 2050 al 2080), corresponden respectivamente al semicálido del grupo A y al cálido, tanto en régimen de lluvias de tipo intermedio como al de tipo de verano.

Sin embargo, los diagramas ombrotérmicos no determinaron los eventos de granizadas, las heladas, las ondas de calor, los Nortes, las suradas y lluvias torrenciales en períodos de tiempo de horas o en días, lo cual se explica a la escala de observación temporal de manera mensual.

Una contribución relevante al analizar cada uno de los diagramas ombrotérmicos para los ciclos de producción de 1974-1975, 1996-1997, 1998-1999 y 2005-2006 con o sin influencia ENSO para el municipio de Coatepec, fue la obtención de los umbrales mensuales de la temperatura y precipitación asociados a la fenología del café.

La disminución de las precipitaciones menores de 45 mm o mayores a los 60 mm en los meses de marzo hasta abril afectan tanto la floración en el desarrollo de flores estrella como la formación del fruto en su llenado. Por su parte la temperatura de los meses de noviembre a diciembre y de los meses de enero a febrero del siguiente año, deben ser mayores a los 10°C, porque al disminuir pueden causar el daño parcial o total a la planta y el fruto, o bien la muerte de la planta durante la maduración y recolección de ésta.

El Método de los espacios de amenaza climática aportó el análisis de la dinámica de los respectivos comportamientos estacionales de la serie histórica (1961-2005) comparada con los escenarios base (1961-1990) definiendo la fluctuación de la variabilidad climática natural de la precipitación y la temperatura en el municipio de Coatepec.

El espacio de amenaza climática de la estación invernal muestra años con condiciones de disponibilidad hídrica por encima de la requerida por el café. También en muchos de los casos con señal de El Niño y pocas veces con señal de La Niña. Además, los escenarios de cambio climático apuntan a condiciones de disponibilidad hídrica superiores para el umbral del café, por tanto, se evidencian de forma consecuente las floraciones prematuras.

En cambio, las condiciones de temperaturas mínimas estacionales requeridas para el café son ocasionales y se caracterizan como ENSO y pueden ser perjudiciales para la planta y el grano de cereza. Por otra parte, se observó en la mayoría de los años va mejorando el requerimiento térmico

con características de la variabilidad natural, ENSO y los escenarios de cambio climático que han sido y se proyectan propicios para la maduración y la recolecta de la almendra de café.

El espacio de amenaza climática de la época primaveral, el umbral del café es más acotado por los requerimientos hídricos. En primer lugar la mayoría de los años con o sin señal ENSO, han registrado demasía o escases de disponibilidad hídrica, y en segundo lugar menos condiciones adecuadas para el inicio de la floración. Por tanto, es sobresaliente que existen amenazas constantes de incrementos y escases de lluvia que favorecen a la formación de flores estrella y problemas con el desarrollo del incipiente grano de café. A futuro los escenarios de cambio climático señalan en su mayoría estar por encima de los requerimientos hídricos. No obstante, algunos escenarios en los horizontes 2050 y 2080 estarán en el rango permitido para el café.

Los ciclos de producción del café se explicaron con el análisis conjunto de las condiciones estacionales, y sobresalen los espacios de amenaza climática de las estaciones de invierno y primavera que definen las condiciones de la distribución y concentración de las floraciones para la producción final.

La definición de los umbrales del café fue importante para la evaluación de los impactos por variabilidad y cambio climático. Los umbrales propuestos, son una aproximación de forma estacional y fueron ajustados sobre el análisis de la respuesta biofísica del café observada con los diagramas ombrotérmicos de los años de 1974, 1996, 1998 y 2005.

El modelo econométrico del café resultó ser el menos confiable en comparación con los tres métodos analizados, debido a la subestimación de los valores de la precipitación y la temperatura de la estación climatológica de Teocelo. Esto se explica porque este modelo fue diseñado principalmente para análisis de cobertura regional, mas no local. La ecuación que utilizasirve para calcular la producción regional en base a tres parámetros:la precipitación, la temperatura y el salario jornalque el recolector del granopercibe, siendo éstos los valores base para la construcción de un “escenario base” a partir del cual se pudo modelar los escenarios futuros de la producción de café.El modelo econométrico del café coincidió con el calendario fenológico de café del municipio de Coatepec.

La tendencia de los escenarios de cambio climático indicó una disminución progresiva de la producción de café en el horizonte 2050 y en algunos casos hasta desaparecer en el 2080.

Con los resultados obtenidos se cumplió el alcance de los objetivos inicialmente planteados en esta investigación, con los talleres participativos se determinó el calendario fenológico del café del municipio de Coatepec y se detectaron amenazas climáticas diarias y mensuales. Con los diagramas ombrotérmicos se detectaron las amenazas climáticas para los períodos húmedos y secos. Con los espacios de amenaza climática estacional se visualizaron los ciclos de producción, en tanto el modelo econométrico permitió realizar las proyecciones futuras de la producción del café incorporando aspectos socioeconómicos. Con excepción del modelo econométrico del café, los métodos muestran que ante condiciones extremas de variabilidad climática y de cambio climático, la reducción del café no es tan drástica, aunque en algunos casos puede llegar a reducirse en alrededor de un 50%.

Por lo anteriormente expuesto podemos concluir que los métodos comparados en este proyecto de investigación resultaron ser complementarios para evaluar los impactos potenciales de la variabilidad climática y el cambio climático, así como detectar la sensibilidad en etapas críticas bajo condiciones observadas en la producción del café, en particular el municipio de Coatepec, Ver.

Finalmente, se comprueba la hipótesis de trabajo en donde los métodos empleados para la evaluación de los impactos potenciales por variabilidad y cambio climáticos, señalan reducciones de la producción por la afectación de las etapas críticas de la floración e inicio de la fructificación del café, debido principalmente, a la disponibilidad hídrica.

Propuestas como medidas de adaptación contra amenazas climáticas para el cultivo de café

A continuación se describen algunas propuestas aplicadas con buenos resultados por el GTZ (2010) para la adaptación a las amenazas climáticas que afectan la planta del café. Es de destacar que las propuestas de la adaptación a amenazas climáticas son análogas a las observadas en el área de estudio.

En primera instancia la disponibilidad hídrica durante la floración y el desarrollo del fruto es la condición ambiental más importante durante todo el ciclo de producción para el cultivo de café. Las lluvias durante la época invernal afectan el corte y la calidad del grano de cereza de café. El grano de café inmediatamente a su corte debe entrar el proceso de secado, si no pierde sus propiedades y reduce su calidad, disminuyendo, como consecuencia, su precio en el mercado. En segundo lugar, las temperaturas promedio mensuales menores de 10 °C y las temperaturas máximas cercanas a los 34° C, hacen sensible fisiológicamente a la planta de café.

Como propuesta para reducir el impacto de las lluvias a la cosecha podrían instalarse secadores solares que acumulan calor y ayudan a secar el grano aunque esté nublado.. Un secador solar es un túnel de plástico con bancos de cajillas sostenidos a una altura aproximada de 30 a 40 cm de la superficie del suelo para presecar o secar completamente el café pergamino y conservar su calidad. Estos artefactos son económicos, de fácil manejo y pueden utilizarse con materiales dentro de la finca.

Las precipitaciones pluviales en el mes de febrero, en la fase de preantesis del café, promueven el rompimiento del letargo del café y la estimulación a floraciones parciales y precoces. Pueden sugerirse dos propuestas: a) estimular con regadíos a todas las plantas para uniformar una floración completa y así como homogeneizar las fechas de cosechas. Esto se logra por medio de la implementación de un sistema de mangueras por goteo para distribuir y satisfacer la demanda hídrica de las plantas. b) la floración estimulada por la lluvia puede ser regulada por la sombra. La sombra del follaje de los árboles intercepta las gotas de lluvia y deja pasar una cierta cantidad a la planta de café y al suelo. Una precipitación diaria con valores de 10 mm como mínimo estimula la floración. Por tanto, puede regularse la sombra de los árboles en la fecha adecuada a las floraciones.

Los cafetales son importantes áreas de recarga hídrica, teniendo un impacto en la conservación y la calidad de las fuentes de agua. En las fincas cafetaleras de sombra las temperaturas son menores que las exteriores. Mientras, los suelos al interior de las fincas cafetaleras están cubiertos por una importante cantidad de materia seca que permiten tener una fertilización natural, disminuir la evapotranspiración y el mantenimiento de un nivel freático. En caso de presentarse disminución de la disponibilidad hídrica durante el desarrollo reproductivo de la planta, estas condiciones del

ambiente al interior del cafetal permiten satisfacer la demanda hídrica que proporcione en lo posible un sustento en la demanda hídrica para el cultivo de café. Por ello, se puede proponer durante la estación de verano con presencia de la sequía intraestival, si la humedad se reduce por debajo de los 100 mm prohibir las talas de árboles y aclareos dentro de los cafetales para aprovechar la humedad disponible por la capacidad de campo del suelo.

Asimismo se pueden promover obras de conservación de suelos que contribuyan a mejorar la infiltración y la recolección del agua y reducir la erosión mediante las barreras vivas o muertas, acequias y cajuelas de infiltración.

También se puede complementar con obras de infraestructura tales como bordos o tinas de recolección en épocas de lluvias que satisfagan la demanda hídrica durante la disminución o ausencia en los meses de superávit, con lo que la planta pueda cubrir su requerimiento en la fase fenológica correspondiente. Al mismo tiempo en que las condiciones húmedas y de superávit se presentan se deben realizar campañas de control que contrarresten la presencia y los ataques de plagas, hongos y enfermedades propias del cultivo. Por ejemplo, incluir el combate a las malezas para evitar con prácticas agrológicas su propagación e infestación que impacten a la producción del café.

Para las condiciones futuras proyectadas con la disminución anual del total de precipitación e incrementos de temperatura se hace posible una elección de ciertas variedades de café que demanden menos agua y sean tolerantes a los aumentos de temperatura.

La viabilidad de este conjunto de recomendaciones dependerá en gran medida de la aceptación y reconocimiento de los actores involucrados, sin dejar de lado el otorgamiento de recursos financieros y mano de obra especializada para llevar a cabo la implementación y desarrollo de cada uno de los proyectos. Hablar de éstos y otros aspectos, son objeto de otros estudios y de otros talleres participativos.

Consideraciones finales

En la actualidad es de suma importancia que al momento de abordar cualquier tipo de problemática o investigación en el campo de estudio de la climatología, es requisito indispensable contar con

información estadística consistente y oportuna, es decir disponer de amplias series de datos históricos de calidad y con un buen mínimo de error, pues de ello dependerá la veracidad de los resultados a obtener, como es el caso de las estaciones climatológicas que concentran infinidad de variables de interés para los especialistas; no obstante, el mantenimiento y operación permanente es otro aspecto importante, sin dejar de lado la necesidad que se tiene de extender la cobertura nacional de éstas estaciones.

La disponibilidad de bancos de datos de aspectos socioeconómicos a escala municipal también permite el diagnóstico y la simulación para ser vinculados a los elementos del clima, y explican las causas del ciclo de producción agrícola de muchos cultivos. Más aún, los escenarios de cambio climático están evolucionando y probablemente este reduciendo notablemente la incertidumbre de los resultados, así como la escala de resolución de análisis espacial para su aplicación en los estudios de impactos en la agricultura.

Como medidas complementarias para evaluar el cultivo de café, es la instalación de una red de casetas meteorológicas distribuidas a diferentes altitudes para el control y monitoreo anticipado de las condiciones del tiempo, a fin de implementar acciones como medidas de prevención para preservar el cuidado del cultivo, ello permitirá el registro oportuno de las heladas, olas de calor, Nortes, granizadas, suradas, la amplitud de las sequías y lluvias torrenciales que en un momento dado puedan ocasionar estragos y pérdidas económicas de gran envergadura para los agricultores en esta zona del país. Un doble propósito sería que los caficultores de Coatepec fueran los responsables directos del manejo y registro de la información recabada en las estaciones meteorológicas.

La falta de acervos cartográficos de las zonas cafetaleras en México y en especial en Coatepec, es otra gran limitante para la realización de estudios especializados, por lo que se sugiere que especialistas generen periódicamente la elaboración de mapas de isófanos en los que se registren fechas de inicio y fin de las fases fenológicas, así como mapas de isoantes que describan el inicio y presencia de la floración de las variedades de café. Además de esto, promover la caracterización agroclimática del municipio y sus alrededores con el objeto de conocer los periodos de crecimiento y periodos libres de heladas, que proporcionen información oportuna para el desarrollo de la

producción del cultivo en la adecuación de cultivos complementarios para la dieta y vida diaria de los caficultores.

Cabe destacar que debe existir un vínculo estrecho entre los productores de café y los investigadores, a fin de que ambos se involucren en las problemáticas de las relaciones entre el clima y la producción agrícola, dando lugar a la formulación de líneas de acción efectivas propias del lugar. Así los talleres participativos se convierten en una herramienta eficaz donde la participación de los actores clave del campo sea importante para delinear acciones para reducir las amenazas climáticas que afectan sus cultivos, y también lograr el aumento en capacidades de adaptación al cambio climático.

Se debe insistir que la innovación de métodos, técnicas y tecnologías de prácticas agrológicas optimizan la calidad de producción de los granos, proporcionan apoyos directos al productor y al campo e impulsan la comercialización y apertura de los mercados local, regional y/o nacional.

Perspectivas

Con base en los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de los trabajos de investigación y la obtención de los resultados, las metodologías de la evaluación de los impactos potenciales del café rebasaron las expectativas esperadas en los objetivos, por lo que éstas resultaron ser reproducibles para otras zonas cafetaleras del país y aplicables a otras especies de cultivos, lo que facilitó dejar abierto el camino para abordar nuevos aspectos en el tema del café y sus implicaciones en la variabilidad y cambio climáticos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Rosas, F y A. Luna-Díaz P. 2006. Principales fenómenos meteorológicos que afectaron al Estado de Veracruz en el año de 2005. Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. 53-66.
- Arcila P., J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En Héctor Fabio Ospina O. y Sandra Milena Marín L. (eds.). Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé. 309 p.
- Castillo, G. A. Contreras, A. Zamarripa, I. Méndez, M. Vázquez, F. Holguín, A. Fernández. 1996. Tecnología para la producción de café. INIFAP, México. Folleto Técnico No. 8. 88p. ISSN 1405-1095
- Conde, Álvarez Cecilia. 2003, Cambio y variabilidad climáticos. Dos estudios de caso en México. Tesis de Doctorado en Ciencias de la Tierra. UNAM. 300 p.
- Conde, C., M. Vinocur, C. Gay, R. Seiler and F. Estrada 2006. Climatic Threat Spaces as a Tool to Assess Current and Future Climate Risks: Case Studies in México and Argentina. AIACC. 30: 1-54
- Conde, C. y S. Saldaña. 2007. Cambio Climático en América Latina y el Caribe: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación. Revista Ambiente y Desarrollo. Vol. 23 (2): 23-30. Santiago de Chile.
- Conde, C., M. Vinocur, C. Gay, R. Seiler and F. Estrada. 2008. Climatic Threat Spaces in Mexico and Argentina. In Neil Leary, Cecilia Conde, Jyoti Kulkarni, Anthony Nyong and Juan Pulhin (Eds.). Climate Change and Vulnerability. Chapter 14. Earthscan, TWAS, START. 279-306.
- Conde, C., F. Estrada, B. Martínez, O. Sánchez, A. C. Gay. 2011. Regional climate change scenarios for México. *Atmósfera* 24(1):125-140.
- Córdova Santamaría S. 2005. Café y Sociedad en Huatusco, Veracruz: Formación de la Cultura Cafetalera (1870-1930). Consejo Nacional para la Cultura y la Artes. México. 451 p.
- Díaz, P. G., Cortina, C. M y Rodríguez, P. L. 2001. Potencial Agro-productivo de cada hectárea de la superficie territorial del Estado de Veracruz. Decima Cuarta Reunión Científica- Tecnológica y Agropecuaria, Veracruz. 9 P.
- Domínguez, M., NN. 2009. Crisis cafetalera y expresiones de la nueva ruralidad en los ejidos Las Lomas, Municipio de Coatepec, Veracruz. Xalapa. Tesis de Licenciatura. Facultad de Economía. Universidad Veracruzana, 74 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). ECOCROP. Disponible en internet: <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=749>. Consultado el 28 febrero de 2012.
- Fundación Produce Disponible en Internet:
<http://www.fupronay.org.mx/guia%20tecnica/guia/Contenido/Contenido.htm>. Consultado el 13 de febrero de 2012.
- García, Árchila Donají R. 2010, Cambio y variabilidad climáticos. Análisis de las variaciones térmicas y la evapotranspiración en un cafetal de sol y a la sombra en una localidad en el municipio de Coatepec, Veracruz. Tesis de Licenciatura en Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas. Universidad Veracruzana. 73 p.

- García, E. 1989. Apuntes de Climatología. Offset Lario Ed. S. A. México, D. F.155p.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Quinta Edición. Serie Libros No. 6, Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México. 89p.
- García, E. 1970. Los Climas del Estado de Veracruz, según el Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado por la Autora. En Orellana, L. R. y Vidal Z.R.(Eds.). 2005 Enriqueta garciae: Antología. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. / Instituto de Geografía, UNAM, México.Pp97-119.
- García, E., Hernández M.E., Cardoso M.D. 1983. Las Gráficas Ombrotérmicas y los Regímenes Pluviométricos en la República Mexicana. En Orellana, L. R. y Vidal Z.R. (Eds.). 2005 Enriqueta garciae: Antología. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. / Instituto de Geografía, UNAM, México. Pp 349 - 358.
- García Acosta, V. 2006. Estrategias Adaptativas y Amenazas Climáticas. En: Urbina, S. J. y J. Martínez (compiladores). Más Allá del Cambio Climático. Las Dimensiones Psicosociales del Cambio Ambiental Global. México. Primera edición. 29-46.
- Gay C., F. Estrada, C. Conde, H. Eakin and L. Villers. 2006. Potential impacts of climate change on agricultura: A case study of coffee production in Veracruz, México. *Clim. Change* 79: 259-288.
- Geilfus, F. 1997. 80 Herramientas para el Desarrollo Participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. Prochate-IICA, San Salvador, el Salvador. 208 p.
- Gutiérrez Bonilla, L.A., F. Monfort Guillen y E. López Flores. 2006. Impacto económico en el sector agrícola. Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. Pp. 135-157.
- H. Congreso de la Unión. El Mercado de Café en México. [En línea]. México: H. Congreso de la Unión, Cámara de Diputados. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2001. Disponible en internet: <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0542001.pdf>. Consultado el (4 de octubre de 2011).
- Hinojosa, G.1981. Fenología. México. Universidad Autónoma de Chapingo. Boletín técnico N°3. 64 p.
- Hoffmann, O. 1986. Movimientos demográficos y economía cafetalera en la región central del estado de Veracruz: Xalapa-Coatepec. Cuadernos del IIESES, Xalapa, Ver. N° 13: 57-84.
- GTZ (Cooperación Técnica Alemana), 2010. Cambio climático y café: Capacitación para productores y organizaciones cafetaleras. Alemania. GTZ. 75 p.
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1991a. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. P.224 y 304.
- . 1992b. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.P.286 y 294.
- . 1993c. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. P. 426 y 435.

- . 1994d. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. P. 461 y 467.
- . 1995e. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. P. 534 y 548.
- . 1996f. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. P. 601 y 616.
- . 1997g. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. P. 601 y 616.
- . 1998h. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. P. 674 y 713.
- . 1999i. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. P. 585 y 603.
- . 2000j. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. P. 709 y 730.
- IPCC, 2007: Cambio Climático: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC. Ginebra, Suiza.
- Lim, B., E. Spanger-Siegried (Eds.). 2006. Marco de Políticas de Adaptación al Cambio Climático: Desarrollando Estrategias, Políticas y Medidas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Cambridge University Press. Nueva York. 258 p.
- Magaña, V. J. L. Pérez, J.L. Vázquez, E, Carrisoza, J. Pérez. 2004. El Niño y el Clima. En Magaña (Editor). Los Impactos de El Niño en México. México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM; Secretaria de Gobernación. Pp. 23-68. Disponible en Internet: <http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/nino.htm> agosto de 2011.
- Manson, R.H. V.J. Sosa y A. Contreras. 2008. Efectos del manejo sobre la biodiversidad: síntesis y conclusiones. En Mansón, R. V.Hernández-Ortíz, S. Gallina y K. Mehltreter (Editores). Agroecosistemas Cafetaleros en Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación. INECOL, INE-SEMARNAT. México. 279-302.
- Marshall, Y. J., y G. R. Palma. 1985. Análisis Gráfico de un Espacio Regional: Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos - Institut Français de Recherche Scientifique pour le developpement en cooperation INIREB-ORSTOM. p.85
- Martínez Morales A.C. 1993. Café en Taza. En: González, C. y F. Torres (compiladores). Los Retos de la Soberanía Alimentaria en México. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. México. Vol. I: 359-398.

- Mestries Benquet, F. 2003. Crisis cafetalera y migración Internacional en Veracruz. Migraciones Internacionales, julio – diciembre, vol. 2, número 002. El Colegio de la Frontera Norte. Tijuana, México. 121 -148.
- Mosiño, A.P. y E. García. 1966. Evaluación de la Sequía Intraestival en la República Mexicana. En Orellana, L. R. y Vidal Z.R.(Eds.). 2005 Enriqueta garciae: Antología. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. / Instituto de Geografía, UNAM, México.Pp 59-74.
- NOAA. 2013 (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, por sus siglas en inglés). Disponible desde Internet: http://www.hidromet.com.pa/nino_nina.php).
- Nolasco, M. (1985). Café y Sociedad en México. CECODES. México. 454 p.
- Orellana, R., C. Espadas, C. Conde y C. Gay, 2009. Atlas. Escenarios de Cambio Climático en la Península de Yucatán. CICY; UNAM; CONACYT; SEDUMA-Gobierno del Estado de Yucatán; SIDETEY; ONU-PNUD.México. 93-96
- Pereyra, D., Palma, B., y Barrientos, A. 1991. El Niño y su relación con las lluvias de Xalapa, Veracruz, México. GEOS Boletín de la Unión Geofísica Mexicana, 11: 11-15.
- Pereyra, D., B Sánchez, y J.L. Aguilar. 1994. Effect of ENSO on the mid-summer drought in Veracruz State, México. *Atmósfera*.7: 211-219.
- Pereyra, D. y B. Sánchez. 1995. Sequías Prolongadas y Déficit Hídrico en el Estado de Veracruz, México. *La Ciencia y el Hombre*. Universidad Veracruzana. Número 21. septiembre a diciembre. : 157
- Pereyra-Díaz, D., J. A. A. Pérez-Sesma, M. A. Natividad-Baizabal y L. Gómez-Romero. 2000. Influencia de La Niña y El Niño sobre la canícula de la región Xalapa, Veracruz, México. *Universidad y Ciencia, UJAT*. 16(32):71-79. México. ISSN 0186-2979.
- Pérez García Ismael. 1996. Major cold outbreaks affecting coffee and citrus plantations in the Eastern and northeastern México. *Atmosfera*, 9, pp 47-68.
- Pérez, U. Matilde. 2010. Disponible desde internet: <http://www.jornada.unam.mx/2010/05/07/index.php?section=sociedad&article=043n1soc>
- Regalado, A. 1996. “Manual para la Cafecultura Mexicana”. INCA RURAL. Programa Café 1995-2000. 156 p.
- Rivadeneira Pasque, J.I. y Ramírez Valverde B. 2006. El comercio local del café a raíz de su crisis en la Sierra Norte de Puebla. *Revista Mexicana de Agronegocios*, enero-junio, año/vol. X, Número 018. Universidad Autónoma de la Laguna, Torreón, México.
- Ruíz, C., J.A.; Medina G., G; González A., I.J.; Ortíz T., C; Flores L., H.E.; Martínez P.,R., y Byerly M., K.F. 1999. Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. INIFAP. CIRPAC. Libro técnico Núm.3. Guadalajara, México. 324 p.
- SIACON. (Sistema de Información Agropecuaria de Consulta). 2011. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta Ver. 1.1. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA. México.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2012. Anuario Agropecuario. Ver. 1.1. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA. México.

SMN. (Servicio Meteorológico Nacional) 2008. Base de Datos meteorológicos CLICOM en CD. Servicio Meteorológico Nacional. México D.F.

Sys, C, Van Ranst E, Debayete J. 1993. Land Evaluation Part III. Principles in land evaluation and crop production calculations. General administration for development cooperation. Brussels, Belgium.

the Pacific Climate Impacts Consortium. Disponible desde Internet en <http://pacificclimate.org>. Consultada 14 de febrero de 2010.

UNFCCC Secretariat (Convención Marco de las Naciones Unidas). 2008. Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change. P I I

Villers, L. N. Arizpe, R. Orellana, C. Conde y J. Hernández. 2009. Impactos del Cambio Climático en la Floración y Desarrollo del Fruto del Café en Veracruz, México. Mayo, Vol. 34 N°5. Interciencias. 322-329

Mapas

ArcGIS Online services. WMS Service. <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisonline-services/index.html>. Consultada 2 de julio 2013

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2011). División política estatal de México 1:250,000. Versión 4. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Consultada 2 de julio 2013.

----- (2010). Áreas geoestadísticas municipales, 2010. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1:250000. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Consultada 2 de julio 2013.

García, E. – CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), (1998). "Climas" (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1,000,000. México.. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Consultada 10 de mayo 2011.

SEMARNAT-UNAM. 2001. Inventario Nacional Forestal. Escala 1:250,000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. En Internet: www.conafor.gob.mx. Enero de 2010.

INEGI. Continuo de elevaciones mexicano CEM (2.0). <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoElevaciones.aspx>. Consultada 2 de julio 2013.