

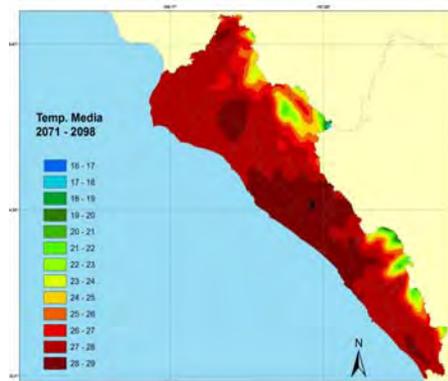


Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Informe Final

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN
LA PRODUCTIVIDAD DE LA AGRICULTURA DE RIEGO Y
TEMPORAL DEL ESTADO DE SINALOA**



Responsable técnico: Dr. Waldo Ojeda Bustamante

Clave del Proyecto: SIN-2008-C01-98981

Agosto de 2010

*El presente informe fue
generado en el marco del
proyecto financiado por el fondo
mixto del CONACYT y gobierno
del estado de Sinaloa con clave
FOMIX 2008-C01-98981.
A los cuales se agradece su
apoyo para realizar este trabajo.*

Informe Final de Proyecto
Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica
CONACYT-Gobierno del Estado de Sinaloa
Convocatoria FOMIX 2008-01

REPORTE TÉCNICO DEL PROYECTO

“Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa” Clave del Proyecto: SIN-2008-C01-98981

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua



Responsable técnico: Dr. Waldo Ojeda Bustamante

Responsable administrativo: M.A. Rosalinda Argandar Rosano

Informe Final

Periodo: junio 2009 – agosto 2010

PARTICIPANTES

Waldo Ojeda Bustamante
Ernesto Sifuentes Ibarra
Mauro Iñiguez Covarrubias
Jaime Macías Cervantes
José Guadalupe Quintana Quiroz
Víctor Manuel González Calderón
Rafael Salinas Pérez
Luis Alberto Hernández Espinal
Edgardo Cortez Mondaca
Franklin G. Rodríguez Cota
Tomás Moreno Gallegos

COLABORADORES

Jaime Valdez Amaya
Martín José Montero Martínez
Helene Unland Weiss
Vladimir Ruiz Perez
Ada Ascencio Álvarez
Joaquín Ureta Téllez
Héctor Emiliano Quiñones Pedroza
Israel Velasco Velasco
Juan Esteban Reyes Jiménez
Heidi Melania Medina Montenegro
Juan Manuel Gonzalez Camacho

ASISTENTES

Regulo Nájera Solís
Rosendo Abel Corral Vega
Mapo Mora Edgar Mauricio
Eduardo Celis Lais
Cesar Ricardo Minauro Cervera

GRUPO DE TRABAJO

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Waldo Ojeda Bustamante

Mauro Iñiguez Covarrubias

Martín José Montero Martínez

Hector Emiliano Quiñones Pedroza

Helene Unland Weiss

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas

Ernesto Sifuentes Ibarra

Jaime Macías Cervantes.

Luis Alberto Hernández Espinal.

Heidi Melania Medina Montenegro.

Jaime Valdez Amaya.

José Guadalupe Quintana Quiroz.

Vladimir Ruiz Pérez

Edgardo Cortez Mondaca.

Víctor Manuel González Calderón.

Juan Esteban Reyes Jiménez.

Tomás Moreno Gallegos.

Colegio de Postgraduados

Juan Manuel Gonzalez Camacho

Asistentes

Eduardo Celis Lais

Cesar Ricardo Minauro Cervera

Tesistas

Regulo Nájera Solís (Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala)

Rosendo Abel Corral Vega (Universidad A. Sinaloa)

Mapo Mora Edgar Mauricio (Universidad A. Sinaloa)

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	2
1. Introducción.....	3
2. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE SINALOA	5
2.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL.....	13
2.1.1 Localización geográfica.....	13
2.1.2 Topografía.....	14
2.1.3 Hidrología.....	16
2.1.4 Vegetación y Uso del suelo.....	18
2.1.5 Tipo de suelo.....	20
2.2. CARACTERIZACIÓN AGRÍCOLA	21
2.2.1 Zonas agrícolas del estado.....	21
2.2.2 Estadísticas agrícolas.....	23
Estadísticas estatales.....	23
Estadísticas Municipales.....	28
2.2.3 Índices socioeconómicos.....	32
2.3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA HISTÓRICA.....	33
2.3.1 Base de datos climatológica.....	33
2.3.2 Precipitación.....	34
2.3.3 Temperatura.....	37
2.3.4 Agroclimas del estado de Sinaloa.....	42
2.4. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA PROYECTADA.....	46

2.4.1. Generalidades.....	46
2.4.1 Precipitación	48
2.4.2 Temperatura	51
2.5. VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA DEL ESTADO DE SINALOA....	59
2.5.1. Generalidades	59
2.5.2 Marco metodológico.....	60
2.5.3 Variables y fuentes de datos.....	62
Exposición al cambio climático.....	64
Sensibilidad al cambio climático.....	66
Capacidad de adaptación al cambio climático.....	68
2.5.4 Estimación de la Vulnerabilidad de la agricultura.....	69
2.5.5 Mapas de vulnerabilidad al cambio climático de la agricultura del estado de Sinaloa	74
Exposición al cambio climático.....	74
Sensibilidad al cambio climático.....	81
Capacidad de adaptación al cambio climático.....	75
Vulnerabilidad global de la agricultura del estado de Sinaloa	87
2.6. LITERATURA CITADA	92
3. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA FISIOLÓGÍA DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS DEL ESTADO DE SINALOA.....	95
3.1 INTRODUCCIÓN.....	99
3.2 PRINCIPALES FACTORES QUE INCIDEN EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS.....	101
3.2.1 Procesos fisiológicos.....	103

3.2.2 Factores ambientales.....	105
Radiación solar.....	105
Temperatura.....	106
Humedad relativa.....	109
3.3 FENOLOGÍA DE LOS CULTIVOS.....	109
Fenología y tiempo fisiológico.....	110
3.3.1 Cultivo de maíz.....	110
Impacto de la temperatura en el desarrollo del maíz.....	110
Requerimientos hídricos.....	112
Etapas fenológicas del maíz.....	112
3.3.2 Cultivo de frijol.....	113
Impacto de la temperatura en el desarrollo del cultivo de frijol.....	113
Requerimientos hídricos.....	114
Etapas fenológicas del cultivo de frijol.....	114
3.3.3 Cultivo de sorgo.....	117
Impacto de la temperatura en el cultivo de sorgo.....	117
Requerimientos hídricos.....	117
Etapas fenológicas del cultivo de sorgo.....	118
3.3.4 CULTIVO DE PAPA.....	119
Impacto de la temperatura en el desarrollo del cultivo de papa.....	119
Requerimientos hídricos.....	120
Etapas fenológicos del cultivo de papa.....	121
3.3.5 Cultivo de mango.....	123
Importancia de la temperatura en el cultivo de mango.....	123
Requerimientos hídricos.....	124



Etapas fenológicas del cultivo de mango.....	125
3.4 FENOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO.....	126
3.5 IMPACTO DEL CLIMA EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS.....	129
3.6 LITERATURA CITADA.....	131
4. PAQUETES TECNOLÓGICOS DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS GENERADOS POR EL INIFAP PARA SINALOA.....	136
4.1 INTRODUCCIÓN.....	142
4.2 CAMPO EXPERIMENTAL VALLE DEL FUERTE (CEVAF)–REGIÓN NORTE.....	143
4.2.1 Descripción.....	143
4.2.2 Problemática Agrícola.....	144
4.2.3 Paquetes tecnológicos de cultivos modalidad riego.....	145
i. Maíz.....	145
ii. Frijol.....	149
iii. Garbanzo.....	152
iv. Papa.....	155
v. Sorgo.....	157
4.2.4 Paquetes tecnológicos de cultivos modalidad temporal.....	159
i. Ajonjolí.....	159
ii. Cacahuete.....	161
4.3 CAMPO EXPERIMENTAL VALLE DE CULIACAN (CEVACU)-REGION CENTRO.....	163
4.3.1 Descripción.....	163
4.3.2 Problemática Agrícola.....	163

4.3.3 Paquetes tecnológicos modalidad riego.....	165
i. Maíz.....	165
ii. Frijol.....	168
iii. Garbanzo.....	171
iv. Tomate.....	174
v. Chile verde.....	178
4.3.4 Paquetes tecnológicos de cultivos modalidad temporal.....	180
i. Praderas Perennes.....	180
ii. Sorgo.....	182
iii. Garbanzo.....	185
4.4 SITIO EXPERIMENTAL SUR DE SINALOA (SESSI)-PERTENECIENTE AL CAMPO EXPERIMENTAL VALLE DE CULIACAN.....	188
4.4.1 Descripción.....	188
4.4.2 Problemática Agrícola.....	189
4.4.3 Paquetes tecnológicos de cultivos modalidad riego.....	190
i. Tomate.....	190
ii. Chile verde.....	193
iii. Frijol.....	196
4.4.4 Paquetes tecnológicos de cultivos modalidad temporal.....	199
i. Frijol.....	199
ii. Mango.....	205
iii. Sorgo.....	201
4.5 PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LOS CULTIVOS DE IMPORTANCIA PARA EL ESTADO DE SINALOA.....	207

4.5.1 Nivel de importancia de las plagas y enfermedades de los cultivos más importantes en Sinaloa.....	207
4.6 LITERATURA CITADA.....	211
5. AJUSTE DE PAQUETES TECNOLÓGICOS EN RESPUESTA AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	212
5.1 INTRODUCCIÓN.....	214
5.2 CULTIVOS DE LA ZONA NORTE.....	214
5.3 CULTIVOS DE LA ZONA CENTRO.....	235
5.4 CULTIVOS DE LA ZONA SUR.....	254
6. ADAPTACIÓN DE LA AGRICULTURA DE SINALOA AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	260
6.1 INTRODUCCIÓN.....	265
6.2 IMPORTANCIA DE LA ADAPTACIÓN.....	266
6.3 TENDENCIAS Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA AGRICULTURA DE SINALOA.....	268
6.3.1 Agricultura de riego.....	269
6.3.2 Agricultura de temporal.....	269
6.4 ACCIONES DE ADAPTACIÓN PARA LA AGRICULTURA DE SINALOA....	270
6.4.1 Adaptación a corto plazo (resiliencia) de la agricultura.....	272
i. Acciones generales.....	272
ii. Acciones específicas para la agricultura de riego.....	274
iii. Acciones específicas para la agricultura de temporal.....	275
6.4.2 Adaptación a largo plazo de la agricultura.....	275



Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

i. Acciones generales.....	275
ii. Acciones específicas para la agricultura de riego.....	277
iii. Acciones específicas para la agricultura de temporal.....	278
6.5 DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS DE ADAPTACIÓN.....	279
6.5.1 Técnicas de adaptación para la agricultura de riego.....	280
i. Técnicas de adaptación a corto plazo.....	280
ii. Técnicas de adaptación a largo plazo.....	291
6.5.2 Técnicas de adaptación para la agricultura de temporal.....	197
6.6 GRANDES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO EN SINALOA.....	301
6.7 REVISIÓN Y AJUSTE DE POLITICAS GUBERNAMENTABLES.....	301
6.8 LITERTURA CITADA.....	308
7. COLABORADORES DEL PROYECTO.....	311
7.1 RELACIÓN DE COLABORADORES DEL PROYECTO.....	312
7.2 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA.....	313
7.3 INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRÍCOLAS.....	315
7.4 COLEGIO DE POSTGRADUADOS.....	319
7.5 TESISTAS.....	319
7.6 ASISTENTES.....	320
ANEXOS.....	321
ANEXOS A (CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA PROYECTADA).....	321
ANEXOS B (CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA PROYECTADA).....	328

ACCIONES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL MAÍZ DE RIEGO

EN EL VALLE DEL FUERTE.....	346
INTRODUCCIÓN.....	348
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	349
Programación integral del riego en tiempo real.....	349
Escenarios de cambio climático para Sinaloa.....	349
Diseño de riego por gravedad (RIGRAV).....	351
METODOLOGÍA.....	352
RESULTADOS.....	353
CONCLUSIONES.....	357
LITERATURA CITADA.....	358

PROGRAMACION INTEGRAL DE RIEGO EN CULTIVOS PERENNES (MANGO CAÑA DE AZÚCAR Y ALFALFA), BAJO CONDICIONES DE CAMBIO

CLIMATICO EN EL VALLE DEL FUERTE.....	359
INTRODUCCIÓN.....	359
MATERIALES Y METODOS.....	360
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	361
CONCLUSIONES.....	366
LITERATURA CITADA.....	367

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DESARROLLO Y REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LOS CULTIVOS (artículo publicado en la Revista Agrociencia)	370
---	------------

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

CONTENIDO

PRESENTACIÓN.....	2
1. Introducción.....	3

PRESENTACIÓN

La comunidad científica internacional reconoce que el cambio climático es un hecho indiscutible, con posibles efectos potenciales, tanto negativos como positivos, sobre las actividades primarias como la agricultura, ganadería, acuacultura y pesca, que conllevaría también a un incremento en la variabilidad de los fenómenos meteorológicos, a una mayor incidencia de factores de estrés abióticos y bióticos, como sequías, lluvias torrenciales, ondas de calor y la propagación de plagas y enfermedades. Frente a esta situación, se requiere conocer los impactos espaciales y temporales en los patrones climáticos actuales para definir estrategias, políticas de adaptación y mitigación del sector agrícola del estado de Sinaloa al cambio climático.

El cambio climático es considerado actualmente como el fenómeno natural con mayor impacto sobre el desarrollo y convivencia de los seres vivos que afectará el desarrollo y sustentabilidad del sector agrícola ya que las actividades agrícolas son de alta sensibilidad y vulnerabilidad a la variabilidad climática. Se conoce con poca precisión los efectos espaciales y temporales en los diferentes subsectores y sistemas productivos rurales y las posibles acciones de mitigación y adaptación, por lo que el país requiere de estudios sobre el impacto regional del cambio climático en dicho sector.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental del Valle del Fuerte, elaboraron la propuesta de estudio "Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa" de acuerdo a las bases de la convocatoria 2008-01 del fondo MIXTO CONACYT-SINALOA. Dicha propuesta fue aceptada y aprobada con financiamiento por dicho fondo. El presente documento presenta los resultados obtenidos en el marco de dicho proyecto.

La propuesta está organizada de manera integral para responder a las demandas específicas de la convocatoria. En particular el documento se centra en tres temas: el impacto del cambio climático en la fisiología de los principales cultivos establecidos en el estado de Sinaloa, descripción de los paquetes tecnológicos de los cultivos y su ajuste por impacto del cambio climático, y las acciones de adaptación de la agricultura de Sinaloa al cambio climático. Los resultados obtenidos y la información generada permitirán apoyar a los tomadores de decisiones relacionados con las actividades agrícolas, a considerar los posibles impactos y realizar los ajustes necesarios en las políticas estatales y municipales para responder con congruencia ante las amenazas y oportunidades que resultan del impacto del cambio climático en el sector agrícola Sinaloense.

Waldo Ojeda Bustamante

Responsable técnico del proyecto

1. INTRODUCCIÓN

Waldo Ojeda Bustamante

Franklin G. Rodríguez C.

En los últimos 10,000 años, que corresponde al presente período interglaciar, el clima terráqueo ha permanecido relativamente estable. A lo largo de dicho período, la agricultura ha venido evolucionando y ha logrado adaptarse a las condiciones climáticas locales con una variabilidad natural. En la actualidad la sociedad, y en particular el sector agrícola, enfrentan cambios en los patrones ambientales a una tasa nunca vista en la historia reciente, debido a las consecuencias de las actividades humanas que afectan tanto la composición de la atmósfera como el balance de la radiación solar. Este fenómeno de calentamiento global de la superficie terrestre es una de las grandes amenazas del presente siglo.

La agricultura está ligada a los ciclos naturales de variables ambientales como temperatura, precipitación y radiación solar. Estos ciclos pueden ser modificados, principalmente la lluvia y la temperatura por el calentamiento climático global, con efectos potenciales a mediano y largo plazo sobre los sistemas agrícolas, teniendo consecuencias en la productividad de los cultivos, en la programación de aplicación de insumos, en las prácticas de manejo de los cultivos, en la mayor o menor presencia de plagas y enfermedades, y en la oferta y demanda de la producción entre otros. Sin embargo, la magnitud y dirección de estos efectos por cambio climático es compleja por lo que debe ser estudiada en forma sistematizada.

La agricultura de Sinaloa ha experimentado con mayor recurrencia y severidad la presencia de eventos climatológicos extremos, poniendo a prueba su sustentabilidad. Tal es el caso de las sequías que inducen a restringir dotaciones normales de agua para riego y disminuir la superficie cultivable y en las zonas de temporal se impacta en su productividad. Por su ubicación geográfica y dependencia agrícola, el cambio climático puede afectar el desarrollo económico de varias regiones agrícolas del estado de Sinaloa.

Los sistemas de producción agrícola de Sinaloa han tenido cambios importantes en las últimas décadas. La agricultura de riego se ha convertido en una actividad de alta rentabilidad, limitada por la comercialización y disponibilidad de agua, presentando actualmente una tendencia hacia la adopción de tecnologías nuevas o mejoradas en el estado, como: labranza reducida, manejo integrado de plagas y manejo eficiente de agua y fertilizantes. Además, el patrón de cultivos se ha modificado, como consecuencia a problemas agronómicos y/o fitosanitarios surgidos recientemente. En este sentido, los sistemas de rotación usados anteriormente han perdido su importancia debido a la alta incidencia de plagas o enfermedades. Por ejemplo, el caso de los sistemas trigo-soya de invierno y verano, respectivamente, donde la alta incidencia de mosca blanca ha impedido su continuidad, otro sistema es el frijol-sorgo, en otoño y primavera, respectivamente y cártamo-arroz, en invierno y verano, que fue una rotación importante en los años de la década de los setentas y ochentas, Este último sistema de rotación ha desaparecido por problemas fitosanitarios del cártamo, aunado a su bajo precios en los últimos años

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

agrícolas, mientras que el arroz se ve limitado por la escasa dotación de agua asignada por año agrícola y la fuerte competencia de precio del producto en comparación con el mercado internacional al abrirse las fronteras a la importación de este grano. Como consecuencia de lo anterior, actualmente predomina la tendencia hacia el monocultivo de maíz y a un incremento de la superficie de hortalizas en el estado de Sinaloa.

Por otro lado, el cambio en el patrón climático del estado de Sinaloa, inducido por efectos del cambio climático, afectará el desarrollo, sanidad y productividad de los cultivos. Por ejemplo un incremento en la temperatura ambiental intensificará la tasa de desarrollo, debido a una mayor acumulación de los requerimientos de calor de los cultivos, lo anterior generará una reducción del ciclo fenológico y se presentará un efecto negativo en la producción de los mismos, principalmente en el ciclo de PV, cuando el incremento en las temperaturas coincide con los periodos críticos como la floración y la formación del grano. En este trabajo se analizan dichos impactos y propondrán los ajustes necesarios que se requerirán realizar en los paquetes tecnológicos existentes, que de aplicarse se podrá aminorar las repercusiones en la productividad actual de los cultivos del estado de Sinaloa.

La respuesta de la agricultura de Sinaloa al cambio climático, debe ser con acciones de adaptación planificada, para reducir su vulnerabilidad por impactos adversos o daño potencial y así aprovechar las oportunidades asociadas a dicho cambio. La adaptación no debe manejarse en forma aislada y se propone sea con acciones coordinadas e integradoras consensuadas con los agricultores, asociaciones civiles, universidades, empresas, ONGs, y gobierno. Las estrategias de adaptación a corto plazo pueden basarse en la modificación o mejora de las prácticas agrícolas actuales, muchas de ellas sencillas, como cambios en las fechas de siembra, variedades, rotación de cultivos, y el uso de métodos y sistemas de producción para la conservación de la humedad del suelo. Sin embargo a largo plazo es necesario adaptar los sistemas agrícolas a las nuevas condiciones climáticas.

2. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DE SINALOA

Waldo Ojeda Bustamante

Mauro Iñiguez Covarrubias

Martín José Montero Martínez

CONTENIDO

Contenido	5
Contenido de Figuras	7
2.1 Caracterización general	13
2.1.1 Localización geográfica	13
2.1.2 Topografía	14
2.1.3 Hidrología	16
2.1.4 Vegetación y Uso del suelo	18
2.1.5 Tipo de suelo	20
2.2. CARACTERIZACIÓN AGRÍCOLA.....	21
2.2.1 Zonas agrícolas del estado.....	21
2.2.2 Estadísticas agrícolas.....	23
Estadísticas estatales	23
Estadísticas Municipales.....	28
2.2.3 Índices socioeconómicos.....	32
2.3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA HISTÓRICA.....	33

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

2.3.1 Base de datos climatológica	33
2.3.2 Precipitación	34
2.3.3 Temperatura	37
2.3.4 Agroclimas del estado de Sinaloa.....	42
2.4. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA PROYECTADA	46
2.4.1. Generalidades	46
2.4.1 Precipitación	48
2.4.2 Temperatura	51
2.5. Vulnerabilidad de la agricultura del estado de Sinaloa.....	59
2.5.1. Generalidades	59
2.5.2 Marco metodológico	60
2.5.3 Variables y fuentes de datos.....	62
2.5.3.1 Exposición al cambio climático.....	64
2.5.3.2 Sensibilidad al cambio climático.....	66
2.5.3.3 Capacidad de adaptación al cambio climático	68
2.5.4 Estimación de la Vulnerabilidad de la agricultura	69
2.5.5 Mapas de vulnerabilidad al cambio climático de la agricultura del estado de Sinaloa.....	74
2.5.5.1. Exposición al cambio climático.....	74
2.5.5.2. Sensibilidad al cambio climático.....	81
2.5.5.3. Capacidad de adaptación al cambio climático	84
2.5.5.4. Vulnerabilidad global de la agricultura del estado de Sinaloa	87
2.6. LITERATURA CITADA.....	92

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 2.1 Localización de estado de Sinaloa en México.....	13
Figura 2.2 Municipios del estado de Sinaloa.....	14
Figura 2.3 Altitud del estado de Sinaloa en msnm	15
Figura 2.4 Pendiente topográfica en porcentaje de la superficie del estado de Sinaloa	16
Figura 2.5 Regiones hidrológicas de la republica mexicana	17
Figura 2.6 Cuencas hidrográficas de los principales ríos del estado de Sinaloa.....	18
Figura 2.7 Uso de suelo del estado de Sinaloa.....	19
Figura 2.8 Tipos de suelo del estado de Sinaloa en base a su textura	20
Figura 2.9 Distribución de las zonas agrícolas de temporal y riego en la zona norte del estado	21
Figura 2.10 Distribución de las zonas agrícolas de temporal y riego en la zona centro del estado.....	22
Figura 2.11 Distribución de las zonas agrícolas de temporal y riego en la zona sur del estado	23
Figura 2.12 Distribución de la superficie sembrada por ciclo agrícola	24
Figura 2.13 Distribución de la superficie sembrada por modalidad de riego	25
Figura 2.14 Siniestralidad de la agricultura de temporal de los municipios del estado de Sinaloa	32
Figura 2.15 Localización de puntos con información climatológica.....	34
Figura 2.16 Precipitación mensual promedio para el estado de Sinaloa.....	35
Figura 2.17 Isoyetas promedio anual para el periodo base.....	35
Figura 2.18 Probabilidad que la precipitación sea menor de 500 mm en el periodo de junio a noviembre	36

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Figura 2.19 Isoyetas promedio del periodo base para los meses de junio-octubre y Octubre-marzo	36
Figura 2.20 Temperatura máxima, media, mínima mensual en °C para el estado de Sinaloa	37
Figura 2.21 Variación de la temperatura media anual para el periodo base histórico ...	38
Figura 2.22 Variación de la temperatura media de los meses de junio-octubre el periodo base histórico	39
Figura 2.23 Variación de la temperatura media de los meses de octubre-marzo el periodo base histórico	40
Figura 2.24	41
Figura 2.25 Variación del promedio de la temperatura mínima anual para el periodo base histórico	42
Figura 2.26 Zonas agroclimáticas del estado de Sinaloa, según la metodología de Papadakis (Velasco, 2007)	45
Figura 2.27 Unidades climáticas usadas por INEGI	46
Figura 2.28 Precipitación anual acumulada del periodo base	49
Figura 2.29 Anomalía de la precipitación anual acumulada en mm para periodo 2011-40 (escenario A1B)	49
Figura 2.30 Anomalía de la precipitación anual acumulada en mm para periodo 2041-70 (escenario A1B)	49
Figura 2.31 Anomalía de la precipitación anual acumulada en mm para periodo 2071-98 (escenario A1B)	49
Figura 2.32 Precipitación anual proyectada	50
Figura 2.33 Temperatura anual promedio en °C para el periodo base.....	52
Figura 2.34 Anomalías para la temperatura media proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para los periodos 2011-2040.....	52

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Figura 2.35 Anomalías para la temperatura media proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para los periodos 2041-2070 y 2071-2098.....	53
Figura 2.36 Temperatura media proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para los cuatros periodos base, P1,P2,P3.....	54
Figura 2.37 Anomalías para la temperatura máxima proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para los periodos 2011-2040 y 2041-2070.....	55
Figura 2.38 Anomalías para la temperatura máxima proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para el periodo 2071-2098	55
Figura 2.39 A1B para los periodos 2011-2040 y 2041-2070.	56
Figura 2.40 Anomalías para la temperatura mínima proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para el periodo 2071-2098	57
Figura 2.41 Interacciones en un sistema de producción agrícola (Loucks y van Beek, 2005).	61
Figura 2.42 Componentes para evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático (Gbetibouo, y Ringler, 2009).	62
Figura 2.43 Variación de la precipitación acumulada promedio para los ciclos otoño-invierno y primavera-verano.....	63
Figura 2.44 Variación de la temperatura media para los ciclos otoño-invierno y primavera-verano	64
Figura 2.45 Indicadores de exposición para el escenario A1B ciclo OI.....	76
Figura 2.46 Indicadores de exposición para el escenario A2 ciclo OI.....	77
Figura 2.47 Indicadores de exposición para el escenario A1B ciclo PV.....	78
Figura 2.48 Indicadores de exposición para el escenario A2 ciclo PV	79
Figura 2.49 Indicador de nivel del mar y frecuencia de ciclones	79
Figura 2.50 Vulnerabilidad por exposición al cambio climático para el ciclo Otoño-Invierno para el estado de Sinaloa.....	80

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Figura 2.51 Vulnerabilidad por exposición al cambio climático para el ciclo Primavera-Verano para el estado de Sinaloa.	80
Figura 2.52 Representación espacial de los indicadores diversificación de cultivos, población rural, tamaño de parcela y uso de fertilizantes a nivel municipal que forman parte de los indicadores de sensibilidad al cambio climático	82
Figura 2.53 Representación espacial de los indicadores variabilidad en la precipitación y rendimiento, evapotranspiración y acuíferos/suelos degradados que forman parte de los indicadores de sensibilidad al cambio climático	83
Figura 2.54 Índice global de sensibilidad para la vulnerabilidad de la agricultura de Sinaloa al cambio climático	84
Figura 2.55 Representación espacial de los indicadores de grado de marginación, analfabetismo, cobertura de servicios, dependientes económicos y acceso a centros urbanos que forman parte de los indicadores de capacidad de adaptación al cambio climático	85
Figura 2.56 Representación espacial de los indicadores de diversificación de ingresos, intensidad en el uso de la tierra, mecanización agrícola y créditos y seguros que forman parte de los indicadores de capacidad de adaptación al cambio climático	86
Figura 2.57 Variación espacial del componente de capacidad de adaptación al cambio climático para el estado de Sinaloa.....	87
Figura 2.58 Vulnerabilidad global de la agricultura de Sinaloa al cambio climático para el ciclo OI y el escenario de emisiones A1B.....	88
Figura 2.59 Vulnerabilidad global de la agricultura de Sinaloa al cambio climático para el ciclo OI y el escenario de emisiones A2.	89
Figura 2.60 Vulnerabilidad global de la agricultura de Sinaloa al cambio climático para el ciclo PV y el escenario de emisiones A1B.....	90
Figura 2.61 Vulnerabilidad global de la agricultura de Sinaloa al cambio climático para el ciclo PV y el escenario de emisiones A2.	91

CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 2.1 Municipios del estado de Sinaloa: extensión territorial en km ² y población.	13
Cuadro 2.2 Superficie de Sinaloa por uso de suelo	19
Cuadro 2.3 Superficie sembrada por ciclo agrícola para el año con mayor superficie (2005) y el promedio en el periodo 2002-2007.....	24
Cuadro 2.4 Superficie sembrada por modalidad de riego para el año con mayor superficie (2005) y el promedio en el periodo 2002-2007.	25
Cuadro 2.5 Superficie sembrada en hectáreas para los principales cultivos de riego para el año con mayor superficie (2005) y el promedio en el periodo 2002-2007.....	26
Cuadro 2.6 Rendimiento de los principales cultivos de riego en Sinaloa en términos de la media (t ha ⁻¹), desviación estándar (t ha ⁻¹) y coeficiente de variación (%) para el periodo 1999-2008	26
Cuadro 2.7 Superficie sembrada en hectáreas para los principales cultivos de temporal para el año con mayor superficie (2005) y el promedio en el periodo 2002-2007	27
Cuadro 2.8 Rendimiento de los principales cultivos de temporal de Sinaloa en términos de la media (t ha ⁻¹), desviación estándar (t ha ⁻¹) y coeficiente de variación (%) para el periodo 1999-2008	27
Cuadro 2.9 Rendimiento de los principales cultivos de riego de Sinaloa en términos de la media (t ha ⁻¹), desviación estándar (t ha ⁻¹) y coeficiente de variación (%) para el periodo 1999-2008 (SIAP, 2010).....	27
Cuadro 10 Superficie sembrada promedio anual (ha) en la última década por municipio por modalidad	28
Cuadro 2.11 Superficie sembrada promedio anual en hectáreas en la última década por municipio por ciclo agrícola	29
Cuadro 2.12 Promedios históricos de superficies sembradas de los principales cultivos de riego en el estado de Sinaloa.....	30

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Cuadro 2.13 Promedios históricos de superficie sembradas de los principales cultivos de temporal en el estado de Sinaloa	30
Cuadro 2.14 Índice de marginación de los diferentes municipios del estado de Sinaloa	32
Cuadro 2.15 Variabilidad de la precipitación para tres periodos de proyecciones y el periodo base para el estado de Sinaloa	51
Cuadro 2.16 Alcance de las temperaturas medias para los diferentes escenarios de CC.	57
Cuadro 2.17 Indicadores y fuente de datos para estimar la exposición climática como componente de la vulnerabilidad al cambio climático.....	65
Cuadro 2.18 Variables y fuente de datos para estimar la sensibilidad como componente de la vulnerabilidad al cambio climático.	67
Cuadro 2.19 Indicador y fuente de datos para estimar la capacidad de adaptación como componente de la vulnerabilidad al cambio climático.....	68
Cuadro 2.20 Pesos estimados (P_i) de los indicadores usados (Cuadro 2.17) para estimar la exposición al cambio climático, escenarios A1B y A2 y ciclos agrícolas OI y PV.	72
Cuadro 2.21 Pesos estimados (P_i) de los indicadores usados (Cuadro 2.18) para estimar la sensibilidad al cambio climático.....	73
Cuadro 2.22 Pesos estimados (P_i) de los indicadores usados (Cuadro 2.19) para estimar la capacidad de adaptación al cambio climático.....	73
Cuadro 2.23 Indicadores usados para estimar la vulnerabilidad por exposición al cambio climático y numero de mapa donde se despliega.....	74
Cuadro 2.24 Indicadores usados para estimar la vulnerabilidad por sensibilidad al cambio climático y número de mapa donde se despliega.....	81
Cuadro 2.25 Indicadores usados para estimar la vulnerabilidad por exposición al cambio climático y numero de mapa donde se despliega.....	84

2.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL

2.1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El estado de Sinaloa tiene forma de una franja alargada, adyacente por el poniente al Golfo de California en su parte centro y norte, y al Océano Pacífico, en su parte sur. Al oriente colinda con los estados de Chihuahua y Durango; al norte con el estado de Sonora; al sur con el estado de Nayarit. El estado de Sinaloa tiene una orientación de noroeste al sureste. La **Figura 2.1** muestra la ubicación exacta del estado de Sinaloa dentro de México.



Figura 2.1 Localización de estado de Sinaloa en México

Las coordenadas que lo contienen totalmente son 105° a 109.5° LW, y 22° a 27.5° LN; no son los puntos o líneas extremos, sino las coordenadas en números cerrados que lo contienen.

El estado de Sinaloa comprende 18 municipios (**Figura 2.2**) con una extensión mayor a 58 mil km^2 , que corresponde al 2.9 % del territorio nacional y una población de 2 608,442 que corresponde al 2.5 % de la población total del país para el censo de 2005 (**Cuadro 2.1**).

Cuadro 2.1 Municipios del estado de Sinaloa: extensión territorial en km^2 y población.

No.	Municipio	Cabecera	Superficie (km^2)	Población municipal 2005
1	AHOME	Los Mochis	4,342.89	388, 344
2	ANGOSTURA	Angostura	1,447.63	42, 445
3	BADIRAGUATO	Badiraguato	5,864.75	32, 295
4	CHOIX	Choix	4,512.4	31, 763
5	CONCORDIA	Concordia	1,524.34	27, 001

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

6	COSALÁ	Cosalá	2,665.12	17, 813
7	CULIACÁN	Culiacán de Rosales	4,758.9	793, 730
8	ELOTA	La Cruz	1,518.15	46, 462
9	ESCUINAPA	Escuinapa de Hidalgo	1,633.22	49, 655
10	EL FUERTE	El Fuerte	3,843.02	92, 585
11	GUASAVE	Guasave	3,464.41	270, 260
12	MAZATLAN	Mazatlán	3,068.48	403, 888
13	MOCORITO	Mocorito	2,405.49	44, 217
14	NAVOLATO	Navolato	2,285.00	135, 681
15	EL ROSARIO	El Rosario	2723.28	47, 394
16	SALVADOR ALVARADO	Guamúchil	1,197.5	76, 537
17	SAN IGNACIO	San Ignacio	4,650.97	23, 355
18	SINALOA	Sinaloa de Leyva	6,186.4	85, 017
TOTAL			58,091.95	2, 608 ,442

Fuente: Anuario Estadístico del Estado de Sinaloa. 2005

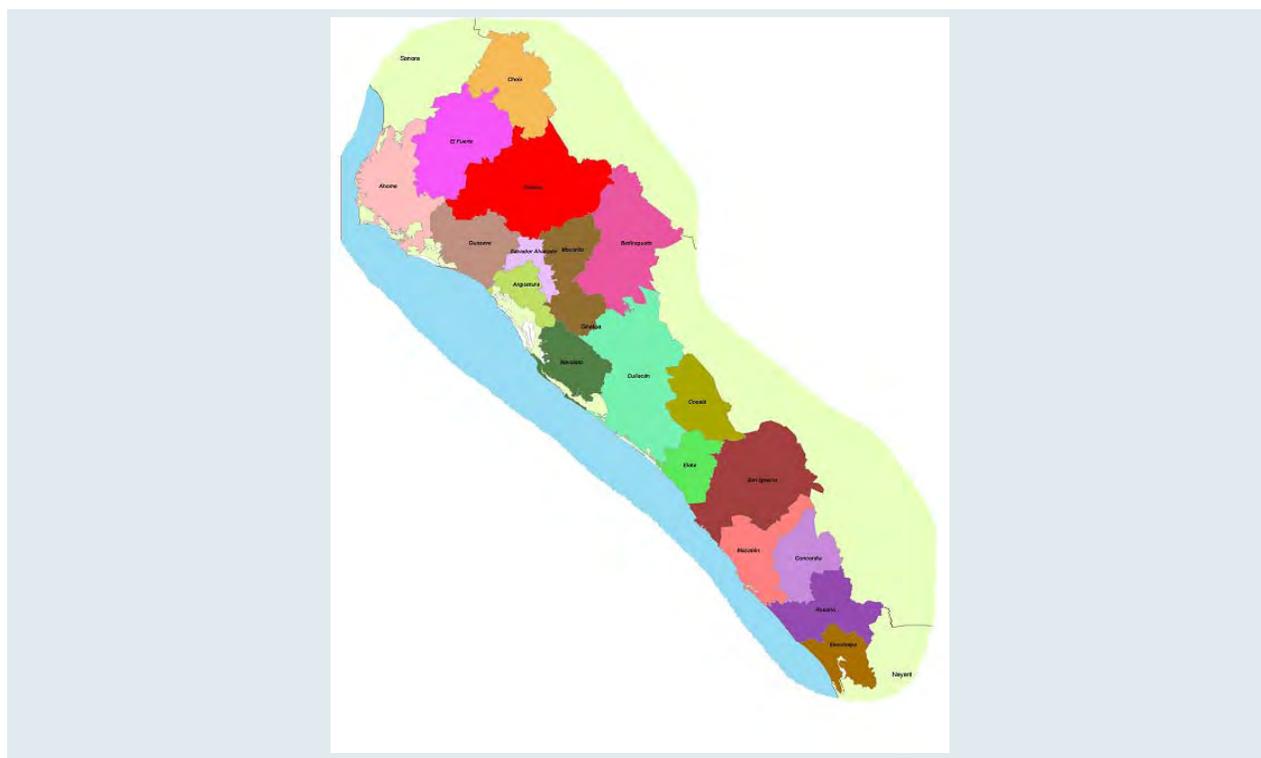


Figura 2.1 Municipios del estado de Sinaloa

2.1.2 TOPOGRAFÍA

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Sinaloa presenta un gradiente topográfico de la costa hacia los límites montañosos con los estados de Durango y Chihuahua. Presenta una amplia planicie costera donde se desarrolla la actividad agrícola, principalmente de riego, que se eleva rápidamente en la medida en que avanza hacia el oriente, iniciando pronto las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, con elevaciones de menos de 3000 msnm en los límites con los estados de Durango y Chihuahua, aunque sin alcanzar el parteaguas de las cuencas de los ríos que fluyen hacia el estado de Sinaloa, dichos parteaguas se ubican en los estados vecinos de Chihuahua y Durango. La **Figura 2.3** presenta la variación de la altitud topográfica para el estado de Sinaloa.

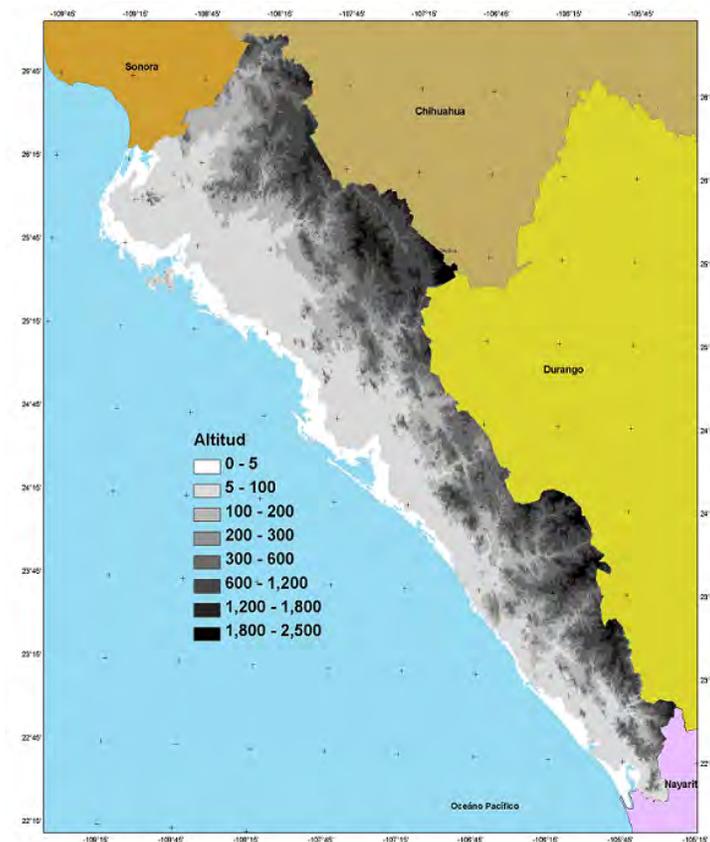


Figura 2.3 Altitud del estado de Sinaloa en msnm

En cuanto a la cantidad en porcentaje de la superficie Sinaloense se presenta una pendiente baja en las amplias planicies costeras menor al 2 %, incrementándose rápidamente a medida que incrementa la altitud en la zona montañosa del estado hasta alcanzar pendientes de casi 90 % en las parte altas del estado como se presenta en la **Figura 2.4**.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

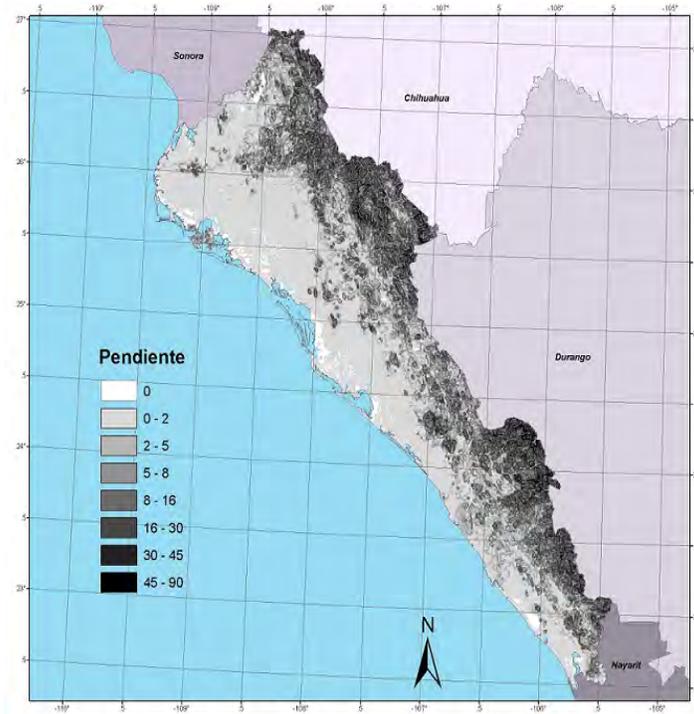


Figura 2.4 Pendiente topográfica en porcentaje de la superficie del estado de Sinaloa

2.1.3 HIDROLOGÍA

De acuerdo con los trabajos realizados por la CONAGUA, el INEGI y el INE, se han identificado 1471 cuencas hidrográficas en el país, las cuales, por su importancia y para fines de publicación de la disponibilidad de aguas superficiales, se han agrupado y/o subdividido en 722 cuencas hidrológicas, las cuales se han agrupado en 37 grandes regiones hidrológicas (**Figura 2.5**). El estado de Sinaloa se encuentra dentro de la Región Hidrológica Número 10, con 21 cuencas hidrológicas. El volumen total concesionado en la región es de 10,376.5 millones de m³, con 93.2 % del volumen para uso agrícola.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final



Figura 2.5 Regiones hidrológicas de la republica mexicana

Para fines de administración del agua de la CONAGUA, el estado de Sinaloa se ubica en su totalidad en la Región Hidrológica 10, Pacífico Norte. En la **Figura 2.6** se presentan las cuencas hidrológicas de los ríos del estado de Sinaloa, entre los cuales destacan los ríos: Fuerte, Sinaloa, Mocorito, Pericos, Culiacán, Rosa morada, Bejuco, San Lorenzo, Elota, Piaxtla, Quelite, Presidio y Baluarte. En la actualidad la CONAGUA ha puesto veda en aguas superficiales en los ríos: Fuerte, Sinaloa, Mocorito, San Lorenzo, Piaxtla, Elota y Culiacán.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

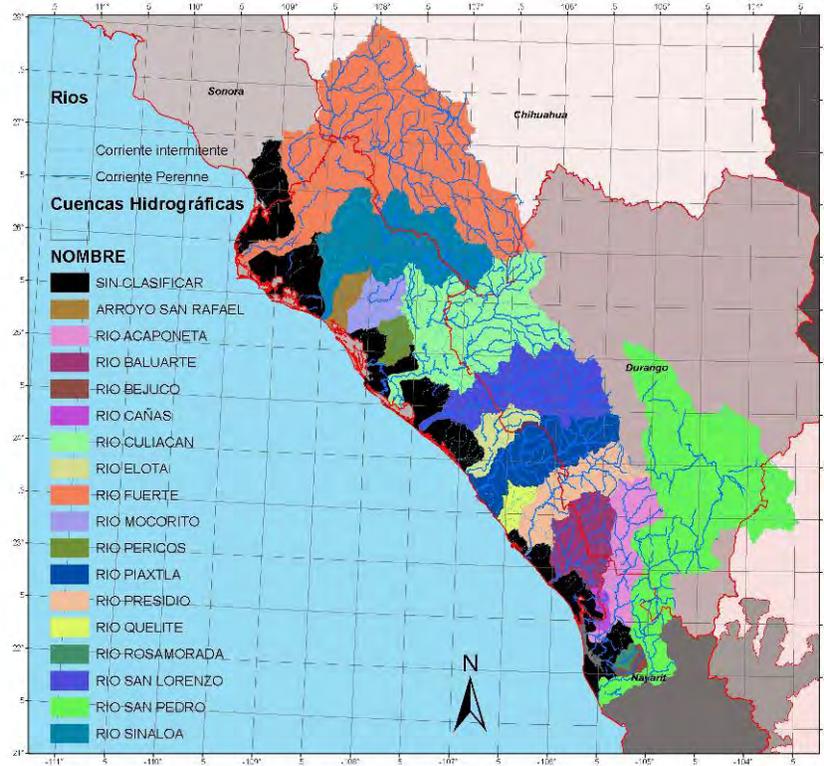


Figura 2.6 Cuencas hidrográficas de los principales ríos del estado de Sinaloa

2.1.4 VEGETACION Y USO DEL SUELO

En función del gradiente topográfico, la vegetación se organiza en pisos ecológicos desde la planicie a las zonas montañosa, tal como se presenta en la **Figura 2.7**. En la planicie costera la zona de matorrales y pastizales ha sido cambiada a agrícola, principalmente de riego. La flora nativa aparece en manchas dispersas rodeada de grandes extensiones agrícolas y pecuarias, así como centros urbanos. A mayor altura se encuentra selvas medias y bajas, para terminar con la zona de bosques forestales a mayor altura. El **Cuadro 2.1** muestra la superficie de Sinaloa por uso de suelo

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

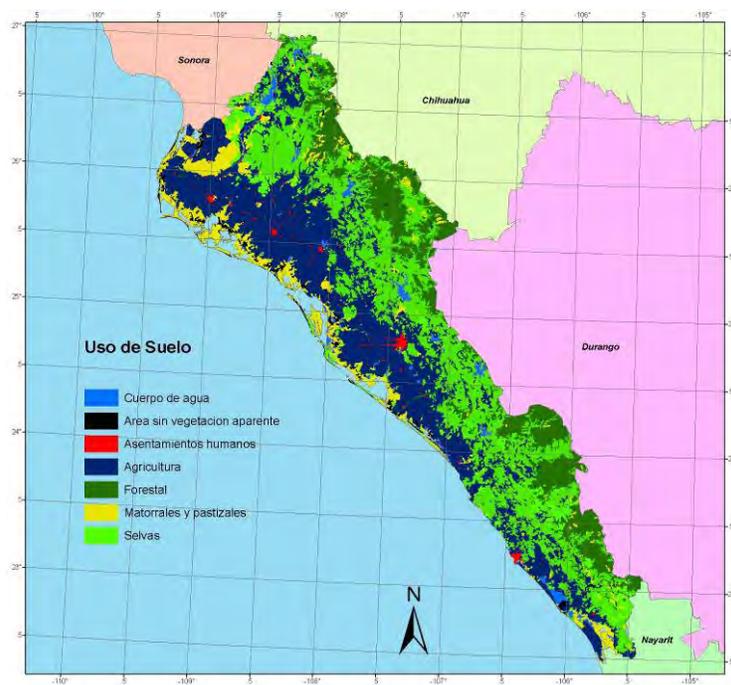


Figura 2.7 Uso de suelo del estado de Sinaloa

Cuadro 2.2 Superficie de Sinaloa por uso de suelo

No.	Municipio	Agrícola	Pastizales	Forestal	Selva	Agua	Otros
1.	AHOME	1,969.8	1,121.9	6.9	0.0	10.7	302.9
2.	ANGOSTURA	818.5	279.2	1.6	4.7	8.3	53.0
3.	BADIRAGUATO	224.1	159.9	2,126.9	2,162.4	66.1	3.9
4.	CONCORDIA	243.9	48.1	819.2	1,026.3	0.0	5.9
5.	COSALÁ	320.8	6.1	279.5	1,564.1	46.7	0.0
6.	CULIACÁN	3,156.0	309.7	307.1	1,975.6	52.5	192.4
7.	CHOIX	665.1	136.1	843.3	1,471.9	88.8	4.9
8.	ELOTA	858.5	71.2	49.3	609.4	35.4	8.3
9.	ESCUINAPA	478.6	342.5	3.9	612.4	40.0	11.2
10.	EL FUERTE	1,362.6	753.1	20.6	1,942.5	100.2	19.5
11.	GUASAVE	2,010.9	405.4	2.7	1.3	18.2	194.0

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

No.	Municipio	Agrícola	Pastizales	Forestal	Selva	Agua	Otros
12.	MAZATLAN	1,013.4	45.1	131.6	1,217.2	3.4	53.3
13.	MOCORITO	1,355.7	21.7	51.1	1,354.1	0.0	17.3
14.	EL ROSARIO	594.5	119.9	652.0	1,046.5	123.8	85.9
15.	SALVADOR ALVARADO	647.9	16.9	0.0	92.8	12.0	20.1
16.	SAN IGNACIO	615.0	43.0	1,983.8	2,478.9	3.2	1.8
17.	SINALOA	2,087.6	257.2	1,412.9	2,476.5	62.7	24.2
18.	NAVOLATO	1,282.7	439.2	0.0	180.9	27.3	148.7
	Total	19,705.7	4,576.4	8,692.3	20,217.5	699.2	1,147.3

2.1.5 TIPO DE SUELO

Un dato indispensable en la estimación de la capacidad de retención de humedad del suelo es su textura. Suelos finos tienen alta capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, por lo que la frecuencia del riego es menor que en un suelo de textura gruesa. La **Figura 2.8** presenta la variación espacial de los suelos del estado de Sinaloa. Se observa una textura fina en la zona de planicies donde se concentra la agricultura de riego.

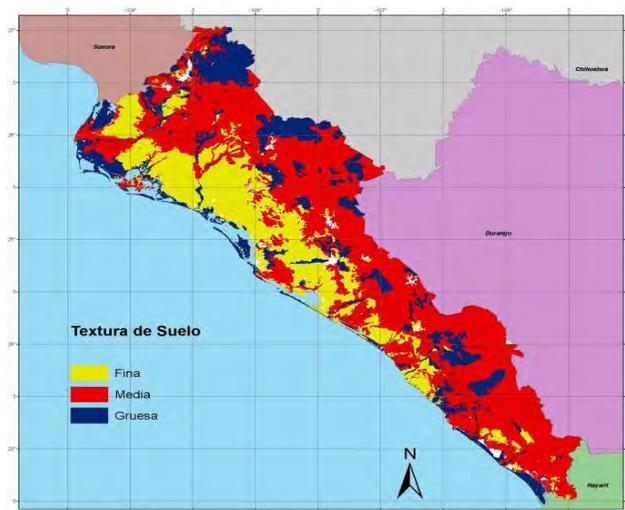


Figura 2.8 Tipos de suelo del estado de Sinaloa en base a su textura

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

2.2. CARACTERIZACIÓN AGRÍCOLA

2.2.1 ZONAS AGRÍCOLAS DEL ESTADO

Para estudiar mejor las regiones agrícolas del estado, se dividió en tres grandes regiones: norte, centro y sur. La distribución espacial de la agricultura de temporal y riego se presenta en las **Figuras 2.9, 2.10, y 2.11**, para las regiones norte, centro y sur, respectivamente. Se observa una mayor superficie de riego en la zona norte, pero ambas superficies son muy similares en la zona centro, y en la zona sur predomina la agricultura de temporal sobre la de riego. En las regiones norte y centro la agricultura de temporal se encuentra adyacente al norte de las zonas de riego. Mientras que la zona sur, las zonas de riego se encuentran dispersas en la zona de temporal que son mayoritarias. Debido a una mayor precipitación en la zona costera y mayor pendiente en la parte alta, la zona de temporal está mayormente concentrada en la planicie costera.

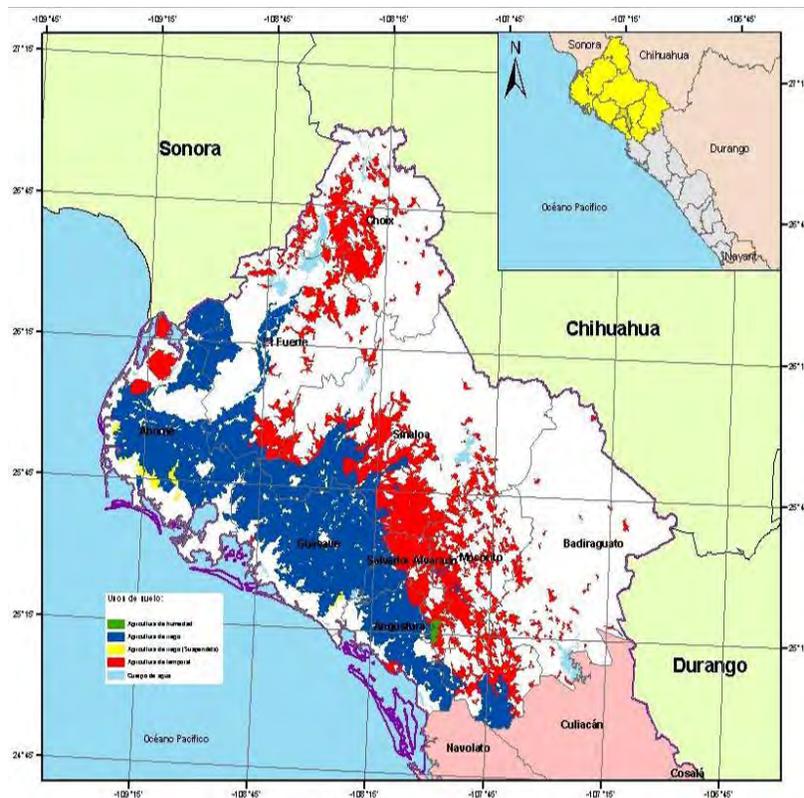


Figura 2.9 Distribución de las zonas agrícolas de temporal y riego en la zona norte del estado

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

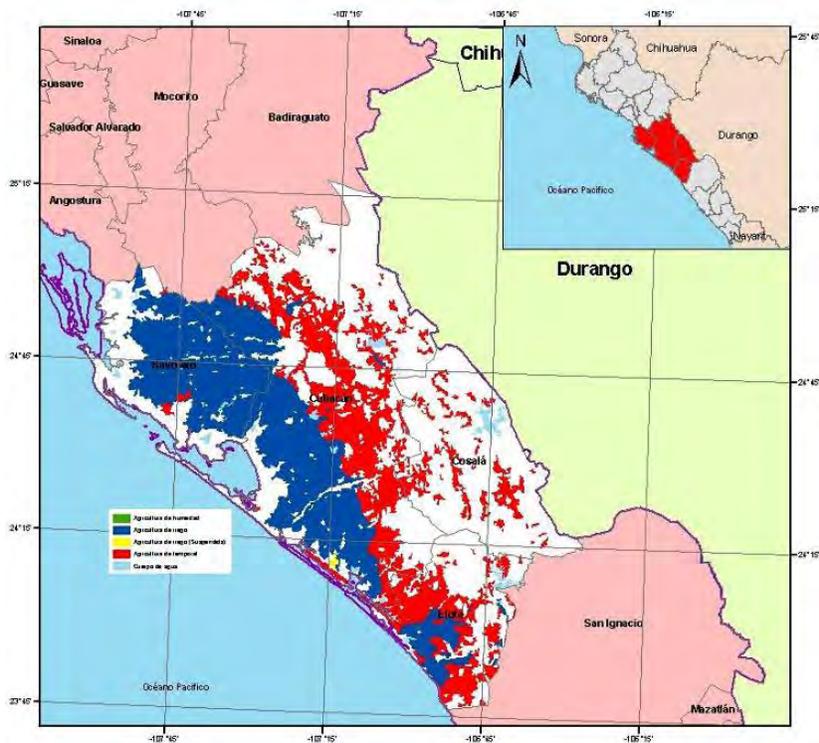


Figura 2.10 Distribución de las zonas agrícolas de temporal y riego en la zona centro del estado

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

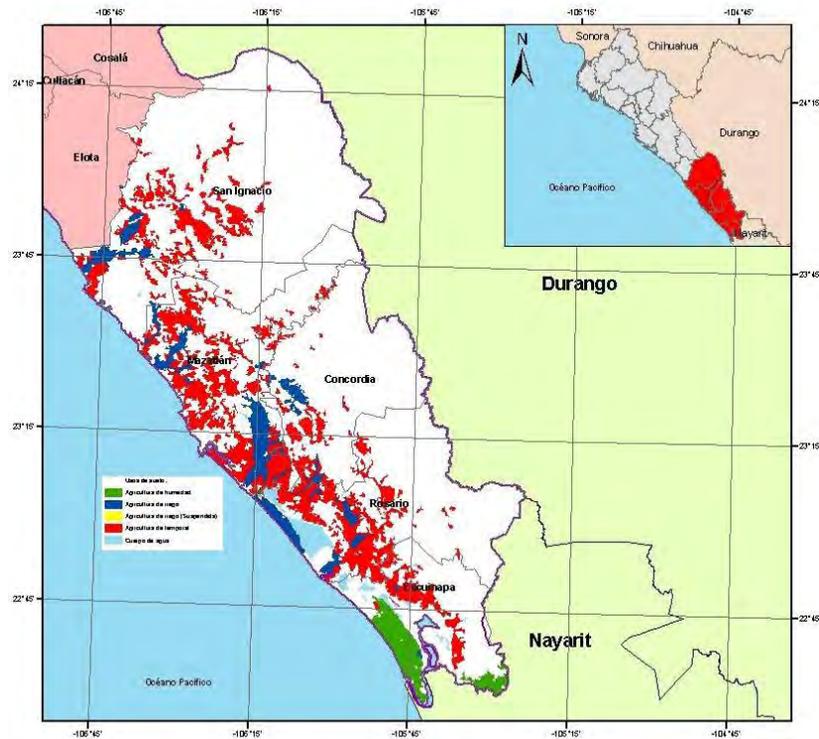


Figura 2.11 Distribución de las zonas agrícolas de temporal y riego en la zona sur del estado

2.2.2 ESTADÍSTICAS AGRÍCOLAS

Estadísticas estatales

El Cuadro 2.3 presenta la superficie sembrada en hectáreas para el año agrícola 2005, que presentó la mayor superficie y el promedio para el periodo 2002-2007. Se observa que la mayor superficie sembrada promedio se presenta en el ciclo OI con el 58.2 % de la superficie, seguido del ciclo PV con el 32.0 % y por último el ciclo perennes con el 9.8 %. Una presentación de la distribución de la superficie sembrada promedio por ciclo agrícola se muestra en la Figura 2.12.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Cuadro 2.3 Superficie sembrada por ciclo agrícola para el año con mayor superficie (2005) y el promedio en el periodo 2002-2007.

Ciclo	Año 2005		Promedio 2002-07	
	ha	%	ha	%
Otoño-Invierno	755,582	56.7	747,460	58.2%
Primavera - Verano	468,884	35.2	411,453	32.0%
Perennes	108,544	8.1	125,485	9.8%
Total	1,333,010	100.0	1,284,398	100.0%

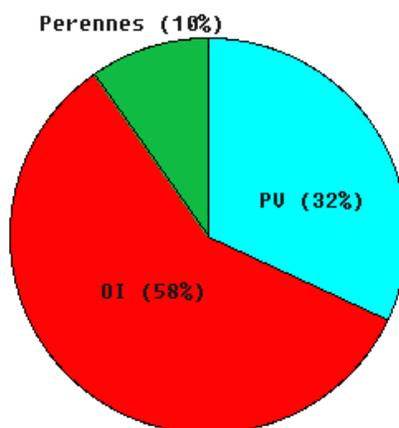


Figura 2.12 Distribución de la superficie sembrada por ciclo agrícola

En cuanto a la modalidad de riego, el **Cuadro 2.4** presenta la distribución de la superficie sembrada para riego y temporal para el año con mayor superficie sembrada y el promedio para el periodo 2002-2007. Del **Cuadro 2.4** se observa que el estado de Sinaloa es netamente un estado con agricultura de riego, con el casi dos terceras partes de riego (61.1 %) y más de una tercera parte de temporal (38.9 %), tal como se muestra en la **Figura 2.13** para la superficie sembrada promedio en los últimos años agrícolas.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Cuadro 2.4 Superficie sembrada por modalidad de riego para el año con mayor superficie (2005) y el promedio en el periodo 2002-2007.

CICLO	Año 2005		Promedio 2002-07	
	ha	%	ha	%
Riego	829,064	62.2%	784,345	61.1%
OI	679,979	51.0%	664,114	51.7%
PV	105,311	7.9%	72,944	5.7%
Perennes	43,775	3.3%	47,287	3.7%
Temporal	503,946	37.8%	500,053	38.9%
OI	75,603	5.7%	83,346	6.5%
PV	363,573	27.3%	338,510	26.4%
Perennes	64,770	4.9%	78,197	6.1%
Total	1,333,010	100.0%	1,284,398	100.0%

En cuanto a la importancia de los cuatro principales cultivos de riego, de acuerdo a la superficie sembrada promedio, destacan por su importancia en orden decreciente: maíz, frijol, sorgo y caña de azúcar. Estos cuatro cultivos totalizan casi el 75 % de la superficie sembrada promedio. Donde el maíz es el principal cultivo de riego ocupando casi la mitad de la superficie sembrada de riego. El detalle de la superficie sembrada por cultivo para el año con mayor superficie sembrada y el promedio histórico se presenta en el **Cuadro 2.5**, así como los rendimientos de los principales cultivos de riego de Sinaloa en términos de la media ($t\ ha^{-1}$), desviación estándar ($t\ ha^{-1}$) y coeficiente de variación ($t\ ha^{-1}$) para el periodo 1999-2008 mostrados en el **Cuadro 2.6**.

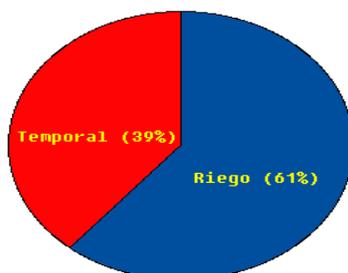


Figura 2.13 Distribución de la superficie sembrada por modalidad de riego

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Cuadro 2.5 Superficie sembrada en hectáreas para los principales cultivos de riego para el año con mayor superficie (2005) y el promedio en el periodo 2002-2007.

CULTIVO	Año 2005		Promedio 2002-07	
	ha	%	ha	%
Maíz	462,526	55.8	422,719	53.9
Sorgo	64,332	7.8	41,972	5.4
Frijol	73,963	8.9	90,575	11.5
Caña de Azúcar	26,902	3.2	28,767	3.7
Otros cultivos	201,341	24.3	200,312	25.5
Total	829,064	100.0	784,345	100.0

Cuadro 2.6 Rendimiento de los principales cultivos de riego en Sinaloa en términos de la media ($t\ ha^{-1}$), desviación estándar ($t\ ha^{-1}$) y coeficiente de variación (%) para el periodo 1999-2008

Cultivo	Media	Desviación Estándar	CV
Maíz	9.02	0.89	9.84
Sorgo	6.17	0.86	13.91
Frijol	1.67	0.23	13.52
Caña de Azúcar	86.87	11.12	12.81

En cuanto a la importancia de los cinco principales cultivos de temporal, de acuerdo a la superficie sembrada promedio, destacan por su importancia en orden decreciente: sorgo, maíz, pastos, ajonjolí y cártamo. Estos cuatro cultivos totalizan el 75 % de la superficie sembrada promedio histórica, donde el sorgo es el principal cultivo de temporal ocupando casi la mitad de la superficie sembrada de temporal (44.1 %). El detalle de la superficie sembrada por cultivo para el año con mayor superficie sembrada y el promedio histórico se presenta en el **Cuadro 2.7**, así como los de los principales cultivos de temporal y de riego de Sinaloa en términos de la media ($t\ ha^{-1}$), que se muestran en los **Cuadro 2.8** y **Cuadro 2.9** respectivamente.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Cuadro 2.7 Superficie sembrada en hectáreas para los principales cultivos de temporal para el año con mayor superficie (2005) y el promedio en el periodo 2002-2007

CULTIVO	Año 2005		Promedio 2002-07	
	ha	%	ha	%
Maíz	68,214	13.5	72,909	14.6
Pastos y Forrajes*	42,169	8.4	46,786	9.4
Sorgo	243,232	48.3	220,479	44.1
Ajonjolí	22,177	4.4	18,267	3.7
Cártamo	19,681	3.9	16,811	3.4
Otros cultivos	108,473	21.5	124,801	25.0
Total	503,946	100.0	500,053	100.0

*Los cultivos contemplados en la categoría de pastos y forrajes fueron: Pasto carretilla, Pastos y praderas (verde, seco y achicalado).

Cuadro 2.8 Rendimiento de los principales cultivos de temporal de Sinaloa en términos de la media ($t\ ha^{-1}$), desviación estándar ($t\ ha^{-1}$) y coeficiente de variación (%) para el periodo 1999-2008

Cultivo	OI			PV		
	Rend	DesvStr	CV	Rend	DesvStr	CV
Maíz	1.50	0.75	49.94	0.98	0.26	26.22
Sorgo	1.66	0.50	30.02	0.97	0.18	18.72
Ajonjolí	0.51	0.17	33.10	0.53	0.10	18.79
Cártamo	0.64	0.19	29.66	0.77	0.49	63.71

Cuadro 2.9 Rendimiento de los principales cultivos de riego de Sinaloa en términos de la media ($t\ ha^{-1}$), desviación estándar ($t\ ha^{-1}$) y coeficiente de variación (%) para el periodo 1999-2008 (SIAP, 2010).

Cultivo	OI			PV		
	Rend	DesvStr	CV	Rend	DesvStr	CV
Maíz	9.18	0.82	8.98	6.96	1.24	17.87

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Sorgo	5.78	0.93	16.01	6.22	0.85	13.68
Frijol	1.67	0.23	13.53	—	—	—

Estadísticas Municipales

El **Cuadro 2.10** presenta la superficie sembrada promedio de riego y temporal a nivel municipal. En cuanto a la agricultura de riego, los municipios que concentran la mayor superficie sembrada en relación al total estatal por orden de importancia son: Guasave (24.0 %), Ahome (14.7 %), Culiacán (14.7 %), Navolato (10.9 %), Angostura (9.1 %), y Sinaloa de Leyva (7.0 %). Estos 6 municipios concentran el 86.3 % de la superficie de riego sembrada en el estado.

En cuanto a su importancia por la superficie de temporal, los municipios que concentran la mayor superficie sembrada en relación al total estatal por orden de importancia son (**Cuadro 2.10**): Culiacán (17.4 %), Mocorito (13.5 %), Mazatlán (8.3 %), Salvador Alvarado (8.0 %), Sinaloa de Leyva (7.0 %), El Rosario (6.9 %), Elota (6.6 %), Escuinapa (5.7 %) y Choix (5.0 %). Estos 9 municipios concentran el 78.3 % de la superficie de riego sembrada en el estado.

Cuadro 10 Superficie sembrada promedio anual (ha) en la última década por municipio por modalidad

No.	Municipio	Riego		Temporal		Total
		ha	%	ha	%	ha
1	AHOME	162,632.33	20.7	12,004.50	2.4	174,636.83
2	ANGOSTURA	71,171.00	9.1	3,197.33	0.6	74,368.33
3	BADIRAGUATO	0.00	0.0	24,691.50	4.9	24,691.50
4	CONCORDIA	735.09	0.1	16,799.15	3.4	17,534.24
5	COSALA	32.33	0.0	13,850.65	2.8	13,882.98
6	CULIACAN	115,333.17	14.7	87,033.83	17.4	202,367.00
7	CHOIX	3.00	0.0	24,921.17	5.0	24,924.17
8	ELOTA	19,593.75	2.5	32,926.00	6.6	52,519.75
9	ESCUINAPA	5,247.10	0.7	28,338.39	5.7	33,585.49
10	EL FUERTE	28,124.50	3.6	20,483.33	4.1	48,607.83
11	GUASAVE	188,059.55	24.0	56.42	0.0	188,115.96
12	MAZATLAN	6,906.84	0.9	41,461.63	8.3	48,368.47
13	MOCORITO	19,882.17	2.5	67,486.17	13.5	87,368.33
14	EL ROSARIO	6,388.48	0.8	34,574.28	6.9	40,962.76
15	SALVADOR ALVARADO	14,683.33	1.9	40,174.33	8.0	54,857.67
16	SAN IGNACIO	5,621.75	0.7	17,208.08	3.4	22,829.83
17	SINALOA	54,554.03	7.0	34,846.17	7.0	89,400.20

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

18	NAVOLATO	85,376.50	10.9	0.00	0.0	85,376.50
	Total	784,344.92	100	500,052.93	100	1,284,397.84

Fuente: Elaboración propia con datos del SIACON (2008).

El **Cuadro 2.11** presenta la superficie sembrada municipal por ciclo agrícola. Siendo el principal ciclo el de otoño invierno, tanto en temporal como riego (SIACON, 2008).

Cuadro 2.11 Superficie sembrada promedio anual en hectáreas en la última década por municipio por ciclo agrícola

No.	Municipio	PV	OI	Perennes	Total
1	AHOME	19,532	133,713	21,392	174,636.83
2	ANGOSTURA	7 961	65,586	822	74,368.33
3	BADIRAGUATO	21,370	614	2,708	24,691.50
4	CONCORDIA	10,396	1 628	5,510	17,534.24
5	COSALA	10,031	113	3,739	13,882.98
6	CULIACAN	82,504	105,483	14,381	202,367.00
7	CHOIX	15,559	0	9,365	24,924.17
8	ELOTA	27,543	21,998	2,978	52,519.75
9	ESCUINAPA	3 459	11,660	18,466	33,585.49
10	EL FUERTE	13,449	25,892	9,268	48,607.83
11	GUASAVE	21,172	163,226	3,718	188,115.96
12	MAZATLAN	28,790	11,836	7,742	48,368.47
13	MOCORITO	53,946	31,518	1,904	87,368.33
14	ROSARIO	14,366	12,588	14,009	40,962.76
15	SALVADOR ALVARADO	25,211	29,048	599	54,857.67
16	SAN IGNACIO	16,231	3 946	2,654	22,829.83
17	SINALOA	33,535	53,607	2,258	89,400.20
18	NAVOLATO	6 399	75,005	3,973	85,376.50
	Total	411,454	747,460	125,485	1,284,397.84

Fuente: Elaboración propia con datos del SIACON (2008)

El **Cuadro 2.12** presenta la superficie sembrada a nivel municipal de los principales cultivos de riego: maíz, sorgo, Frijol, y Caña de azúcar.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Cuadro 2.12 Promedios históricos de superficies sembradas de los principales cultivos de riego en el estado de Sinaloa

No.	Municipio	Maíz	Sorgo	Frijol	Caña de azúcar
1	AHOME	81,704.50	11,183.00	17,634.67	16,359.17
2	ANGOSTURA	33,747.00	4,313.17	12,010.00	0.00
3	BADIRAGUATO	0.00	0.00	0.00	0.00
4	CONCORDIA	225.58	73.00	54.25	0.00
5	COSALA	28.33	0.00	0.00	3.00
6	CULIACAN	76,317.33	2,581.33	7,529.67	8,368.67
7	CHOIX	0.00	0.00	0.00	0.00
8	ELOTA	12,157.42	856.08	712.58	40.00
9	ESCUINAPA	244.30	104.44	177.99	0.00
10	EL FUERTE	10,781.50	2,493.00	5,940.33	582.67
11	GUASAVE	106,504.67	10,144.00	24,883.17	344.50
12	MAZATLAN	1,015.88	1,055.72	992.83	0.00
13	MOCORITO	7,803.67	825.17	3,678.67	0.00
14	EI ROSARIO	207.44	306.81	613.33	0.00
15	SALVADOR ALVARADO	6,576.33	556.50	836.67	0.00
16	SAN IGNACIO	420.83	1,199.67	960.29	0.00
17	SINALOA	28,599.33	2,417.50	6,238.00	125.00
18	NAVOLATO	56,385.00	3,862.67	8,312.50	2,944.00
Total		422,719.11	41,972.06	90,574.95	28,767.01

Fuente: Elaboración propia con datos del SIACON (2008)

En cuanto a los cultivos de importancia de temporal a nivel municipal, se presenta el **Cuadro 2.13** con la superficie sembrada de los principales cultivos de temporal: maíz, pastos y forrajes, sorgo, ajonjolí y cártamo.

Cuadro 2.13 Promedios históricos de superficie sembradas de los principales cultivos de temporal en el estado de Sinaloa

Municipio	Maíz	Forrajes	Sorgo	Ajonjolí	Cártamo
-----------	------	----------	-------	----------	---------

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Municipio	Maíz	Forrajes	Sorgo	Ajonjolí	Cártamo
AHOME	481.7	0.0	0.0	1,719.2	33.3
ANGOSTURA	355.3	35.0	655.7	11.7	352.0
BADIRAGUATO	10,609.2	1,300.0	10,684.0	182.0	115.8
CONCORDIA	4,783.0	3,060.8	4,823.2	1.2	0.0
COSALA	6,282.7	0.0	3,507.2	4.7	0.0
CULIACAN	12,464.8	6,965.7	62,420.0	915.2	396.2
CHOIX	3,518.7	9,362.3	1,993.0	5,923.3	0.0
ELOTA	821.2	0.0	24,733.3	950.7	60.3
ESCUINAPA	2,445.0	6,725.8	2,750.5	2.2	0.0
EL FUERTE	2,438.7	7,539.8	6,091.7	782.8	2,658.3
GUASAVE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MAZATLAN	2,085.0	4,592.7	20,213.4	1.0	20.5
MOCORITO	5,947.8	2,035.5	37,652.7	2,240.7	4,451.5
ROSARIO	4,913.9	2,964.9	2,839.0	4.0	0.0
SALVADOR ALVARADO	786.0	1,013.3	21,915.0	1,424.2	7,807.0
SAN IGNACIO	7,390.8	0.0	3,620.3	32.5	0.0
SINALOA DE LEYVA	7,585.3	1,190.7	16,579.8	4,072.0	915.7
NOVALATO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL	72,909.1	46,786.5	220,478.7	18,267.2	16,810.7

Fuente: Elaboración propia con datos del SIACON (2008)

Un indicador de importancia que se relaciona con la sustentabilidad actual de la agricultura de temporal es la siniestralidad, obtenido de la base de datos de estadísticas agrícolas del SIACON de la SAGARPA, usando datos de la superficie siniestrada en relación con la superficie sembrada (**Figura 2.14**). En promedio el 25 % de la superficie sembrada se ha reportado como siniestrada en los últimos años agrícolas. Los municipios de alta siniestralidad para la agricultura de temporal son El Fuerte, Culiacán y Badiraguato.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

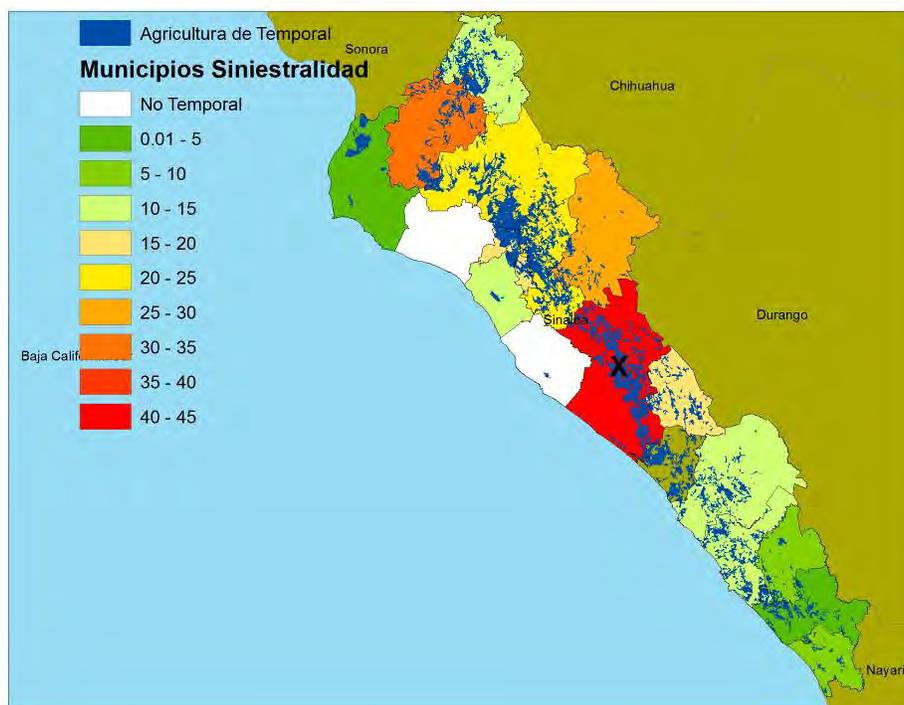


Figura 2.14 Siniestralidad de la agricultura de temporal de los municipios del estado de Sinaloa

2.2.3 ÍNDICES SOCIOECONÓMICOS

El Cuadro 2.14 muestra a cada uno de los municipios del estado indicando el grado en que se encuentran así como el lugar que ocupan en el contexto tanto estatal como nacional, basados en una estimación de Il Cuento de Población y Vivienda 2005 (CONAPO) y Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo 2005.

Cuadro 2.14 Índice de marginación de los diferentes municipios del estado de Sinaloa

Municipio	Índice de marginación	Grado de marginación	Lugar en el contexto estatal	Lugar en el contexto nacional
Ahome	- 1.35600	Muy bajo	15	2265
Angostura	- 0.80967	Bajo	12	1884
Badiraguato	1.52548	Muy alto	1	183
Concordia	- 0.43776	Medio	8	1580
Cosalá	0.20183	Alto	4	1019
Culiacán	- 1.43676	Muy bajo	17	2294
Choix	0.62318	Alto	2	629
Elota	- 0.25044	Medio	7	1409

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Municipio	Índice de marginación	Grado de marginación	Lugar en el contexto estatal	Lugar en el contexto nacional
Escuinapa	- 0.83897	Bajo	13	1917
El Fuerte	- 0.44381	Medio	9	1585
Guasave	- 0.83898	Bajo	14	1918
Mazatlán	- 1.63783	Muy bajo	18	2364
Mocorito	- 0.10884	Medio	6	1290
El Rosario	- 0.66936	Bajo	11	1773
Salvador Alvarado	- 1.38141	Muy bajo	16	2272
San Ignacio	- 0.10036	Medio	5	1276
Sinaloa	0.23942	Alto	3	983
Navolato	- 0.65194	Bajo	10	1756

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005 y Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo 2005 (IV Trimestre).

2.3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA HISTÓRICA

2.3.1 BASE DE DATOS CLIMATOLÓGICA

Para caracterizar el clima del estado de Sinaloa se usó una malla regular de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (50 x 50 km), donde en cada intersección o punto se tenían datos de las principales variables climatológicas históricas y futuras.

La **Figura 2.15** presenta la distribución de los puntos con datos climáticos usados para el estudio. Con fines de interpolación se usaron también puntos en los estados vecinos cercanos a los linderos del estado.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

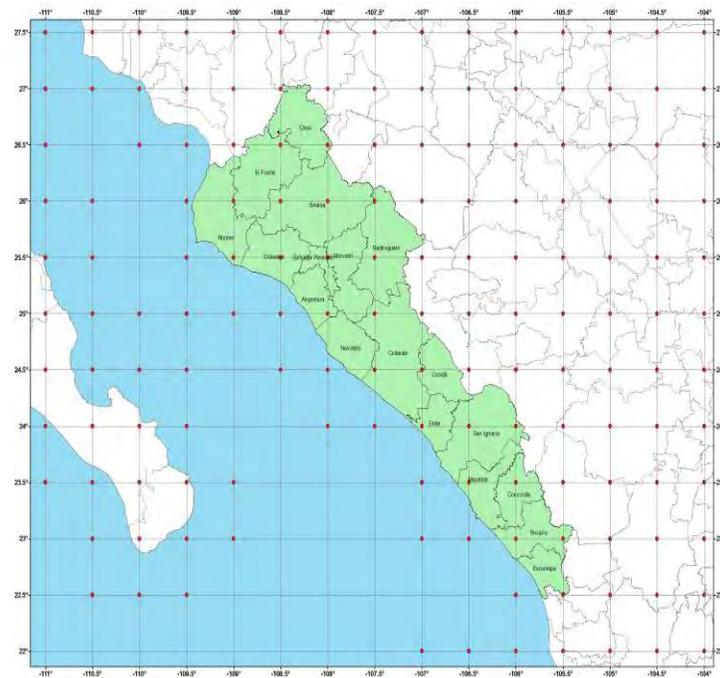


Figura 2.15 Localización de puntos con información climatológica

2.3.2 PRECIPITACIÓN

La precipitación anual acumulada del estado de Sinaloa es del orden de 750 mm, concentrándose en los meses de julio a septiembre con el 70 % de la precipitación acumulada en el año, siendo insignificante la precipitación de febrero a mayo. En la **Figura 2.16** se presenta la precipitación mensual acumulada para el estado de Sinaloa.

En el **cuadro A1** de la sección de anexos se presenta la precipitación mensual histórica a nivel municipal, siendo el municipio de Ahome el más seco, con una precipitación acumulada anual de 322 mm y el municipio de Concordia el más húmedo 1053 mm.

En cuanto a la distribución espacial de la precipitación acumulada anual en la **Figura 2.17** se aprecia que los valores varían desde poco menos de 200 mm al año, en el extremo NW, la parte más seca del estado, hasta casi 1100 al año, en las zonas colindantes con los estados de Durango y Chihuahua.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

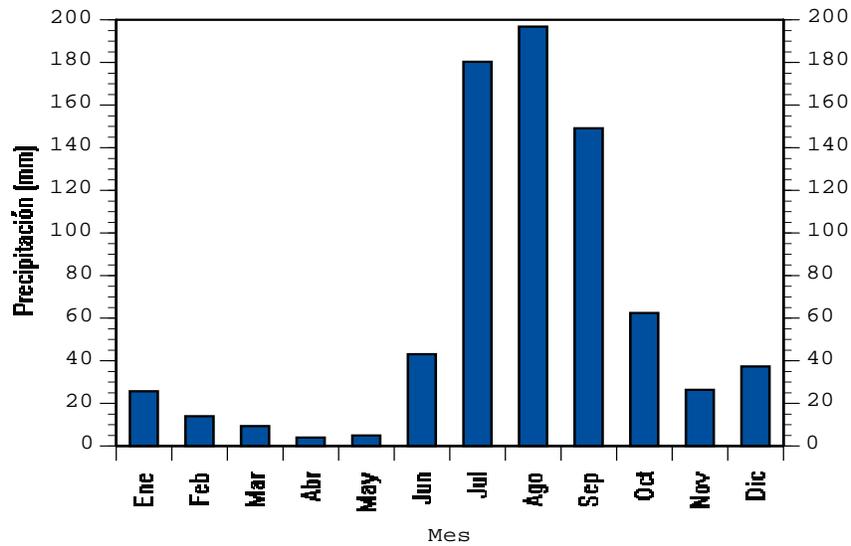


Figura 2.16 Precipitación mensual promedio para el estado de Sinaloa

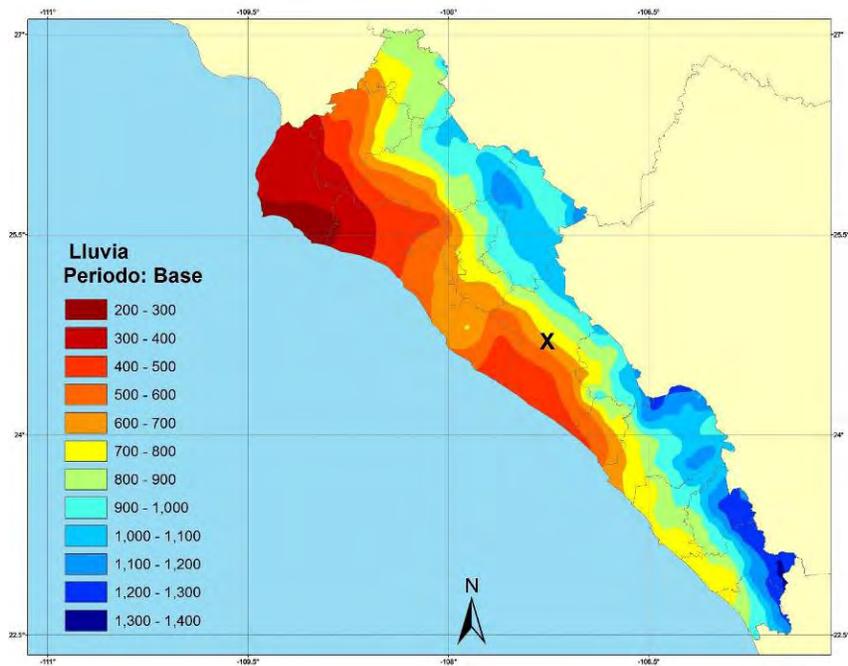


Figura 2.17 Isoyetas promedio anual para el periodo base

La **Figura 2.18** muestra una distribución espacial de la probabilidad de que la precipitación sea menor de 500 mm para el periodo de junio a noviembre.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

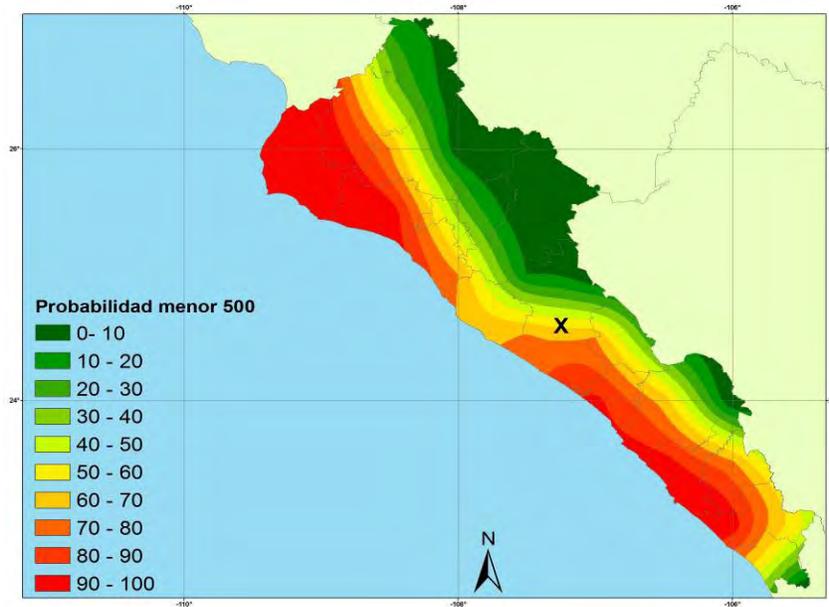


Figura 2.18 Probabilidad que la precipitación sea menor de 500 mm en el periodo de junio a noviembre

La Figura 2.19 muestra las isoyetas promedio del periodo base para los meses de junio-octubre y octubre-marzo.

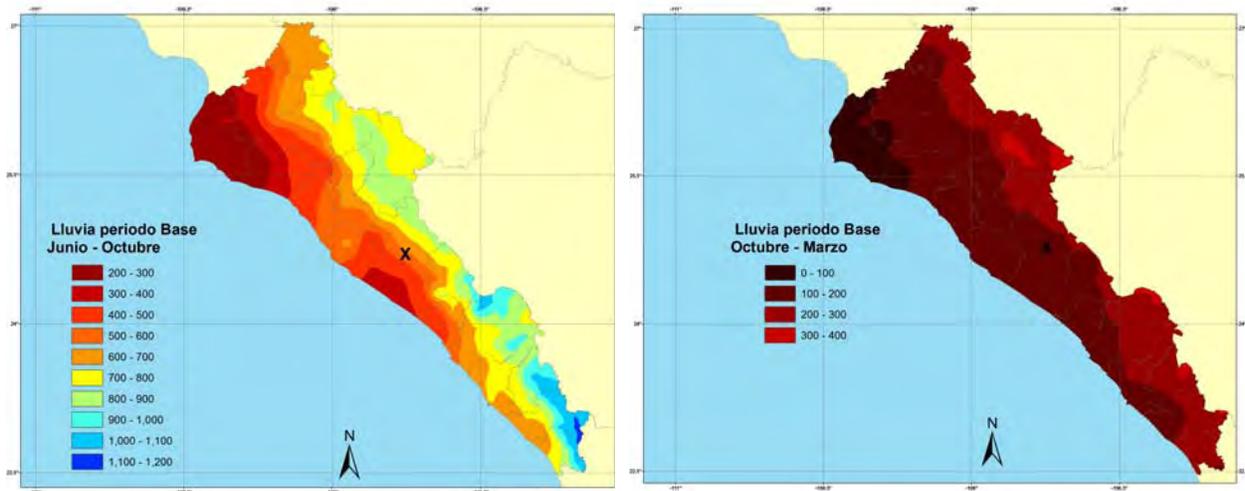


Figura 2.19 Isoyetas promedio del periodo base para los meses de junio-octubre y Octubre-marzo

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

En el apéndice A1 se presenta la distribución mensual de la precipitación a nivel municipal para el periodo histórico.

2.3.3 TEMPERATURA

La temperatura máxima, media y mínima del estado de Sinaloa se presenta en la **Figura 2.20** Siendo el mes de junio el más caliente y enero el mes más frío. En los meses de mayo a septiembre se tienen temperaturas máximas muy cercanas a 35 °C, la cual es una temperatura que genera estrés térmico a la mayoría de los cultivos agrícolas.

En los **Cuadros A2, A3, y A4** se presentan las temperaturas medias, máxima y mínima a nivel municipal, siendo Navolato, Culiacán y Elota, los municipio con la mayor temperatura media anual, en el rango 25 a 26 °C, mientras que Baridaguato y San Ignacio son los municipios con la menor temperatura media anual.

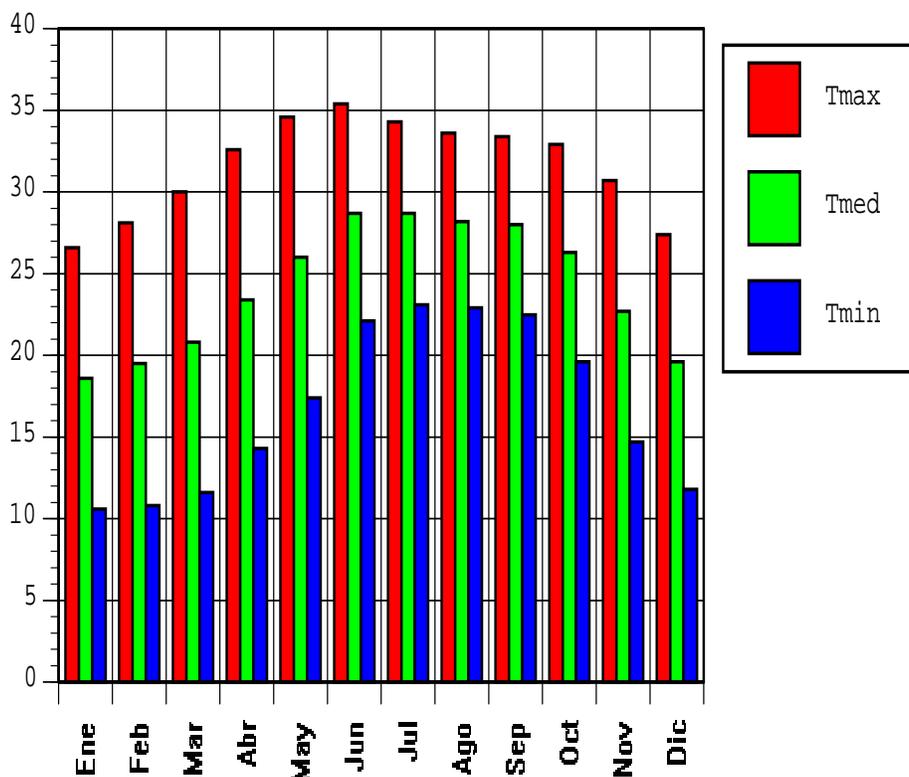


Figura 2.20 Temperatura máxima, media, mínima mensual en °C para el estado de Sinaloa

La temperatura media anual del estado se encuentra en el rango de 24 a 26 °C como se muestra en la **Figura 2.21**, siendo la parte central la zona más caliente del estado, mientras

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

que las partes altas colindantes con los estados de Chihuahua y Durango tienen la temperatura media anual más baja de hasta 13-14 °C.

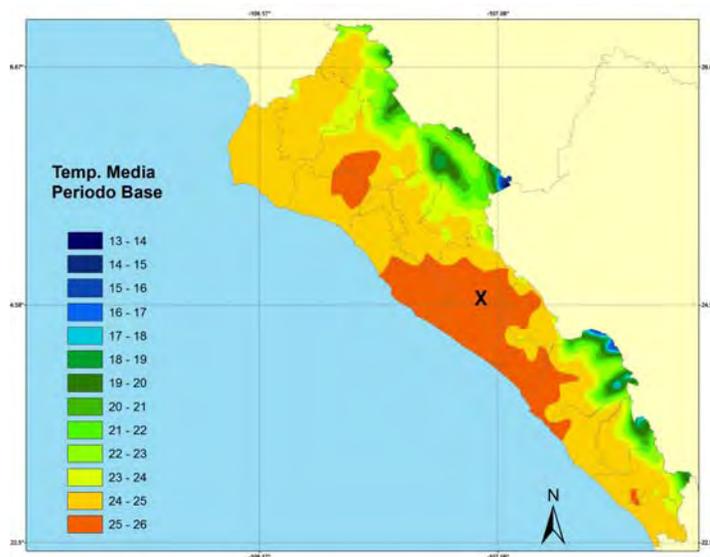


Figura 2.21 Variación de la temperatura media anual para el periodo base histórico

La **Figura 2.22** muestra la variación de la temperatura media de los meses de junio-octubre en el periodo base histórica.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

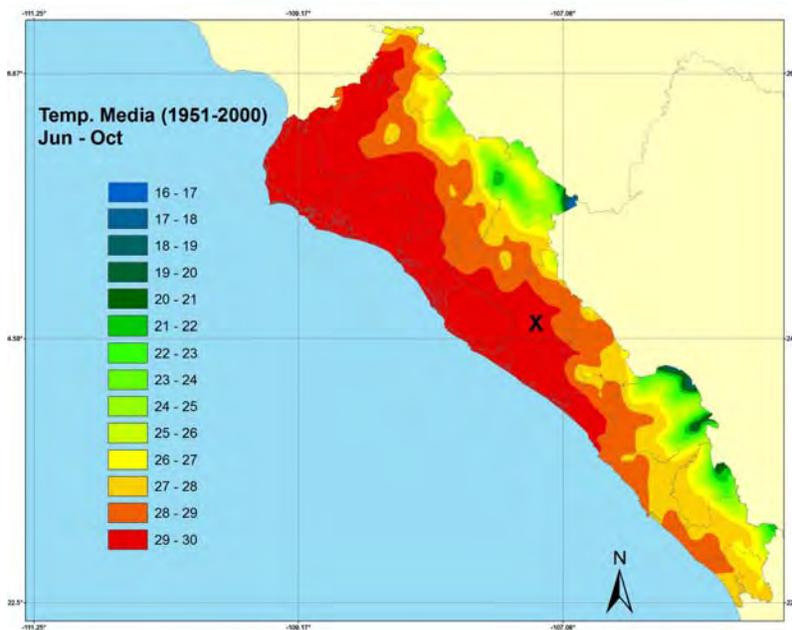


Figura 2.22 Variación de la temperatura media de los meses de junio-octubre el periodo base histórico

A continuación se muestran la variación de la temperatura media de los meses de octubre-marzo para el periodo base histórica (**Figura 2.23**)

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

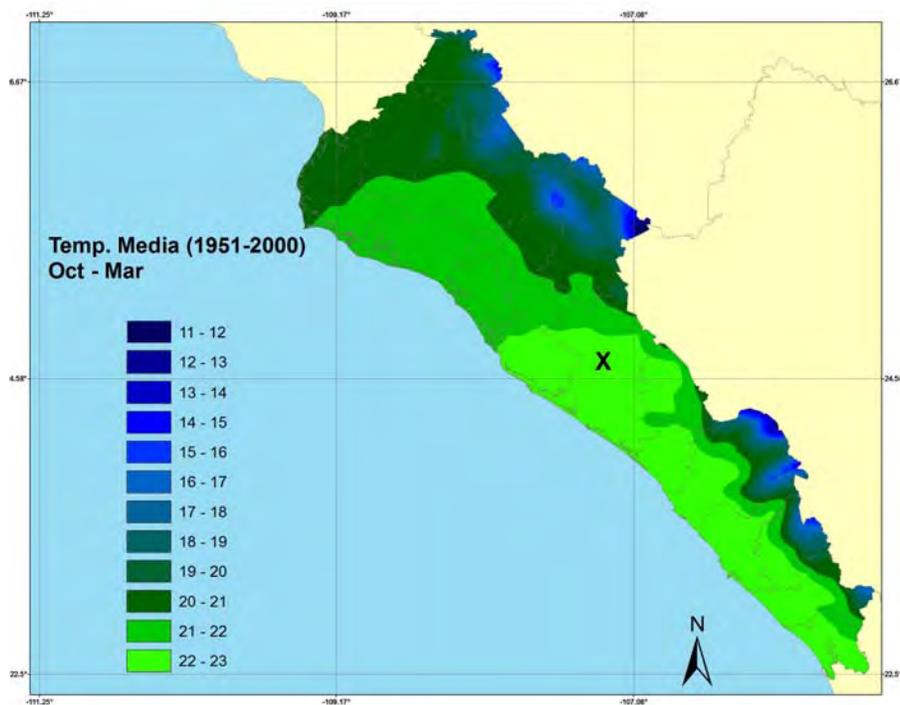


Figura 2.23 Variación de la temperatura media de los meses de octubre-marzo el periodo base histórico

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

La **Figura 2.24** presenta la variación espacial del promedio de la temperatura máxima anual para el periodo base histórica. Siendo el municipio de Guasave el de mayor temperatura máxima anual. La mayor parte del estado tiene altas temperaturas máximas promedio, en el rango de 30-34 °C del municipio de Elota al municipio de El Fuerte, donde se concentra la mayor superficie de riego del estado. El Sur del estado tiene temperatura máximas menores a 30 °C.

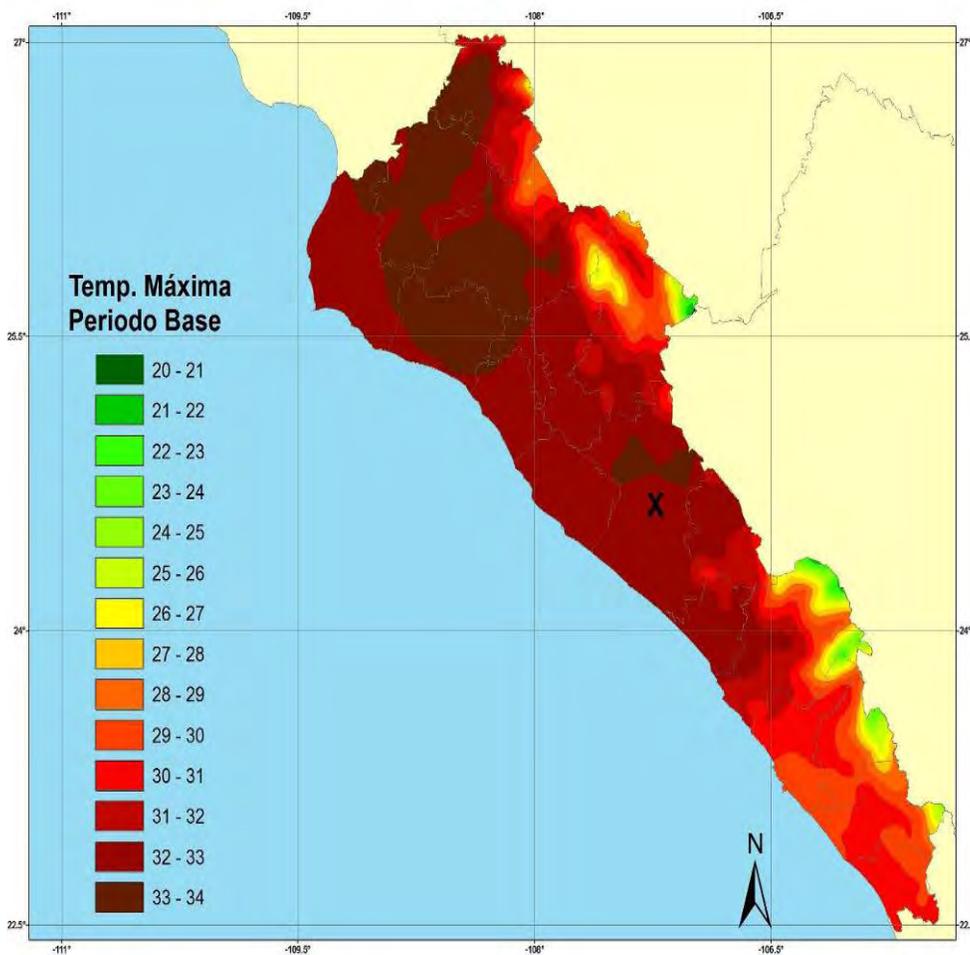


Figura 2.24

Figura 2.24 Variación del promedio de la temperatura máxima anual para el periodo base histórico

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

La **Figura 2.25** presenta la variación espacial del promedio de la temperatura mínima anual para el periodo base histórica, los valores mayores de las anteriores se presentan al sur del estado, existiendo un gradiente de sur a norte. Las temperaturas mínimas para la mayor parte del estado se encuentran en el rango de 16-20 °C.

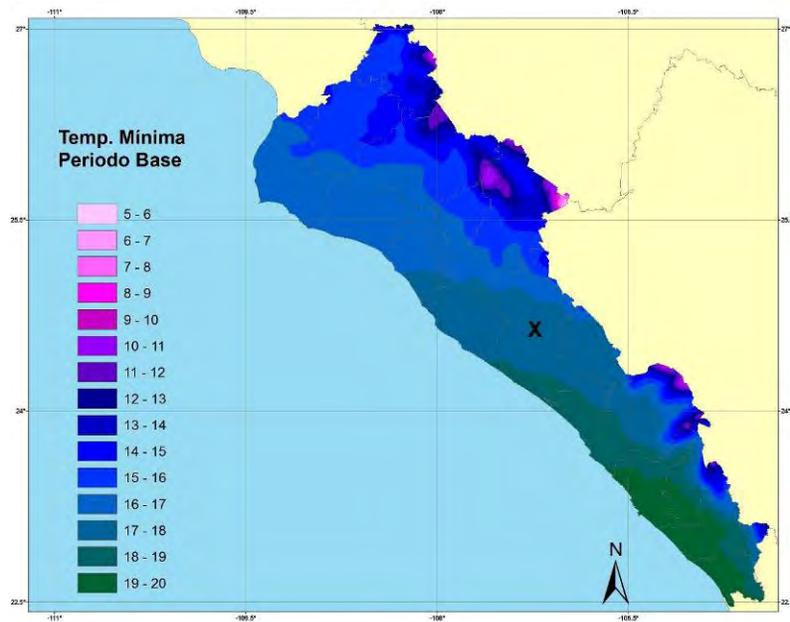


Figura 2.25 Variación del promedio de la temperatura mínima anual para el periodo base histórico

2.3.4 AGROCLIMAS DEL ESTADO DE SINALOA

La **Figura 2.26** presenta la distribución espacial de los tipos agroclimáticos del estado de Sinaloa, obtenida por Velasco (2007) usando la clasificación de Papadakis. Se indican 6 zonas agroclimáticas de Papadakis que se detectaron en el estado de Sinaloa; presentando las siguientes condiciones relevantes de acuerdo a la clasificación:

1.4.- Sabana continental: principales cultivos: maíz, mandioca, cacahuete, caña de azúcar, plátano; el arroz se cultiva solamente con riego, excepto donde hay una serie continua de 4 meses húmedos (w). La caña de azúcar se hace solamente con riego en los climas más secos, y en estos no se puede tener más de una cosecha de cultivos anuales por año. Los cultivos

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

ecuatoriales se cultivan donde el número térmico es 9, con riego, o en suelos que reciben aguas adicionales; en muchas costas hay cocoteros, hay agua subterránea y además las noches son más cálidas. La existencia de una estación seca facilita la agricultura, cuando naturalmente ésta no sea demasiado prolongada. En las partes más secas es posible cultivar sorgo, cacahuate y algodón. El contraste entre estaciones húmeda y seca es en general más grande, lo que genera condiciones para el sorgo y arroz; el arroz se puede cultivar también sin riego cuando la estación húmeda (w), incluye por lo menos cuatro meses.

Este clima se presenta en la porción centro y sur del estado, en altitudes medias sin tocar la costa, prolongándose hacia Nayarit. Corresponde a la parte caliente, semicálida y húmeda estatal, donde los inviernos rigurosos prácticamente no existen dado que las temperaturas no descienden hasta valores de riesgo; es decir, esta zona está usualmente libre de heladas. Hay al menos tres meses secos, aunque con frecuencia el periodo de estiaje es muy definido y prolongado. Un buen grado de humedad hace que no sea una zona semiárida.

1.5.- Tropical semiárido: Cultivos potenciales: sorgo, cacahuate, algodón. El arroz, la caña de azúcar y plátano requieren riego. Cuando el número hídrico es por debajo de 4, cultivos de temporal prácticamente desaparecen. En esta zona se ubican las ciudades de Guasave, Los Mochis y Guamúchil. Es una zona de altos rendimientos agrícolas, y el riego es indispensable, por tener una época de estiaje, que puede ser muy prolongada y cálida. Paradójicamente es una de las zonas de mayor deficiencia hídrica, tanto por el uso intenso del agua como por la baja precipitación pluvial, y al mismo tiempo la potencialidad agrícola de los suelos aunada a la alta tecnología aplicada conduce a la obtención de altos rendimientos de varios cultivos, principalmente maíz.

1.9.- Tropical con invierno fresco: La particularidad de este clima es que el invierno fresco permite el cultivos de variedades con bajos requerimientos de frío en plantas criófilas (trigo, cebada, colza, lino, etc.). Desde otros puntos de vista, estos climas se asemejan a 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, según sus parámetros climáticos. En esta zona se ubican las ciudades de Culiacán, Mazatlán, El Rosario y Escuinapa, así como El Carrizo en el norte. Comprende una extensa faja costera que recorre todo el estado de norte a sur y que se despega de la costa solo en la parte más árida, definida por el tipo 1.5. Aquí se ubican los principales sistemas y áreas de riego del estado con un alto potencial productivo, tanto por las condiciones del suelo y la disponibilidad de agua de los diversos embalses, como de la tecnología utilizada en la producción.

2.3.- Tierra fría húmeda (media): Principales cultivos potenciales de esta zona son: maíz, frijol, soya, el arroz se cultiva cuando el verano es 7. Se cultiva también trigo durante la estación húmeda o durante la estación seca con riego. Los pastos y praderas son potencialmente buena opción en esta zona, dependiendo su producción del régimen hídrico prevaleciente, que varía de húmedo a semiárido. Este agroclima se ubica en las partes serranas de mayor altitud del estado, donde se presentan las temperaturas estatales más

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

bajas, aunque el riesgo de heladas no es tan alto. Las condiciones de altitud, temperatura y humedad propician el desarrollo de la agricultura de temporal, aunque se ve limitada por las condiciones topográficas que le confieren relieves muy accidentados que dificultan de acceso para una fácil comercialización de las cosechas así como la existencia de grandes superficies agrícolas.

4.2.- Subtropical continental: principales cultivos: arroz con riego; algodón, sorgo, cacahuate sin riego; donde la estación húmeda (w) es suficientemente larga (cinco meses) se puede cultivar también arroz de temporal. Es propicio el trigo de invierno, pero el riego es imprescindible. La caña de azúcar de temporal puede cultivarse en las partes más húmedas (número hídrico 9 o más alto); alto riesgo de daños por heladas, pero algunas partes presentan inviernos mas tolerables para los cultivos.

También a veces llamado sabana subtropical. El invierno puede ser de tipo f, F, G, H, I, J, K, L. El verano es W o Z; al menos tres meses son secos, aunque frecuentemente hay un periodo de estiaje prolongado e intenso potenciado por las altas temperaturas. Se presenta en el extremo norte del Estado, desde altitudes medias hasta la serranía, y más al sur, en el piedemonte y la zona serrana, prolongándose hacia los estados vecinos del norte de condiciones similares. La transición entre este clima y la tierra fría (del grupo 2) tiene veranos tipo V. Los suelos preponderantes en este clima son los del tipo limoso o medio, y en ellos puede prosperar la agricultura de temporal. En esta zona se ubican los poblados de El Fuerte y Choix.

4.3.- Semitropical continental: semejante al anterior (4.2). Con un invierno menos drástico es una ventaja para la caña de azúcar, y una desventaja para los cultivos criófilos, como el trigo. Este clima tiene inviernos m, n, o, M, N, O, con al menos tres meses secos, que frecuentemente se prolongan hasta seis u ocho. Los veranos son del tipo W o Z, pueden subdividirse según el rigor del invierno y/o el número hídrico, de los cuales dependen las potencialidades agropecuarias. Se ubica en gran parte del estado, en una franja paralela a la costa, sin tocarla, desde más al sur de Culiacán hasta la zona de Los Mochis, coincidiendo aproximadamente con la cuenca del Río Fuerte. Es en esta zona donde se ubica una gran proporción de la zona agrícola de riego.

Este tipo de clima coincide en buena medida con los suelos arcillosos o pesados, de las planicies costeras y de altitud media, los que por su alta capacidad de retención de agua, su topografía y estructura edafológica, son aptos para una amplia variedad de cultivos.

La anterior caracterización y distribución de los agroclimas del estado de Sinaloa son solo indicativas y no limitativas, puesto que, con la disponibilidad del riego, la generación de nuevas variedades y técnicas de cultivos ha sido posible una mayor adaptación a climas más diversos de los lugares de origen, como ha sido el cultivo de papa en la región norte del estado; de hecho, cultivos como el tomate, frijol, garbanzo, entre otros, no mencionados por Papadakis, alcanzan desarrollos y rendimientos muy notables en el estado. Este aspecto también se ve

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

grandemente impulsado por la demanda de los mercados, tanto interno como exterior, y al alto grado de mecanización que ha alcanzado la agricultura sinaloense, así como a los modernos sistemas de cosecha, manejo, almacenamiento, transporte y comercialización.



Figura 2.26 Zonas agroclimáticas del estado de Sinaloa, según la metodología de Papadakis (Velasco, 2007)

La **Figura 2.27** presenta la distribución de unidades climáticas usadas por INEGI, que es muy similar a la obtenida para la clasificación de Papadakis (**Figura 2.26**). Aunque esta última es más versátil al detallar mejor las zonas climáticas del estado de Sinaloa.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

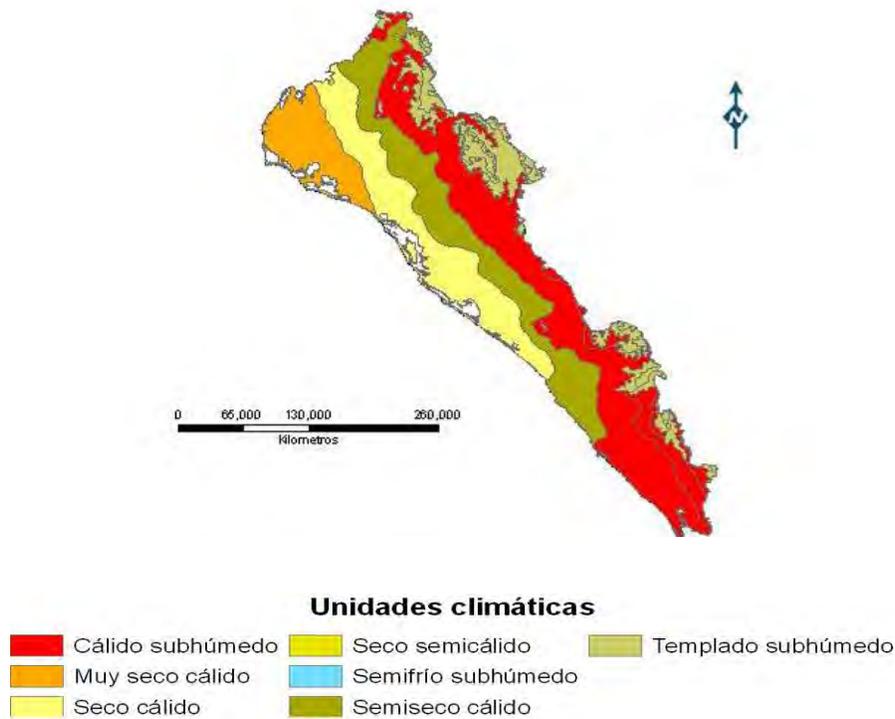


Figura 2.27 Unidades climáticas usadas por INEGI

2.4. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA PROYECTADA

2.4.1. GENERALIDADES

En los últimos 10,000 años, que corresponde al presente período interglaciar, el clima terráqueo ha permanecido relativamente estable. A lo largo de dicho período, la agricultura ha venido evolucionando y en muchos casos ha logrado adaptarse a las condiciones climáticas locales y a su variabilidad natural. Sin embargo, en la actualidad la sociedad, y en particular el sector agrícola, enfrenta cambios potencialmente mucho más rápidos en las condiciones climáticas futuras, debido a actividades humanas que afectan tanto la composición de la atmósfera como el balance de la radiación solar. Este fenómeno de calentamiento global de la superficie terrestre es una de las grandes amenazas del presente siglo.

Existen evidencias de que, como parte del cambio climático, los flujos térmicos de la atmósfera se están modificando debido a un incremento en la acumulación atmosférica de varios gases de efecto invernadero, cuyo origen es antrópico (IPCC, 2007). Así, las proyecciones futuras indican un incremento global significativo tanto de la temperatura como del bióxido de carbono.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Por lo que respecta a México, la mayoría de los modelos proyecta un decremento de la precipitación en la mayor parte de su territorio, aunque se espera un incremento de esta variable en otras regiones del mundo. Seager *et al.* (2007), han mostrado que el noroeste del país se encuentra en un proceso de mayor aridez debido a una baja de la precipitación y a una alza de la evaporación.

Las proyecciones de los cambios climáticos esperados pueden ser generadas a través de modelos numéricos del sistema climático terrestre, conocidos como Modelos de Circulación General Acoplados (MCGA), asumiendo que se conocen los diferentes escenarios de cambios futuros del forzamiento radiactivo natural y antrópico. Estos modelos climáticos complejos están basados en la leyes del movimiento, termodinámica y transferencia de calor, que definen los cambios del viento en la atmosfera, las corrientes en los océanos, el intercambio de calor y humedad entre la atmosfera y la superficie terrestre, la liberación de calor latente de condensación durante la formación de nubes y precipitación, y la absorción de rayos solares y la emisión de radiación infrarroja.

Existe una variedad de modelos de MCGA, que en forma global simulan la dinámica de la atmósfera y los procesos climáticos. Dado de que no existe un modelo único que reproduzca confiablemente los registros de los regímenes climáticos pasados, se suele recurrir a promedios de varios modelos MCGA para proyectar a futuro la dinámica de la atmósfera.

El panel intergubernamental de cambio climático, conocido ampliamente por sus iniciales en inglés de IPCC, ha desarrollado cuatro posibles escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero hasta el año 2100, conocidos como escenarios SRES o IEE, considerando cambios posibles en población global, el grado de globalización, cambios tecnológicos, y el grado de uso de fuentes alternas de energía (Nakicenovic y Swart, 2000). Los cuatro escenarios futuros de emisiones son: B1 (bajo), B2 (medio), A1 (de medio a alto), y A2 (alto). Las proyecciones de emisiones se usan con frecuencia para conjeturar sobre el cambio climático futuro, y sus supuestos básicos respecto de la evolución socioeconómica, demográfica y tecnológica son el punto de partida de numerosos estudios sobre la vulnerabilidad del cambio climático y las evaluaciones de su impacto en la sociedad (IPCC, 2007). En este trabajo se utilizó el escenario de emisiones medio moderado conocido como escenario "A1B", un caso particular del escenario A1 que asume que la sociedad usará en forma balanceada fuentes energéticas además de las de origen fósil.

A pesar de su responsabilidad en el calentamiento global del planeta, el dióxido de carbono es uno de los gases de gran importancia para la agricultura, que incrementa su concentración a una tasa anual de 0.5 por ciento. Se espera que su concentración se duplique durante el presente siglo si la tendencia de emisiones actual se mantiene (Tubiello et al., 2000). Las proyecciones climáticas futuras, asumiendo un escenario A1B, indican un incremento en las concentraciones hasta el año 2050, disminuyendo levemente hasta alcanzar una concentración de CO₂ del orden de 720 ppmv a finales del año 2100 (IPCC, 2007).

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

En el presente estudio se utilizaron proyecciones mensuales para el periodo 2010-2098 con una malla regular de 0.5° x 0.5° (50 x 50 km) obtenida por técnicas estadísticas de reducción de escala a partir de la base de datos de 23 modelos MCGA, disponible a través del Panel Intergubernamental de Cambio Climático; la base de datos de precipitación y temperatura de superficie (media, máxima y mínima), humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar fue obtenida de acuerdo a la metodología usada por Montero y Pérez (2008).

Con el objeto de estudiar el impacto del cambio climático en los cultivos, se generaron valores promedio de las variables respectivas para cuatro periodos. Estos cuatro periodos se etiquetaron como P₀, P₁, P₂ y P₃. El primero, P₀, se relaciona con el pasado reciente y corresponde al promedio de las variables climáticas para el periodo base 1961-2000. Los escenarios P₁, P₂ y P₃ definen el promedio de valores mensuales de los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2098.

2.4.1 PRECIPITACIÓN

La precipitación anual promedio de Sinaloa del periodo base se presenta en la **Figura 2.28**. Las proyecciones de cambio climático indican un decremento consistente de la precipitación durante del desarrollo del presente siglo, con un gradiente norte sur, como se presentan en las anomalías en la precipitación **Figura 2.29** para el periodo 2011-2040, en la **Figura 2.30** para el periodo 2041-2070, y en la **Figura 2.31** para fines de siglo (2071-2098), las anomalías son con respecto al periodo base.

En las **Figuras 2.28, 2.29, 2.30 y 2.31** se presentan la distribución mensual de las anomalías en las precipitaciones mensuales a nivel municipal para los periodos 2011-40, 2041-70 y 2071-98, respectivamente.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

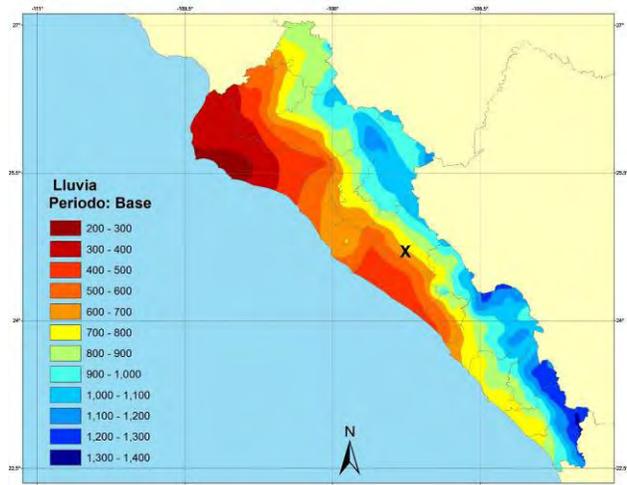


Figura 2.28 Precipitación anual acumulada del periodo base

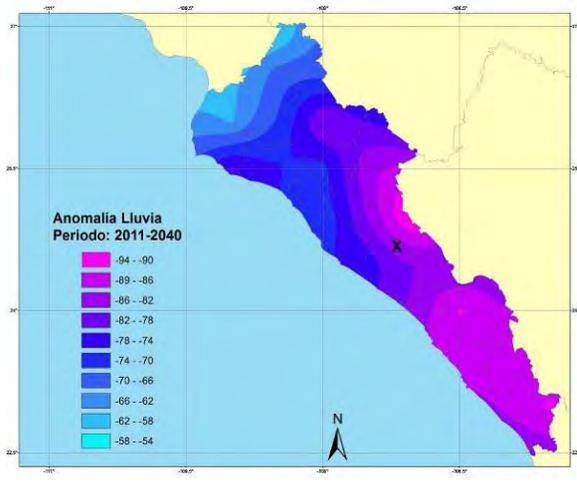


Figura 2.29 Anomalia de la precipitación anual acumulada en mm para periodo 2011-40 (escenario A1B)

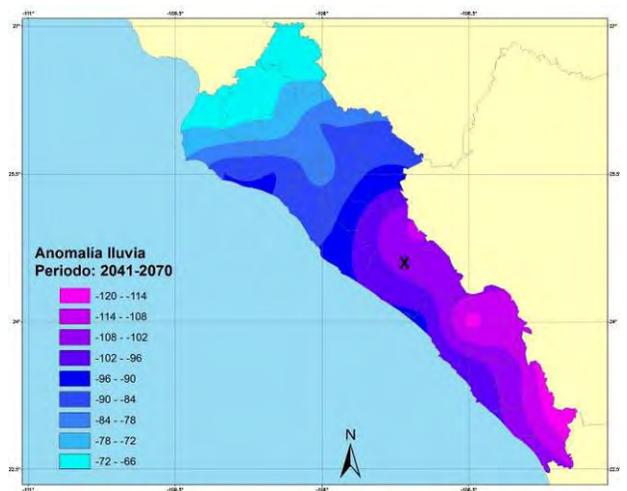


Figura 2.30 Anomalia de la precipitación anual acumulada en mm para periodo 2041-70 (escenario A1B)

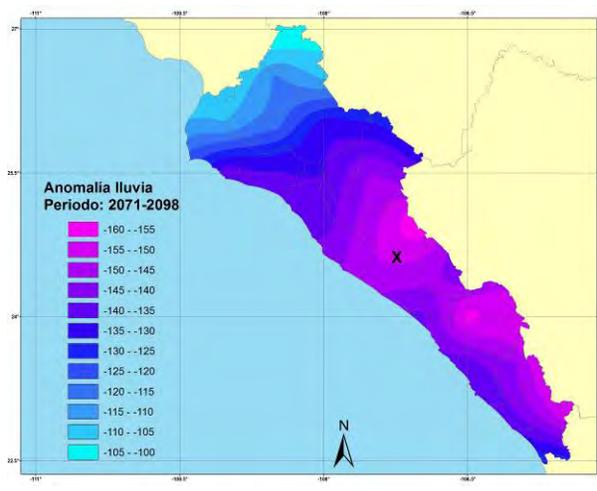


Figura 2.31 Anomalia de la precipitación anual acumulada en mm para periodo 2071-98 (escenario A1B)

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

En la **Figura 2.32** se presentan las proyecciones anuales concernientes a precipitación para el escenario A1B del periodo base, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2098.

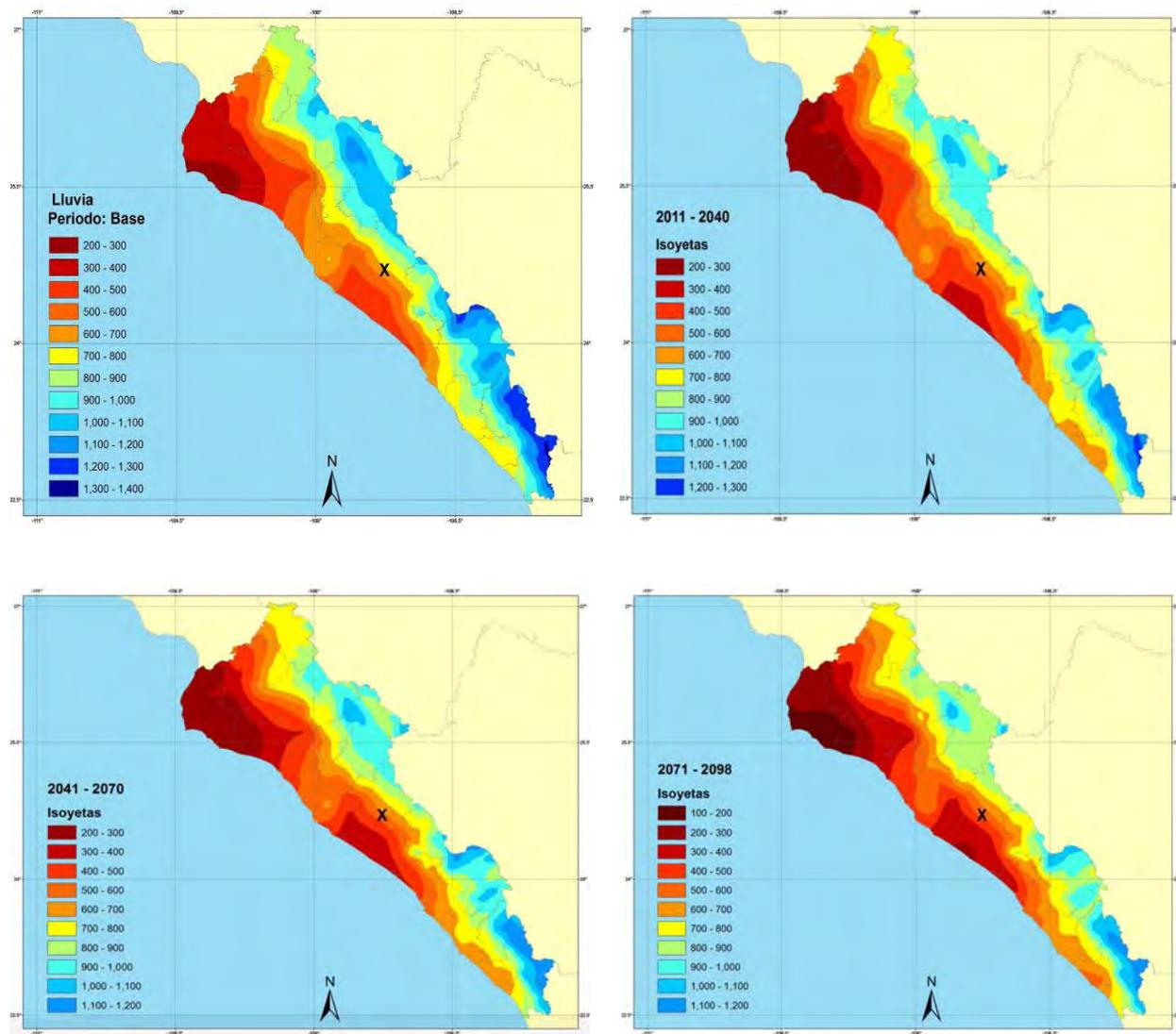


Figura 2.32 Precipitación anual proyectada

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

El **Cuadro 2.15** muestra la variabilidad de la precipitación para tres periodos de proyecciones para los periodos P1 (2011-2040), P2 (2041-2070) y P3 (2071-2098) y el periodo base P0 (1961-90), para el estado de Sinaloa

Cuadro 2.15 Variabilidad de la precipitación para tres periodos de proyecciones y el periodo base para el estado de Sinaloa

Variable	P0	P1	P2	P3
Precipitación anual	755.8	677.2	663.7	619.8
Precipitación oct-mar	176.9	122.6	113.0	96.4
Precip jun-oct	629.5	602.8	598.9	568.6
Precip mes mas lluvioso	196.7	193.2	190.3	184.6

2.4.2 TEMPERATURA

La temperatura promedio anual del estado, mostrada en la **Figura 2.33**, sufrirá incremento de hasta 1.2 °C durante el primer tercio del siglo para el escenario A1B como se indica en la **Figura 2.34**. Para mediados de siglo (**Figura 2.35 izq**), el incremento de la temperatura anual promedio se incrementará de 1.9 a 2.5 °C, dependiendo de la zona. Para fines de siglo (**Figura 2.35 der**), dicho incremento en la temperatura promedio anual será de 2.7 a 3.5 °C. Siendo las partes altas la de mayor incremento. Lo cual será benéfico para las actividades agrícolas por las bajas temperaturas que se presentan en el ciclo otoño-invierno.

En los apéndices **B4, B5 y B6** se presentan la distribución mensual de las anomalías en las temperaturas medias mensuales a nivel municipal para los periodos 2011-40, 2041-70 y 2071-98, respectivamente.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final



Figura 2.33 Temperatura anual promedio en °C para el periodo base

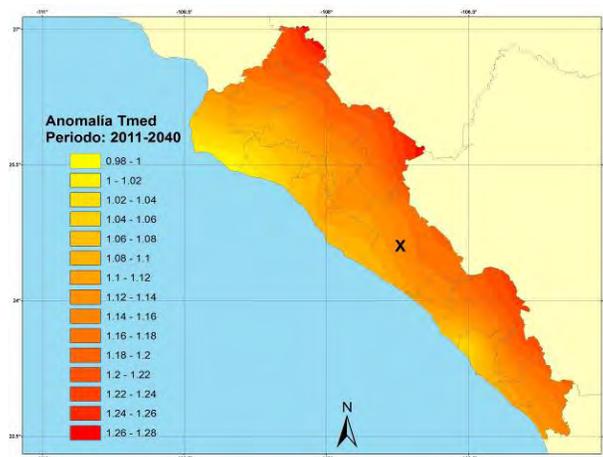


Figura 2.34 Anomalías para la temperatura media proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para los periodos 2011-2040

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

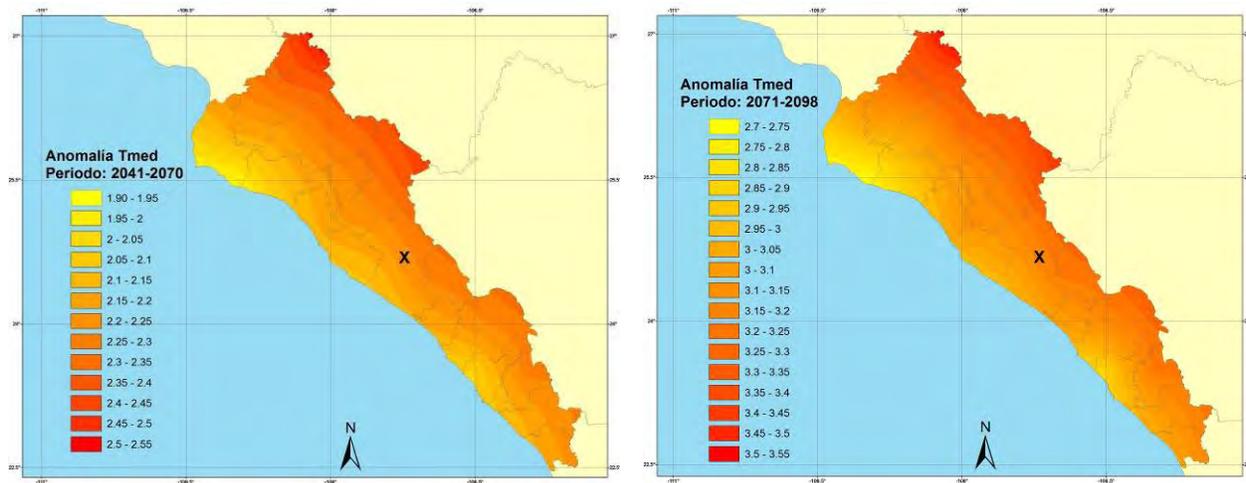


Figura 2.35 Anomalías para la temperatura media proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para los periodos 2041-2070 y 2071-2098

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

La **Figura 2.36** muestra las temperaturas medias proyectadas en °C para el estado de Sinaloa para los cuatro periodos; base, P1, P2, y P3

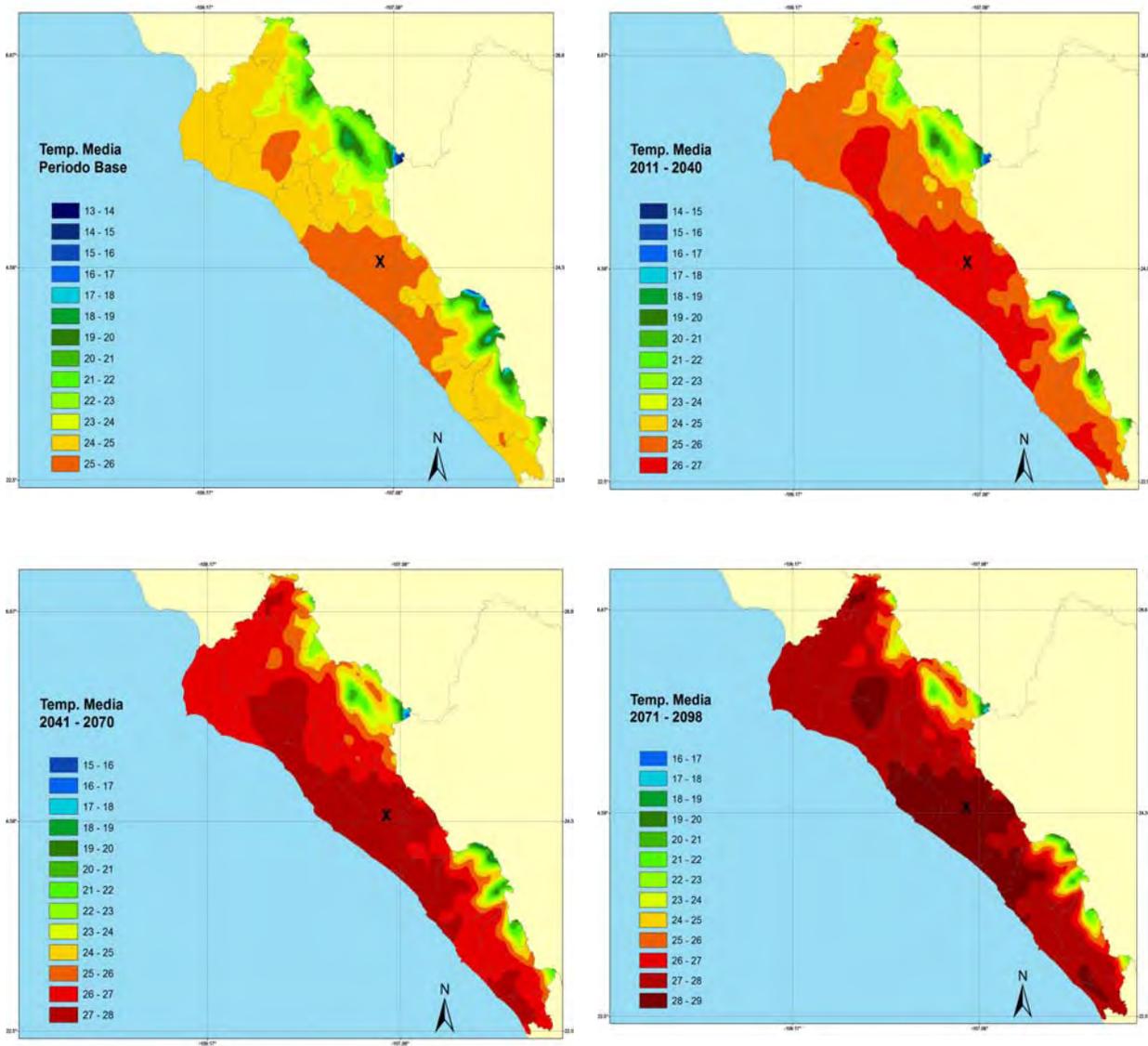


Figura 2.36 Temperatura media proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para los cuatros periodos base, P1,P2,P3

En cuanto al incremento en °C de la temperatura máxima, se observa que se presentarán incrementos de hasta 1.5 °C en las zonas de mayor altitud para el primer tercio del siglo

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

(Figura 2.37 izq), mientras que para mediados será menor de 2.8 °C (Figura 2.37 der), mientras que para finales de siglo se incrementará hasta 4 °C asumiendo un escenario de emisiones A1B como se muestra en la Figura 2.38.

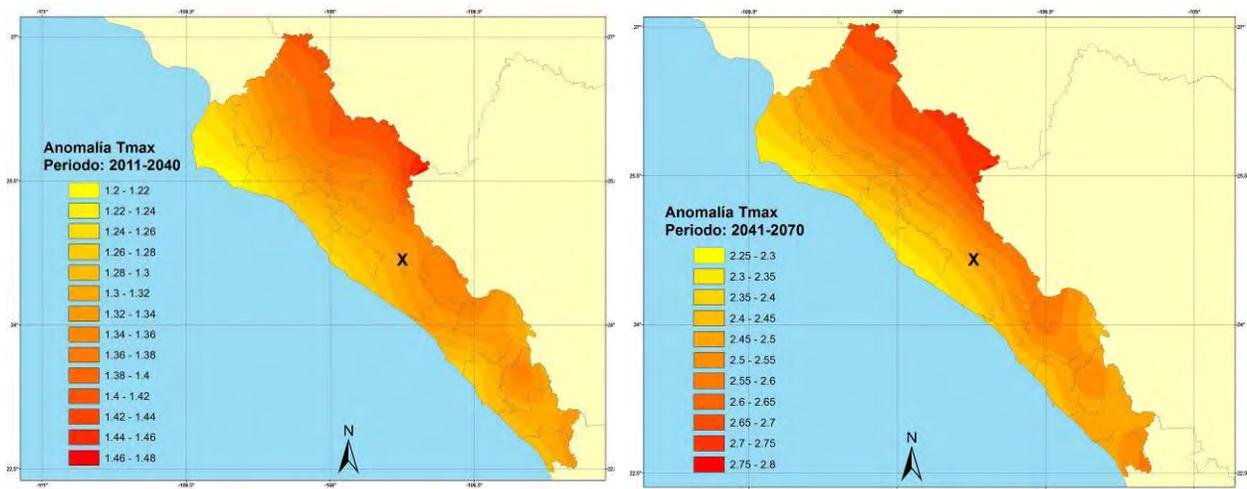


Figura 2.37 Anomalías para la temperatura máxima proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para los periodos 2011-2040 y 2041-2070

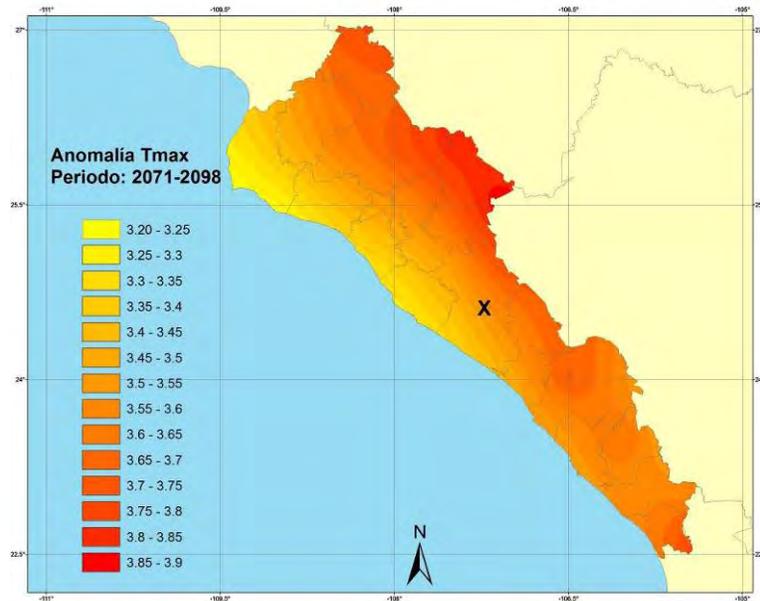


Figura 2.38 Anomalías para la temperatura máxima proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para el periodo 2071-2098

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

La temperatura mínima también muestra un gradiente de la costa hacia los límites con los estados de Chihuahua y Durango durante el transcurso del presente siglo (**Figuras 2.39 y 2.40**). Siendo la parte norte de la cuenca del Rio Fuerte la que presentará el mayor incremento en las temperaturas mínimas promedio.

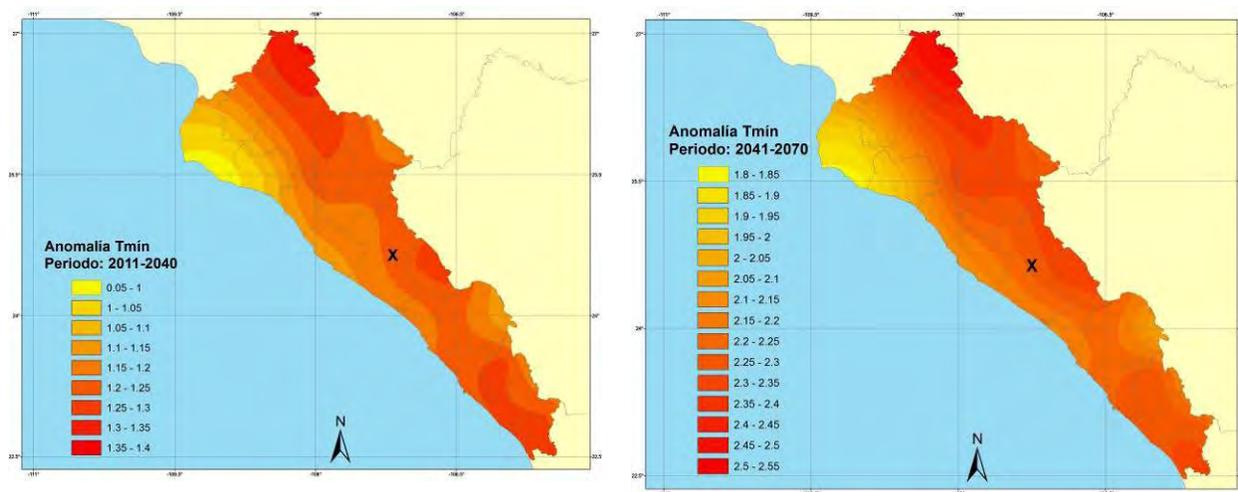


Figura 2.39 A1B para los periodos 2011-2040 y 2041-2070.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

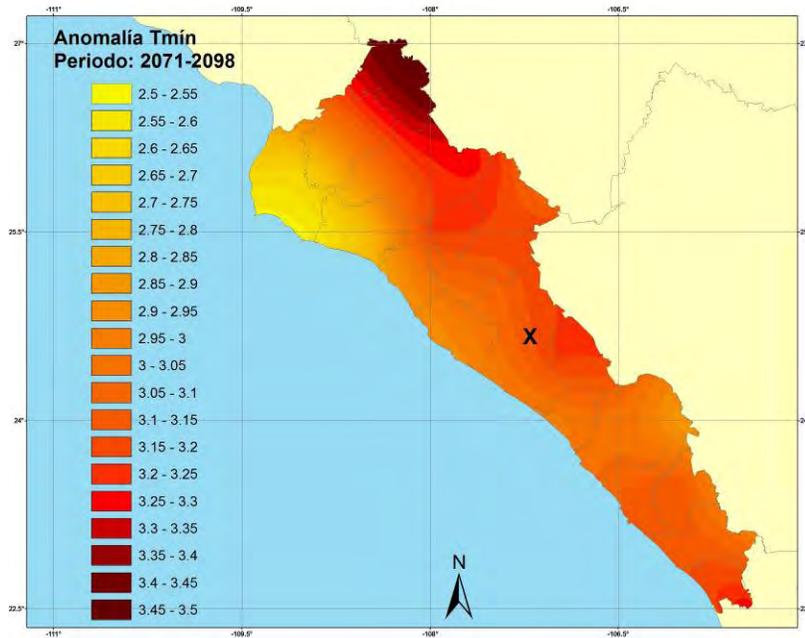


Figura 2.40 Anomalías para la temperatura mínima proyectada en °C para el estado de Sinaloa para el escenario A1B para el periodo 2071-2098

El Cuadro 2.16 muestra los posibles alcances que se tendrán en cuanto a temperaturas medias se refiere, señalando los diferentes escenarios de CC, para los periodos P0 (1961-90), P1 (2011-2040), P2 (2041-2070) y P3 (2071-2098)

Cuadro 2.16 Alcance de las temperaturas medias para los diferentes escenarios de CC.

Variable	Alcance	P0	P1	P2	P3
Temperatura media	Anual	24.1	25.2	26.3	27.2
	Jun-oct	27.9	29.1	30.2	31.1
	Oct-Marzo	21.0	22.1	23.1	24.0
Temperatura máxima media	Anual	31.6	32.2	33.4	34.5
	Jun-oct	33.9	34.4	35.7	36.8
	Oct-Marzo	29.2	29.8	31.0	32.0

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

*FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final*

Temperatura mínima media	Mes mas caliente	35.6	36.1	37.3	38.2
	Anual	16.8	17.0	18.1	18.9
	Jun-oct	21.7	22.2	23.2	24.0
	Oct-Marzo	12.7	13.4	14.5	15.3
	Mes más frio	10.1	10.8	12.0	12.8

2.5. VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA DEL ESTADO DE SINALOA

CONTENIDO

2.5.1. GENERALIDADES

El sistema climático terrestre involucra factores y procesos que causan una variabilidad espacial y temporal en el clima. Algunos de estos procesos tienen un local y son de corta duración causando una variabilidad en el estado de tiempo. Otros procesos son de mayor alcance geográfico en respuesta a una interacción entre la atmósfera, los océanos y la superficie, y por tanto generan variación de mayor duración. El fenómeno “el Niño” pertenece a esta última categoría de procesos. Existen otros procesos mixtos, de origen antropogénico complementado con otros de origen natural, que afectan la composición química de la atmósfera, en cantidad y tipo gases presentes. Este tipo de procesos se les conoce como cambio climático global.

Aun considerando los escenarios más optimistas que se basa en acciones coordinadas de mitigación a nivel global para reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), los modelos de circulación general indican que el calentamiento global de la tierra es inevitable. Ante este panorama es necesario desarrollar estrategias de adaptación, además de mitigación, para responder con oportunidad al impacto del cambio climático en los sistemas productivos agrícolas.

Ante el inminente impacto del cambio climático en los procesos productivos agrícolas, el fenómeno del cambio climático debe verse como un problema actual, donde los tomadores de decisiones requieren de información en el proceso de planificación y elaboración de políticas públicas para reducir la vulnerabilidad socioeconómica del sector agrícola ante el impacto por la variabilidad y el cambio climático.

En esta sección se presentan se muestran un conjunto de indicadores físicos, técnicos y socioeconómicos desarrollados para estimar la vulnerabilidad de las zonas de riego a nivel nacional para los ciclos agrícolas otoño-invierno y primavera-verano, con base en proyecciones regionalizadas de temperatura y precipitación para fines del presente

siglo, según dos posibles escenarios de emisiones A1B y A2. Indicadores normalizados para la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación al cambio climático, fueron calculados espacialmente para generar mapas de vulnerabilidad a nivel nacional. En los mapas se muestran los resultados de la clasificación de las zonas agrícolas de riego en función del grado de vulnerabilidad. Éstos pueden servir como un instrumento de apoyo para definir políticas gubernamentales y elaborar planes de adaptación para el estado de Sinaloa. Los resultados indican que las zonas agrícolas más vulnerables son las zonas marginadas, con baja capacidad de adaptación y limitado desarrollo tecnológico y socioeconómico.

2.5.2 MARCO METODOLÓGICO

En los sistemas de producción agrícola intervienen factores físicos, químicos y biológicos; así como factores socioeconómicos e institucionales. Un sistema de producción agrícola incluye tres subsistemas interdependientes.

- a) El subsistema natural (SN) contiene los procesos físicos, químicos y biológicos.
- b) El subsistema socioeconómico (SSE), incluye las actividades sociales (humanas) relacionadas con el uso de sistemas de producción agrícola.
- c) El subsistema institucional (SI) involucra el contexto legal, regulatorio y organizacional donde ocurren los procesos de decisión, planeación y manejo agrícola.

En la Figura **2.41** se muestran los tres subsistemas que interactúan en un sistema de producción agrícola.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

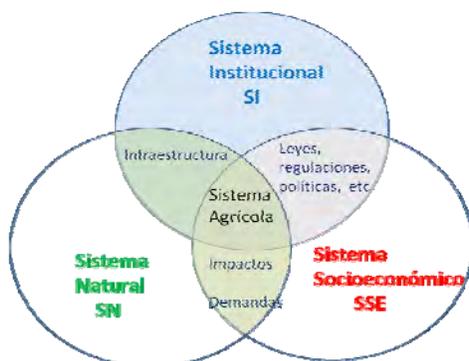


Figura 2.41 Interacciones en un sistema de producción agrícola (Loucks y van Beek, 2005).

El término vulnerabilidad se aplica en las disciplinas naturales y sociales, y se define según la orientación y perspectiva del estudio; éste indica el grado de fragilidad de un individuo o sistema. En un contexto social y ambiental la vulnerabilidad se refiere a la pérdida potencial de una característica inherente del individuo (grupo o sistema), o una función que combina la sensibilidad y la fuerza a las cual el individuo o sistema es sensible.

El IPCC (2001) señala que la vulnerabilidad es una función de tres componentes: Exposición (E), Sensibilidad (S) y Capacidad de Adaptación (CA). La exposición se define como la posibilidad de un sistema de quedar expuesto a un cambio ante una posible situación desestabilizadora positiva o negativa. La sensibilidad se refiere al grado en que un sistema responde a fluctuaciones del entorno. La capacidad de adaptación o resiliencia se refiere a la capacidad de un sistema para recuperar su estado inicial ante un cambio permanente o temporal de su entorno. Los estudios de vulnerabilidad son la base para definir acciones de adaptación y mitigación al cambio climático en regiones críticas detectadas por interrelaciones de los componentes de vulnerabilidad como se indica en la **Figura 2.42**.

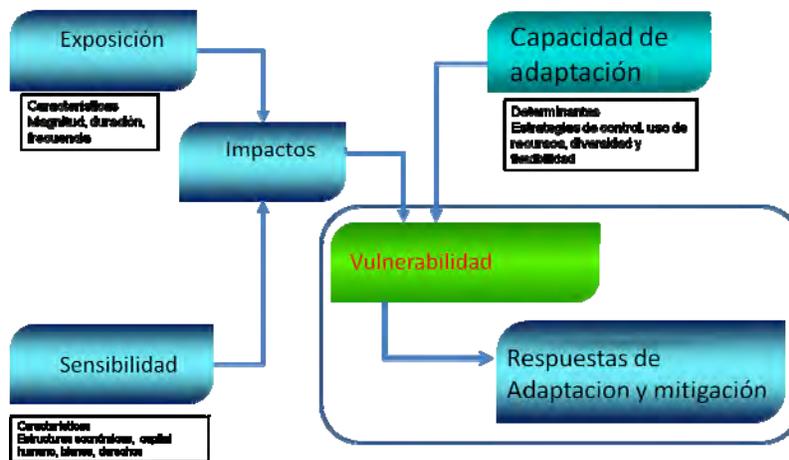


Figura 2.42 Componentes para evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático (Gbetibouo, y Ringler, 2009).

La vulnerabilidad (V) de un sistema al cambio climático se expresa a través de los componentes (**Figura 2.42**): los Impactos potenciales (I) que representan la magnitud del daño natural esperado cuando se conjugan determinadas condiciones climáticas y la CA que representa la habilidad del sistema para soportar los impactos, recuperarse o adaptarse al cambio climático. La vulnerabilidad es función de I y CA; I es función de E y S, esta relación puede ser expresada mediante la siguiente ecuación.

$$V = f(I - CA) = f(E + S - CA) \quad (2.1)$$

De acuerdo a la Ecuación 2.1, a mayor impacto mayor es la vulnerabilidad; mientras que, a mayor capacidad de adaptación menor es la vulnerabilidad. La metodología para estimar la vulnerabilidad global de la agricultura del estado de Sinaloa se encuentra en Ojeda *et al.* (2010).

2.5.3 VARIABLES Y FUENTES DE DATOS

La normatividad de las zonas de riego tiene establecido para propósitos de gestión del agua, que un año agrícola comprende del 1 de octubre de un año cualquiera al 31 de septiembre del año siguiente; el año agrícola comprende dos ciclos anuales, el ciclo otoño-invierno (OI) y el ciclo primavera-verano (PV). La caracterización de la vulnerabilidad de la agricultura se realizó por ciclo agrícola; el ciclo OI cubre el periodo de octubre a marzo del siguiente año y el ciclo PV de abril a septiembre. Durante el

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

ciclo OI la precipitación es baja en la mayor parte del estado (**Figura 2.43**), por lo que la agricultura requiere de riego para suministrar los requerimientos hídricos de los cultivos. Para el ciclo PV las precipitaciones pueden suplir los requerimientos de riego de los cultivos en las partes medias y altas del estado. Para las partes bajas cercanas a las costas, la precipitación es significativa al final del ciclo PV, por lo que puede suministrar la uno o dos riegos. Sin embargo, en la mayoría de los distritos de riego, superficie de cultivos PV es baja y generalmente las cosechas se presentan antes de la temporadas de lluvias

Para el caso de la temperatura, el ciclo OI, a diferencia del PV, presenta valores de temperatura cercanos al rango deseable para los cultivos (**Figura 2.44**) en regiones donde se concentra la agricultura de riego. Sin embargo en las partes altas del estado las temperaturas son bajas para el desarrollo de los cultivos durante el ciclo OI. Para el caso del ciclo PV, las condiciones de invierten, las zonas bajos son muchos más calientes que la parte alta del estado. Lo anterior indica que con la intensificación del cambio climático, la agricultura se concentrará en las partes bajas del estado durante el ciclo OI, mientras que durante el ciclo PV las zonas más propicias para la práctica agrícola serán las partes medias y altas del estado.

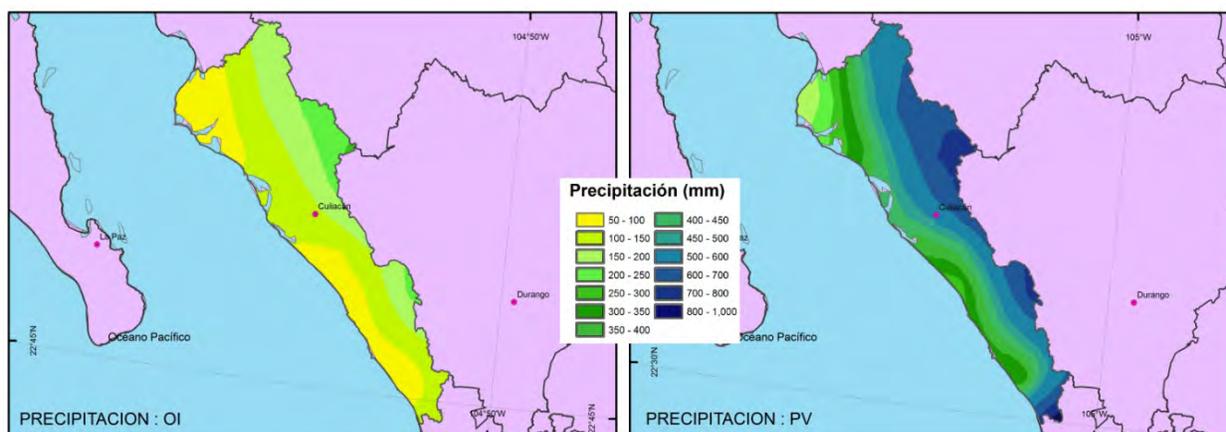


Figura 2.43 Variación de la precipitación acumulada promedio para los ciclos otoño-invierno y primavera-verano

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

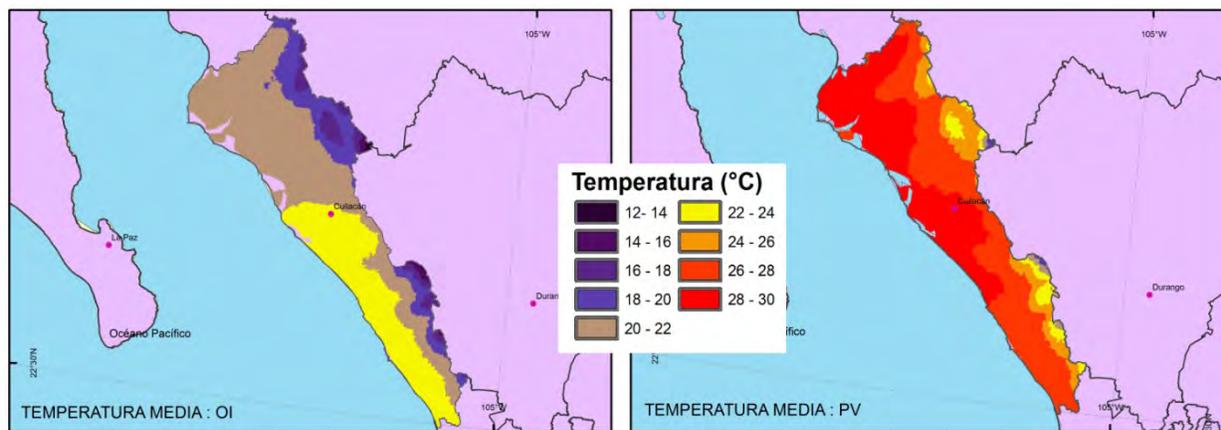


Figura 2.44 Variación de la temperatura media para los ciclos otoño-invierno y primavera-verano

Los datos de las variables climáticas históricas y proyectadas corresponden para una malla regular de 50x50 km, mientras que las variables socioeconómicas y productivas se describen a nivel de municipios. En los Cuadros **2.17**, **2.18** y **2.19** se describen las variables, indicadores asociados, unidades y fuente información, para cada componente de la vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación). En forma adicional, se identifican también las relaciones funcionales entre los indicadores y la vulnerabilidad. Se identifican dos tipos de relaciones funcionales: relación directa o inversa del valor de indicador con la vulnerabilidad.

2.5.3.1 EXPOSICIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

En este estudio, para el periodo 2071-2098 con los escenarios A1B y A2, se utilizaron proyecciones mensuales promedio de la temperatura y la precipitación con una malla regular de 50x50 km, obtenida por técnicas estadísticas de reducción de escala a partir de proyecciones de modelos MCGA. La base de datos de precipitación y temperatura fue obtenida a través de promedios ponderados de las proyecciones de 23 MCGA disponibles en el centro de distribución de datos del IPCC (www.ipcc-data.org) para los escenarios A1B y A2, de acuerdo a la metodología de confiabilidad de promedios de ensamble (Reliability Ensemble Averaging) aplicada por Montero y Pérez (2008).

El período de referencia considerado fue de 30 años (1961-1990) y los valores históricos de las variables climáticas para México fueron extraídos de la base de datos

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

TS3.0 de la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia de Inglaterra, conocida por CRU por sus iniciales en inglés (Climate Research Unit) que presenta series de datos mensuales en el periodo 1901-2006 a una resolución aproximada 50x50 km (Brohan, et al., 2006; Jones, 1994.).

En el **Cuadro 2.17** se resumen los indicadores aplicados para estimar el grado de exposición al cambio climático, los primeros cuatro indicadores son las anomalías de las variables climáticas del período 2071-2098 con respecto al periodo base 1961-1990. Los dos últimos indicadores definen el impacto potencial de la frecuencia de ciclones y el área inundable por incremento del nivel del mar.

Cuadro 2.17 Indicadores y fuente de datos para estimar la exposición climática como componente de la vulnerabilidad al cambio climático.

Indicador	Clave	Unidad	Relación del indicador con la vulnerabilidad	Fuente
Anomalía de la temperatura media diaria en el ciclo agrícola	ΔT_{med}	Anomalía proyectada en °C en el ciclo agrícola para el período 2071-2098 con respecto al período base	$\Delta T_{med} \uparrow \Rightarrow Vul \uparrow$	REA-IMTA (Montero y Pérez, 2008) Base de datos histórica de CRU (Brohan, et al., 2006)
Anomalía de la temperatura máxima diaria en el ciclo agrícola	ΔT_{max}	Anomalía proyectada en °C en el ciclo agrícola para el período 2071-2098 con respecto al período base	$\Delta T_{max} \uparrow \Rightarrow Vul \uparrow$	
Anomalía de la precipitación acumulada en el ciclo agrícola	$\Delta Precip$	Cambio proyectado en % de la precipitación acumulada en el ciclo agrícola para el período 2071-2098 con respecto al base	$\Delta Precip \uparrow \Rightarrow Vul \uparrow$	
Probabilidad de sequías	$\Delta sequía$	Anomalía proyectada del índice estandarizado de precipitación (SPI6) para seis meses para los ciclos OI (marzo) y PV	$\Delta Sequia \uparrow \Rightarrow Vul \uparrow$	

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

		(septiembre) para el período 2071-2098 con respecto al periodo base		
Frecuencia de ciclones	Ciclones	Probabilidad de ocurrencia de ciclones de 1960-2006	Ciclones ↑ ⇒ Vul ↑	Peduzzi, Dao and Herold (2005)
Nivel mar 5m	Mar	Área inundable asumiendo un incremento del nivel de mar de 5 m	NMar ↑ ⇒ Vul ↑	CReSIS , 2010. University of Kansas, USA

2.5.3.2 SENSIBILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

La sensibilidad al cambio climático se refiere al grado en que un sistema agrícola responde, positiva o negativamente, a cambios en los patrones climáticos. En el **Cuadro 2.18** se presentan los indicadores usados para estimar la componente de sensibilidad para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático.

En el **Cuadro 2.18** se incluye el índice de diversificación de cultivos (I_d) que está relacionado con el grado de sensibilidad de un sistema agrícola al cambio climático. A mayor diversificación de un sistema agrícola menor es su sensibilidad. Este índice se estimó adaptando el índice de diversidad de Simpson usado en Ecología (Magurran, 1988) de acuerdo con la siguiente expresión:

$$I_d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_c} A_i^2}{A_t^2} \quad (2.2)$$

donde A_i es el área cosechada del cultivo i en ha; A_t es el área total cosechada en la zona agrícola de interés en ha; y N_c es el número total del cultivos reportados.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Cuadro 2.18 Variables y fuente de datos para estimar la sensibilidad como componente de la vulnerabilidad al cambio climático.

Indicador	Clave	Unidad	Relación del indicador con la vulnerabilidad	Fuente
Diversidad de cultivos	Diversa	Índice adimensional estimado con la Ecuación 5.2 que relaciona la suma de cuadrados de las superficies por cultivo con respecto al cuadrado de la suma total de la superficie cosechada por ciclo	Diversa ↑ ⇒ Vul ↓	SIAP, 2009
Tamaño parcela	Sup	Superficie de la parcela media de riego	Sup ↑ ⇒ Vul ↓	Censo Agropecuario 2007 (INEGI, 2009)
Población rural	Rural	% población con menos de 5000 hab	Sup ↑ ⇒ Vul ↑	Conapo (2005)
Uso de fertilizantes	Fertiliza	Uso de fertilizantes	Fertiliza ↑ ⇒ Vul ↓	Censo Agropecuario 2007 (INEGI, 2009)
Variabilidad en la precipitación	Precip	Desviación estándar de la precipitación anual acumulada periodo base (1961-1990)	Desv ↑ ⇒ Vul ↑	Base de datos histórica de CRU (Brohan, et al., 2006)
Variabilidad en el rendimiento	Rend	Rendimiento máximo del maíz de riego a nivel municipal para los años agrícolas 2002-2008	Rend ↑ ⇒ Vul ↓	SIAP, 2009
Evapotranspiración	ET _o	Evapotranspiración anual de	ET _o ↑ ⇒ Vul ↑	Trabucco y

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

		referencia acumulada		Zomer, 2009
Degradación de suelos y acuíferos	Degrada	Suelos con problemas de sales solubles y/o sodio intercambiable y acuíferos con problemas de salinización, intrusión salina o sobreexplotación.	Degrada ↑ ⇒ Vul ↑	Inegi (1998) Conagua (2009)

2.5.3.3 CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

La capacidad de adaptación al cambio climático se define como el grado en que un ajuste en prácticas, procesos o estructuras puede moderar o reducir el daño potencial, o ser una oportunidad de acciones derivadas del cambio climático (Yusuf y Francisco, 2009). La capacidad de adaptación depende de factores socioeconómicos, tecnológicos, institucionales y estructurales de la agricultura. En el **Cuadro 2.19** se presentan los indicadores usados para estimar la componente de vulnerabilidad derivada de la capacidad de adaptación de las zonas agrícolas, con información disponible a nivel de municipios.

Cuadro 2.19 Indicador y fuente de datos para estimar la capacidad de adaptación como componente de la vulnerabilidad al cambio climático.

Indicador	Clave	Descripción	Relación del indicador con la vulnerabilidad	Fuente
Marginación	Margina	Grado de marginación	Margina ↑ ⇒ Vul ↑	Conapo (2005)
Analfabetismo	Analf	% población analfabeta mayor de 15 años	Analf ↑ ⇒ Vul ↑	Conapo (2005)
Cobertura de	Servicios	% cobertura servicios en domicilios de productor (agua	Servicios ↑ ⇒ Vul ↓	Censo Agropecuario

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

servicios		potable, drenaje y electricidad)		2007 (INEGI, 2009)
Dependientes	Depend	Número de dependientes económicos por productor agrícola	Depen ↑ => Vul ↑	Censo Agropecuario 2007 (INEGI, 2009)
Acceso a centros urbanos	Tiempo	Tiempo de acceso a centros urbanos	Tiempo ↑ => Vul ↑	Cimmyt (Hodson, et. al., 2002)
Ingreso agrícola	Agrícola	Porcentaje de ingresos del productor relacionados con la agricultura	Agrícola ↑ => Vul ↑	Censo Agropecuario 2007 (INEGI, 2009)
Intensidad en el uso de la tierra	IUT	Porcentaje de repetición de cultivos promedio en los años agrícolas 2002-2008 solo incluye agricultura de riego	IUT ↑ => Vul ↓	SIAP, 2009
Mecanización agrícola	Mecánica	Porcentaje de agricultores que usan mecanización agrícola	Mecánica ↑ => Vul ↓	Censo Agropecuario 2007 (INEGI, 2009)
Cobertura de crédito/seguro	Crédito	Porcentaje de cobertura de crédito y seguro	Crédito ↑ => Vul ↓	Censo Agropecuario 2007 (INEGI, 2009)

2.5.4 ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA

Las regiones agrícolas del país son vulnerables a la variabilidad climática actual ocasionada por la recurrencia de sequías y lluvias torrenciales que impactan en el

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

desarrollo de los cultivos. El incremento de la temperatura puede reducir la productividad de los cultivos debido a la reducción de sus periodos de crecimiento y ocurrencia de temperaturas fuera del rango óptimo de su desarrollo. En forma global, la mayoría de los cultivos podrían ser afectados por cambios en los patrones climáticos; particularmente, en regiones que ya muestran valores de estrés hídrico y térmico en forma recurrente (Gadgil, 1995).

La agricultura es una actividad que depende fuertemente de las condiciones ambientales. El mejoramiento de paquetes tecnológicos, basados en el uso de variedades mejoradas e híbridos que dependen de la aplicación óptima de insumos, ha incrementado notablemente la producción agrícola en los últimos años. Estos incrementos pueden disminuir o aun nulificarse por efectos del cambio climático.

El proceso de apertura económica y liberación de los mercados debido a la globalización de las economías de los países, ha modificado las estructuras y los sistemas de producción agrícola. En México el sector rural ha resentido dichos impactos e incrementado no solo sus niveles de marginación y baja rentabilidad; sino también la degradación de sus recursos naturales. El carácter multifuncional de la agricultura ha sido reconocida por la FAO en los siguientes aspectos: alimentario, ambiental, económico, y social (FAO, 1999). El sector agrícola será también impactado por efectos del cambio climático, por lo que varias zonas productivas podrían experimentar situaciones de crisis. A continuación se describe el proceso para estimar la vulnerabilidad de las zonas agrícola del país.

La vulnerabilidad de los sistemas de producción agrícola se representa con el apoyo de instrumentos cualitativos (mapas) y su cuantificación se estimó mediante el siguiente procedimiento:

1) Se seleccionaron las variables que capturan algún componente de la vulnerabilidad del sistema y que se contaba con información disponible a escala nacional (Cuadros **2.17**, **2.18**, y **2.19**) de acuerdo al trabajo de Ojeda *et al.* (2010).

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

2) Los indicadores de las variables seleccionadas se normalizaron en el intervalo [0,100] para facilitar su comparación (Vincent 2004) mediante la siguiente expresión:

$$X_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} 100 \quad (2.3)$$

donde X_i es el valor normalizado de los valores de la variable x_i ; x_{\min} y x_{\max} son los valores mínimo y máximo del conjunto de datos x_i , respectivamente. Se asume que a mayor valor del indicador mayor es la vulnerabilidad.

Los indicadores normalizados de la componente exposición (E) se presentan en las **Figuras 2.45 al 2.49**. Los indicadores normalizados de la componente sensibilidad (S) se presentan en las Figuras **2.52 y 2.53**. Mientras que los indicadores normalizados de la componente capacidad de adaptación (CA) se presentan en los **Mapas 2.55 y 2.56**.

3) Se estimaron las componentes de vulnerabilidad (E, S, y CA) mediante la siguiente expresión:

$$E, S, CA = \sum_{j=1}^n P_j X_j \quad (2.4)$$

donde P_j es el factor de ponderación y X_j es el valor normalizado del indicador j para estimar los componentes de vulnerabilidad. El índice de vulnerabilidad varía entre 0 y 100; esto es, de menor a mayor vulnerabilidad. Un valor de 100 indica la mayor vulnerabilidad.

Los pesos (P_i) fueron estimados con el método propuesto por Lyengar y Sudarshan (1982) con la siguiente ecuación:

$$P_i = \frac{c}{1/\sqrt{\text{var}_i(X_{i,j})}} \quad (2.5)$$

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

donde P_i es el peso para el indicador normalizado i ; c es la constante de normalización estimada como la suma total de las inversas de las desviaciones estándar, de los n indicadores seleccionados.

$$c = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{\text{var}_i(X_{i,j})}} \quad (2.6)$$

El método de Lyengar y Sudarshan asegura que grandes variaciones de uno o más indicadores no dominen la contribución del resto de los demás indicadores.

Los pesos estimados de las variables seleccionadas para estimar la exposición al cambio climático se presentan en el Cuadro 2.20; para estimar la sensibilidad en el Cuadro 2.21; y para estimar el componente de capacidad de adaptación en el Cuadro 2.22.

Cuadro 2.20 Pesos estimados (P_i) de los indicadores usados (Cuadro 2.17) para estimar la exposición al cambio climático, escenarios A1B y A2 y ciclos agrícolas OI y PV.

Indicador	A1B		A2	
	OI	PV	OI	PV
ΔT_{med}	0.136	0.149	0.124	0.149
ΔT_{max}	0.122	0.140	0.112	0.144
ΔPrecip	0.135	0.137	0.188	0.139
$\Delta \text{sequía}$	0.203	0.157	0.199	0.145
Ciclones	0.201	0.208	0.188	0.211
Mar	0.202	0.209	0.189	0.212

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Suma	1.0	1.0	1.0	1.0
------	-----	-----	-----	-----

Por ejemplo para calcular la componente E, usando los indicadores del **Cuadro 2.17** y los respectivos pesos del **Cuadro 2.20** para el escenario A1B y el ciclo OI, se obtiene la Ecuación 2.7 para estimar la componente E de la vulnerabilidad a partir de la ecuación 2.4.

$$E = 0.136\Delta T_{med} + 0.122\Delta T_{max} + 0.135\Delta Precip + 0.203\Delta sequia + 0.201\Delta ciclones + 0.202\Delta Mar \quad (2.7)$$

Cuadro 2.21 Pesos estimados (P_i) de los indicadores usados (Cuadro 2.18) para estimar la sensibilidad al cambio climático

Indicador	Diversa	Sup	Rural	Fertiliza	Precip	Rend	ETo	Degrada	Suma
Peso	0.078	0.144	0.070	0.085	0.145	0.210	0.169	0.097	1.0

Cuadro 2.22 Pesos estimados (P_i) de los indicadores usados (Cuadro 2.19) para estimar la capacidad de adaptación al cambio climático.

Indicador	Margina	Analf	Servicios	Depende	Tiempo	Agrícola	IUT	Mecánica	Credito	Suma
Peso	0.122	0.145	0.133	0.176	0.051	0.115	0.060	0.062	0.134	1.0

4) La vulnerabilidad global V es estimada con la Ecuación (2.8) que asume un peso P_i de $\frac{1}{3}$ para cada uno de los componentes de la vulnerabilidad. La capacidad de adaptación fue ajustada para invertirla de signo (Ecuación 2.1) e indicar que a mayor capacidad de adaptación menor es la vulnerabilidad.

$$V = P_1 E + P_2 S + P_3 CA = \frac{E}{3} + \frac{S}{3} + \frac{CA}{3} \quad (2.8)$$

5) Generación del mapa global de vulnerabilidad (V) para la zona de estudio de acuerdo al cálculo espacial dada por la Ecuación 2.8.

2.5.5 MAPAS DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA AGRICULTURA DEL ESTADO DE SINALOA

Una vez obtenida la información climática se procedió a estimar los indicadores de vulnerabilidad al cambio climático para la agricultura del estado de Sinaloa. A continuación se presentan los mapas que despliegan la vulnerabilidad espacial del estado de Sinaloa al cambio climático.

2.5.5.1. EXPOSICIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Se generaron mapas por separado para cada indicador de exposición (**Cuadro 2.23**) al cambio climático. Las **Figuras 2.45 y 2.46** se relacionan con el ciclo OI para ambos escenarios A1B (**Figura 2.45**) y A2 (**Figura 2.46**), mientras que las **Figuras 2.47 y 2.48** se relacionan con el ciclo PV para ambos escenarios A1B (**Figura 2.47**) y A2 (**Figura 2.48**). El Mapa de la zona potencialmente inundable por un incremento en el nivel del mar se presenta en la **Figura 2.49**. En este mismo Mapa se presenta la probabilidad de ocurrencia de ciclones para el estado de Sinaloa. En el **Cuadro 2.23** se presenta el indicador y el mapa asociado.

Cuadro 2.23 Indicadores usados para estimar la vulnerabilidad por exposición al cambio climático y numero de mapa donde se despliega

Indicador	No. Mapa
Anomalía de la temperatura media diaria.	Figura 2.45 A1B-OI, Figura 2.46 A2-OI, Figura 2.47 A1B-PV, Figura 2.48 A2-PV
Anomalía de la temperatura máxima diaria.	Figura 2.45 A1B-OI, Figura 2.46 A2-OI, Figura 2.47 A1B-PV, Figura 2.48 A2-PV

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Indicador	No. Mapa
Anomalía de la precipitación diaria.	Figura 2.45 A1B-OI, Figura 2.46 A2-OI, Figura 2.47 A1B-PV, Figura 2.48 A2-PV
Anomalía SPI6	Figura 2.45 A1B-OI, Figura 2.46 A2-OI, Figura 2.47 A1B-PV, Figura 2.48 A2-PV
Nivel del mar	Figura 2.49
Frecuencia de ciclones	Figura 2.49

Las **Figuras 2.45 y 2.46** indican, que para el ciclo OI y ambos escenarios de emisiones, las zonas altas sufrirán mayores incrementos en temperaturas, mientras que las zonas cercanas a las costas, donde se encuentra la agricultura de riego, sufrirán mayores decrementos en precipitación.

Como la mayor parte de la precipitación se presenta en el ciclo OI, es conveniente analizar los cambios en la precipitación para el ciclo PV. Las **Figuras 2.47 y 2.48** indican que las zonas más vulnerables por cambios en la precipitación son la parte costeras al norte y centro del estado de Sinaloa. Las zonas más vulnerables por incremento a la temperatura para el ciclo PV, es similar a la tendencia para el ciclo OI, las partes medias y altas. El estado presenta zonas vulnerables por incremento del nivel localizadas en varios distritos de riego que tienen zonas agrícolas cercanas a la zona costera (ver **Figura 2.49**). Las zonas vulnerables por efectos de ciclones es la parte centro sur del estado, tal como se presenta en la **Figura 2.49**.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

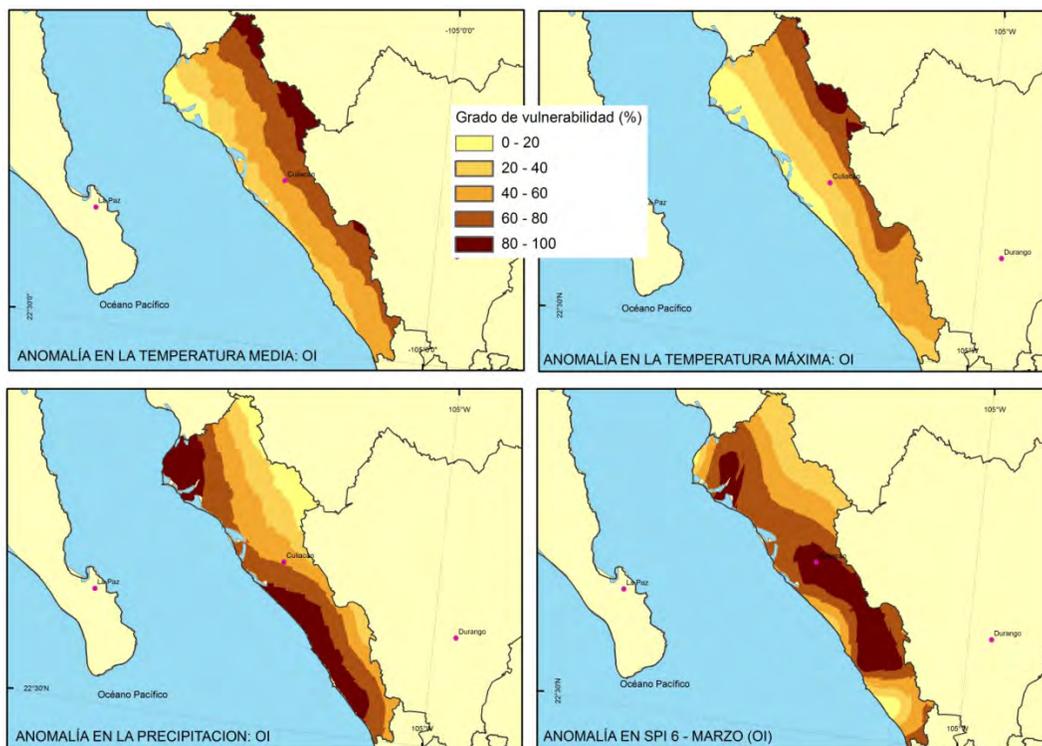


Figura 2.45 Indicadores de exposición para el escenario A1B ciclo OI

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

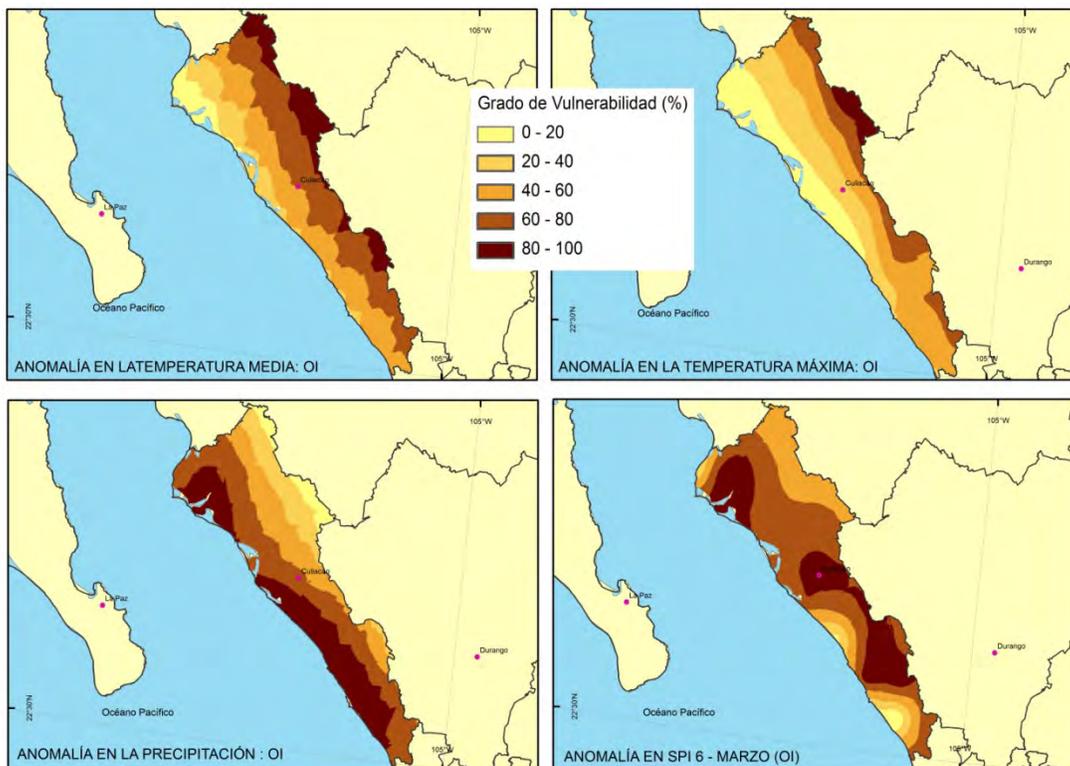


Figura 2.46 Indicadores de exposición para el escenario A2 ciclo OI

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

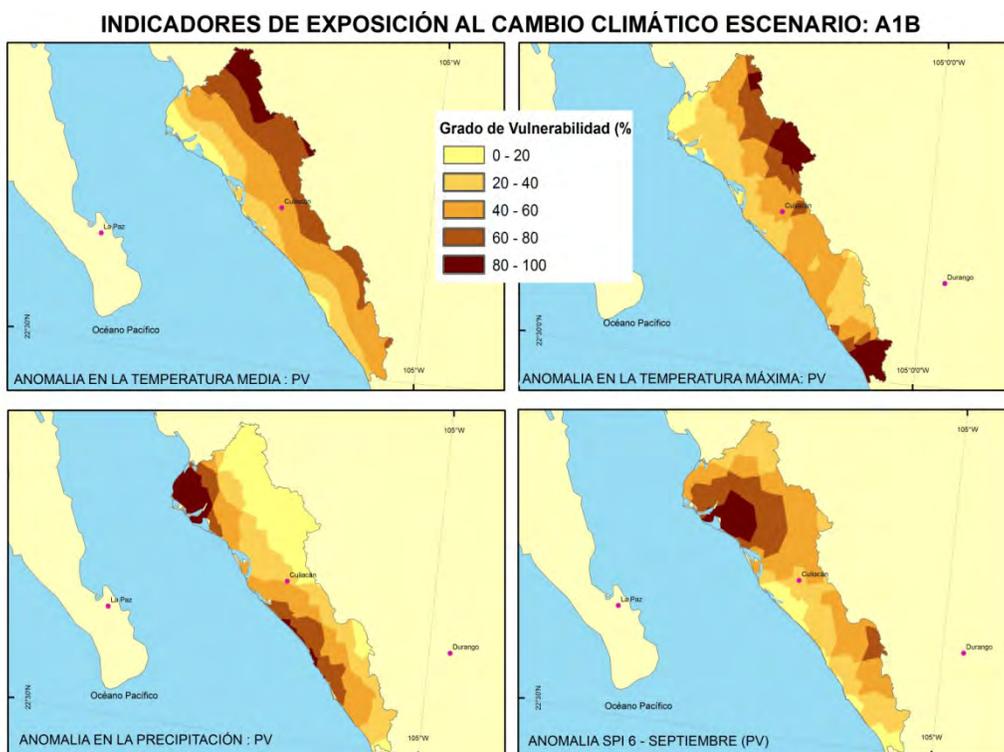


Figura 2.47 Indicadores de exposición para el escenario A1B ciclo PV

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

INDICADORES DE EXPOSICIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO ESCENARIO: A2

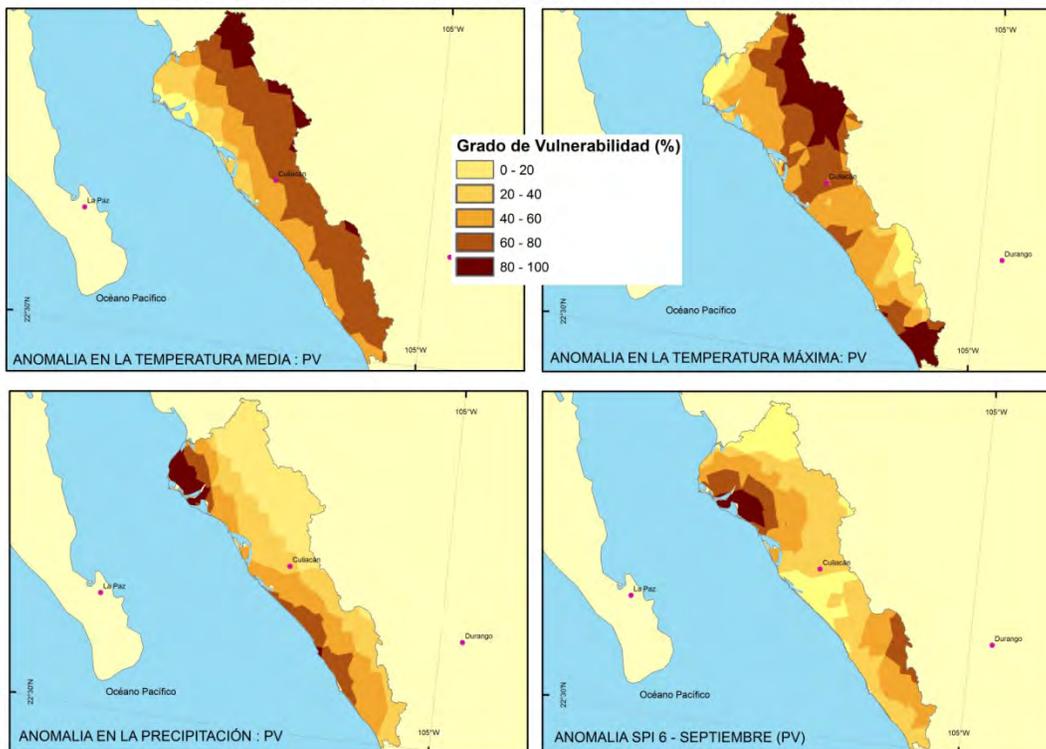


Figura 2.48 Indicadores de exposición para el escenario A2 ciclo PV

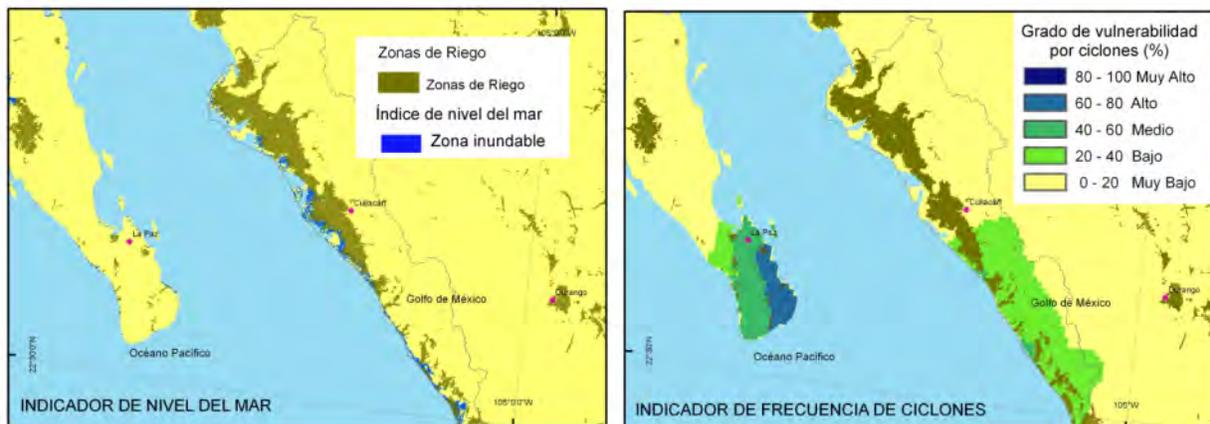


Figura 2.49 Indicador de nivel del mar y frecuencia de ciclones

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

A partir de la **Ecuación 2.4** y usando los pesos indicados en el **Cuadro 2.20** se estimaron los indicadores del componente de exposición de la vulnerabilidad al cambio climático para el estado de Sinaloa. La **Figura 2.50** presenta para el ciclo Otoño-Invierno y la **Figura 2.51** para el ciclo Primavera-Verano, para ambos escenarios de emisiones A1B y A2. Se observa que la zona más vulnerable por exposición al cambio climático para el ciclo OI es la parte centro-sur del estado. Mientras que para el ciclo PV, la zona más vulnerable es la parte costera del estado donde se desarrolla la agricultura de riego.

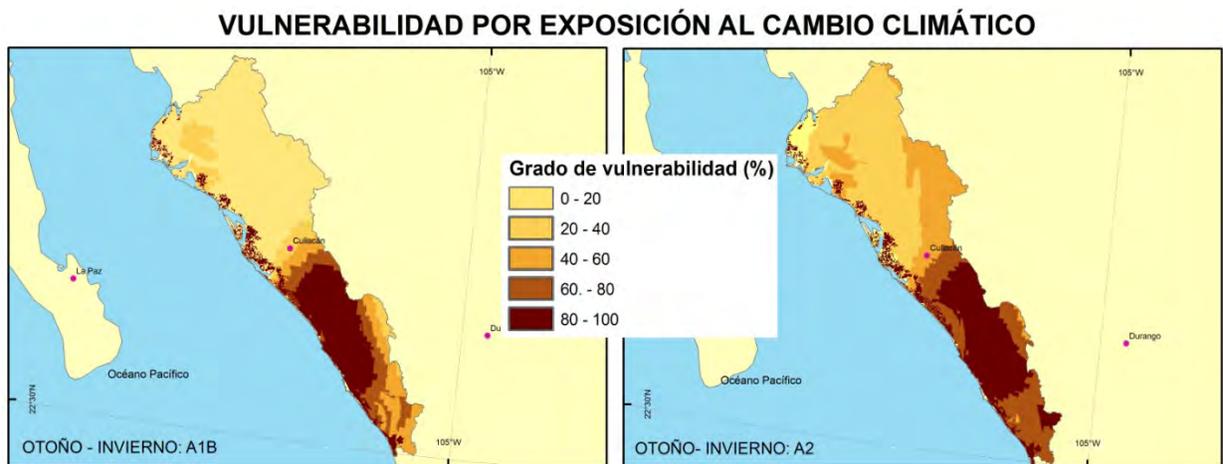


Figura 2.50 Vulnerabilidad por exposición al cambio climático para el ciclo Otoño-Invierno para el estado de Sinaloa.

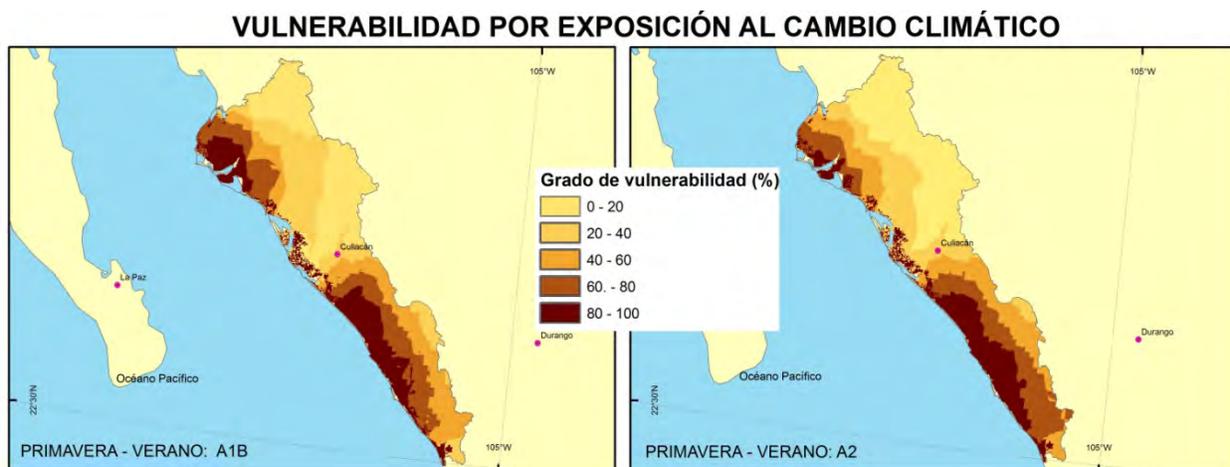


Figura 2.51 Vulnerabilidad por exposición al cambio climático para el ciclo Primavera-Verano para el estado de Sinaloa.

2.5.5.2. SENSIBILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

Para estimar la componente de sensibilidad de la vulnerabilidad de la agricultura en el estado de Sinaloa se usaron ocho indicadores que se muestran en el **Cuadro 2.24**, los primeros cuatro indicadores de sensibilidad se presentan la **Figura 2.52** y los otros cuatro en la **Figura 2.53**. El mapa global del componente de sensibilidad al cambio climático se presenta en la **Figura 2.54**.

Cuadro 2.24 Indicadores usados para estimar la vulnerabilidad por sensibilidad al cambio climático y número de mapa donde se despliega

Indicador	Mapa
Diversidad de cultivos	Figura 2.52
Tamaño parcela	Figura 2.52
Población rural	Figura 2.52
Uso de fertilizantes	Figura 2.52
Variabilidad en la precipitación	Figura 2.53
Variabilidad en el rendimiento	Figura 2.53
Evapotranspiración	Figura 2.53
Degradación de suelos y acuíferos	Figura 2.53

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

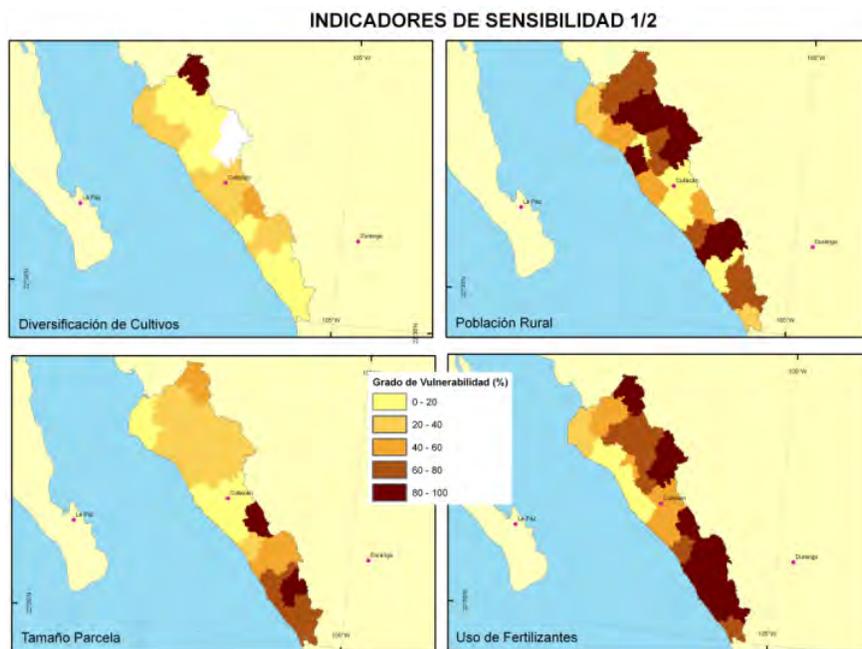


Figura 2.52 Representación espacial de los indicadores diversificación de cultivos, población rural, tamaño de parcela y uso de fertilizantes a nivel municipal que forman parte de los indicadores de sensibilidad al cambio climático

La vulnerabilidad por sensibilidad al cambio climático del estado de Sinaloa es muy variable dependiendo del indicador usado. La zona sur del estado presenta la mayor vulnerabilidad debido a un menor uso de fertilizantes, mayor fraccionamiento parcelario y variabilidad en el rendimiento. Sin embargo, la zona norte presenta mayor superficie degradada y mayor evapotranspiración.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

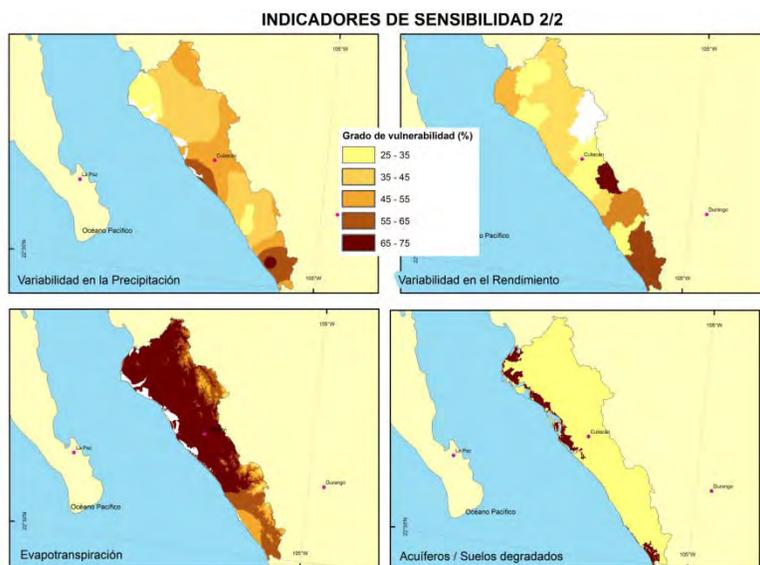


Figura 2.53 Representación espacial de los indicadores variabilidad en la precipitación y rendimiento, evapotranspiración y acuíferos/suelos degradados que forman parte de los indicadores de sensibilidad al cambio climático

A partir de la **Ecuación 2.4** y usando los pesos indicados en el **Cuadro 2.20** se estimaron los indicadores del componente de sensibilidad de la vulnerabilidad al cambio climático para el estado de Sinaloa, el mapa global de este componente se presenta en la **Figura 2.54**. Se observa que la zona sur del estado presenta mayor vulnerabilidad por sensibilidad al cambio climático.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

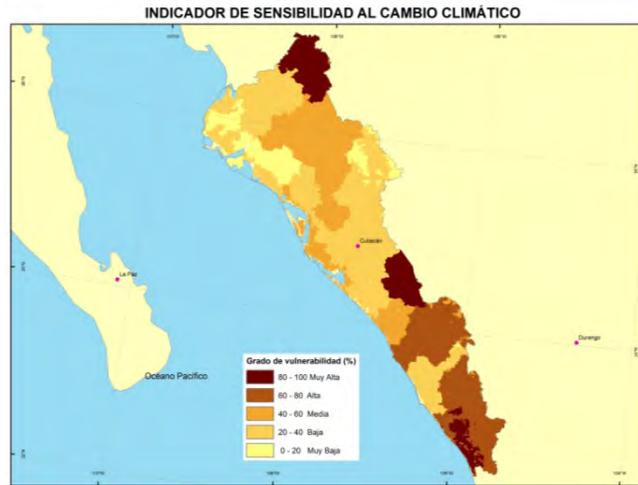


Figura 2.54 Índice global de sensibilidad para la vulnerabilidad de la agricultura de Sinaloa al cambio climático

2.5.5.3. CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Para estimar el componente de capacidad de adaptación al cambio climático de la vulnerabilidad de la agricultura en el estado de Sinaloa se usaron nueve indicadores que se muestran en el **Cuadro 2.25**, los primeros cinco indicadores de capacidad de adaptación se presentan en la **Figura 2.55** y los otros cuatro en la **Figura 2.56**. El mapa global del componente de capacidad de adaptación al cambio climático se presenta en la **Figura 2.57**.

Cuadro 2.25 Indicadores usados para estimar la vulnerabilidad por exposición al cambio climático y numero de mapa donde se despliega

Indicador	No. Mapa
Marginación	Figura 2.55
Analfabetismo	Figura 2.55
Cobertura de servicios	Figura 2.55
Dependientes	Figura 2.55
Acceso a centros urbanos	Figura 2.55

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Indicador	No. Mapa
Ingreso agrícola	Figura 2.56
Intensidad en el uso de la tierra	Figura 2.56
Mecanización agrícola	Figura 2.56
Cobertura de crédito/seguro	Figura 2.56

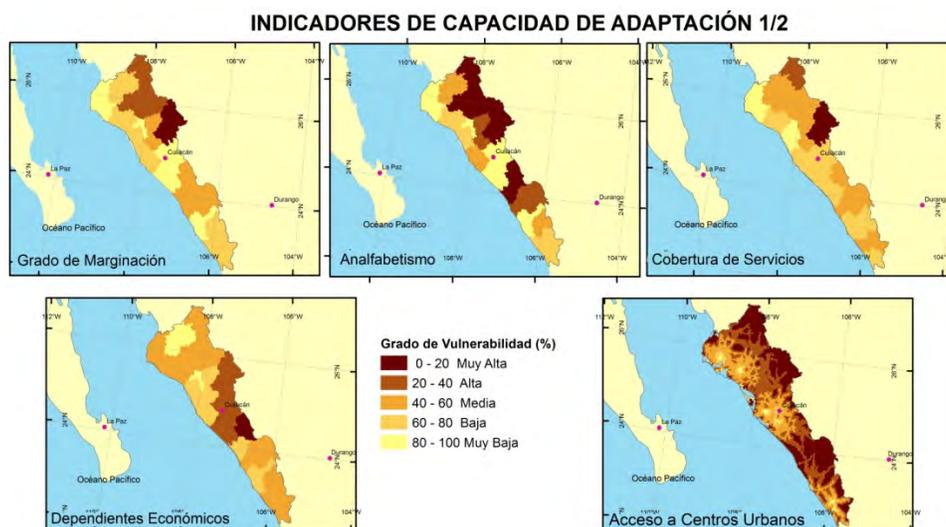


Figura 2.55 Representación espacial de los indicadores de grado de marginación, analfabetismo, cobertura de servicios, dependientes económicos y acceso a centros urbanos que forman parte de los indicadores de capacidad de adaptación al cambio climático

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

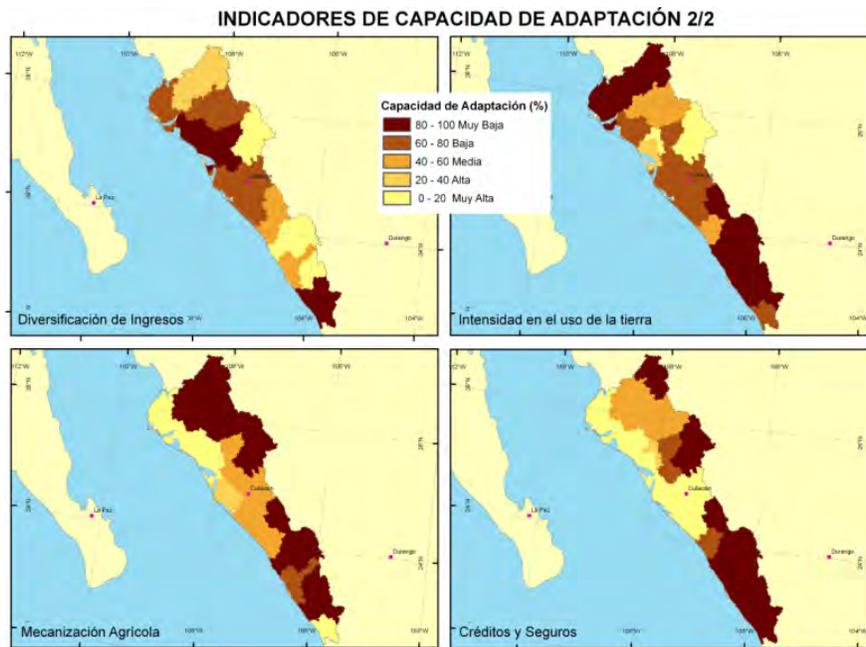


Figura 2.56 Representación espacial de los indicadores de diversificación de ingresos, intensidad en el uso de la tierra, mecanización agrícola y créditos y seguros que forman parte de los indicadores de capacidad de adaptación al cambio climático

A partir de la **Ecuación 2.4** y usando los pesos indicados en el **Cuadro 2.22** se estimaron los indicadores del componente de capacidad de adaptación de la vulnerabilidad al cambio climático para el estado de Sinaloa, el mapa global de este componente se presenta en la **Figura 2.57**. El estado de Sinaloa presenta una alta variación en sus condiciones socioeconómicas y tecnológicas. Las zonas más vulnerables por capacidad de adaptación al cambio climático son las zonas marginadas localizadas en las partes altas y lejanas de los centros urbanos.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

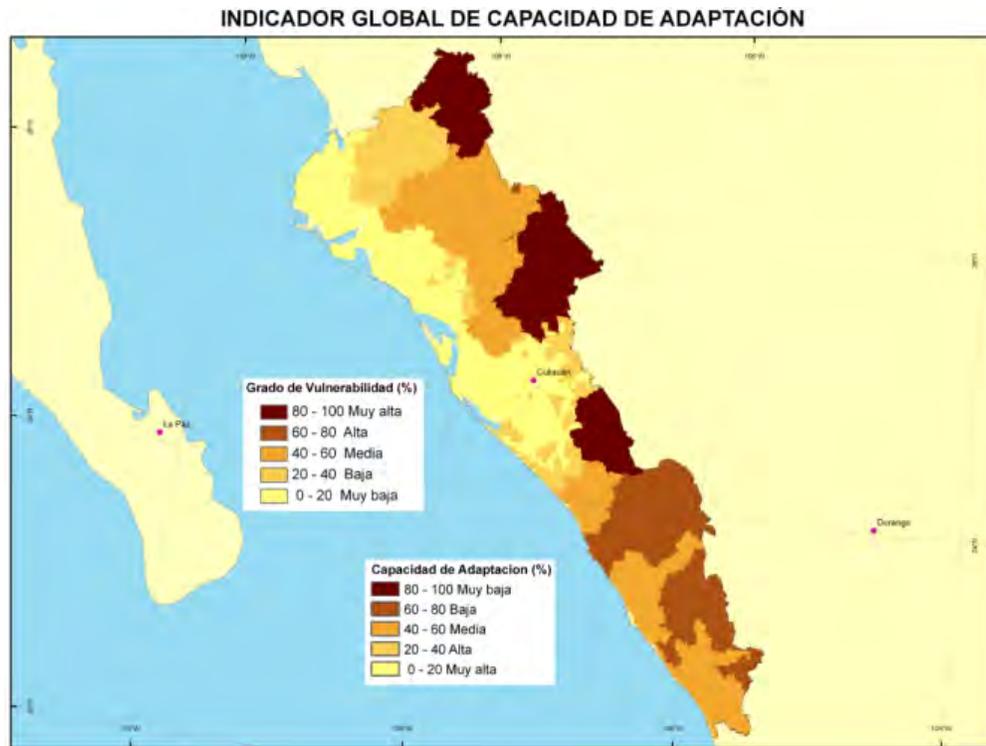


Figura 2.57 Variación espacial del componente de capacidad de adaptación al cambio climático para el estado de Sinaloa

2.5.5.4. VULNERABILIDAD GLOBAL DE LA AGRICULTURA DEL ESTADO DE SINALOA

La vulnerabilidad global (V) al cambio climático para el estado fue estimada con la Ecuación (2.9) que asume un peso P_i de $\frac{1}{3}$ para cada uno de los componentes de la vulnerabilidad. La capacidad de adaptación fue ajustada para invertirla de signo e indicar que a mayor capacidad de adaptación menor es la vulnerabilidad.

$$V = P_1 E + P_2 S + P_3 CA = \frac{E}{3} + \frac{S}{3} + \frac{CA}{3} \quad (2.9)$$

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

Se obtuvieron cuatro mapas (**Figuras 2.58** a la **2.61**) de vulnerabilidad al cambio climático para los dos ciclos agrícolas (OI y PV) y dos escenarios de emisiones (A1B y A2).

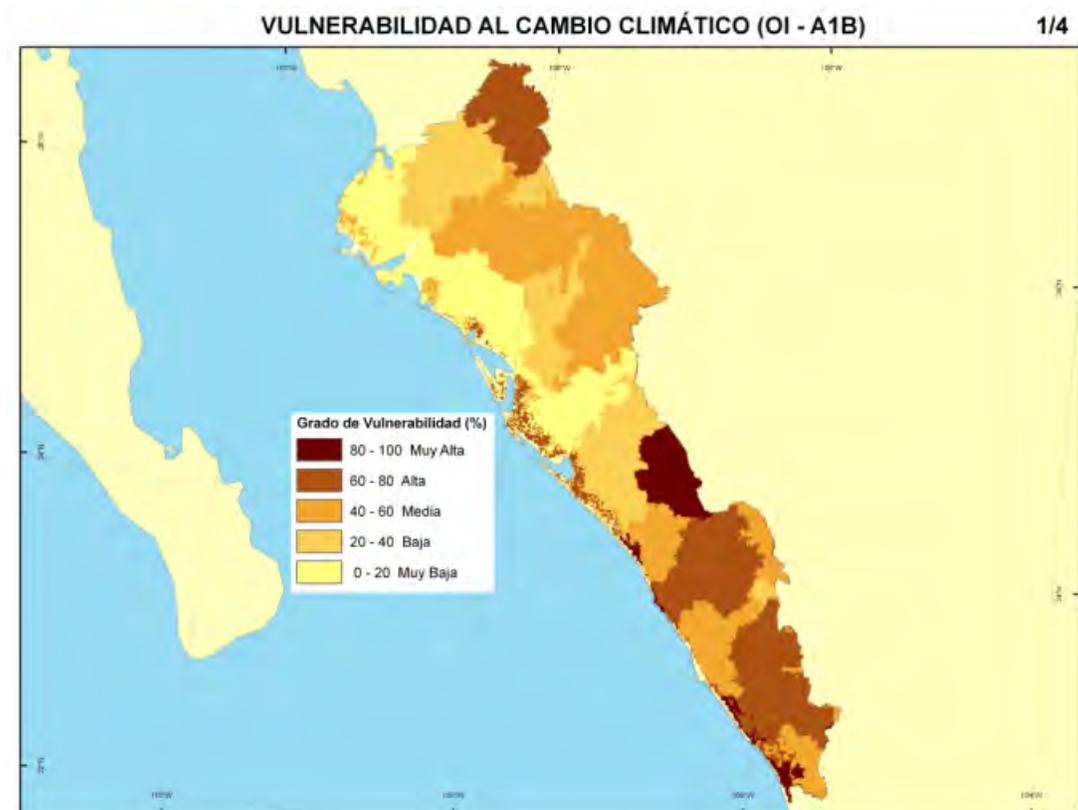


Figura 2.58 Vulnerabilidad global de la agricultura de Sinaloa al cambio climático para el ciclo OI y el escenario de emisiones A1B.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

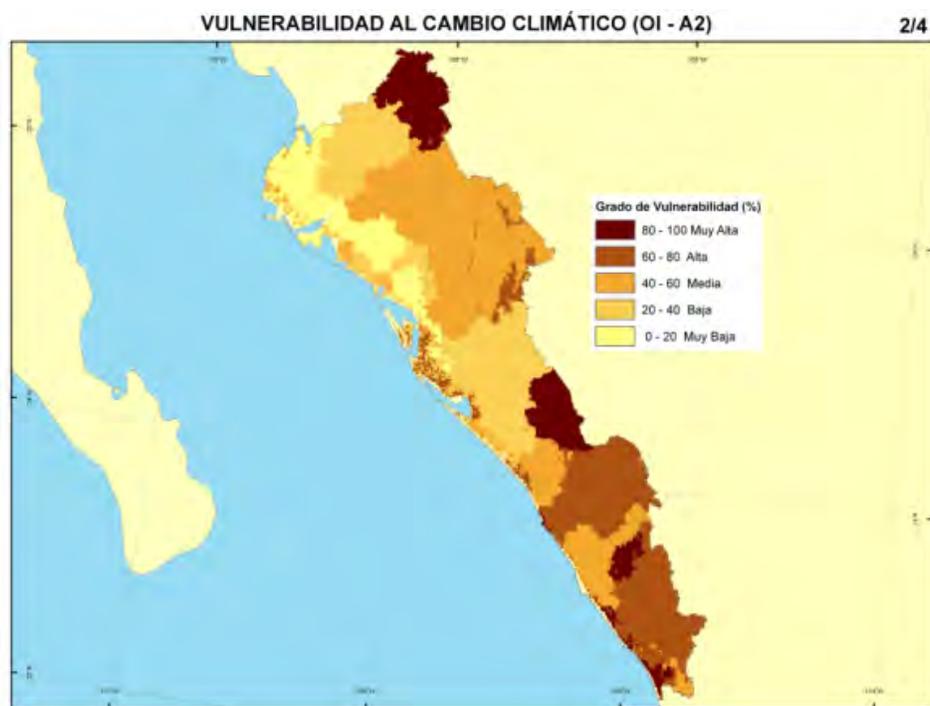


Figura 2.59 Vulnerabilidad global de la agricultura de Sinaloa al cambio climático para el ciclo OI y el escenario de emisiones A2.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO (PV - A1B)

3/4

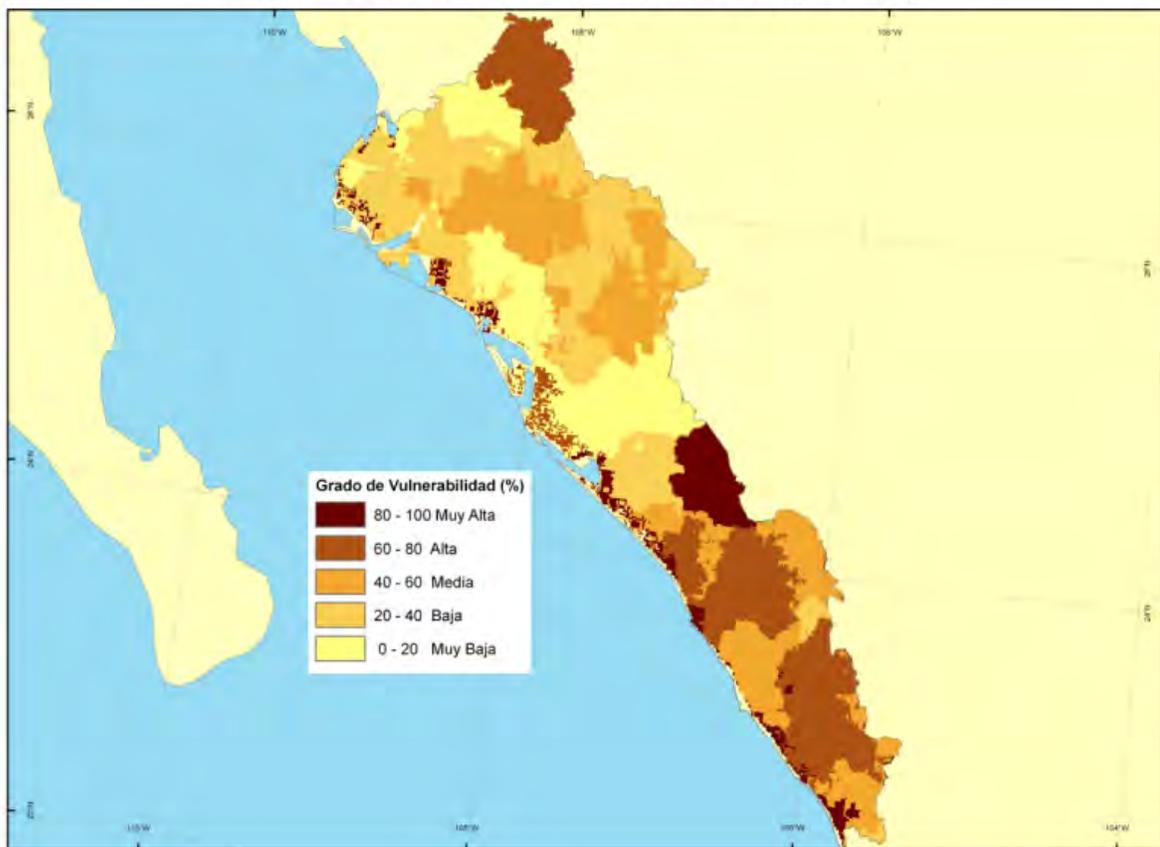


Figura 2.60 Vulnerabilidad global de la agricultura de Sinaloa al cambio climático para el ciclo PV y el escenario de emisiones A1B.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

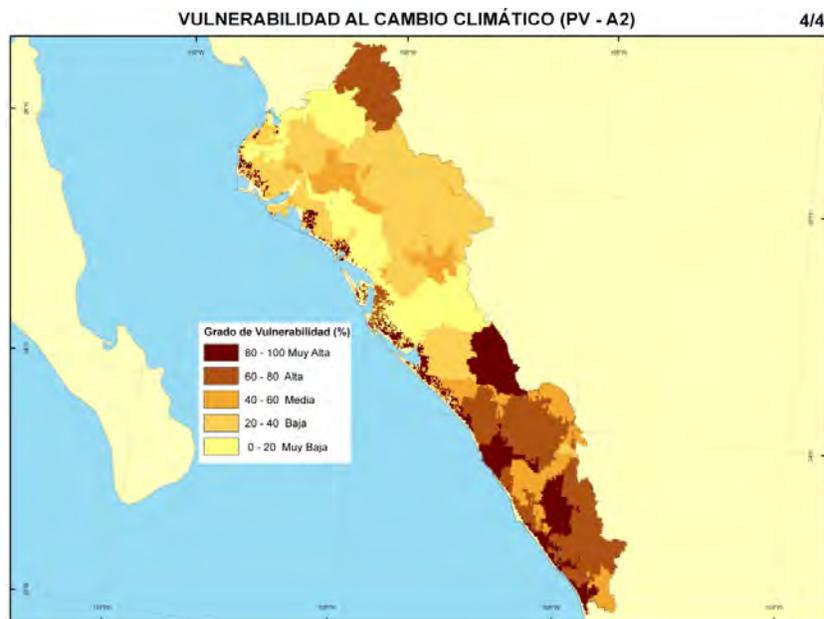


Figura 2.61 Vulnerabilidad global de la agricultura de Sinaloa al cambio climático para el ciclo PV y el escenario de emisiones A2.

Los resultados indican que las zonas más vulnerables al cambio climático para el ciclo OI son las partes altas del estado y la zona sur del estado para ambos escenarios de emisiones. Siendo el ciclo PV es ciclo agrícola más vulnerable por efectos del cambio climático.

2.6. LITERATURA CITADA

- Brohan, P., J.J. Kennedy, I. Harris, S.F.B. Tett and P.D. Jones. 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *J. Geophysical Research* 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548
- CONAGUA, 2009. Características de acuíferos de país: Datos vectoriales y base de datos. Comisión Nacional de Agua. México, D. F.
- CONAPO. 2005. Índices de marginación. Consejo Nacional de Población. Base de datos. Mexico, D.F.
- Cresis. 2010. Sea Level Rise Maps. Center for REmote Sensing of Ice Sheets. University of Kansas, USA. Disponible en línea, <http://www.cresis.ku.edu/data/sea-level-rise-maps>
- Environment Program for Southeast Asia (EEPSEA). Pp 26. Disponible en línea, <http://www.eepsea.org>.
- FAO. 1999. Cultivating Our Futures. Documento expositivo: El carácter multifuncional de la agricultura y la tierra. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Documento preparado para la Conferencia FAO/Países Bajos sobre el Carácter Multifuncional de la Agricultura y la Tierra. 12-16 de septiembre de 1999. Maastricht, Países Bajos.
- Gadgil, D. 1995. Climate Change and agriculture: An Indian perspective. *Current Science* 9:649-659.
- Gbetibouo, G. A. and C. Ringler. 2009. Mapping South African Farming Sector Vulnerability to Climate Change and Variability: A Subnational Assessment. IFPRI Discussion Paper 00885. International Food Policy Research Institute. Environment and Production Technology Division. Washington, D.C. 30 pp.
- Hodson, D.P., E. Martínez-Romero, J.W. White, J.D. Corbett, and M. Bänziger. 2002. Latin America Maize Research Atlas (v1.0). Mexico D.F.: CIMMYT. CD.
- INEGI. 1998. Datos vectoriales edafológicos 1:250,000. Aguascalientes, Ags.
- INEGI. 2009. Censo Agropecuario 2007, VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Estados Unidos Mexicanos. Aguascalientes, Ags.
- IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del IPCC. Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (eds).

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Ginebra. pp:104.
- Jones, P. D. 1994. Hemispheric surface air temperature variations: A re-analysis and an update to 1993, *J. Clim.*, 7, 1794–802.
- Lyengar, N.S. and P. Sudarshan. 1982. A Method of Classifying Regions from Multivariate Data. *Economic and Political Weekly. Special Article: 2048-52.*
- Loucks, D. P, y van Beek, E. 2005. *Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications. Studies and Reports in Hydrology. UNESCO Publ. 680 pp.*
- Magurran, A.E. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. Pp 192.*
- Montero, M. J., y J. L., Pérez. 2008. Regionalización de proyecciones climáticas en México de precipitación y temperatura en superficie usando el método REA para el siglo XXI. In: P. Martínez y A. Aguilar (eds). *Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor. pp: 11-21.*
- Nakicenovic, N. and R. Swart. (eds) 2000. *Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press. Cambridge, U.K. 612 pp.*
- Ojeda Bustamante, W., M. Iñiguez Covarrubias, J. M. González Camacho. 2010. Vulnerabilidad de la agricultura de riego de México ante el cambio climático. Capítulo 5 del libro “Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático”. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Pp. 115-142.
- Peduzzi, P.; H. Dao; and C. Herold. 2005. Mapping Disastrous Natural Hazards Using Global Datasets. *Natural Hazards. 35 (2). 265 - 289.*
- SAGARPA (SIAP), 2010. Avance mensual por cultivos por estado. México. <http://www.siap.gob.mx/>. Fecha de consulta: 26 de agosto de 2010.
- Seager, R., M. Ting, I. Held, Y. Kushnir, J. Lu, G. Vecchi, H. Huang, N. Harnik, A. Leetmaa, N. Lau, C. Li, J. Velez, N. Naik. 2007. Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. *Science 316: 1181-1184.*

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981
Informe Final

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2009. Información estadística agrícola con desagregación geográfica de acuerdo en nivel Distrito de Desarrollo Rural (DDR) (1999-2008) y nivel municipal (2003-2008). Disponible en línea en el portal del SIAP: <http://www.siap.gob.mx/>
- Trabucco, A., and Zomer, R.J. 2009. Global Aridity Index (Global-Aridity) and Global Potential Evapo-Transpiration (Global-PET): Geospatial Database. CGIAR Consortium for Spatial. Disponible en línea, <http://www.csi.cgiar.org>.
- Tubiello F. N., Donatelli, M., Rosenzweig, C. and Stockle, C. O. 2000. Effects of climate change and elevated CO₂ on cropping systems: model predictions at two Italian locations. *European Journal of Agronomy*, 13:179–189.
- Velasco, V. I. 2007. Zonificación agroclimática del estado de Sinaloa. Informe final de proyecto FOMIX. Clave TH-0713.6. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor.
- Vincent, K., 2004. Creating an index of Social vulnerability to climate change for Africa. Working paper 56. Norwich, U.K. Tydall Centre for Climate change Research, University of East Anglia.
- Yusuf A. A. and Francisco, H. A. 2009. Climate Change Vulnerability Mapping for Southeast Asia. Special and Technical Paper tp200901s1. Economy and

3. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA FISIOLÓGÍA DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS DEL ESTADO DE SINALOA

CONTENIDO

3.1. INTRODUCCIÓN.....	99
3.2. PRINCIPALES FACTORES QUE INCIDEN EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS	101
3.2.1. PROCESOS FISIOLÓGICOS	103
3.2.2. FACTORES AMBIENTALES.....	105
Radiación solar	105
Temperatura.....	106
Humedad relativa	109
3.3. FENOLOGÍA DE LOS CULTIVOS.....	109
Fenología y tiempo fisiológico	110
3.3.1. CULTIVO DE MAÍZ.....	110
Impacto de la temperatura en el desarrollo del maíz.....	110
Requerimientos hídricos	112
Etapas fenológicas del maíz	112
3.3.2. CULTIVO DE FRIJOL	113
Impacto de la temperatura en el desarrollo del cultivo de frijol	113
Requerimientos hídricos	114
Etapas fenológicas del cultivo de fríjol.....	114
3.3.3. CULTIVO DE SORGO	117
Impacto de la temperatura en el desarrollo del cultivo de sorgo.....	117
Requerimientos hídricos	117
Etapas fenológicas del cultivo de sorgo	118

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

3.3.4. CULTIVO DE PAPA 119

 Impacto de la temperatura en el desarrollo del cultivo de papa 119

 Requerimientos hídricos 120

 Etapas fenológicas del cultivo de papa..... 121

3.3.5. CULTIVO DE MANGO 123

 Importancia de la temperatura en el cultivo de mango..... 123

 Requerimientos hídricos 124

 Etapas fenológicas del cultivo de mango..... 125

3.4. FENOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO..... 126

3.5. IMPACTO DEL CLIMA EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS 129

LITERATURA CITADA..... 131

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 3.1 Niveles productivos y factores que definen el potencial productivo de un cultivo	101
Figura 3.2 Representación de la ley del mínimo de Liebig-Sprengel.	102
Figura 3.3 Variación simplificada de las tasas de fotosíntesis y respiración de los cultivos en función de la temperatura.	103
Figura 3.4 Fenología del cultivo de maíz en el norte de Sinaloa.....	113
Figura 3.5 Escala de desarrollo de una planta de frijol (CIAT 1983).	116
Figura 3.6 Fenología del frijol para una variedad típica de sinaloa.	117
Figura 3.7 Desarrollo fenológico del sorgo en el estado de Sinaloa	119
Figura 3.8 Desarrollo fenológico del cultivo de la papa para el norte de sinaloa	123
Figura 3.9 Etapas fenológicas del mango ‘kent’ en el norte de Sinaloa.....	126
Figura 3.10 Duración del ciclo fenológico de maíz en función de la fecha de siembra para cuatro periodos de interés, usando el escenario de emisiones a1b.	127
Figura 3.11 Duración del ciclo fenológico de frijol en función de la fecha de siembra para cuatro periodos de interés usando el escenario de emisiones A1B.....	127
Figura 3.12 Duración del ciclo fenológico de papa en función de la fecha de siembra para cuatro periodos de interés usando el escenario de emisiones a1b.....	128
Figura 3.13 Duración del ciclo fenológico de sorgo en función de la fecha de siembra para cuatro periodos de interés usando el escenario de emisiones A1B.....	128
Figura 3.14 Rendimiento de sorgo de temporal en función de la precipitación.....	129
Figura 3.15 Rendimiento de maíz de temporal en función de la precipitación	129
Figura 3.16 Rendimiento de sorgo de temporal en función de la temperatura media.	130
Figura 3.17 Rendimiento de maíz de temporal en función de la temperatura media... ..	130

CONTENIDO DE CUDROS

Cuadro 3.1 Producción potencial para jitomate (tomate rojo) bajo diferentes sistemas productivos.....102

Cuadro 3.2 Temperaturas de desarrollo de los principales cultivos hortícolas.....108

Cuadro 3.3 Rango óptimo de humedad relativa para cultivos hortícolas.....109

Cuadro 3.4 Caracterización fenológica del cultivo de maíz de acuerdo a ritchie *et al.* (1992).....113

3.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 10,000 años, que corresponde al presente período interglaciar, el clima terráqueo ha permanecido relativamente estable. A lo largo de dicho período, la agricultura ha venido evolucionando y en muchos casos ha logrado adaptarse a las condiciones climáticas locales y a su variabilidad natural. Sin embargo en la actualidad, la sociedad, y en particular el sector agrícola, enfrenta cambios potencialmente mucho más rápidos en las condiciones climáticas futuras debido a actividades humanas que afectan tanto la composición de la atmósfera como el balance de la radiación solar. Este fenómeno de calentamiento global de la superficie terrestre es una de las grandes amenazas del presente siglo.

Existen evidencias de que como parte del cambio climático, los flujos térmicos de la atmósfera se están modificando debido a un incremento en la acumulación atmosférica de varios gases de efecto invernadero, cuyo origen es antrópico (IPCC, 2007). Así, las proyecciones futuras indican un incremento global significativo tanto de la temperatura como del bióxido de carbono.

Por lo que respecta a México, la mayoría de los modelos proyecta un decremento de la precipitación en la mayor parte de su territorio; ello, aunque se espera un incremento de esta variable en otras regiones del mundo. Seager *et al.* (2007), han mostrado que el noroeste del país se encuentra en un proceso de alta aridización debido a una baja de la precipitación y a un alza de la evaporación.

Siendo la temperatura el factor que actúa principalmente sobre el desarrollo de los cultivos, un incremento en la temperatura ambiental puede afectar su tasa de crecimiento, limitar su actividad fotosintética y aumentar su respiración (Ellis *et al.*, 1990; Lawlor, 2005). O sea que el acortamiento del ciclo puede reducir el rendimiento potencial de cultivos, al reducirse el periodo de intercepción de la radiación, que es precisamente uno de los principales determinantes de la acumulación de materia seca y rendimiento (Monteith, 1981).

Se ha reportado un incremento de las demandas hídricas de los cultivos por efecto del cambio climático (Rodríguez *et al.*, 2007). Allen *et al.* (1991), muestran que los requerimientos de riego se derivan del efecto de la disminución de la precipitación, del impacto del incremento de la temperatura en la ET_0 y del acortamiento del ciclo fenológico. Sin embargo, la mayoría de los estudios no consideran esta última variable. Allen *et al.* (1991), predijeron una reducción del ciclo fenológico del maíz en el rango de 0 a 80 días, y de 36 a 48 en el del trigo, en las grandes planicies de los Estados Unidos. Para la alfalfa, Allen *et al.* (1991) reportaron una iniciación temprana del crecimiento y un retraso de su dormancia, lo cual resultará en un mayor número de cortes y en un mayor consumo de agua por año agrícola.

Pese a su importancia en el desarrollo del país, los sistemas productivos agrícolas siguen degradándose a una intensidad alarmante. Se ha documentado que la mayoría de los servicios de los agrosistemas no son sustentables, por lo que las políticas de erradicación de la pobreza en las zonas rurales no serán exitosas si dichos sistemas continúan siendo degradados. Aunque la pobreza puede ser un factor importante en el uso insostenible de los recursos, los factores decisivos en la degradación de los agrosistemas son el cambio en el uso del suelo, la variabilidad climática, las especies invasivas, la sobreexplotación y la contaminación de los

recursos naturales, y los defectos en la gobernabilidad y en el mercado. A lo anterior se ha agregado un nuevo factor, el cambio climático, que presenta un reto para el sector agrícola, ya que sus impactos potenciales incluyen una intensificación del ciclo hidrológico, especialmente en las zonas costeras, las áridas y las semiáridas.

Cualquier cambio en los patrones climáticos actuales afectará el desarrollo y los procesos fisiológicos de los cultivos. Se ha afirmado que los impactos del cambio climático deben estudiarse localmente, dada la variabilidad espacial y temporal de sus proyecciones (Rosenzweig y Daniel, 1989; Goyal, 2004). Actualmente no existen estudios que cuantifiquen para México, y en particular para el estado de Sinaloa, los impactos del cambio climático en los procesos fisiológicos de los cultivos.

México ha realizado principalmente acciones de mitigación sobre el cambio climático, con la puesta en marcha de convenios y tratados internacionales de los cuales es signatario, como ejemplos: el Convenio Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCC) y el Protocolo de Kioto, éste último entró en vigor en el año 2005. México ha presentado tres comunicaciones nacionales ante la CMCC, la tercera fue presentada en el año 2006 (SEMARNAT, 2006), dichas comunicaciones contienen información sobre las acciones de México en materia de cambio climático. Para facilitar la coordinación interinstitucional, el 25 de abril de 2005 se creó la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), que es la autoridad nacional para el desarrollo e implantación de políticas y programas sobre cambio climático. Dicha comisión presentó en mayo de 2007 la estrategia nacional de cambio climático (ENACC) que contempla como líneas prioritarias de investigación la evaluación de efectos del cambio climático en la agricultura y posibilidades de reconversión productiva (CICC, 2007).

El 28 de agosto 2009 la CICC, con fundamento en la ENACC y en el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2007–2012, se publicó el Programa Especial de Cambio Climático (PECC). El capítulo primero del PECC diseña y ordena las políticas públicas para la adaptación estratégica ante el cambio climático.

El sistema 2 del PECC se relaciona con la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. En el marco del PECC, se reconoce que el cambio climático es un problema de seguridad estratégica, nacional y mundial, que hace urgente desarrollar capacidades de adaptación ante sus impactos adversos; que es preciso reconocer y actuar de manera preventiva para reducir la vulnerabilidad de los sectores y áreas con posibles afectaciones e iniciar proyectos para el desarrollo de capacidades nacionales y locales de respuesta y adaptación que contribuyan a la producción de alimentos suficientes; todo ello en apoyo a la Estrategia Nacional de Cambio Climático.

En esta tendencia, diversos estados han iniciado la formulación de sus planes estatales de cambio climático. El estado de Veracruz ha terminado su Plan Estatal de Cambio Climático. Nuevo León está por publicar su plan. En el presente año diversos estados han iniciado el proceso para elaborar sus planes estatales de cambio climático en el marco del fondo CONACYT-SEMARNAT o de financiamiento de organismos internacionales. Dichos planes contienen un apartado muchas veces limitado sobre el sector agrícola.

La comunidad científica mundial reconoce que el cambio climático es un hecho incontrovertible, con impactos directos sobre las actividades agrícolas con efectos potenciales negativos y

algunos positivos sobre los sistemas producto agrícolas, asociados a un incremento en la variabilidad espacial y temporal de las variables meteorológicas, una mayor incidencia a factores que provocan estrés de tipo abiótico y biótico sobre los agrosistemas, como sequías, lluvias torrenciales y ondas de calor, y la propagación de plagas y enfermedades. Frente a esta situación, el estado de Sinaloa requiere definir estrategias y políticas de adaptación de los principales sistemas agrícolas del estado. Para esto primeramente se requiere evaluar el impacto esperado del cambio climático en las actividades agrícolas, estimar la vulnerabilidad de los principales sistemas agrícolas y proponer acciones de adaptación y mitigación.

3.2. PRINCIPALES FACTORES QUE INCIDEN EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS

Los factores ambientales más importantes que definen la producción de un cultivo son la radiación solar, la temperatura, y el bióxido de carbono. Estos tres elementos junto con las características del cultivo (fisiología, fenología, arquitectura y genotipo) son lo que definen el máximo potencial productivo de una zona agrícola (**Figura 3.1**).

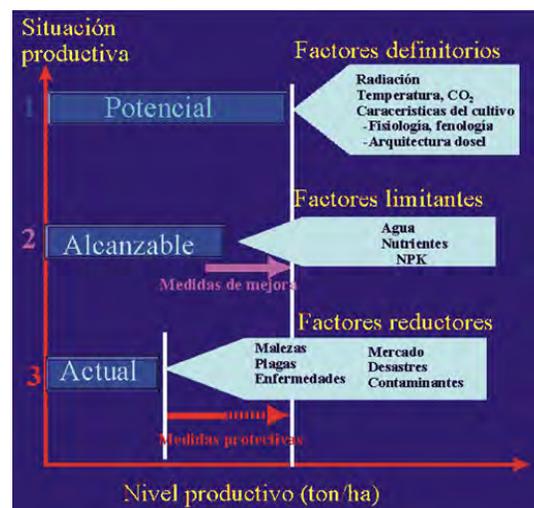


Figura 3.1 Niveles productivos y factores que definen el potencial productivo de un cultivo

El siguiente nivel productivo lo definen los factores limitantes agua y nutrientes. Mientras que el primer nivel que define al estado actual productivo lo definen los factores reductores asociados con las malezas, plagas, enfermedades, mercado, desastres naturales y contaminación del ambiente donde se desarrollan los cultivos.

Estudiar el impacto de los factores ambientales en un lugar está relacionado con estudiar los factores que restringen su desarrollo y productividad; para lo cual es necesario revisar la ley del mínimo, formulada independientemente por los científicos Liebig y Sprengel (Van Der *et al.*, 1999), que establece que el rendimiento de un cultivo está delimitado por el elemento o factor restrictivo, sin importar que los demás estén en plenitud. **La Figura 3.2** es una representación

de la ley del mínimo, pueden estar todos los factores en condiciones óptimas pero un factor puede ser el que limite el desarrollo y productividad de un cultivo, el factor limitante es la radiación solar (radiación fotosintéticamente activa RFA o PAR en inglés). Los cultivos no se adaptan a las condiciones medias de sus hábitats, sino a las condiciones mínimas para el mantenimiento de la vida.

El crecimiento está limitado no tanto por la abundancia de cada uno de los factores necesarios, sino por la disponibilidad mínima de cualquiera de ellos. En la agricultura de temporal el elemento mínimo es la lluvia en la cantidad y distribución requerida por los cultivos.

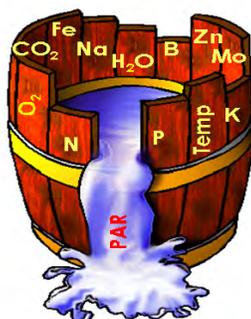


Figura 3.2 Representación de la ley del mínimo de Liebig-Sprengel.

Un ejemplo de los niveles productivos que se pueden obtener con un cultivo lo presenta el jitomate (tomate rojo), tal como se presenta en el **Cuadro 3.1**. Para condiciones de temporal el rendimiento varía de 10-20 t·ha⁻¹ mientras que para riego es de 20-60 t·ha⁻¹. El riego permite incrementar significativamente la producción agrícola. El uso de invernaderos permite duplicar la producción alcanzable a cielo abierto. Con un mayor grado de sofisticación en el invernadero para controlar mejor las variables ambientales y el suministro de nutrientes, es posible tener producciones por arriba de 50 t·ha⁻¹.

Cuadro 3.1 Producción potencial para jitomate (tomate rojo) bajo diferentes sistemas productivos.

Tecnología	País	Producción (t·ha ⁻¹)
Campo abierto	México	1-6
	Francia	14
	Israel	17
Invernaderos sin calefacción	México	15-20
	España	25
	Francia	24
	Italia	23
	Italia (con recirculación de solución)	33
Invernaderos controlados y cultivo sin suelo	Francia	39
	Holanda	45
	Holanda (con recirculación)	66

3.2.1. PROCESOS FISIOLÓGICOS

Es un hecho que la agricultura será afectada por el cambio climático ya que es una actividad productiva de alta sensibilidad ambiental. Un incremento en la temperatura incrementará la tasa de desarrollo de los cultivos y su demanda hídrica. Aunque cada especie responde fisiológica y diferencialmente de manera diferente a los cambios ambientales, existe un intervalo óptimo por especie y etapa fenológica, para las variables ambientales como: temperatura, humedad relativa, radiación solar y dióxido de carbono.

Estos rangos están relacionados con las tasas de actividad a la que se realizan los procesos fisiológicos de la planta como transpiración, fotosíntesis, respiración y fotoperiodo. Durante el proceso de fotosíntesis se combina el CO_2 con el agua para producir carbohidratos en presencia de luz visible. La energía almacenada en los compuestos formados durante la fotosíntesis es utilizada en los procesos fisiológicos de la planta por medio de la respiración. Ambos procesos presentan cambios en su tasa de actividad en función de los cambios en las variables ambientales como radiación solar y temperatura. Durante las horas con luz, ambos procesos se realizan simultáneamente, resultando en general un balance positivo: más fotosíntesis que respiración, mientras que en las horas de oscuridad, el balance se invierte. Varios cultivos presentan un mayor estrés térmico a temperaturas mayores de $30\text{ }^\circ\text{C}$, propiciando una mayor tasa de respiración con una reducción en la fotosíntesis, que se traduce en una disminución en la asimilación de CO_2 , tal como se muestra en la **Figura 3.3**. Un incremento en la temperatura también puede propiciar un incremento en el déficit de presión de vapor que induce una reducción en la transpiración e impide el intercambio gaseoso por el cierre de estomas. El impacto del cambio climático en la producción agrícola está relacionado con los cambios esperados en dichas variables climáticas en el espacio y en el tiempo (Ojeda *et al.*, 2008).

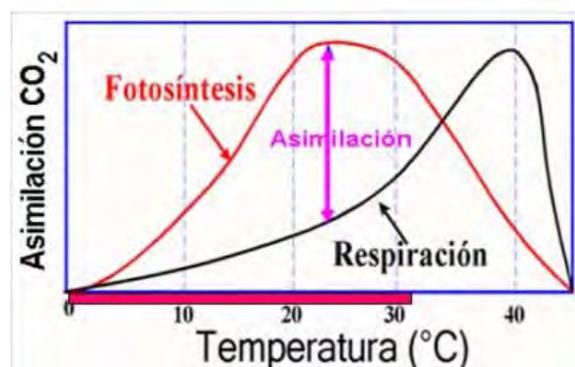


Figura 3.3 Variación simplificada de las tasas de fotosíntesis y respiración de los cultivos en función de la temperatura.

El balance de la concentración de CO_2 presente en la atmósfera depende de los procesos que lo generan y lo consumen. La concentración actual promedio de CO_2 en la atmósfera es del orden de 365 ppmv (Tubiello *et al.*, 2000). El dióxido de carbono (CO_2) presente en la atmósfera tiene efectos benéficos directos para los cultivos. El intervalo óptimo de la concentración de CO_2 para los cultivos hortícolas se ha establecido del orden de 700-1000 ppmv, por lo que los cultivos responden a la fertilización con CO_2 , también llamada fertilización carbónica. De hecho

durante el periodo de mayor radiación, las plantas bajo invernadero consumen grandes cantidades de CO₂ y los niveles caen por debajo de la concentración ambiental externa. Durante el día la planta realiza los procesos de fotosíntesis (en la que consume CO₂) y respiración (en la que produce CO₂); pero el proceso de fotosíntesis es más intenso que el de respiración.

Varios investigadores han pronosticado un impacto positivo en la agricultura como producto del incremento en la concentración de CO₂, principalmente a través del incremento en la tasa de fotosíntesis y en la eficiencia en el uso del agua (Rosenberg, 1981; Cure y Acock, 1986).

Las plantas C₃ como algodón, arroz, trigo, soya, girasol, papa y la mayoría de las leguminosas responden mejor al incremento de CO₂ que las plantas C₄, como maíz, sorgo, caña de azúcar, las halófitas y muchos forrajes. Sin embargo, las plantas C₄ responden mejor que las C₃ a un incremento en la temperatura, requiriendo menos agua por unidad de carbono asimilado (Young y Long, 2000). Un incremento en las concentraciones de CO₂ también puede disminuir el agua transpirada al reducir el tamaño de la apertura estomática (Adams *et al.*, 1998), siempre y cuando no se encuentre bajo un estrés térmico.

Existen resultados contrastantes sobre el beneficio real del incremento en la productividad de los cultivos por efecto de un incremento en la concentración de CO₂. Dicho efecto benéfico del CO₂ puede ser nulificado por el déficit de otros insumos como agua o nutrientes, o por el incremento en el estrés térmico por arriba de las temperaturas óptimas de los cultivos. Varios factores del sistema planta-ambiente pueden actuar en forma sinérgica o antagónica para determinar la producción de los cultivos. Se requieren realizar experimentos para clarificar la compleja interacción genotipo-ambiente con la productividad de los cultivos (Lawlor, 2005). Existe un consenso que el impacto del cambio climático en los cultivos será diferencial, dependiendo de los cambios esperados en las variables ambientales y en las acciones de adaptación que se implanten (Adams *et al.*, 1998).

La zona de riego de Sinaloa se desarrolla en las partes áridas y semiáridas del estado, los periodos calientes serán más calientes, por lo que las plantas sufrirán un mayor estrés térmico debido al incremento esperado en las temperaturas con una correspondiente disminución en sus rendimientos. El calentamiento global será también detrimental para aquellas especies que requieran acumulación de horas frío como el trigo para activar la etapa de floración, llamada vernalización (Lawlor, 2005). Para mayores altitudes en el estado, la agricultura será beneficiada con ambientes más propicios para los cultivos que se traducirán en mayor producción, incremento en la superficie cultivada y en una ampliación del periodo potencial de desarrollo de los cultivos.

Además de las condiciones de luz o luminosidad y CO₂, la fotosíntesis requiere de agua. El CO₂ entra a las hojas a través de los estomas, pero al mismo tiempo, de la hoja sale vapor de agua, dado que su interior está saturado de humedad, mientras que en el exterior la humedad es mucho menor. Esto implica que la fotosíntesis es acompañada por un proceso de transpiración, que depende del déficit de presión de vapor de la atmósfera (y regulación de la temperatura en la planta), es decir, de la diferencia de la presión de vapor entre el interior de la hoja y el exterior. La tasa general de transpiración depende de la superficie foliar, así como de la naturaleza de las hojas, y su densidad, ya que en un suelo cubierto de vegetación se crea una capa de aire húmedo que reduce el déficit de presión de vapor cerca del suelo, y con ello

se disminuye la evaporación del suelo como de la transpiración de la parte inferior de las plantas.

Así, ocurren simultáneamente dos fenómenos complementarios: evaporación del suelo y transpiración de las plantas, ambos considerados en forma conjunta, forman la evapotranspiración, fenómeno físico-biológico que determina y regula la fisiología vegetal.

Si el agua en la planta es insuficiente para satisfacer las necesidades transpirativas dadas por el déficit de presión de vapor, los estomas se cierran parcial o totalmente, y la transpiración se reduce, pero esto también impide la entrada de CO₂, y por tanto, se reduce también la fotosíntesis.

Dado que en general, la luz es abundante y no restringida, la producción de biomasa vegetal depende más de que haya suficiente humedad para mantener los estomas abiertos; de aquí que la vegetación exuberante y con altos rendimientos se tenga más en regiones húmedas, ya sea en forma natural o mediante el riego (Allen *et al.*, 1991).

De todo esto, se deduce que la evapotranspiración es el fenómeno que determina el desarrollo y producción vegetal. En este sentido, cada planta o cultivo, de acuerdo a sus características (herbáceo o leñoso, estacional o perenne, etc.), tiene asociada una evapotranspiración a lo largo de su ciclo fenológico, que depende de su fenología y desarrollo temporal.

La evapotranspiración potencial (ET_p) es la cantidad de agua que es necesario suministrar sin restricciones, bajo condiciones ideales de cobertura y crecimiento, para tener un rendimiento o un desarrollo vegetativo cercano al óptimo; es un concepto teórico cuya complejidad depende de cuáles y cuántos factores se consideren en su estimación. En consecuencia, ET_p no es equivalente al máximo de agua que la vegetación o cultivo pueden consumir, dado que agua en exceso estimula la producción de auxinas.

3.2.2. FACTORES AMBIENTALES

A continuación se presentan los principales elementos del clima relacionados con la producción de los cultivos.

RADIACIÓN SOLAR

El principal factor ambiental que define la producción agrícola es la cantidad de energía solar que incide en un lugar. Las plantas utilizan la luz como fuente de energía para transformar el CO₂ en compuestos orgánicos indispensables para la vida. Proveniente del sol, a la tierra llega la radiación y la luz visible correspondiente a longitudes de onda que van de 400-700 nanómetros (RFA). La luz se, refleja, absorbe o trasmite a través de los objetos. Las hojas de las plantas reflejan de un 6-12 % de la RFA, un 80 % de infrarroja y más o menos 3 % de ultravioleta. El color verde de las plantas se debe a que absorben principalmente luz violeta, azul y roja, reflejando la verde. La cantidad de luz que las plantas absorben y reflejan depende de su constitución (estructura y grosor). Normalmente dejan pasar de un 10-20 % de la radiación solar que reciben (Lomeli y Tamayo, 2010).

El total de radiación diaria que llega a la superficie de la atmósfera es cercana a $30 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ (constante solar), sin embargo disminuye por atenuación atmosférica al llegar a la superficie terrestre teniendo valores de $15\text{-}25 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ para días soleados y de $5\text{-}15 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ para días nublados y lluviosos, dependiendo de la localidad y día del año.

En general, más allá de sus diferencias genéticas, las plantas que crecen a la sombra son altas pero delgadas, pálidas, más débiles, con poco desarrollo radicular; la floración y fructificación, por ende, son menores en cantidad y calidad. Las mismas plantas, en un ambiente más soleado y luminoso presentan características opuestas. En las plantas que crecen a la sombra abundan las auxinas, hormonas que favorecen el crecimiento longitudinal; para estas hormonas la luz es un antídoto, y por tanto, las diferencias entre sombra y sol obedecen a aspectos hormonales (Papadakis, 1980).

Así entonces, la alternancia de días luminosos y soleados con noches frías reduce la producción de auxinas, mientras que las noches cálidas la favorecen, y con ello reducen sensiblemente la producción de granos, frutos o raíces.

En las zonas tropicales con noches cálidas, cultivos como el maíz, arroz, trigo y similares, crecen mucho pero producen poco; su rendimiento es mejor en la estación seca que tiene noches frescas.

El fotoperiodo (duración las horas con luz durante el día) también influye en el desarrollo de los cultivos. Las plantas criófilas son de días largos, ya que la floración y producción se incrementan si aumenta la longitud del día; esto ocurre en los veranos en latitudes medias y altas del Hemisferio Norte, donde el desarrollo y floración de las plantas de invierno se estimula por el fotoperiodo; también, si un cultivo de verano se siembra tardíamente, el acortamiento progresivo de la longitud de los días, estimula la floración y producción.

Las plantas no criófilas son de latitudes bajas a medias en donde no hay mucha variación del fotoperiodo. No obstante, algunos cultivos son sensibles a las condiciones de luminosidad y requieren condiciones de sombra para un desarrollo óptimo, como es el caso del cafeto y algunas variedades de tabaco.

TEMPERATURA

Las plantas no son capaces de mantener su temperatura constante por lo que los cambios de temperatura ambiental influyen sobre su crecimiento y desarrollo, pero esto no significa que su temperatura sea igual que la del ambiente, puede haber diferencias. Sin embargo, variaciones en la temperatura ambiental causa cambio en la temperatura de los cultivos. Las variaciones de la temperatura ambiental se clasifican como periódicas, para un periodo de 24 h (día/noche), y estacionales dada por el movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol. Existen también variaciones fluctuantes previsibles como la variación de temperatura debido a cambios en la nubosidad, las variaciones dependientes de la posición de la hoja en la planta. Las hojas sombreadas tendrán menor temperatura que las expuestas al sol. La temperatura de la planta también depende de la velocidad del viento, de la altura y forma de la hoja. Por otra parte, la temperatura de la parte subterránea de la planta (raíz) no es igual a la temperatura de la parte aérea ya que los cambios de la temperatura externa llegan al suelo con retardo. El régimen

térmico del cultivo es complejo ya que se dan variaciones de temperatura entre y dentro de plantas.

Temperaturas bajas extremas tienen los siguientes efectos negativos en los cultivos:

- Retraso en el desarrollo de los órganos de la planta en su tasa de elongación o expansión, que disminuye la superficie responsable de los procesos fisiológicos y en consecuencia el rendimiento potencial del cultivo.
- Disminución de la absorción de agua y nutrientes debido a un aumento de la viscosidad del agua, aumento de la resistencia del tejido de la planta por la disminución de permeabilidad de la membrana celular, reducción de la absorción y acumulación activa de iones y disminución del crecimiento de la raíz.
- Envejecimiento precoz del tejido fotosintético por necrosis celular.

Altas temperaturas tienen los siguientes efectos detrimentales en los cultivos:

- Menor firmeza y coloración irregular del fruto.
- Cierre potencial de los estomas por alta demanda evapotranspirativa ambiental que genera condiciones de estrés hídrico a la planta
- Destrucción de tejidos enzimáticos a altas temperaturas (> 40 °C).
- Disminución del rendimiento por causa de aborto de flores de algunas especies

Se han realizado diversos estudios para definir los intervalos de interés de tres tipos de temperaturas que definen el desarrollo de los procesos fisiológicos que ocurren en los cultivos: temperaturas óptima, cardinal y crítica.

El intervalo de las temperaturas óptimas define el rango donde el proceso fisiológico se realiza con la máxima eficiencia, estas varían de acuerdo al cultivo. La mayor parte de los cultivos comerciales son sensibles a periodos de altas temperaturas. La temperatura del aire entre 45-55 °C con una duración de al menos 30 minutos, provoca daños directos sobre las hojas del cultivo en la mayoría de los ambientes; incluso temperaturas menores, en el rango de 35-40 °C, pueden ser perjudiciales si persisten durante más tiempo. Las temperaturas mayores a 36 °C potencialmente causan la pérdida de viabilidad de polen del maíz, mientras que las temperaturas alrededor de 20 °C inhiben la iniciación del tubérculo y causan problemas de malformación de la papa (Gliessman, 2002).

Las temperaturas cardinales definen el rango que por encima o por debajo de la cual un proceso fisiológico se para, volviendo a funcionar cuando la temperatura está por encima de la mínima cardinal o por debajo de la máxima cardinal.

La temperatura crítica son las temperaturas por debajo o por encima de las cuales un proceso fisiológico sufre daños irreversibles y la planta muere. Estas dos temperaturas críticas (mínimas y máximas) no son constantes durante la vida de la planta, pueden variar con la etapa

fenológica y con la presencia de viento o humedad ambiental, así, una planta en pleno crecimiento vegetativo tiene una temperatura crítica más alta que una que esté en dormancia.

El **Cuadro 3.2** presenta las temperaturas críticas, óptimas y cardinales de los principales cultivos hortícolas en el estado de Sinaloa.

Cuadro 3.2 Temperaturas de desarrollo de los principales cultivos hortícolas.

Temperatura	Tomate	Pimiento	Berenjena	Pepino	Melón	Sandía	Lechuga	Calabacita
Mínima letal (crítica)	0 - 2	(-)1 - 4	0 - 2	(-)1 - 4	0 - 2	0	(-)2 - 0	0 - 4
Mínima biológica (cardinal)	8 - 12	10 - 12	9 - 10	10 - 13	12 - 14	11 - 13	4 - 6	10 - 12
Óptima diurna	22 - 26	22 - 28	22 - 26	24 - 28	24 - 30	23 - 28	15 - 20	24 - 30
Óptima nocturna	13 - 16	16 - 18	15 - 18	18 - 20	18 - 21	17 - 20	10 - 15	15 - 18
Máxima biológica (cardinal)	26 - 30	28 - 32	30 - 32	28 - 32	30 - 34	30 - 34	25 - 30	30 - 34
Máxima letal (crítica)	33 - 38	33 - 35	43 - 53	32 - 35	34 - 37	34 - 37	ND	ND

ND: no disponible.

Algunos cultivos, como trigo, avena, cebada, centeno, papa, lino, haba, alfalfa, trébol, manzano, peral, durazno, ciruelo, vid, olivo y remolacha, requieren una cantidad determinada de "horas-frío" para florecer y producir; a éste efecto de las temperaturas bajas se le conoce como vernalización, propio de las plantas criófilas, las que si se cultivan en ambientes cálidos retrasan su floración y producción, e inclusive no se pueden presentar.

Existen, plantas que no requieren de horas frío (no criófilas), en que las altas temperaturas o una menor cantidad de horas-frío tienen un efecto benéfico; entre éstas figuran: maíz, sorgo, tabaco, girasol, algodón, cacahuate, café, cítricos, cocotero y caña de azúcar.

Con temperaturas altas en el cultivo necesita más insumos (nutrientes, agua, radiación solar) para poder mantener su nivel de metabolismo. Para evitar perdidas importantes de rendimiento, a medida que aumenta la temperatura, el manejo del cultivo tiene que ser más preciso; se pueden tener altos rendimientos compensando las altas temperaturas con un óptimo suministros de agua y nutrientes. Durante el llenado de grano y a medida que aumenta la temperatura, el desarrollo se acelera mas que el crecimiento; aun bajo condiciones optimas de manejo, el rendimiento se puede reducir hasta cuatro por ciento por cada 1 °C que aumente la temperatura media (Stapper y Fischer, 1990).

Con temperaturas bajas, a medida que esta desciende, el desarrollo de la planta disminuye. Si las temperaturas son lo suficientemente bajas como para llegar a helar, puede producirse un daño severo en los tejidos jóvenes; por ejemplo, los tallos vegetativos pueden morir a -5 °C. Para el caso de algunos cereales, dos o mas heladas consecutivas durante el periodo desde emergencia de la espiga, hasta el inicio del llenado del grano, puede tener consecuencias graves sobre el rendimiento. Temperaturas de 1.5 °C registradas en una estación meteorológica a 1.5 m del suelo, son suficientemente bajas para producir daños, ya que equivalen a 0 °C sobre la superficie del cultivo. Una sola noche con helada durante este periodo puede no ser decisiva para la planta por que puede que sólo mueran los tejidos nuevos que están expuestos al aire; por ejemplo en las espigas con bandas de espiguillas muertas (Doneen y Westcot, 1984).

HUMEDAD RELATIVA

La humedad es la masa de agua contenida en el aire. Existe una gran confusión en expresar la humedad presente en aire ya que existe una gran variedad de formas para realizarlo. Puede expresarse como volumen de agua por unidad de volumen de aire, en peso de agua por unidad de peso de aire seco o húmedo, en porcentaje con respecto al aire saturado. Es por eso que existen diversos nombres para expresar la humedad: absoluta, específica o relativa en volumen o peso.

Sin embargo, la manera más usual de expresar la humedad del aire es conocida como humedad relativa (HR), que se define como el porcentaje en peso de la humedad presente en el aire con respecto a las condiciones de saturación. Lo anterior se adapta fácilmente a las condiciones cambiantes que definen el estado de saturación del aire que depende de la temperatura. Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad máxima de retención del aire, por lo que a elevadas temperaturas aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR, si la temperatura baja, el contenido en HR aumenta.

Un valor de HR del 25 % indica que el aire solamente contiene la cuarta parte de su capacidad máxima para la temperatura dada. Un valor de HR del 100 % indicaría que el aire se encuentra saturado de vapor de agua y ya no puede retener cantidades adicionales.

La HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento de polen y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse, además de los comunes problemas de amarre de los frutos.

Cada especie vegetal tiene un rango de humedad ambiental óptima de desarrollo. En el **Cuadro 3.3** se presenta el rango óptimo de la humedad relativa de los principales cultivos hortícolas.

Cuadro 3.3 Rango óptimo de humedad relativa para cultivos hortícolas.

Cultivo	Humedad (%)
Tomate	50-60
Pimiento	50-60
Berenjena	50-65
Pepino	70-90
Melón	60-70
Calabaza	65-80
Sandía	65-75
Fresa	70-80
Lechuga	60-80

3.3. FENOLOGÍA DE LOS CULTIVOS

La fenología de un cultivo comprende el estudio de las etapas o eventos que forman el ciclo de vida de las plantas. La fenología usualmente se define como la distribución estadística de algunos parámetros que se utilizan para medir el crecimiento de la planta, así como el momento de ocurrencia de una determinada etapa, su duración, su sincronía con otros eventos y la simetría de la curva de la distribución para cada estimador de los parámetros estimados. La duración de los ciclos de vida o desarrollo de los cultivos depende de la especie y de las condiciones físicas y ambientales donde se desarrolle cada cultivo (Bolaños, 2001).

El principal objetivo de la fenología es reunir información sobre el inicio, la culminación, la conclusión y la duración de cada etapa y correlacionar informaciones con los factores y elementos ambientales. A continuación se presentan las principales etapas fenológicas y características de manejo de los cultivos del estado de Sinaloa.

Fenología y tiempo fisiológico

La edad fisiológica de un cultivo es producto de la edad cronológica y de los antecedentes ambientales de este, para medir la edad fisiológica se utiliza a menudo la acumulación de grados-día (GDA) relacionada con la aparición de cada fase de desarrollo, las cuales difieren para cada variedad (Jefferies, 1991).

Los grados día son las unidades que miden el calor que la planta recibe cada día, mismo que se acumula a lo largo de su desarrollo (Alonso, 2002). La estimación diaria de estos requiere del conocimiento de la temperatura media ambiental diaria (T_a) de acuerdo con las siguientes ecuaciones (Ojeda *et al.*, 2006).

$$^{\circ}\text{D} = T_a - T_{c\text{-min}}, \text{ si } T_a < T_{c\text{-max}}$$

$$^{\circ}\text{D} = T_{c\text{-max}} - T_{c\text{-min}}, \text{ si } T_a \geq T_{c\text{-max}}$$

$$^{\circ}\text{D} = 0, \text{ si } T_a \leq T_{c\text{-min}}$$

Donde $T_{c\text{-min}}$ y $T_{c\text{-max}}$ son las temperaturas mínimas y máximas del ambiente respectivamente, rango en que la planta se desarrolla.

Por ejemplo, la papa puede sobrevivir a temperaturas adversas en el rango de 0° a 40°C, las temperaturas de desarrollo usadas para estimar los grados-día son 2°C y 29°C, para temperaturas mínimas y máximas, respectivamente. Temperaturas mayores a 29°C producen reducciones significativas en el rendimiento

3.3.1. CULTIVO DE MAÍZ

IMPACTO DE LA TEMPERATURA EN EL DESARROLLO DEL MAÍZ

Westgate (1994) reporta que las altas temperaturas tienen un efecto directo en la polinización de maíz, ya que la viabilidad del polen se reduce en forma importante por encima de temperaturas de 35 °C. Dado que el derrame del polen ocurre en las primeras horas del día, las temperaturas a esa hora difícilmente llegan a un nivel que pueda causar daño; sin embargo si las altas temperaturas están asociadas a una baja humedad matutina, la viabilidad del polen se puede reducir de tal manera que la formación del grano puede ser afectada. Paliwal *et al.* (2001) mencionan que cuando la viabilidad de polen desciende por debajo del 80 %, la polinización puede ser una limitante para obtener rendimientos potenciales.

Benacchio *et al.* (1982) reporta que el cultivo de maíz requiere de temperaturas medias entre 21.2 °C a 24 °C. El óptimo diurno se encuentra entre los 25 °C y 30 °C, siendo la mejor temperatura nocturna de 15 a 18 °C. Sin embargo los valores varían según la fase de desarrollo. Después de la madurez las temperaturas óptimas son más altas.

Sin embargo, Leonard (1981) menciona que la tasa de crecimiento óptima de maíz aumenta con temperaturas hasta de 32-35 °C con condiciones óptimas de humedad, pero disminuye un poco con temperaturas entre 27-30 °C cuando la humedad es adecuada. Si la humedad de la tierra es baja, la temperatura para el crecimiento óptimo baja a 27 °C o menos. El mismo autor menciona que a menos de 10 °C la planta de maíz crece muy lento y queda muy susceptible a las heladas. Temperaturas en exceso de 32 °C reduce los rendimientos si ocurren durante la polinización, asimismo los rendimientos también se reducen con temperaturas nocturnas excesivamente altas.

Cheikh y Jones (1994) mencionan que para el maíz una temperatura mayor de 35 °C acompañada con una baja humedad relativa, provoca desecación de los estigmas, y temperaturas superiores a 38 °C reduce la viabilidad del polen, concluyendo que por cada grado centígrado que se incrementa la temperatura por encima de la óptima (25 °C) se reduce un 3-4 % el rendimiento de grano.

Wilhelm *et al.* (1999) mencionan que las altas temperaturas en la etapa inicial del periodo del llenado de grano tienen efectos detrimentales en el peso individual del grano de maíz; el nivel de estos efectos depende de las condiciones ambientales imperantes en este periodo.

En los resultados de un estudio realizado por Rincón-Tuexi *et al.* (2006) reportaron que altas temperaturas ocasionaron una reducción significativa de un 45 % de biomasa aérea con respecto de la temperatura normal, siendo afectados todos los órganos de la planta en diferentes magnitud, excepto en brácteas. Pero la reducción de mayor magnitud fue para la biomasa de la mazorca con un 66 %, debido a que las altas temperaturas se presentaron durante el periodo de floración y el inicio del periodo de llenado de grano.

Paliwal *et al.* (2001) mencionaron que altas temperaturas después de la floración incrementan la tasa de llenado de grano y acortan la duración de ese periodo. El efecto de las temperaturas elevadas es por lo general relativamente mayor para el desarrollo (duración del tiempo de llenado de grano), que para crecimiento (tasa de llenado de grano), por lo que el crecimiento es reducido por las altas temperaturas después de la floración.

El maíz es un cultivo sensible al frío y sufre daños por temperaturas entre 0 -10 °C si está expuesto a la luz normal, y a temperaturas entre 10-15 °C cuando está expuesto a la luz intensa (Paliwal *et al.*, 2001).

Aloni y Griffith (1991), mencionan que las temperaturas entre 0 -10°C pueden también resultar en un desarrollo radicular anormal y en la pérdida de la turgencia de la planta de maíz.

Miedema (1982) menciona que los efectos de las bajas temperaturas se manifiestan tanto en sus funciones enzimáticas como sobre las propiedades de las membranas y se ponen en evidencia por la reducción de la fotosíntesis, del crecimiento, de la extensión de las hojas y por la absorción del agua y nutrientes. El mismo autor menciona que el umbral para un daño irreversible al sistema fotosintético es de 1.5 días a 10 °C para el maíz de zonas templadas y con luz intensa.

Lafitte y Edmeades (1997) reportan que una temperatura media por debajo de 15 °C redujo el rendimiento de grano de maíz de zonas bajas a menos de 1 ton·ha⁻¹. Las temperaturas medias por encima de 25 °C presentaron el efecto opuesto; otros informes confirman que los cultivos adaptados a las zonas altas producen bajos rendimientos cuando las temperaturas máximas diarias exceden 30 °C (Paliwal *et al.*, 2001).

Eagles y Lothrop (1994) mencionan que la temperatura en algunas etapas clave de desarrollo, pueden ser importantes y cultivos adaptados en zonas altas, pueden tener la capacidad para continuar con el llenado del grano a bajas temperaturas.

Requerimientos hídricos

Doorembos y Kassam (1986) reportaron que el cultivo de maíz, dependiendo de las condiciones climáticas, y sin considerar otros factores de producción, requiere a lo largo de su ciclo de 500-800 mm de agua bien distribuida de acuerdo con sus fases fenológicas. Las fases de floración y llenado de grano son las más críticas para obtener la máxima producción.

Aceves-Navarro *et al* (2008) mencionan que en el maíz la disponibilidad de agua en el momento oportuno, es el factor ambiental más crítico para determinar el rendimiento. El periodo con mayor exigencia de agua, es el que va desde 15 días antes de la floración hasta 30 días después. Un estrés causado por deficiencia de agua en el periodo de floración puede ser motivo de una merma del 6 al 13 % por día, en el rendimiento final.

Etapas fenológicas del maíz

Ritchie *et al.* (1992) dividieron el desarrollo del cultivo en las etapas vegetativa (V) y reproductiva (R), las cuales a su vez las subdividieron en diferentes fases, como se muestra en el **Cuadro 3.4**.

Cuadro 3.4 Caracterización fenológica del cultivo de maíz de acuerdo a Ritchie *et al.* (1992).

Etapa	Fase	Clave
Vegetativa	Emergencia	VE
	Aparición de hojas verdaderas	V1...Vn
Reproductiva	Flor masculina o espiga	VT
	Flor femenina o Jilote	R1
	Grano acuoso	R2
	Grano lechoso	R3
	Grano masoso	R4
	Grano dentado	R5
	Madurez fisiológica	R6

En la zona norte de Sinaloa el comportamiento fenológico del maíz, otoño-invierno, para una variedad típica de ciclo intermedio, se muestra en la **Figura 3.4**

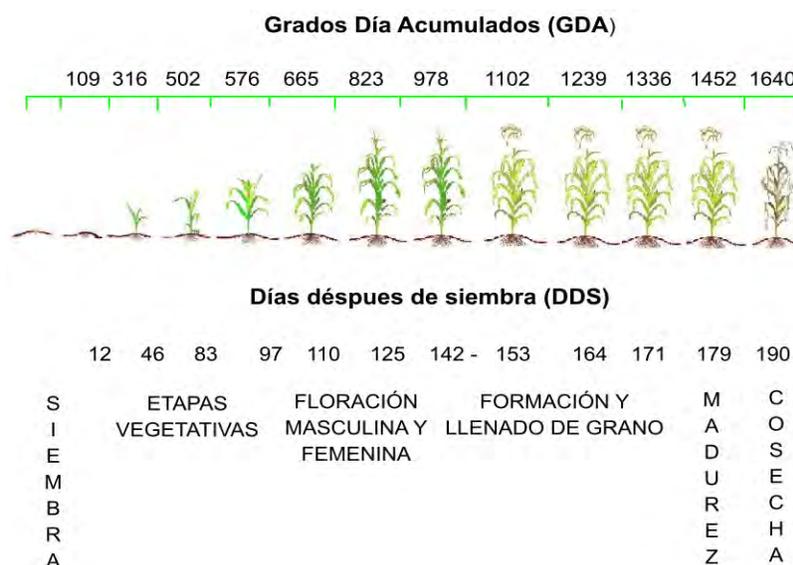


Figura 3.4 Fenología del cultivo de maíz en el norte de Sinaloa

3.3.2. CULTIVO DE FRIJOL

Impacto de la temperatura en el desarrollo del cultivo de frijol

Las plantas para poder producir normalmente necesitan estar rodeadas de ciertas condiciones especiales. Para que puedan florecer, se necesitan de algunas condiciones específicas del medio ambiente donde se desarrollan. De las etapas del cultivo la iniciación floral es la más importante, debido a que es esta fase en la que se marca la transición de estado vegetativo al reproductivo.

Después de la inducción floral, la aparición de flores y la fructificación pueden ser acelerados, retardados o anulados dependiendo de las condiciones ambientales (Enríquez, 1977). Los dos factores que más frecuentemente han demostrado controlar los procesos florales iniciales son la duración del día y la temperatura (Lang, 1952).

Enríquez (1977) menciona que la temperatura afecta a todo el cultivo dando como resultado muchos cambios en los procesos normales de las plantas. La temperatura puede afectar al cultivo acortando considerablemente su ciclo vegetativo, pero al mismo tiempo puede cambiar su estructura o hábito de crecimiento en plantas de hábito indeterminado, aunque el medio ambiente no lo modifica para las de hábito determinado.

La tendencia del agua a evaporarse se duplica cuando la temperatura aumenta de 10-11 °C, debido a este efecto, la temperatura en la hoja y del agua que contiene es uno de los factores más importantes que afectan la transpiración y la turgencia de este órgano. La temperatura en su superficie puede ser similar a la del medio ambiente, pero la temperatura a plena exposición puede ser de 5-10 °C más alto que la temperatura del medio ambiente (Enríquez, 1977). El mismo autor menciona que el crecimiento de las raíces es principalmente afectado por la temperatura; en presencia de temperaturas bajas, las raíces no tienen mayor capacidad para asimilar carbohidratos y no crecen hasta que la temperatura no haya alcanzado niveles adecuados.

Requerimientos hídricos

Está demostrado que el frijol no tolera el exceso ni la escasez de agua, sin embargo, la planta ha desarrollado algunos mecanismos de tolerancia a estas condiciones de estrés, como el aumento en el crecimiento de las raíces para mejorar la capacidad de extracción de agua. En cambio, no se han identificado mecanismos de tolerancia al anegamiento, y su recuperación frente a este hecho se relaciona con la habilidad para producir raíces adventicias (Ríos, 2002).

Una cantidad de agua entre 300 y 400 mm, incluidos riego y precipitación, son suficientes para obtener una buena producción en frijol. El mayor consumo de agua se presenta durante los periodos de floración y formación de grano (Ríos, 2003).

Estudios realizados para medir el consumo de agua del frijol a lo largo de las etapas de desarrollo han permitido determinar que el mayor consumo se da en las etapas de floración y formación de las vainas (Ríos, 2002).

Etapas fenológicas del cultivo de frijol

El ciclo biológico de la planta de frijol se divide en dos etapas sucesivas, la vegetativa y la reproductiva. La primera inicia cuando las semillas tienen las condiciones necesarias para la germinación, y termina cuando aparecen los primeros botones florales. Durante la germinación y la emergencia hay absorción de agua y los tejidos llegan a tener la cantidad de agua necesaria para iniciar las actividades metabólicas (CIAT 1983).

Durante el ciclo biológico de la planta de frijol se han identificado diez fases de desarrollo. En la etapa vegetativa se distinguen seis: germinación, emergencia, hojas primarias, primera hoja

trifoliada y tercera hoja trifoliada, mientras que en la reproductiva son: prefloración, floración, formación de vainas, llenado de vainas y maduración (White, 1998).

La etapa V0 comienza en el día que la semilla tiene humedad suficiente para el comienzo del proceso de germinación, el día del primer riego o de la primera lluvia. La semilla absorbe agua inicialmente y ocurren en ella los fenómenos de división celular y las reacciones bioquímicas que liberan los nutrimentos de los cotiledones. Posteriormente emerge la radícula, la cual se convierte en raíz primaria al aparecer sobre ella las raíces secundarias y las raíces terciarias. El hipocotilo también crece quedando los cotiledones al nivel del suelo, terminando en este momento la etapa de germinación (CIAT, 1983).

Después de la germinación y emergencia (etapa de crecimiento V1) la planta alcanza a acumular peso seco principalmente en los tejidos vegetativos. La fase vegetativa dura hasta la aparición de los primeros botones florales, a los 10 o 15 días de crecimiento de la planta ya se pueden observar algunos botones microscópicos (White, 1998).

La etapa V1 inicia cuando los cotiledones de la planta aparece a nivel del suelo, se considera que un cultivo de frijol inicia la etapa V1 cuando el 50 % de las plantas emergidas presentan los cotiledones a nivel del suelo (CIAT 1983).

La etapa V2 comienza cuando las hojas primarias de la planta están desplegadas. Las hojas primarias del frijol son unifoliadas y opuestas, están situadas en el segundo nudo del tallo principal y cuando están completamente desplegadas se encuentran generalmente en posición horizontal, pero aun no han alcanzado su tamaño máximo. En esta etapa comienza el desarrollo vegetativo rápido de la planta, durante el cual se formará el tallo, las ramas y las hojas trifoliadas, las cuales son alternas y empiezan su crecimiento. En esta etapa los cotiledones pierden su forma, arqueándose y arrugándose. El crecimiento de una hoja trifoliada incluye tres pasos: inicialmente, los folíolos todavía unidos aumentan de tamaño, después éstos se separan y finalmente se despliegan y se extienden en un solo plano (CIAT 1983).

La etapa V3, inicia cuando la planta tiene la primera hoja trifoliada completamente abierta y plana. La hoja aun no ha alcanzado su tamaño máximo y son aun cortos tanto el entrenudo y el pecíolo de las hojas trifoliadas. En esta etapa la primera hoja trifoliada se encuentra por debajo de las hojas primarias. Cuando el pecíolo crece y la primera hoja trifoliada se sobrepone a las hojas primarias, la segunda hoja trifoliada ya ha aparecido y los cotiledones se han secado completamente y por lo general, han caído (CIAT 1983).

La etapa V4, comienza cuando la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada. En esta etapa se pueden diferenciar claramente algunas estructuras vegetativas como el tallo, las ramas y otras hojas trifoliadas. En esta etapa comienza la aparición del primer botón o racimo floral (CIAT 1983).

En la fase reproductiva ocurren las etapas de prefloración, floración, formación de vainas, llenado de las vainas y maduración. En plantas de crecimiento indeterminado, el crecimiento de estructuras vegetativas continua durante esta fase; para las plantas de crecimiento determinado, cuando empieza la fase reproductiva se detiene el desarrollo de nuevas estructuras vegetativas (CIAT, 1983).

En la **Figura 3.5** se muestra un esquema representativo de las etapas y fases de desarrollo del cultivo de frijol.

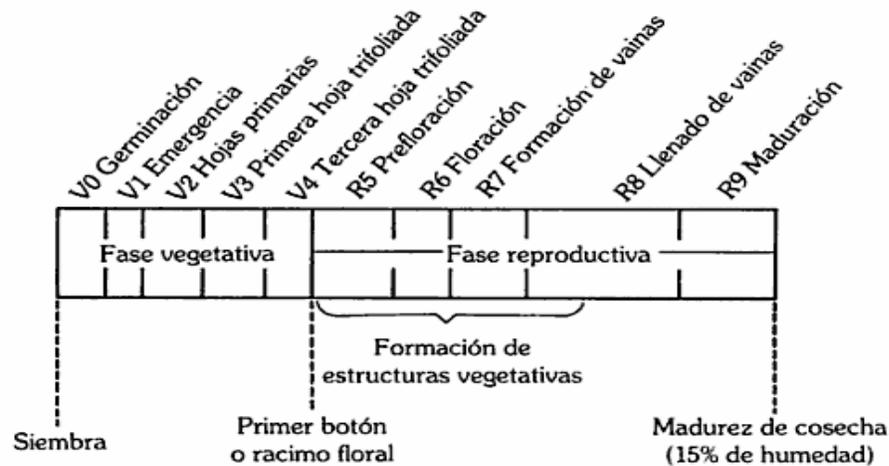


Figura 3.5 Escala de desarrollo de una planta de frijol (CIAT 1983).

White (1998) menciona, que la fase reproductiva está comprendida entre el momento de la aparición de los primeros botones florales (R₄) y la madurez de cosecha (R₉). Con el inicio de la floración (R₅), y pocos días después con la formación de las vainas, la planta empieza a utilizar mayor cantidad de sus recursos en la formación de las vainas y luego de las semillas. Este cambio en las propiedades de crecimiento empieza a frenar el crecimiento vegetativo, aunque la rapidez con que este ocurre varía mucho entre variedades de frijol con diferentes hábitos de crecimiento. En variedades de crecimiento determinado esta transición es muy rápida, mientras que en las de crecimiento indeterminado el cambio se presenta de una manera gradual debido a que los crecimientos vegetativo y reproductivo ocurren simultáneamente. Parece ser que la demanda de nitrógeno llega a ser tan grande que las hojas empiezan a morir, permitiendo que su contenido de nitrógeno sea traslocado a las vainas; esto es lo que marca el comienzo de la maduración.

En la **Figura 3.6** se muestra el desarrollo fenológico del cultivo de frijol en base a la acumulación de grados día (GDA), utilizando como temperaturas umbrales 8 y 23 °C, para Sinaloa.

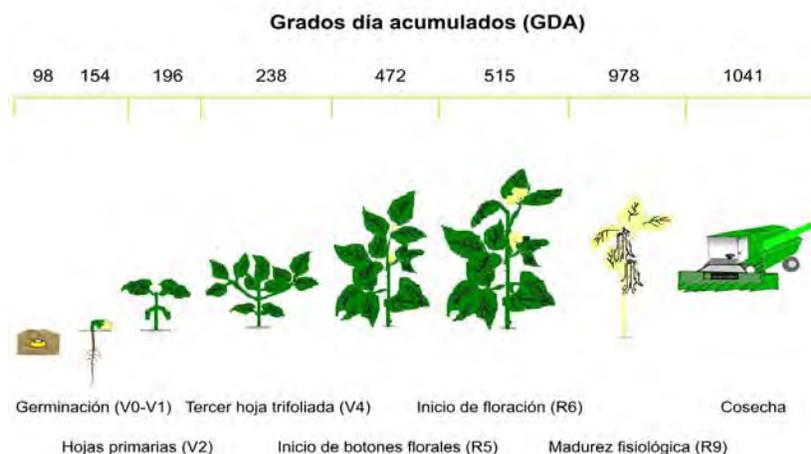


Figura 3.6 Fenología del frijol para una variedad típica de sinaloa.

3.3.3. CULTIVO DE SORGO

Impacto de la temperatura en el desarrollo del cultivo de sorgo

La temperatura umbral mínima para la germinación es de 10 °C (Anda y Pinter, 1994), mientras que la óptima para el crecimiento está entre los 26.7-29.4 °C y, la mínima para el crecimiento es de 15.6 °C, temperaturas arriba de 38 °C son dañinas para el cultivo (Baradas, 1994).

Otros autores como Leopold y Kriedeman (1975) mencionan que la temperatura óptima para el crecimiento es de 30 °C. Ruiz y Soltero (1993) reportan que la temperatura base para la etapa de siembra a floración fluctúa entre 12.7 y 15 °C para variedades de origen templado.

Requerimientos hídricos

Uno de los factores que influyen sobre el cultivo de sorgo es la precipitación pluvial, para su desarrollo requiere de 300-600 mm de agua, sin embargo existe el problema de que en muchas regiones, a pesar de que la precipitación anual total es superior al requerimiento hídrico, ésta se distribuye de una manera irregular a través del año.

Dependiendo de la etapa en que haya sido afectado, el cultivo tiene la capacidad de recuperarse al suplementarle agua; sin embargo, existen momentos en el desarrollo de la planta en que el reflejo del estrés en el rendimiento es casi irreversible. Estas etapas son llamadas “etapas críticas”.

Hergert *et al.* (1993) evaluaron tres niveles de riego: sin riego, riego limitado aplicado en las etapas reproductivas y riego aplicado temprano en el llenado de grano. Además compararon sistemas de labranza convencional versus labranza mínima, obteniendo un rendimiento superior en el sorgo bajo riego limitado, ya que en esos territorios el tratamiento de riego

frecuente causó problemas de alcalinidad en el suelo y de esta forma se vio afectado el rendimiento.

Doorembos *et al.* (1986) encontraron que un déficit hídrico riguroso durante la etapa de floración, motiva el fracaso de la polinización. Identificaron como períodos de mayor absorción de agua, desde la floración hasta el período inicial de formación de la panoja y aseveraron que en condiciones en que la evapotranspiración es de 5 a 6 mm por día se puede agotar el 55 % del agua disponible en el suelo sin que la planta sufra de estrés o trastornos mayores.

En cuanto al uso de agua en un suelo franco arenoso la tensión superficial del suelo puede llegar hasta 1.2 atmósferas (Doorembos y Pruitt 1977); en ese momento, el suelo perdió un 50 % de agua disponible para el cultivo que es cuando las plantas pueden mostrar una reducción en el rendimiento final, sobre todo en las etapas ya mencionadas.

Etapas fenológicas del cultivo de sorgo

Leonard (1981) menciona, que de acuerdo a la variedad y temperatura el sorgo de grano no fotosensible llega a la madurez fisiológica de 90 a 130 días después de siembra en zonas de 0-1000 msnm de los trópicos, cuya diferencia en el ciclo se da en el periodo de crecimiento vegetativo.

Luro (1982) menciona los siguientes estadíos:

- Emergencia. Aparece el coleóptilo a nivel de la superficie del suelo.
- La planta muestra dos hojas y su punto de crecimiento está por debajo del suelo.
- El sistema radicular se desarrolla muy rápidamente (90 % de actividad radicular y los primeros 90 cm de profundidad). Existe por lo tanto una activa absorción de nutrientes y la planta alcanza cinco hojas.
- Entre 7 y 10 hojas, dependiendo del tipo de sorgo, el 80 % del área foliar está completamente desarrollada, en esta etapa se tiene la tercera parte del periodo fisiológico, apareciendo la hoja bandera.
- La panoja se ha desarrollado alcanzando el mayor tamaño y está encerrada por la vaina, el largo del tallo llega al máximo; el tamaño de la panoja ha sido determinado.
- Estado en el que se produce el alargamiento del pedúnculo y el 50 % de la polinización; la floración completa dura de 4-9 días.
- Grano lechoso. La mitad del peso seco en grano se acumula en este estado y el eje de la panoja pierde peso, dado que suministra nutrientes al grano.
- Grano pastoso. Las tres cuartas partes del grano seco ya han sido acumuladas y sigue reduciendo el peso del tallo y del pedúnculo; la absorción de nutrientes se ha completado.

- Madurez fisiológica. Se completa la acumulación de materia seca. El contenido de humedad del mismo en este estado varía con los híbridos, pero se ubica entre un 25 % y 35 %.

Trabajos realizados en el INIFAP de Sinaloa se ha encontrado que para los híbridos de ciclo intermedio sembrados en primavera-verano, la duración de este es de alrededor de 125 días a cosecha, acumulando 1098 GDA a floración y 2175 a cosecha, calculadas con el método integral utilizando 8 y 34 °C como temperaturas umbrales (Figura 3.7).

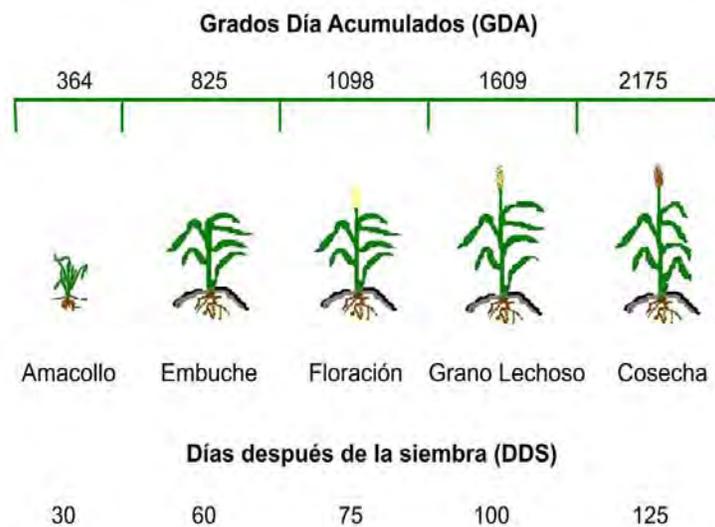


Figura 3.7 Desarrollo fenológico del sorgo en el estado de Sinaloa

3.3.4. CULTIVO DE PAPA

Impacto de la temperatura en el desarrollo del cultivo de papa

La temperatura tiene efectos morfológicos en el crecimiento y desarrollo de la planta; la temperatura influye en la formulación de tubérculo, ya que existe una interacción entre esta variable ambiental y la longitud del día, denominado termofotoperiodo. Los efectos de temperatura y fotoperiodo son cruciales al inicio del crecimiento temprano del tubérculo y la subsecuente partición de la materia seca; es así como el fotoperiodo largo retrasa el comienzo del crecimiento y llenado del tubérculo, las tasas de crecimiento absoluta y relativa se reducen solamente con días largos, así como la tasa relativa de participación de asimilados a nivel del tubérculo. Las condiciones más favorables, para la tuberización y crecimiento del tubérculo son días cortos y temperaturas nocturnas bajas. (Van Dam *et al.*, 1996).

Los requerimientos térmicos para el crecimiento del cultivo de la papa son: Temperatura mínima de 7 °C, máxima de 28 °C, siendo la temperatura óptima de 15-20 °C para que la planta realice la fotosíntesis adecuadamente.

Para temperaturas menores a 6 °C se detiene el crecimiento y a menores de 4 °C hay muerte de la parte aérea.

El desarrollo óptimo del tubérculo se da entre los 14 y 18 °C; existe una tendencia de termoperiodismo diario, requiere de temperaturas nocturnas de 16 °C y diurnas de 24 °C (oscilación de 8 °C).

Las temperaturas altas también causan incrementos significativos en la distribución de asimilados en las hojas y un decrecimiento bastante alto de fotoasimilados a nivel de tubérculos, originando reducción en el suministro de carbohidratos, debido a que se limita la entrada de asimilados e inhibe directamente la conversión de azúcares a almidón; todo esto causa reducción en la participación de materia seca en los tubérculos, especialmente en condiciones de día largo. La comparación de régimen de temperaturas 30/12 °C (día/noche) y 17/10 °C bajo condiciones de días cortos, la proporción de peso vegetativo es 12 veces mayor con temperaturas altas, pero la producción de tubérculos es 19 veces mas alta con temperaturas bajas. El tubérculo es el órgano mas sensible al fotoperiodo y al régimen de temperaturas; por ejemplo con 32/22 °C (día/noche) y 16 horas de régimen de fotoperiodo se inhibe completamente la formación de tubérculos en materiales de la subespecie *tuberosum*; la acumulación de materia seca y la participación de asimilados en plantas de papa son afectadas por el fotoperiodo, la temperatura y la interacción de estas dos variables ambientales (Lafta and Lorenze, 1995; Van Dam *et al.*, 1996)

El periodo de emergencia hasta el inicio de tuberización está seriamente influenciado por la temperatura, con temperaturas de 2 hasta los 20 °C. Bajo temperaturas altas (20-29 °C), las plantas producen más follaje, se induce el crecimiento de tallos, pero las hojas son mas pequeñas debido a la expansión del área foliar, los niveles de almidón se reducen en las hojas, especialmente el acumulado en las hojas maduras, se incrementa el internados y los estolones son mas largos.

Requerimientos hídricos

Ekanayake (1994), señala que en términos generales el cultivo de papas debe regarse a 0.35 bares de potencial tensiométrico del suelo para mantener un micromedio bien irrigado. Al respecto Soboh *et al.* (2000), afirman que la tensión de humedad ideal para el cultivo es de 0.4 bares.

Según Jeréz y Simpfendöfer (2000), las necesidades de agua de la papa varían entre 400 y 600 mm por temporada. En términos prácticos a la lluvia se le debe descontar 10 milímetros, que quedan retenidos en las hojas del cultivo y se evaporan. En consecuencia, toda la lluvia inferior a esta cantidad debe considerarse como lluvia no efectiva y sin aporte para el cultivo.

Un buen cultivo de papas requiere en promedio de 400 a 800 milímetros de agua dependiendo de las condiciones climáticas y de la duración del período vegetativo (Haverkort, 1986). Al respecto Bosnjak y Pejic (1996), reportan necesidades que varían entre 460 y 480 milímetros, en tanto que Klassen *et al.* (2001), señalan que para la obtención de buenos rendimientos y dependiendo de las condiciones climáticas de la zona, el cultivo de papas necesita de aproximadamente 455 milímetros de agua por temporada.

Lo anterior concuerda con lo señalado por Doorembos y Kassam (1986), quienes señalan que para lograr altos rendimientos en variedades cuyos ciclos sean de 120 a 150 días, los requerimientos hídricos son de 500 a 700mm por temporada, dependiendo del tipo de clima.

Etapas fenológicas del cultivo de papa

Durante el periodo de crecimiento y desarrollo de la planta de papa se distinguen tres fases: la primera, se inicia con la brotación de los tubérculos durante el almacenamiento, continua con la siembra del tubérculo (semilla) y la emergencia de los brotes a nivel de superficie del suelo y avanza hasta la expansión de las primeras hojas de los tallos principales, que son los que nacen directamente de los tubérculos madre. La segunda, se inicia con el crecimiento de las ramificaciones, de los tallos aéreos y de los órganos subterráneos (desarrollo del tubérculo) y termina cuando la planta alcanza su mayor área foliar; una producción bastante alta de metabolitos pasa a las ramificaciones axilares que disminuyen y se interrumpen casi por completo a medida que se incrementa la traslocación de estos a los tubérculos (maduración) (Lujan, 1994).

Para Rowe (1993), el crecimiento y desarrollo de la planta de papa se pueden diferenciar cinco estados:

- **Crecimiento uno (crecimiento de los brotes):** desarrollo de los brotes de los ojos del tubérculo-semilla, que emergen sobre la superficie del suelo, y comienza el desarrollo de raíces en la base de los brotes emergidos; las reservas de la semilla-tubérculo son la fuente de energía para el crecimiento para este estado, ya que la fotosíntesis no comienza.
- **Crecimiento dos (crecimiento vegetativo):** estado en el que las hojas, ramas y tallos se desarrollan sobre la superficie del suelo y los nudos del brote se alargan, y aumentan las raíces y estolones, los cuales se extienden por debajo de la superficie del suelo; la planta obtiene algo de energía del tubérculo-semilla en la parte temprana de este estado de crecimiento, pero en este periodo comienza la fotosíntesis y los procesos de producción de carbohidratos (fijación de carbono), como fuente de energía para futuro crecimiento y desarrollo; en este estado se forman todas las partes vegetativas de la planta y comienza la emergencia y crecimiento de las puntas de los estolones por debajo de la superficie del suelo, hasta cuando se inicia el desarrollo de los tubérculos.
- **Crecimiento tres (iniciación de tubérculos):** en este estado de crecimiento se forman los tubérculos a partir de la punta del estolón; la iniciación de tubérculos es controlada por reguladores hormonales de crecimiento, producidos por la planta; este estado tiene un periodo de duración de 10-14 días y en muchas variedades el final de este periodo

generalmente coincide con una floración temprana, donde pocas flores se abren y son poco visibles. Las variedades precoces o de maduración temprana usualmente inician su tuberización más temprano que las variedades tardía; los materiales de ciclo largo continúan la iniciación del tubérculo durante el estado de crecimiento cuatro. El manejo de agua durante este estado de crecimiento tres es especialmente importante para ayudar el desarrollo del cultivo. De un 80-90 % de disponibilidad de agua en el suelo durante el comienzo de crecimiento del tubérculo y ensanchamiento del mismo, favorece en crecimiento rápido de la planta.

- **Crecimiento cuatro (llenado del tubérculo):** las células del tubérculo se expanden con la acumulación de agua, nutrientes y carbohidratos. Durante esta fase de crecimiento, los tubérculos son órganos dominantes de depósito y movilización de nutrientes orgánicos dentro de la planta.
- **Crecimiento cinco (maduración):** el follaje entra rápidamente en proceso de senescencia, éste cambia a color amarillo y las hojas se pierden, la fotosíntesis decrece gradualmente, la tasa de crecimiento del tubérculo se hace más lenta y el follaje eventualmente muere. El contenido de materia seca de los tubérculos alcanza el máximo valor en este estado y la piel del tubérculo se endurece, aumentando su espesor.

Wiersema (1985) menciona que después de su iniciación, el tubérculo de papa se desarrolla de manera continua, tanto morfológica como fisiológicamente, en todo momento el tubérculo tiene dos edades diferentes: una edad cronológica y una fisiológica.

La edad cronológica se refiere a la edad del tubérculo desde el momento de la iniciación del tubérculo o desde su cosecha, la cual se expresa en días, semanas o meses sí referencia a las condiciones ambientales; la edad fisiológicamente se refiere principalmente al proceso de desarrollo de los brotes, esto depende tanto de la edad cronológica del tubérculo como de las condiciones ambientales. Los tubérculos pueden tener la misma edad cronológica, pero sus condiciones fisiológicas pueden ser diferentes o viceversa.

En la **Figura 3.8** se describen las principales etapas de desarrollo del cultivo de la papa, expresadas a su vez a Grados Día Acumulados (GDA).

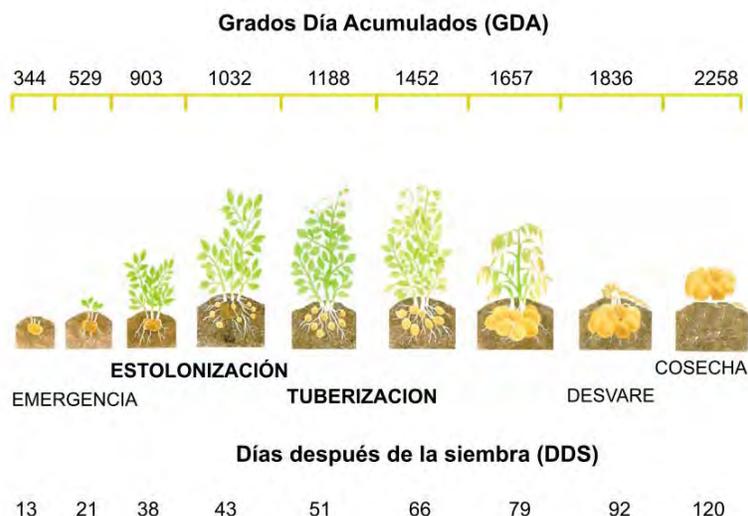


Figura 3.8 Desarrollo fenológico del cultivo de la papa para el norte de sinaloa

3.3.5. CULTIVO DE MANGO

Importancia de la temperatura en el cultivo de mango

El intervalo óptimo para la fotosíntesis del mango se presenta en el rango de 24-30 °C (Benacchio, 1982; Whiley *et al.*, 1989). Este cultivo tolera hasta temperaturas de 48 °C, mientras que bajas temperaturas (<15 °C) limitan la producción ya que detienen el crecimiento (Whiley *et al.*, 1989), siendo mortal o muy peligroso cuando los árboles son sometidos a temperaturas por debajo de 0 °C por varias horas (Mc Kellar *et al.*, 1983)

Minaya (1999) menciona que la temperatura es determinante en periodos como la floración así como en el periodo de cuajado de frutos hasta completar su crecimiento, los climas deben ser tropicales o sub-tropicales secos, cuyos intervalos de temperatura óptima media se encuentre entre 20 y 25 °C, teniendo como mínimo temperaturas mayores a 15 °C.

Avilan y Rengifo (1990) mencionan que temperaturas mayores a 42 °C o menores de 10 °C pueden detener el crecimiento y causar disturbios fisiológicos a la planta, también señalan que las temperaturas inferiores a 15 °C durante la floración impiden la apertura de las flores y el desarrollo del tubo polínico, existiendo una correlación positiva entre la formación de flores perfectas y las temperaturas elevadas.

Exposiciones de algunos cultivares de mango a temperaturas inferiores a 10 °C producen daños irreversibles en su textura ("chilling injury") y afecta negativamente el aroma y el sabor (Lizada, 1991).

Peacock (1987) señala que excesos de temperaturas superiores a 30 °C aceleran la respiración y reacciones metabólicas, alcanzándose la senescencia y muerte con mayor profundidad.

No se recomiendan plantaciones de mango a una altitud mayor a 800 msnm, por las bajas temperaturas y los elevados porcentajes de humedad relativa. A bajas temperaturas se requiere mayor tiempo entre la floración y la maduración del fruto (cuatro a seis meses). En plantaciones que se presentan altas temperaturas, elevada humedad relativa y exceso de humedad en el suelo, suele ocasionar caída de flores y frutos (Catagena y Vega, 1992).

Requerimientos hídricos

Los requerimientos hídricos dependen del tipo de clima del área donde estén situadas las plantaciones. Si se encuentran en zonas con alternancia de estaciones húmeda y seca, óptimas para el cultivo del mango, como sucede en Sudán, durante la estación de lluvias se desarrolla un crecimiento vegetativo, y en la estación seca la floración y fructificación; en este caso basta con un pequeño aporte de agua.

En áreas más frías, como Israel e Islas Canarias, sólo existe una estación cálida, en la que tiene lugar a la vez fructificación y desarrollo vegetativo, en este caso el riego debe ser más abundante, pero debe tomarse en cuenta que un exceso de humedad es perjudicial para la fructificación.

Los árboles necesitan más agua en sus primeros días de vida, llegando a demandar de 16-20 litros semanales por árbol. Esto sucede durante los dos primeros años y siempre que el árbol esté en el terreno; no es lo mismo en el vivero, donde sus exigencias son menores. Una vez que el árbol está enraizado soporta muy bien la sequía; prospera con la cuarta parte del agua que necesita el plátano y puede tolerar, según clases de tierra, hasta 400 miligramos de sal por litro de agua. Para obtener el máximo rendimiento del árbol, los riegos deben ser periódicos ($400 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$). Los riegos más copiosos deben darse al inicio de la floración y hasta varias semanas después de la fructificación. Mientras la fruta aumenta de tamaño debe regarse una vez cada quince días y puede dejar de regarse al acercarse la madurez.

El mango se adapta muy bien a condiciones de precipitación variables; además tolera la sequía, aunque fisiológicamente esta tolerancia ha sido atribuida a la posesión de laticíferos que permiten a las hojas mantener su turgencia a través de un ajuste osmótico que evite un déficit de agua interno (Schaffer *et al.*, 1994). En suelos calcáreos un periodo de inundaciones continuas no excesivamente largo puede ser beneficioso para el mango, ya que permite aumentar la disponibilidad en el suelo de algunos microelementos tales como el hierro y el manganeso (Whiley y Schaffer, 1997).

Los periodos de déficit hídrico benefician el ciclo fenológico del mango, en áreas tropicales este estrés es el principal factor ambiental responsable de la inducción floral. Lo contrario ocurre con el cuajado y el crecimiento del fruto, ya que una sequía es perjudicial, provocando disminución del tamaño del fruto. Se considera más importante una buena distribución de las precipitaciones anuales que la cantidad de agua, siendo la precipitación mínima anual de 700 mm bien distribuidas.

En México el riego se aplica en la región del Pacífico Centro, empleando fundamentalmente el riego por inundación, aunque algunas plantaciones cuentan con microaspersión o goteo. El riego se aplica durante la estación seca (octubre-mayo), iniciando al momento de la floración y

continúa hasta la recolección, con un intervalo entre de 10-15 días en suelos arenosos y de 18-25 días en suelos arcillosos.

Etapas fenológicas del cultivo de mango

De acuerdo a Gunjate *et al.* (1983) las etapas fenológicas del cultivo de mango son las siguientes:

Crecimiento vegetativo: aparición de brotes vegetativos y desarrollo de los mismos.

Floración: momento en que la mitad de un unidad de muestreo presenta las primeras flores.

Amarre del fruto: fecha en que la mitad de la unidad de muestreo aparece el fruto incipiente, aún envuelto por vestigios florales. Gunjate *et al.* (1983) menciona que generalmente del total de flores, amarran el 0.61 % y de estas se cosecha el 5 % y 7 %, debido a malformaciones de flores y caídas de frutos.

Desarrollo de fruto: momento en que en la mitad de la unidad de muestreo los frutos alcanzan 2 cm de diámetro. La terminación del desarrollo del fruto se da cuando la fecha en que en la mitad de la unidad de muestreo se logra el máximo desarrollo.

Madurez: fecha en que el fruto alcanza la madurez comercial.

En México, Guzmán-Estrada (1996) estudiaron el crecimiento en frutos de mango 'Manila', 'Tommy Atkins', 'Haden', 'Kent' y 'Keitt' señalando que los tres primeros cultivares requirieron 100 días desde el amarre hasta la madurez; 'Keitt' requirió 105 días y 'Kent' 110.

La madurez fisiológica ocurre cuando el fruto esta "hecho" o a "sazón", es decir cuando se puede desprender o cosechar del árbol, para luego después de algunos días consumirse con todos sus atributos de calidad. El indicador más común es que el fruto al llegar a su desarrollo máximo presente un "chapeteado" de tres cuartos de su color de maduración de consumo.

Se debe considerar que un cultivo puede no desarrollar todas sus fases fenológicas, si crece en condiciones climatológicas diferentes a su región de origen. Otros aspectos que son regularmente observados pueden considerarse como indicadores fenológicos del patrón del crecimiento y desarrollo del cultivo. Para árboles frutales, las fechas de floración y maduración de frutos se aceptan generalmente como indicadores significativos. En el caso de árboles frutales, arbustivos perennes, el período entre la floración y la presencia de un fruto incipiente se ha reconocido durante mucho tiempo como uno de los estados de desarrollo importantes. De manera que el conteo aleatorio de flores (número de flores en pocas ramas seleccionadas), del conteo de frutos (número de frutos de un tamaño específico en las ramas usadas en el conteo de flores) y peso, constituyen indicadores destacados de rendimientos (Villalpando y Ruiz, 1993).

En la **Figura 3.9** Se presenta la duración de las diferentes etapas fenológicas del cultivo de mango para el norte de Sinaloa, basados en GDA.

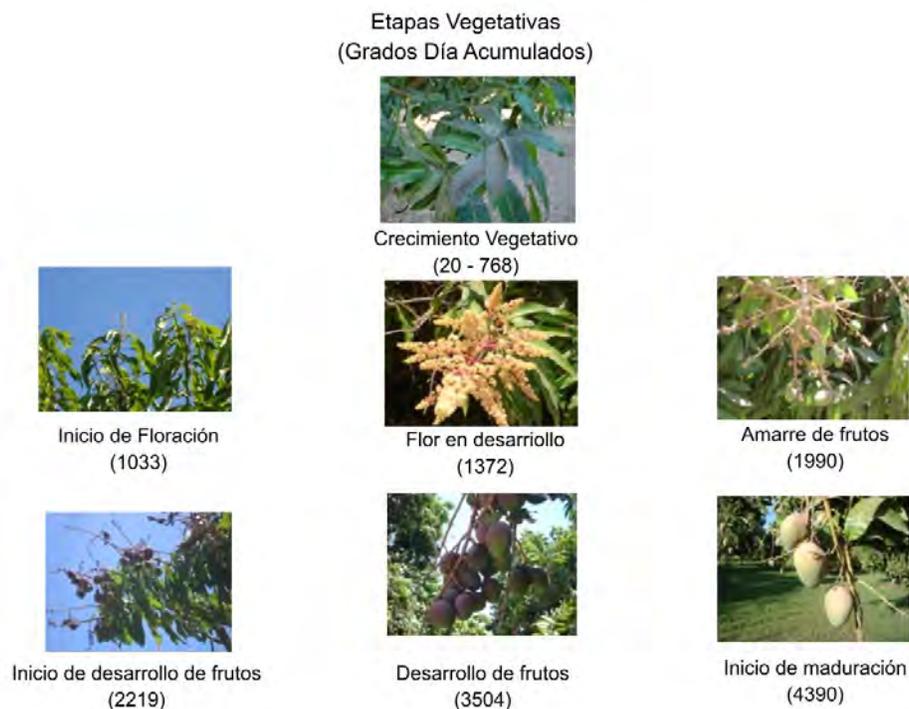


Figura 3.9 Etapas fenológicas del mango 'kent' en el norte de Sinaloa.

3.4. FENOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Con la finalidad de analizar el posible impacto del CC en los cultivos de maíz, frijol, papa y sorgo, se calculó para el estado de Sinaloa la duración del ciclo fenológico en función de cuatro fechas de siembra (día 15 de los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre, con excepción del sorgo que se incluyeron los meses de enero, febrero y marzo), tanto para el escenario actual (P0), como para los distintos escenarios de cambio climático: A1B, P1 (2020), P2 (2050) y P3 (2080). Las fechas de siembra utilizadas, son en base al periodo óptimo de establecimiento actual para cada cultivo.

Para el cultivo de maíz se estimó una reducción de su ciclo de 10, 20 y 30 días para los escenarios P1, P2 y P3 respectivamente como se muestra en la **Figura 3.10**.

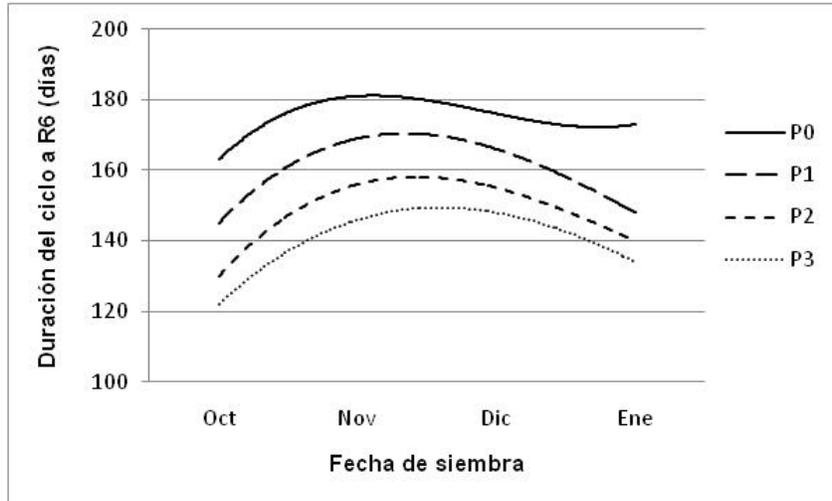


Figura 3.10 Duración del ciclo fenológico de maíz en función de la fecha de siembra para cuatro periodos de interés, usando el escenario de emisiones a1b.

Para el caso de frijol se encontró una reducción de 10, 20 y 25 días para los mismos escenarios (Figura 3.11)

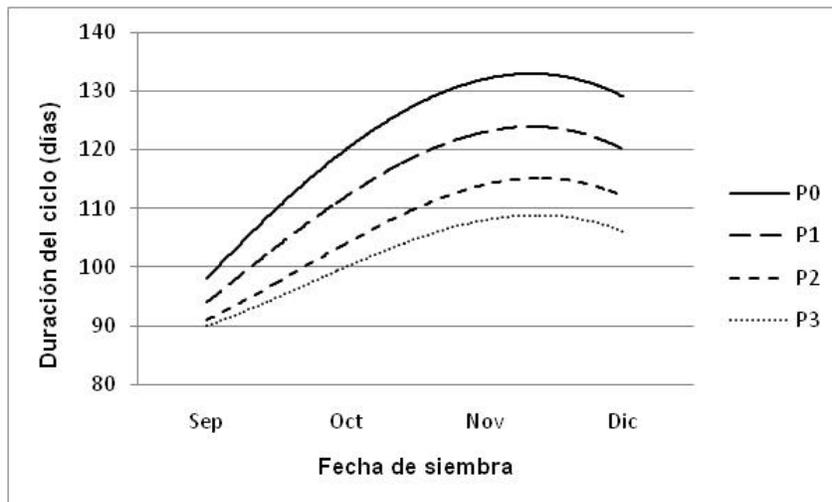


Figura 3.11 Duración del ciclo fenológico de frijol en función de la fecha de siembra para cuatro periodos de interés usando el escenario de emisiones A1B.

Para papa la posible reducción de su ciclo varía de 5 días en siembras de septiembre, mientras que en siembras de diciembre se podrían tener un acortamiento del ciclo de 20 días, como se muestra en la **Figura 3.12**

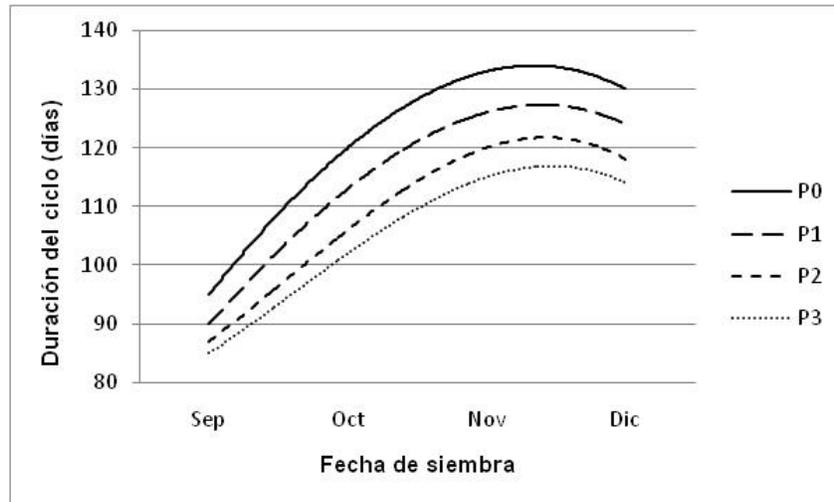


Figura 3.12 Duración del ciclo fenológico de papa en función de la fecha de siembra para cuatro periodos de interés usando el escenario de emisiones a1b.

En el caso del sorgo se espera una reducción de 10, 15 y 20 días para los escenarios P1, P2 y P3 respectivamente. (**Figura 3.13**)

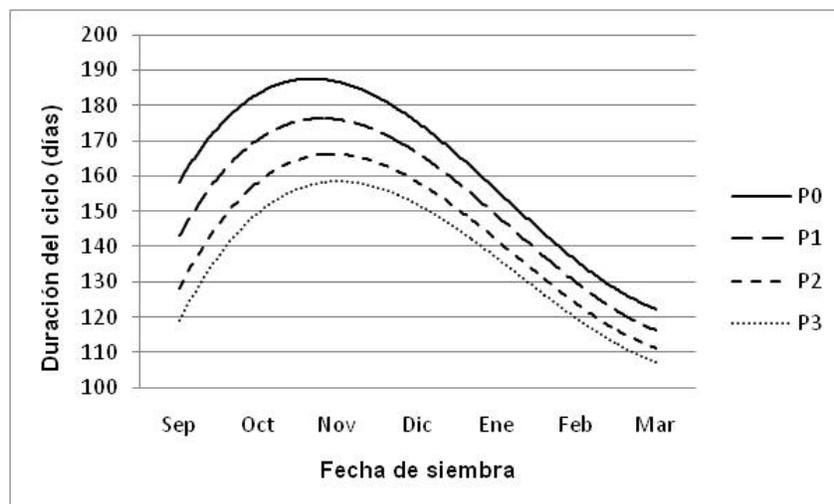


Figura 3.13 Duración del ciclo fenológico de sorgo en función de la fecha de siembra para cuatro periodos de interés usando el escenario de emisiones A1B.

Bajo el supuesto que continúen sembrándose híbridos con las mismas características genéticas a los actuales estas reducciones en los ciclos biológicos traerían consecuencias principalmente en reducción de los rendimientos potenciales, por lo que es recomendable diseñar acciones de adaptación para minimizar tal impacto.

3.5. IMPACTO DEL CLIMA EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Para analizar el impacto del clima en el rendimiento de los cultivos de temporal, se analizaron los datos estadísticos (2002-2008) reportados por el SIAP de la SAGARPA para seis municipios localizados en las tres zonas de estudio (Norte, Centro y Sur), que corresponden a los principales municipios productores de temporal (Culiacán, Elota, Morito, Salvador Alvarado, Sinaloa, y Mazatlán). La **Figura 3.14** muestra que los mejores rendimientos de sorgo temporal se obtienen para una precipitación acumulada mayor de 650 y la mínima precipitación acumulada para rendimientos de al menos 0.5 Ton/Ha es de 400 mm de lluvia.

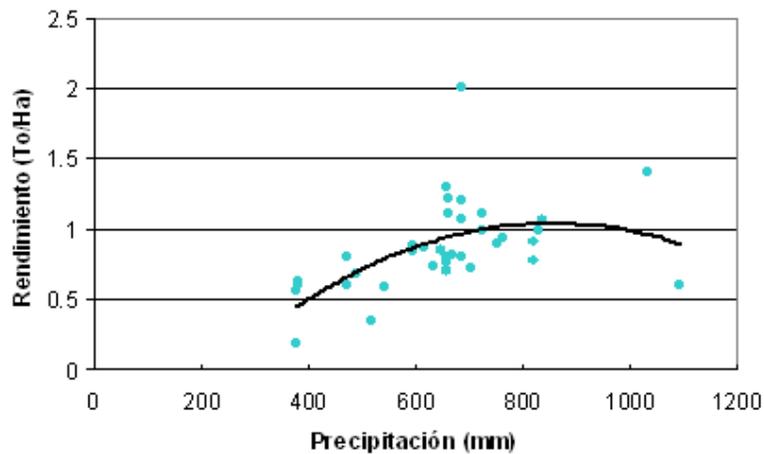


Figura 3.14 Rendimiento de sorgo de temporal en función de la precipitación

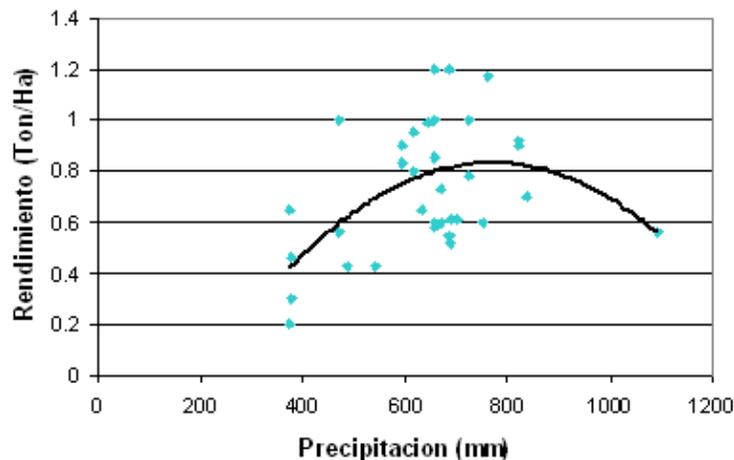


Figura 3.15 Rendimiento de maíz de temporal en función de la precipitación

El comportamiento del rendimiento de Maíz de acuerdo con la precipitación, es similar al del sorgo, como se puede observar al comparar la **Figuras 3.15** con la **Figura 3.14**. Los mayores rendimientos y producciones se obtienen con precipitaciones entre 600 mm y 800 mm de lluvia. Se observa una amplia variabilidad de los rendimientos en función de los rendimientos.

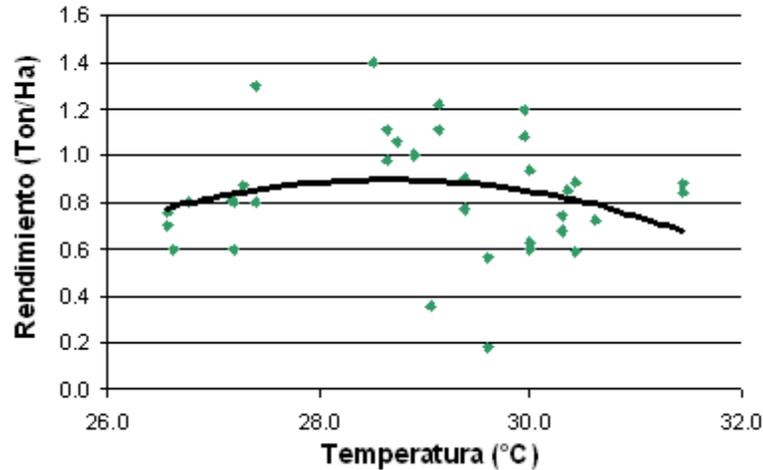


Figura 3.16 Rendimiento de sorgo de temporal en función de la temperatura media

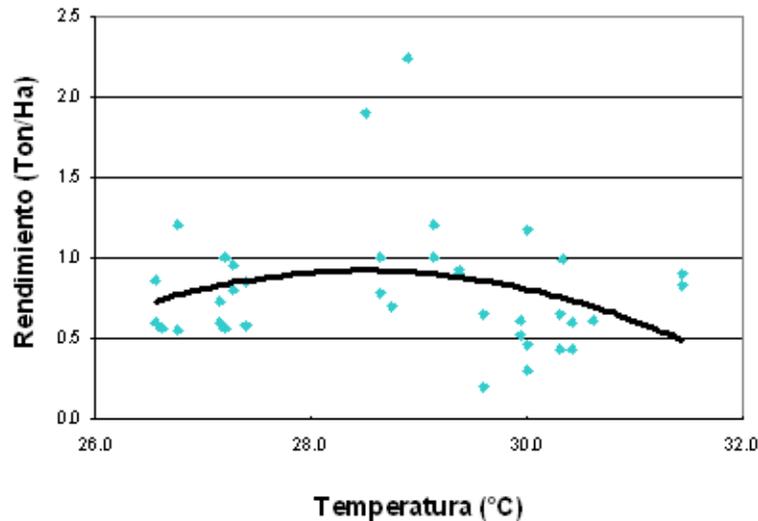


Figura 3.17 Rendimiento de maíz de temporal en función de la temperatura media

En cuanto al impacto de la temperatura en el rendimiento de los cultivos de temporal, la Figuras 3.15 y 3.16 muestran que las temperaturas medias durante el ciclo fenológico en el rango de 28-30 °C, presentan los mayores rendimientos. Temperaturas mayores de 30 °C y menores de 28 °C tienen efectos negativos en el rendimiento. Cabe mencionar que los datos usados provienen de la base de datos de las estaciones meteorológicas operadas por la CONAGUA.

Estas estaciones están localizadas en lugares urbanizados fuera de la zona de cultivos, por lo que las temperaturas óptimas estimadas son mayores que las óptimas reportadas para maíz (24-25 oC) y para sorgo (26-29 oC). Lo cual indica que existe un incremento de 3-4 oC en las temperaturas registradas en estaciones urbanas con respecto a las estaciones en áreas cultivadas.

LITERATURA CITADA

- Aceves-Navarro L. A., Juárez-López, J. F., Palma-López D. J., López-López R., Rivera-Hernández B., Rincón-Ramírez J. A., Morales-Colorado R., Hernández-Alvarado R., Sánchez-Martínez A. 2008. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en el estado de Tabasco. Manual técnico. Tomo 10. Pp. 5.
- Aceves-Navarro L. A., Juárez-López, J. F., Palma-López D. J., López-López R., Rivera-Hernández B., Rincón-Ramírez J. A., Morales-Colorado R., Hernández-Alvarado R., Sánchez-Martínez A. 2008. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Tabasco. Manual Técnico. Tomo X. Pp. 10.
- Adams, R. M., B. H. Hurd, S. Lenhart, Y N. Leary. 1998. Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Clim. Res.* 11:19-30.
- Allen, R. G., F. N. Gichuki; C. C. Rosenzweig. 1991. CO₂-induced climatic changes and irrigation-water requirements. *J. Water Res. Plann Mgmt.* 117:157-178.
- Aloni, R. & Griffith, M. 1991. Xylem in the root:shoot junction of cereals. *Planta*, 184:123-129.
- Alonso, A. F. 2002. El Cultivo de la patata. Segunda edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 495 Pág.
- Anda, A. y Pinter, L. 1994. Sorghum germination y development as influenced by soil temperature and water content. *Agron. J.* 86:621-624.
- Avilán L. y C. Rengifo. 1990. El Mango. Editorial America. Caracas. Pp 401.
- Baradas, M. W. 1994. Crop requirements of tropical crops. In: Handbook of Agricultural Meteorology. J.F. Griffiths Editor. Oxford University Press. New York. USA. PP. 189-202.
- Benacchio, S., Comerma, J., y Granados, F. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 Especies de cultivo con Potencial de Producción en el trópico Americano. FONAIAP, Caracas. Pp. 202.
- Bolaños H. A. 2001. Introducción a la Olericultura. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. Pp. 68-69.
- Bosnjak, D. Y Pejlik, B. 1996. Potatoes water requirement in the Chernozem zone of Yugoslavia. *Acta Horticulturae*, 1(449):211 – 215.

- Cabrera, S. 2002. Desarrollo de la planta de maíz, formación y tipos de granos, etapas de crecimiento. En: IX Curso de sobre producción de maíz. Asociación de Productores Rurales del Estado Portuguesa – Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Portuguesa. Venezuela. Pp. 1-13.
- Catagena, J. Y D. Vega. 1992. Fruticultura Colombiana. El Mango. ICA. Bogotá. Manual de Asistencia Técnica N° 53. Pp. 124.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1983. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común. Guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Auditorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Fernández, Fernando; Gepts, Paúl; López Marceliano. Cali Colombia. CIAT. Pp. 6-12.
- Cure, J. D., B. Acock. 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. *Agric. For Meteorol.* 38:27-145.
- Cheikh N, R. J. Jones. 1994. Disruption of maize kernel growth and development by heat stress (Role of cytokine/abscisic acid balance). *Plant Physiol.* 106(1):45-51.
- Doneen, L. D. y D. W. Westcot. 1984. Irrigation practice and water management. *Irrigation and Drainage Paper 1*. FAO, Roma. Pp. 63
- Doorembos, J.; Kassam, A. 1986. Yield response to water. *Irrigation and Drainage*. Roma, Italia. FAO, Food and Agriculture Organization of United Nations. P 193.
- Doorembos, J; Pruitt, W.O. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma Italia, F.A.O. pp 194.
- Eagles, H.A. y Lothrop, J.E. 1994. Highland maize from Central Mexico - its origin, characteristics, and use in breeding programs. *Crop Sci.*, 34: 11-19.
- Ekanayake, I. 1994. Estudios sobre estrés por sequía y necesidades de riego en la papa. Guía de Investigación CIP 30. Lima, Perú. Centro Internacional de la Papa. pp 40.
- Fairchild Tropical Garden. 1992. A guide to Mangos in Florida (Ed. R. Campbell). Miami, Florida. Pp 227.
- Gliessman-Stephen R. G. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Ed. LITOCAT. Turrialba, Costa Rica.
- Gunjate, R. T.; D. P. Jorwekar and B. L. Land. 1983. Pollination, fruit set and fruit drop in Alphonse mango. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities* 82(8):168-170.
- Gustavo A. Enríquez. 1977. Mejoramiento Genético sobre otros Factores Limitantes de la producción de frijol, diferentes enfermedades e insectos. Turrialba, Costa Rica. Pp 50.
- Guzmán-Estrada, C. 1996. Phenology of five mango cultivars in Sinaloa. México. In 5th International Mango Simposium. Israel.

- Havercort, A. 1986. Manejo de agua en la producción de papa. Boletín de Información Técnica 15 CIP. Lima, Perú. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Centro Internacional de la Papa. 24 p.
- Hergert, G.W.; Klocke, N.L.; Petersen, J.L.; Nordquist, P.T.; Clark, R.T.; Wicks, G.A. 1993. Cropping systems for stretchching limited irrigation supplies. Journal of Production Agriculture. (U.S.A). 6 (4): 520-529.
- Jefferies, R. A. y Lawson, H. M. 1991. A key the stages of development of potato (*Solanum tuberosum*). Annals of Applied Biology. 119:387-389.
- Jerez, J.; Simpfendorfer, C. 2000. Efecto del riego en cultivos de papa. Tierra Adentro. Especial riego y drenaje. INIA Instituto de Investigaciones Agropecuarias (34):36-38.
- Klassen, G.; Mills, G. Y Geisel B. 2001. Potato Production. Irrigation. [en línea]: documento electrónico fuente en internet [fecha de consulta: 05 enero 2004]. Disponible en: <http://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/potatoes/bda01s11.html>
- Lafta, M. A.; and Lorenze, H. J. 1995. Effect of high temperature on plant Growth and carbohydrate metabolism in potato. Plan physiology. 109(2):637-643.
- Lafitte, H. R. y Edmeades, G. O. 1997. Temperature effects on radiation use and biomass partitioning in diverse tropical maize cultivars. Field Crops Res. 49(2):231-247.
- Lang, A. 1952. Physiology of flowering. Annual Review of plant Physiology. 3:265-306.
- Lawlor, D.W. 2005. Plant responses to climate change: impacts and adaptation. In K. Omasa, I. Nouchi, y L. J. De Kok. (eds). Plant responses, to air pollution and global change. Springer-Verlag. Tokio. 81-88 p.
- Leonard, D. 1981. Cultivos Tropicales. Oficina para la Colección y el Intercambio de Información. Washington, D. C.
- Leopold, A. y Kriedemann, P. E. 1975. Plant Growth and Development. McGraw-Hill, New York, NY. Pp. 45.
- Lizada, M. C. 1991. Post harvest Physiology of mango. A review. Acta Horticulturae 291: 437-449.
- Lujan, L. 1994. La Ecología de la Papa. Revista de Papa. 12:4-16.
- Luro, Pedro. 1982. Cultivo de sorgo granífero con riego, análisis de costo y evaluación económica para una hectárea. Tomo X. IICA. Argentina. Pp. 2-3.
- Miedema, P. 1982. The effects of low temperature on *Zea mays*. Adv. Agron., 35: 93-129.
- Minaya, A. 1999. El Mango en el Perú y sus vínculos con el mercado mundial. IICA. Pp. 9.

- McKellar, M. A., Buchanan, D. W. y Campbell, C. W. 1983. Cold hardiness of two cultivars of avocado and a mango. *Proceedings of the Florida State Horticulture Society* 96: 212-215.
- Ojeda, B. W., Sifuentes, I. E., y Unland, W. H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa, México. *Agrociencia* 40: 13-25
- Paliwal, R. G.; Granados, H. R.; Laffitte, A. D.; Violic. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. FAO, Roma, Italia. Pp 98-103.
- Papadakis, J. 1980. El clima. Ed. Albatros, Buenos Aires. 377 pp
- Peacock, B. 1987. Simulated commercial export of mangoes using controlled atmosphere container technology. Workshop on transport fresh fruit and vegetable (proc.) Sydney, Australia. Pp 40-45.
- Rincón-Tuexi J. A. S.; Castro-Nava J. A.; Lopez-Santillan A. J.; Huerta, C. T. L. y F. Briones-Encina. 2006. Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical. *Revista Internacional de Botánica experimental*. Padilla, Tamaulipas, México. Pp. 34.
- Ríos, M., J. y Quirós D., J. 2002. El Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): Cultivo, beneficio y variedades. *Boletín Técnico*. FENALCE. Bogotá. 193 pp.
- Ríos, M. J.; Quirós D. J. Y Arias, J. H. 2002. Frijol, recomendaciones generales para su siembra y manejo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Cartilla ilustrada 2. Colombia. 48 pp.
- Ritchie, S. W. y Hanway, J. J. 1984. How a com plant Develops. Special Report No. 48. Cooperative Extension Service, Ames, Iowa.
- Rosenberg, N. J. 1981. The increasing CO₂ concentration in the atmosphere and its implication on agricultural productivity. I. Effects on photosynthesis, transpiration, and water use efficiency. *Climate Change*. 21, 265-279.
- Rowe, C. R. 1993. What is a Healthy Potato plant. Edited by Randall: In *Potato Health Management*. Department of Plant Pathology. Ohio State University Wooste. Pp 4-7.
- Ruiz C. J. A. y L. Soltero D. 1993. Necesidades térmicas para la floración de sorgo en la ciénega de Chapala. *Revista Fitotecnia Mexicana* 16(1):79-87.
- Schaffer, B.; A. Whiley and J. Crane. 1994. Mango. In *Environmental Physiology of Fruit Crops*. Boca Ratón, Florida. Pp. 165-197.
- Sergent, Eduardo. 1985. *Frutales Tropicales Permanentes*. Maracay. Universidad de Venezuela. 61 p
- Soboh, G., Sully, R. y Hopkins, H. 2000. Mecanismos para incrementar el número de tubérculos. *Boletín de la Papa, RedePapa*. Vol.3, nº4.

- Stapper, M. y Fischer, R. A. 1990. Genotype, sowing date and plant spacing influence on high-yielding irrigated wheat in southern New South Wales. III Potential yields and optimum flowering dates. *Aust. J. Agric. Res.*, 41:1043-1056.
- Tubiello F. N., Donatelli M., Rosenzweig C. and Stockle C. O. 2000. Effects of climate change and elevated CO₂ on cropping systems: model predictions at two Italian locations. *European Journal of Agronomy*, 13:179–189.
- Van Dam, J.; Kooman, P. L. and Struik, P. C. 1996. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.) *Potato Research*, 39:51-62.
- Villalpando, J. y A. Ruiz, 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Limusa, México. p. 133
- Westgate, M. E. 1994. Seed formation in maize during drought. *Physiology and Determination of Crop Yield*. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy Pp. 361-364.
- White Jeffrey W. 1998. Conceptos Básicos de la Fisiología Vegetal del Fríjol. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. Pp 25-26.
- Wiersema, S. G. 1995. Desarrollo Fisiológico de Tubérculos, Semillas de Papa. *Boletín Informativo Técnico 20*. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. Pp 7.
- Wilhelm E. P., R. E. Mullen , P. L. Keeling, G.W. Singletary. 1999. Heat stress during filling in maize. Effects on kernel growth and metabolism. *Crop Sci.*, 39:1733-1741.
- Whiley. A., T. Rasmussen, J. Saranah, N. Wolsten Holme. 1989. Effect of temperature on growth, dry matter production and starch accumulation in ten mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Journal of Horticultural Science* 64:753-765.
- Young, K. J., Long, S. P. 2000. Crop ecosystem responses to climate change: maize and sorghum. In K. R. Reddy and H. F. Hodges (eds). *Climate Change and Global Crop Productivity*. CABI Publishing, Wallingford, UK. Pp. 107-131.

4. PAQUETES TECNOLÓGICOS DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS GENERADOS POR EL INIFAP PARA SINALOA

CONTENIDO

4.1 INTRODUCCIÓN	142
4.2 CAMPO EXPERIMENTAL VALLE DEL FUERTE (CEVAF) - REGIÓN NORTE	143
4.2.1 Descripción	143
4.2.2 Problemática agrícola.....	144
4.2.3. Paquetes tecnológicos de cultivos - modalidad de riego	145
i. Maíz	145
ii. Fríjol	149
iii Garbanzo	152
iv. Papa	155
v. Sorgo.....	157
4.2.4. Paquetes tecnológicos de cultivos modalidad de temporal	159
i. Ajonjolí.....	159
ii. Cacahuate	161
4.3. Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU) - Región Centro.....	163
4.3.1 Descripción	163
4.3.2. Problemática agrícola.....	163
4.3.3. Paquetes tecnológicos de cultivos - modalidad de riego	165
i. Maíz	165
ii. Frijol	168
iii Garbanzo	171

iv. Tomate.....	174
v. Chile Verde	178
4.3.4. Paquetes tecnológicos de cultivos modalidad de temporal	180
i. Praderas perennes.....	180
ii. Sorgo.....	182
iii Garbanzo	185
4.4. Sitio Experimental Sur de Sinaloa (SESSI)–Perteneiente al Campo Experimental Valle de Culiacán	188
4.4.1. Descripción.....	188
4.4.2 Problemática agrícola.....	189
Paquetes tecnológicos de cultivos modalidad de riego.....	190
i. Tomate	190
ii. Chile verde.....	193
iii. Frijol.....	196
4.4.4. Paquetes tecnológicos de cultivos modalidad de temporal	199
i. Frijol.....	199
ii. Mango.....	201
iii. Sorgo de temporal	204
4.5 Plagas y enfermedades de los cultivos de importancia para el estado de Sinaloa}.....	207
4.5.1 nivel de importancia de las plagas y enfermedades de los cultivos MÁS importantes de sinaloa	207
4.6. Literatura Consultada.....	211

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 4.1 Área de influencia del CIRNO y ambientes agroecológicos	142
Figura 4.2 Publicaciones tipo con paquetes tecnológicos del INIFAP	143
Figura 4.3 Publicaciones realizadas por el Campo Experimental Sur de Sinaloa	190

CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 4.1 Problemática actual de los principales sistemas-producto del norte de Sinaloa	144
Cuadro 4.2 Programas de investigación del Campo Experimental Valle del Fuerte	145
Cuadro 4.3 Requerimientos productivos del maíz en el norte del estado de Sinaloa	146
Cuadro 4.4 Manejo agronómico del cultivo de maíz en la zona norte del estado de Sinaloa	146
Cuadro 4.5 Requerimientos productivos del frijol en la zona norte del estado de Sinaloa ...	149
Cuadro 4.6 Manejo agronómico del cultivo de frijol en la zona norte del estado de Sinaloa	150
Cuadro 4.7 Requerimientos productivos del garbanzo en la zona norte del estado de Sinaloa	152
Cuadro 4.8 Manejo agronómico del cultivo del garbanzo en la zona norte del estado de Sinaloa	153
Cuadro 4.9 Requerimientos productivos de la papa en la zona norte del estado de Sinaloa	155
Cuadro 4.10 Manejo Agronómico del cultivo de papa en la zona norte del estado de Sinaloa	156
Cuadro 4.11 Requerimientos productivos del Sorgo en la zona norte del estado de Sinaloa	157
Cuadro 4.12 Manejo agronómico del cultivo de sorgo en la zona norte del estado de Sinaloa	158
Cuadro 4.13 Requerimientos productivos del Ajonjolí en la zona norte del estado de Sinaloa	160
Cuadro 4.14 Manejo agronómico del cultivo de Ajonjolí en la zona norte del estado de Sinaloa	160
Cuadro 4.15 Requerimientos productivos del Cacahuete en la zona norte del estado de Sinaloa	161
Cuadro 4.16 Manejo Agronómico del cultivo de Cacahuete en la zona norte del estado de Sinaloa	162
Cuadro 4.17 Problemática actual de los principales sistemas-producto del centro de Sinaloa	164
Cuadro 4.18 Programas de trabajo del Campo Experimental Valle de Culiacán.....	164
Cuadro 4.19 Requerimientos productivos del maíz en la zona centro del Estado de Sinaloa	165
Cuadro 4.20 Manejo agronómico del cultivo de maíz en la zona centro del estado de Sinaloa	166

Cuadro 4.21 Requerimientos productivos del frijol en la zona centro del estado de Sinaloa	168
Cuadro 4.22 Manejo agronómico del cultivo de frijol en la zona centro del estado de Sinaloa	169
Cuadro 4.23 Requerimientos productivos del garbanzo en la zona centro del estado de Sinaloa	172
Cuadro 4.24 Manejo agronómico del cultivo del garbanzo en la zona centro del estado de Sinaloa	172
Cuadro 4.25 Requerimientos productivos del tomate en la zona centro del estado de Sinaloa	174
Cuadro 4.26 Manejo agronómico del cultivo de tomate en la zona centro del estado de Sinaloa	175
Cuadro 4.27 Requerimientos productivos del chile en la zona centro del estado de Sinaloa	178
Cuadro 4.28 Manejo agronómico del cultivo del cultivo de chile en la zona centro del estado de Sinaloa.....	179
Cuadro 4.29 Requerimientos productivos de pasto de temporal en el estado de Sinaloa	181
Cuadro 4.30 Manejo agronómico de pastos de temporal en el estado de Sinaloa	182
Cuadro 4.31 Requerimientos productivos de sorgo de temporal en el centro de Sinaloa	183
Cuadro 4.32 Manejo agronómico del cultivo de sorgo de temporal en el centro de Sinaloa...	183
Cuadro 4.33 Requerimientos productivos del garbanzo en la zona centro del estado de Sinaloa	185
Cuadro 4.34 Manejo agronómico del cultivo del garbanzo en la zona centro del estado de Sinaloa	186
Cuadro 4.35 Problemática actual de los principales sistemas-producto del sur de Sinaloa .	189
Cuadro 4.36 Programas de trabajo del Campo Experimental Sur de Sinaloa.....	189
Cuadro 4.37 Requerimientos productivos del Tomate en la zona sur del Estado de Sinaloa	191
Cuadro 4.38 Manejo agronómico del cultivo de tomate en la zona sur del estado de Sinaloa	191
Cuadro 4.39 Requerimientos productivos del cultivo de chile en la zona sur del estado de Sinaloa	194
Cuadro 4.40 Manejo agronómico del cultivo de chile en la zona sur del estado de Sinaloa.	194
Cuadro 4.41 Requerimientos productivos del frijol en la zona sur del estado de Sinaloa	196

Cuadro 4.42 Manejo agronómico del cultivo de frijol en la zona sur del estado de Sinaloa .	197
Cuadro 4.43 Requerimientos productivos de frijol de temporal en el sur de Sinaloa	199
Cuadro 4.44 Manejo agronómico del cultivo de frijol de temporal en la zona sur del estado de Sinaloa	200
Cuadro 4.45 Requerimientos productivos del mango en la zona sur del estado de Sinaloa	201
Cuadro 4.46 Manejo agronómico del cultivo de mango en la zona sur del estado de Sinaloa	202
Cuadro 4.47 Requerimientos productivos del sorgo de temporal en la zona sur del estado de Sinaloa	204
Cuadro 4.48 Manejo Agronómico del cultivo de Sorgo de temporal en zona sur del Estado de Sinaloa	205

4.1 INTRODUCCIÓN

El INIFAP es la principal institución de investigación agropecuaria y forestal, con cobertura nacional que tiene como mandato la generación de conocimientos científicos y de la innovación tecnológica como respuesta a las demandas y necesidades de las cadenas agroindustriales y de los diferentes tipos de productores, contribuir al desarrollo rural sustentable mejorando la competitividad y manteniendo la base de recursos naturales, mediante un trabajo participativo y corresponsable con otras instituciones y organizaciones públicas y privadas asociadas al campo mexicano.

El INIFAP cuenta con ocho Centros de Investigación Regional (CIR) y 38 campos experimentales dedicados a diversas disciplinas, **Figura 4.1**, que buscan generar soluciones a los problemas agropecuarios y forestales. El estado de Sinaloa se encuentra en el área de influencia del Centro de Investigación Regional de Noroeste (CIRNO), donde se encuentran dos campos experimentales y un sitio experimental: Valle del Fuerte (CEVAF), Valle de Culiacán (CEVACU) y sur de Sinaloa (SESSI).

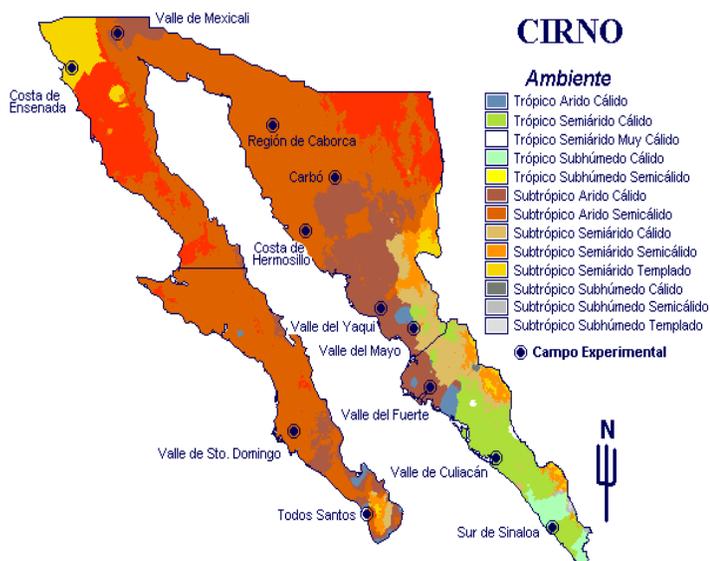


Figura 4.1 Área de influencia del CIRNO y ambientes agroecológicos

Una de las principales aportaciones del INIFAP es la generación y actualización de paquetes tecnológicos para los principales sistemas producto de las principales regiones agrícolas del estado de Sinaloa, dichos sistemas son el medio de transferencia del conocimiento generado en sus campos agrícolas que sirven como fuente de información clara y oportuna para mejorar la producción agrícola (**Figura 4.2**).



Figura 4.2 Publicaciones tipo con paquetes tecnológicos del INIFAP

A continuación se presentan los principales paquetes tecnológicos por región agrícola del estado de Sinaloa que fue compilada de publicaciones del INIFAP y actualizada a través de visitas a las regiones agrícolas y consultadas con los expertos de los tres campos experimentales del INIFAP en Sinaloa; se presenta un resumen de los paquetes tecnológicos de los principales cultivos del Estado de Sinaloa tanto para riego como para temporal.

4.2 CAMPO EXPERIMENTAL VALLE DEL FUERTE (CEVAF) - REGIÓN NORTE

4.2.1 DESCRIPCIÓN

El CEVAF se localiza frente a la ciudad de Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa; en el kilómetro 1609 de la carretera México-Nogales, en el tramo Los Mochis-Guasave. El área de influencia de este campo comprende la región Norte de Sinaloa, que incluye los municipios de Choix, El Fuerte, Sinaloa de Leyva, Ahome y Guasave, donde se establecen cultivos principalmente de riego en los valles de Guasave, El Fuerte y el Carrizo.

El Valle de El Fuerte ubicado en la parte central, está situado en los 25°05' latitud norte y 108°38' longitud oeste; limita al norte con la sierra de Barobampo, al sur con el Río Sinaloa, al este con la Sierra madre occidental y al oeste con el Golfo de California. La temperatura media anual es de 25 °C con máximas de 43 °C, que generalmente se presentan en agosto y septiembre, y mínimas hasta de 2 °C que se registran en enero. La altura es de 15 msnm y la precipitación media en el año es de 352 mm, registrándose la mayor parte en los meses de julio a septiembre.

El clima predominante es cálido, seco estepario de tipo desértico en el verano; en el invierno el clima pasa de moderadamente frío en los meses de noviembre, diciembre y enero a templado a partir de finales de febrero. Esta región cuenta con una superficie de 425,773 ha de riego, que representan el 52.9 % del total de la superficie irrigada en la entidad. Aquí predominan dos grupos de suelo conocidos regionalmente como "aluvión y barrial", el primero se encuentra en los márgenes de los ríos y el segundo en el resto del valle. Los principales afluentes hídricos de la región son los ríos Fuerte y Sinaloa, que abastecen a las obras hidráulicas Luis Donald Colosio, Miguel Hidalgo y Costilla, Gustavo Díaz Ordaz y Guillermo Blake Aguilar cuyas capacidades de almacenaje son: 4568, 3917, 590, 2823 y 488 millones de metros cúbicos, respectivamente.

4.2.2 PROBLEMÁTICA AGRÍCOLA

Actualmente dentro de la, problemática existente en el Valle de El Fuerte (**Cuadro 4.1**), destaca la presencia de enfermedades en la mayoría de los sistemas producto, así como el manejo deficiente del agua. Cultivos como el maíz presentan buenos rendimientos medios (10.3 t ha^{-1}) pero la falta de organización en los sistemas de comercialización, aunado al bajo precio de las cosechas, impiden la obtención de ganancias redituables para el productor. El mal manejo de cultivos como el sorgo, mismo que registra la mayor superficie en el ciclo PV, no permite desarrollar el máximo potencial productivo del cultivo (obteniendo una media de hasta 8 t h^{-1}).

Cuadro 4.1 Problemática actual de los principales sistemas-producto del norte de Sinaloa

Sistema producto	Problemática
Maíz	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de producción • Manejo inadecuado del agua de riego • Falta de semillas híbridas de bajo costo • Adopción insuficiente de tecnologías de producción competitivas • La brecha de rendimiento entre la tecnología INIFAP y la media estatal del productor es de 1.5 t ha^{-1}, en ciclo otoño-invierno
Frijol	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de producción • Alto riesgo de enfermedades virales • Uso y manejo ineficiente del agua de riego • Bajo uso y alto costo de semilla certificada • Adopción insuficiente de tecnologías de producción competitivas • Mecanización completa de la cosecha
Hortalizas	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de producción • Alto riesgo de mercados si no se cumplen las normas de inocuidad alimentaria. • Patógenos (virus, fitoplasmas, bacterias y hongos) como factor de productos de baja calidad y rendimiento. • Contaminación ambiental con pesticidas y fertilizantes.
Sorgo	<ul style="list-style-type: none"> • Brecha de rendimiento entre lo experimental (8.8 t ha^{-1}) y la media estatal (6.0 t ha^{-1}) en riego. • Alto riesgo en temporal por distribución errática de lluvias y prácticas inadecuadas de manejo del cultivo. • Ergot (<i>Sphacelia sorghi</i>) como factor de baja calidad y rendimiento.

Para responder a las necesidades de investigación, el CEVAF ha establecido 10 programas de investigación donde se desarrollan proyectos de investigación, validación y transferencia de tecnología, se cuenta también con 10 investigadores de tiempo completo enfocados a los diferentes programas, como se presenta en el **Cuadro 4.2**.

Cuadro 4.2 Programas de investigación del Campo Experimental Valle del Fuerte

Programa	Tipo	Sub-programa
Mejoramiento genético	Investigación	Frijol, Trigo, Maíz, Garbanzo, Soya, Cártamo
Entomología	Investigación y validación	Maíz, Frijol, Tomate, Cítricos.
Sistema de labranza	Investigación y validación	Maíz, Frijol, Trigo, Soya
Nutrición	Investigación	Trigo y Maíz
Agricultura orgánica	Investigación y validación	Hortalizas, Maíz, Garbanzo, Mango
Predicción de cosechas	Investigación	Maíz y frijol
Uso y manejo del agua	Investigación, validación y transferencia de tecnología	Maíz, papa, frijol, sorgo, perennes
Modelaje	Investigación, validación y transferencia de tecnología	Cultivos varios
Biocombustibles	Investigación, validación y transferencia de tecnología	Caña, remolacha
Frutales	Investigación, validación y transferencia de tecnología	Mango, cítricos
Capacitación y apoyo a la transferencia de tecnología	Transferencia de tecnología	Cursos, Publicaciones, Proyectos, Días de Campo, Misiones Tecnológicas

4.2.3. PAQUETES TECNOLÓGICOS DE CULTIVOS - MODALIDAD DE RIEGO

i. Maíz

El maíz es el cultivo más importante en Sinaloa tanto por la superficie sembrada como por la rentabilidad y posibilidades de incremento del rendimiento medio, gracias al potencial que ofrecen los nuevos híbridos comerciales como por la tecnología de producción que se ha venido desarrollando. En el norte del estado se establecen 227,000 ha que representan el 53 % de la superficie establecida de este cultivo en todo el estado, con un rendimiento medio de 10.3 t ha⁻¹ en riego ciclo otoño-invierno (OI), el más alto de la entidad. Su área de influencia básicamente comprende toda la zona, ya que las características propias del cultivo le permiten adaptarse a los diferentes climas de la región. En los **Cuadros 4.3** se presentan sus requerimientos productivos para las condiciones del norte de Sinaloa.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 4.3 Requerimientos productivos del maíz en el norte del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimiento agroecológico	Clima y suelo	Fotoperiodo: medio 10 horas; altitud: 0-3300 msnm; precipitación: 500-800 mm; humedad ambiental: moderadamente húmeda; temperatura: 15-28 °C; luz: alta insolación; textura: suelos franco-arcillosos y franco-limosos, arenoso; profundidad: 0.8-1 m; salinidad: menor a 7 dS m ⁻¹ ; pH: 5.5 a 7.5; Drenaje: requiere buen drenaje.
Sistemas de producción	Trazo de surcos y distribución de semilla	La siembra se realiza con separación entre hileras de 75-80 cm, pudiéndose realizar tanto en húmedo como en seco, excepto en suelos de aluvión que solo se realiza en húmedo. Existen sistemas de distribución de semillas a doble hilera en surcos convencionales, doble hilera en camas de 1 m y separación entre surcos de 50 cm, manteniendo la misma densidad de plantas (100 000 plantas ha ⁻¹).
Área de influencia	Ahome, El Fuerte, Choix, Guasave y Sinaloa de Leyva.	El maíz es el cultivo más importante en todo el estado de Sinaloa por su rentabilidad y posibilidad de incrementar su rendimiento medio. A nivel estado la zona norte es la más importante tanto en superficie como en producción, estableciendo 227,589 ha, de las 422,719 ha establecidas, esto equivale al 55 % de la superficie, con una producción de 379 300 t y un rendimiento medio de 10.3 t ha ⁻¹ .
Época de siembra	Fechas de siembra de cultivo ciclos OI y PV	Para el ciclo OI, se sugiere sembrar de noviembre a diciembre, la fecha óptima de siembra es el 15 de noviembre. Esta fecha registra los mejores rendimientos y la menor incidencia en plagas y enfermedades (pudiéndose considerarse el periodo óptimo del 10 al 20 de noviembre). Para el ciclo PV los rendimientos caen un 30-35 %, la siembra se registran en los meses de febrero y marzo siendo la fecha óptima del 25 de febrero al 10 de marzo.
Costos de Producción	Desglose de costos en porcentaje	Preparación del terreno 17 %, Siembra 18 %, Fertilización 27 %, Labores culturales 3 %, Riegos 8 %, Control integral de plagas y enfermedades 6 %, Cosecha 9 %, Diversos 12 %. Costo total del cultivo \$19,942 (2009-2010). (Por dicha distribución se reflejan los altos costos de la producción).

Actualmente las adecuaciones tecnológicas a implementos agrícolas permiten reducir las labores de preparación con fines de conservación de suelos. A continuación el **Cuadro 4.4** muestra el manejo agronómico del cultivo aplicado a la zona norte del Estado.

Cuadro 4.4 Manejo agronómico del cultivo de maíz en la zona norte del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	Labranza completa (barbecho ó subsuelo, rastreo, nivelación, marca y escarificación). Labranza reducida, a mediano plazo es una de las mejores, consiste en realizar solamente una escarificación previa a la siembra.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
Siembra	Se realiza con sembradora de precisión, colocando la semilla en el lomo del surco a 5cm de profundidad para siembra en seco, para siembras en húmedo asegurar que la semilla se coloque en la zona húmeda (7-12 cm). La densidad de siembra es de 6-7 (90,000 plantas ha ⁻¹) semillas por metro lineal cuando el cultivo se destina a la producción de elote y de 7-9 (100,000 plantas ha ⁻¹) semillas cuando se destina a la producción de grano.
Riego	Requiere de 400-500 mm aproximadamente durante el ciclo de cultivo, dependiendo de la fecha de siembra. La aplicación del riego debe realizarse considerando las etapas críticas, para la zona norte se recomienda aplicar el primer riego de auxilio cuando se tengan 8-9 hojas verdaderas que en promedio se presenta a los 55 días después de siembra, el segundo auxilio se aplica al tener de 12-14 hojas verdaderas con un intervalo entre riego de 31 días, esto a los 80-90 días después de siembra: el tercer auxilio se aplica en la etapa VT (antesis) que es a los 110-120 días después de siembra, y el cuarto auxilio en la etapa de grano lechoso de los 130-140 días después de siembra. En primavera-verano los riegos se aplica en dichas etapas fenológicas aun los intervalos en días puedan variar.
Fertilización	Cada terreno requiere fertilización específica, esto en función del rendimiento esperado. Para un rendimiento de 10 ton ha ⁻¹ se requiere 250 Kg ha ⁻¹ de N (nitrógeno), 100 Kg ha ⁻¹ de P (fosforo) y 200 Kg ha ⁻¹ de K (potasio). Las fuentes nitrogenadas más utilizadas son el amoníaco anhidro, con una concentración de 82 %, la urea al 46 % y el sulfato de amonio con 20 % de nitrógeno.
Plagas y enfermedades	Plagas: Gusano trozador (<i>Agrotis</i> sp.) Las palomillas son de tamaño medio y de color oscuro. Las larvas se alimentan de las plantas mordidiéndolas arriba de la base del tallo, lo que ocasiona su muerte. Un solo gusano trozador puede destruir todas las plantas de varios metros, aunque sólo consume una parte de ellas. Las larvas pupan en el suelo, el aspecto y forma de las pupas es similar a las del gusano cogollero y gusano elotero. Esta plaga es importante desde la emergencia del cultivo hasta que las plantas tienen alrededor de 30 cm de altura. El ataque ocurre durante la noche, el insecto corta las plantas al ras del suelo. No está determinado el impacto económico que el gusano trozador provoca en el cultivo de maíz, ya que su presencia y daño es inconstante, sin embargo, cuando reducen el número de plantas recomendadas por metro lineal el rendimiento se ve afectado. Trips (<i>Caliothrips phaseoli</i> Hood y <i>Frankliniella</i> spp). El adulto del trips negro <i>C. phaseoli</i> mide un poco más de un milímetro de largo y es gris oscuro con bandas claras en las alas; el trips del cogollo <i>Frankliniella</i> es color amarillo y mide aproximadamente lo mismo que el trips negro. Los huevecillos son depositados en el envés de las hojas. Normalmente es una plaga de inicio de temporada del cultivo; no obstante, se le detecta presente en el resto del ciclo vegetativo. El trips negro y el trips del cogollo raspan y chupan los tejidos, producen cicatrices que en conjunto ocasionan a la planta un aspecto cenizo. En el cultivo la mayor e importante presencia de los trips es cuando el cultivo es pequeño, aproximadamente hasta los 30 cm de altura. El comportamiento de estas plagas se diferencia, ya que el trips negro se le encuentra en el envés de las hojas, mientras que el trips del cogollo se le encuentra precisamente en esa parte de la planta. Estas plagas son favorecidas por períodos de sequedad y temperatura baja, debido a que las plantas tienen un crecimiento más lento. El control químico se recomienda cuando se observen colonias densas de trips por planta y daño notorio en la planta. Pulgón del cogollo, (<i>Rhopalosiphum maidis</i>, Fitch). El adulto mide aproximadamente dos milímetros de largo, algo redondeado, de color azul-verde; tiene las antenas y patas negras y los cornículos son negros, cortos, gruesos y divergentes. En plantas infestadas se observan numerosos pulgones en el cogollo y la parte superior del tallo. Las hojas infestadas se observan moteadas, con áreas amarillas o rojas. Los pulgones pueden ocasionar un retraso de crecimiento y llegan a afectar hasta el 30 % del rendimiento. Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i> J.E. Smith). Se considera la plaga más

Concepto	Descripción
	<p>importante del maíz. La larva se localiza en el cogollo alimentándose de las hojas tiernas, las cuales al desarrollarse se observan agujeradas, lo que ocasiona retraso en el desarrollo del cultivo. Esta plaga es importante desde que la planta emerge hasta que tiene alrededor de 50 cm de altura. En infestaciones tardías puede afectar las espigas y el elote. El adulto es una palomilla que mide 3.0 cm con las alas extendidas. Es café grisáceo, se localiza en el follaje y en las grietas del suelo, oviposita en el envés de las hojas en grupos de 200 a 300 huevecillos los cuales se encuentran cubiertos con escamas que se desprenden del adulto. El período de incubación varía de acuerdo a las condiciones ambientales. Cuando el daño del gusano cogollero rebasa el 20% de plantas afectadas, el rendimiento puede disminuir en un 20% o más, dependiendo de la etapa de desarrollo afectada y de la cantidad de la población plaga.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Roya o Chahuixtle (<i>Puccinia polysora</i>). Aunque se presenta en todas las zonas productoras de maíz, en el norte de Sinaloa no ha sido problema. Sin embargo, normalmente a partir febrero (en que inicia el incremento de las temperaturas, acompañado de neblinas) se dan las condiciones favorables para que la infección se presente y progrese, pudiendo reducir la producción hasta el 15 %. Cuando existen condiciones cálidas y húmedas, las uredosporas germinan y producen la infección, inicialmente en las hojas inferiores, pero a temperaturas de 16 a 23 °C con humedad relativa alta, pueden invadir las hojas superiores y afectar el rendimiento.</p> <p>Achaparramiento (<i>Spiroplasma kunkelii</i>). Esta enfermedad se observa con frecuencia en las siembras de primavera-verano, se caracteriza porque en la época de espigamiento se observan franjas anchas de color amarillo rojizo en las hojas enfermas. Los entrenudos se cortan, resultando plantas más pequeñas. Se forman ramificaciones en las axilas y mazorcas, y se producen hasta seis mazorcas en una caña. Las puntas de las hojas de la mazorca se ramifican tomando la apariencia de hojas y en la mazorca se forman pocos granos y algunas veces ninguno. Esta enfermedad es de creciente preocupación para los productores del maíz. Se presenta en forma endémica, llegando a alcanzar en los casos más severos de 70 a 100 % de pérdidas en las siembras afectadas.</p> <p>Carbón común (<i>Ustilago maydis</i>). Esta enfermedad aparece donde quiera que se cultiva esta planta. Sin embargo, aparece con mayor frecuencia en las áreas cálidas y moderadamente secas, temperaturas entre 17 y 33 °C y baja humedad ambiental son propicias para el desarrollo de la enfermedad donde ocasiona daños graves en las variedades susceptibles y en particular en el maíz dulce, disminuyendo su producción, ya que forma agallas en cualquiera de sus órganos aéreos, incluyendo mazorcas, espigas y hojas. El número, tamaño y localización de las agallas que produce el carbón sobre la planta afecta al monto de las pérdidas productivas. Por lo común, las agallas que se forman sobre la mazorca la destruyen casi por completo, mientras que las agallas grandes que se forman en la parte superior de la mazorca ocasionan una disminución mucho mayor en la producción de las plantas que la que ocasionan las que se encuentran debajo de ella. Las pérdidas debidas al carbón del maíz varían ampliamente de una localidad a otra y pueden ir desde un valor insignificante hasta un 10% o más en áreas localizadas. Algunos campos de maíz dulce pueden mostrar pérdidas que se aproximan a un 100%, ocasionada por dicha enfermedad. Sin embargo, en general, en relación a las áreas extensas y al uso de variedades resistentes, las pérdidas en rendimiento de grano tienen un promedio de casi un 2%.</p> <p>Pudrición del tallo (<i>Fusarium, Diplodia, Pythium y Macrophomina</i>). Se presenta un marchitamiento total de la planta, seguido por un rápido desecamiento que puede afectar plantas aisladas, manchones o tramos del surco. En la base del tallo se aprecia una porción oscura y en la parte interna el tejido se encuentra destruido o desgarrado; su color es café si es causado por <i>Fusarium</i> o <i>Diplodia</i>. Si se trata de este último se observan los picnidios oscuros. Si el causal es <i>Botrydiploia</i> se observa un micelio algodonoso oscuro. La pudrición por <i>Pythium</i> va acompañada de una constricción del tallo a manera de torcedura. En los últimos años se ha presentado esta enfermedad con incidencia variable,</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	llegando a ser fuerte. En lotes infestados es frecuente que se presente el acame de plantas, causando gran cantidad de mazorcas sean comidas por roedores, o bien, que durante la cosecha la trilladora o combinada no alcance a levantarlas y se traduzca en pérdidas de rendimiento hasta en un 15 %.
Cosecha	La cosecha debe realizarse cuando el grano contenga de 15-18 % de humedad, cuando el maíz llega a su madurez fisiológica el contenido de humedad del grano es del 35 %, de esta etapa en adelante el grano comienza a perder humedad, se sugiere monitorear al humedad a partir de esta etapa.

ii. Fríjol

En la zona norte del estado específicamente la zona de riego se cultivan alrededor de 80,000 ha; que aportan una cosecha aproximada de 142,500 t con rendimiento promedio de 1.9 t ha⁻¹. La producción de frijol a nivel estatal asciende a 241,176 t. Los requerimientos productivos y manejo agronómico se presentan en los **Cuadros 4.5 y 4.6**.

Cuadro 4.5 Requerimientos productivos del frijol en la zona norte del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos agroecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: corto. Altitud: 0- 2400 msnm. Precipitación: 1,000-1,500 mm. Humedad ambiental: moderadamente húmeda (50-60 %). Temperatura: 18-25 °C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-arcillosa y franco-arenosa. Profundidad: 0.6-1m. Salinidad: 0-1 dS m ⁻¹ . pH: 5.3-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje
Sistema de producción	Trazo de surcos y distribución de semilla	En suelos arcillosos se sugiere una separación entre surcos de 70-80 cm, para variedades de crecimiento determinado tipo mata, además se puede emplear el método de camas de 1 m con separación entre hileras de 40 cm, para variedades de tipo de crecimiento de semiguía se utiliza la separación entre hilera de 80 a 92 cm.
Área de influencia	Ahome, El Fuerte, Guasave y Sinaloa de Leyva	Ahome, Guasave y El Fuerte son los municipios que mayor superficie registra con 74,139 ha en modalidad de riego, así mismo son los municipios que obtienen los mejores rendimientos con un promedio de 1.9 t ha ⁻¹ .
Época de siembra	Fechas de siembra del cultivo para el ciclo OI.	Para las variedades de grano negro, se sugiere sembrar del 25 de septiembre al 15 de octubre, para las de tipo Azufrado Peruano del 5 de octubre al 10 de noviembre y para las variedades tipo Azufrado regional del 1 de octubre al 5 de noviembre.
Desglose de costos	Desglose de costos en porcentajes	Preparación del terreno 18 %, Siembra 19 %, Fertilización 20 %, Labores culturales 5 %, Riegos 6 %, Control integral de plagas y enfermedades 8 %, Cosecha 11 %, Diversos 13 %, Costo total del cultivo \$16,110 (2009-2010). (Por dicha distribución se reflejan los altos costos de la producción).

El cultivo de frijol presenta alta sensibilidad a excesos de humedad en el suelo, estos excesos hídricos pueden provocar enfermedades como el Moho Blanco, pudriciones de raíz y tallo y bacteriosis, mismas que afectan directamente la producción del cultivo, la eficiente

aplicación del riego es una acción que define su desarrollo y rendimiento óptimo; la eficiencia del riego en la zona es del 35-45 % bajo el sistema de gravedad, que es el más empleado.

Cuadro 4.6 Manejo agronómico del cultivo de frijol en la zona norte del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	El cultivo puede establecerse tanto en suelos de aluvión como de barrial, con labranza completa (barbecho o subsuelo, rastreo, nivelación, marca y escarificación) así como con labranza mínima, por lo regular se establece después de siembras de sorgo, lo cual obliga a realizar labranzas completas, cuando la siembra es después de maíz se puede utilizar la labranza mínima o reducida.
Siembra	Se realiza comúnmente con sembradoras de precisión con el fin de lograr una densidad de siembra de 18-22 semillas m ⁻¹ , en hilera sencilla, mientras que en doble hilera se siembran de 12-14 semillas, buscando así que germinen aproximadamente 200,000 plantas ha ⁻¹ . Efectuándose esta en húmedo, previo a un riego de presiembra. Y la semilla debe colocarse en la zona húmeda de la cama de siembra.
Riego	Para un buen desarrollo del cultivo no debe faltar humedad en las etapas críticas, las cuales comprenden desde la etapa fonológica de la floración hasta el llenado del grano. En suelos arcillosos (barrial), dos riegos de auxilio son suficientes para las variedades intermedias y precoces, uno al inicio de la floración a los 45-50 días después de siembra y el segundo en la formación de vainas a los 60 días aproximadamente, en suelos francos (aluvión), se debe aplicar el mismo tratamiento de riegos; mientras que en los materiales tardíos (grano negro), se requiere un riego adicional entre 75-80 días, en caso de presentarse lluvias invernales (equipatas), dicho riego puede omitirse.
Fertilización	Además de los suministros aportados por la relación simbiótica de la planta ya que se debe tomar en cuenta la posible fijación atmosférica de nitrógeno por bacterias del género <i>Rhizobium</i> ; en siembras después de sorgo y maíz se sugiere aplicar de 100-120 Kg ha ⁻¹ de nitrógeno y en rotación con otra leguminosa aplicar de 60-80 Kg ha ⁻¹ . En caso de contar con análisis de suelo basarse en este para determinar las dosis de fertilización.
Plagas y enfermedades	<p>Plagas:</p> <p>Mosquita blanca (<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius) y (<i>B. argentifolii</i> Bellows & Perring). La importancia de la mosquita blanca en el cultivo del frijol se debe a su capacidad para transmitir el complejo de virus (virus del mosaico dorado, del clorótico, rugoso y cálico). La mayor población de este insecto ocurre durante el verano (julio-septiembre) y decrecen en el invierno (a partir de octubre), por lo que las fechas de siembra son determinantes para reducir riesgos de daño por el insecto como vector. Se considera que siembras muy tempranas (septiembre) o muy tardías (diciembre) son las más afectadas. Reduciendo el rendimiento en más del 50%.</p> <p>Chicharrita (<i>Empoasca</i> spp.). Los adultos miden unos tres milímetros de largo, son alargados y de color verde tierno; insertan sus huevecillos a lo largo de las nervaduras en el envés de las hojas. Las ninfas nacen a los pocos días y pasan por cinco instares. Son de color blanco sucio y, al igual que los adultos, chupan la savia de las hojas, la planta detiene su crecimiento y decrece la producción de ejote y calidad del grano. Las plantas atacadas por ninfas y adultos no se desarrollan normalmente; las hojas presentan deformaciones y enrollamientos hacia abajo, con amarillamiento en los bordes; también hay deformación de las vainas, achaparramiento general de la planta y pérdidas sustanciales de la producción. La disminución del rendimiento puede ser mayor al 40%, dependiendo de la severidad del ataque y la etapa de desarrollo del cultivo.</p> <p>Trips (<i>Caliothrips phaseoli</i> Hood). Los huevecillos son insertados en los tejidos del envés de las hojas; las ninfas raspan y chupan las hojas, produciéndoles cicatrices que le dan un aspecto cenizo. Posteriormente, las hojas muy atacadas se tornan de color cobrizo y después se acartonan; pueden ocasionar la defoliación prematura de la planta. El daño se puede reflejar en una considerable merma en el rendimiento, sobre todo en la etapa de prefloración,</p>

Concepto	Descripción
	<p>reduciéndolo hasta en un 25%.</p> <p>Diabrotica (<i>Diabrotica balteata</i> Leconte). El adulto mide unos seis milímetros de largo y es de color verde claro con bandas amarillentas transversales en los élitros. Ocasionalmente se presenta en infestaciones altas, que causan daño al frijol antes de floración. El daño se manifiesta como orificios de diversos tamaños. Cuando las plantas son chicas pueden destruirlas completamente. En infestaciones muy fuertes, ataca flores y vainas tiernas. Esta plaga es frecuente encontrarla en las siembras efectuadas en el mes de septiembre. Su daño directo no se considera de índole económica generalmente.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Mosaico dorado. Esta enfermedad es causada por el virus del mosaico dorado del frijol (BGMV), es el virus más importante en la región ya que puede ocasionar pérdidas en el cultivo de 25-95%; su intensidad depende en gran parte de las poblaciones de mosca blanca que se encuentren en el cultivo o cerca de él. Ataca a todas las variedades. Para prevenir esta enfermedad se sugiere, ajustarse al período de siembra ya mencionado (las siembras anticipadas son las más afectadas por la enfermedad) utilizar variedades tolerantes y controlar oportunamente los insectos chupadores, particularmente la mosquita blanca.</p> <p>Mosaico común. Esta enfermedad es causada por el virus del mosaico común del frijol (BCMV), es el patógeno viral más importante de este cultivo, debido a que puede ser transmitido en un alto porcentaje, mecánicamente por la semilla y por varias especies de áfidos. Un promedio de 35% de las semillas producidas por una planta infectada antes de la floración podrían dar origen a plantas con mosaico común. Esta patógeno se presenta en todas las zonas productoras, ocasionando pérdidas del orden del 6 al 98% de la producción. Para prevenir esta enfermedad se recomienda utilizar variedades resistentes a este patógeno, ajustarse al periodo de siembra ya mencionado y evitar el ingreso de áfidos al cultivo.</p> <p>Mosaico enano. Esta enfermedad es causada por el virus del mosaico enano del frijol (BDMV) y es transmitido por mosquita blanca. Esta enfermedad no es de importancia económica debido a que se ha presentado con incidencias muy bajas. Para prevenir la presencia de esta enfermedad es necesario manejar la población del insecto vector, utilizar variedades tolerantes y sembrar en la época antes mencionada.</p> <p>Bacteriosis. Esta enfermedad se ha detectado cuando se presentan condiciones ambientales húmedas y cálidas, con neblinas y precipitaciones fuertes. Puede ocasionar pérdidas de 20-60% en el rendimiento del cultivo. Para prevenir su ataque se debe utilizar semilla producida en lotes libres de bacterias fitopatógenas, además se sugiere barbechar para colocar residuos infectados en un estrato inferior y rotar con cultivos tolerantes. No se debe transitar con maquinaria, implementos o gente por el cultivo cuando haya presencia de rocío, para evitar la diseminación del patógeno. El control químico puede efectuarse, aplicando compuestos a base de cobre y antibióticos.</p> <p>Moho blanco (<i>Sclerotinia</i> Whetzelinia) (<i>sclerotiorum</i> Lib. De By). La enfermedad se inicia generalmente durante la floración, cuando hay suficiente follaje que permite una mayor retención de humedad en torno a la planta. Se identifica por el crecimiento algodonoso de color blanco que cubre la superficie o el interior de porciones de ramas, vainas y hojas. Las vainas, tallos y ramas se marchitan, por lo que causan una reducción en el tamaño de la semilla. Las vainas en contacto con el suelo se infectan rápidamente. Cuando hay suficiente humedad en la atmósfera, las lesiones en las diferentes partes de la planta se cubren con la masa del micelio de color blanco, característica del hongo. Esta enfermedad se ha presentado sistemáticamente en la zona de aluvión, pero se ha extendido hacia el barrial, atacando otros cultivos, sobre todo hortícolas. Se desarrolla a una temperatura media inferior a 21°C. La alta humedad relativa o del suelo, provocada por riegos pesados, lluvias invernales o rocíos intensos, reúne las condiciones propicias para que la enfermedad prolifere rápidamente. Por lo cual es necesario extremar las medidas precautorias para reducir su incidencia y en especial en el uso y manejo del agua y de variedades tolerantes. En los ciclos húmedos que favorecen el desarrollo de este patógeno, es necesario establecer un combate preventivo con fungicidas.</p>

Concepto	Descripción
	Roya o Chahuixtle (<i>Uromyces phaseoli</i> var. <i>typica</i>). Esta enfermedad se presenta en variedades criollas sobre todo al sembrarlas en fechas tardías. Pueden defoliar prematuramente la planta y con ello reducir el tamaño de vainas y granos que se refleja en baja de producción. El hongo ataca las hojas y es más abundante y notorio en el envés, pero también invade vainas y tallos. Los primeros síntomas aparecen como pequeños puntos amarillo pálido, que son las pústulas. El hongo sobrevive como uredosporas o teliosporas. Al germinar producen basidiosporas que penetran al tejido a través de la cutícula. Con clima húmedo y temperatura de 16 a 25°C se forman las uredosporas en un lapso de 10 a 15 días, dando lugar a las infecciones secundarias al diseminarse por el viento, principalmente. Estas estructuras maduran para formar teliosporas y ambas son las fases de sobrevivencia del hongo. Para evitar daños por esta enfermedad se sugiere utilizar las variedades recomendadas en su fecha óptima de siembra ya que cuentan con resistencia genética al patógeno.
Cosecha y poscosecha	Inicia al presentarse la madurez fisiológica de la planta, la cual se realiza en tres fases: arranque, enchorizado y trilla; existen equipos que realizan el arranque y enchorizado al mismo tiempo, regularmente se forman chorizos de 8 y 12 surcos. La trilla se realiza al contar con un porcentaje de humedad de 12-14 %.

iii Garbanzo

El garbanzo, dentro del área de influencia del norte del estado, es un cultivo de importancia ya que durante el ciclo 2009-10 se cosecharon 12,588 ha bajo condiciones de riego; de las 21,049 ha establecidas, lo que equivale al 60 %, con un rendimiento promedio de 2.1 t ha⁻¹. En los **Cuadros 4.7 y 4.8** se presentan los requerimientos productivos y manejo agronómico respectivamente.

Cuadro 4.7 Requerimientos productivos del garbanzo en la zona norte del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos agroecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: corto. Altitud: 0- 2200 msnm. Precipitación: 1,000-1,250 mm. Humedad ambiental: moderadamente húmeda (40-50 %). Temperatura: 18-25 °C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-arcillosa y franco-arenosa. Profundidad: 0.6-1m. Salinidad: 2-6 dS m ⁻¹ . pH: 6.2-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje
Sistema de producción	Trazo de surcos	Tanto en barrial como en aluvión se sugiere sembrar en surcos de 80-92 cm de separación, con una sola hilera por surco. En la actualidad se ha experimentando con diferentes sistemas de producción como son las camas con doble hilera a 140 cm (60-80 cm) respetando la densidad de semilla por metro cuadrado, a través de dicha camas se realiza el riego únicamente por un solo lado de cada hilera de siembra.
Área de Influencia	Ahome, El Fuerte, Guasave y Sinaloa de Leyva	El cultivo del garbanzo se adapta de buena forma en los municipios del Guasave y El Fuerte, esta última área es donde se concentra la mayor superficie de esta leguminosa bajo riego.
Época de siembra	Fechas de siembra	La siembra se efectúa del 1ero de noviembre al 10 de diciembre, siendo su fecha óptima, durante el mes de noviembre. La siembra antes de la sugerida se tiene problemas con altas temperaturas y alta incidencia de plagas, como gusano trazador, minador de la hoja y gusano soldado, mientras que en la siembra posterior a la recomendada presenta problemas con enfermedades foliares principalmente.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable	Descripción	Especificaciones
Desglose de costos	Desglose de costos en porcentajes	Preparación del terreno 18 %, Siembra 19 %, Fertilización 20 %, Labores culturales 5 %, Riegos 6 %, Control integral de plagas y enfermedades 8 %, Cosecha 11 %, Diversos 13 %, Costo total del cultivo \$14,000 (2009-2010) (por dicha distribución se reflejan los altos costos de la producción)

Cuadro 4.8 Manejo agronómico del cultivo del garbanzo en la zona norte del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	En barrial se sugiere realizar un barbecho o subsuelo, dos pasos de rastra, nivelar y surcar al momento de la siembra; mientras que en aluvión, dos pasos de rastra con riel detrás y nivelación, son suficiente. Este cultivo se desarrolla mejor en suelos de barrial con drenaje interno para evitar el encharcamiento, los cuales son causantes del complejo de pudriciones radicales, denominadas comúnmente "rabia". También es factible realizar labranza reducida, esto consiste en utilizar lo menos la maquinaria para la preparación del suelo tratando de que los residuos de cosecha queden en la superficie. El éxito de dicho método, estriba en el hecho de que en su inicio el terreno no esté fuertemente compactado, así como en la disponibilidad de equipo para la siembra.
Siembra	Se realiza con sembradoras de precisión depositando de 14-16 semillas (90-100 Kg ha ⁻¹), para lograr una densidad máxima de 12 plantas m ⁻¹ . Tanto en barrial como en aluvión se sugiere sembrar en surcos de 80-92 cm de separación, en barrial la siembra es en el lomo del surco mientras que en aluvión se siembra en plano.
Riego	En suelos de barrial sugieren dos riegos de auxilio, el primero previo a la floración, es decir a los 40 días de sembrado y el segundo al iniciar el llenado de las capsulas a los 65 días, ambos riegos deben ser ligeros y de preferencia en surcos alternos. En suelos de aluvión, con manto freático elevado, un solo riego de auxilio al inicio de floración puede ser suficiente dependiendo de la presencia de lluvias invernales ("equipatas"). Antes del primer riego de auxilio, debe levantarse el surco con objeto de conducir el agua con facilidad y evitar encharcamientos.
Fertilización	En suelos de barrial y aluvión es conveniente inocular la semilla. Al momento de la siembra se deben aplicar de 80-100 unidades de nitrógeno por hectárea. Es preferible aplicarlo antes de la siembra o en el momento de la siembra. Las dosis sugeridas pueden variar de acuerdo al análisis de suelo.
Plagas y Enfermedades	<p>Plagas:</p> <p>Gusano trozador (<i>Agrotis sp.</i>). El gusano trozador es una larva rechoncha y de color gris, con tonalidades café oscuras y claras, llega a medir alrededor de cuatro cm de longitud se les encuentra enroscada en el suelo, a una profundidad de unos 3 a 5 cm, cerca del tallo de las plántulas afectadas. El daño del gusano trozador es importante hasta los 30 días después de la emergencia del cultivo. Se sugiere efectuar muestreos periódicos y cuando se encuentre más de una planta trozada en 10 metros y se corra el riesgo de que el número de plantas sea menor a la densidad de plantas recomendadas por metro lineal (12 plantas en promedio), se sugiere realizar el control químico.</p> <p>Minador de la hoja <i>Liriomyza sativae</i> Blanchard. Los adultos son mosquitas de unos 2.5 mm de largo; de color amarillo con el dorso oscuro brillante y alas bien desarrolladas. Ponen sus huevecillos en los cotiledones de las plantas pequeñas, haciendo que la planta se desarrolle anormal o se seque por el ataque de patógenos. La mosca minadora hace galerías en las hojas, ocasionando defoliaciones severas cuando sus poblaciones son muy altas; si esto ocurre cuando el grano está en formación, el rendimiento y la calidad decrecen, debido a que los granos no se desarrollan normalmente y quedan "chupados". Se considera que las siembras del mes de noviembre son menos afectadas, mientras que las siembras de octubre y tardías en diciembre o posteriores pueden ser afectadas seriamente.</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	<p>Gusano soldado <i>Spodoptera exigua</i> (Hubner). Los adultos de gusano soldado miden 1.2 cm de longitud. Las alas anteriores son de color gris brillante con un pequeña mancha circular color naranja pálido, situada ligeramente después de la mitad de las alas, cerca del margen externo de las mismas; debajo de esa mancha presenta otra marca un poco más pequeña de forma arriñonada. Generalmente las larvas consumen el follaje tierno y cuando la infestación es muy alta también se alimentan de los granos en formación, afectando el rendimiento y la calidad; el daño del gusano soldado en las cápsulas se diferencia del ocasionado por el gusano de la bolsa porque el del primero perfora la cápsula dejando un orificio irregular, en cambio, el gusano de la cápsula realiza un orificio más o menos redondo y sus excrementos los deja generalmente dentro de la fructificación.</p> <p>Gusano de la cápsula <i>Helicoverpa zea</i> y <i>H. virescens</i>. La primera especie es una palomilla de unos 2.5 centímetros de largo, su color es café ocre, con una pequeña mancha en el centro de las alas superiores. <i>H. virescens</i> mide alrededor de dos centímetros, es de color crema, con tres bandas oblicuas de color café en las alas superiores. A ambas especies se les conoce como gusano de la cápsula o de la bolsa, sin embargo, en el norte de Sinaloa se ha observado que <i>H. virescens</i> predomina en el cultivo de garbanzo en un 100%, pero no se descarta la presencia de <i>H. zea</i>. El gusano de la cápsula es el insecto plaga más importante del garbanzo, por el daño directo que origina reduciendo el rendimiento y la calidad del grano. Principalmente en las fechas de siembra tardías después de noviembre, en las que se pueden encontrar decenas y hasta cientos de larvas por metro de surco, en ésta situación es común que se requieran desde una a más de tres aplicaciones de insecticidas, en muchas ocasiones con resultados poco favorables. Lo anterior origina pérdidas económicas en el cultivo, propicia la selección de resistencia de los insectos a los insecticidas, contamina el medio ambiente y al grano cosechado poniendo en riesgo la comercialización en los mercados de exportación.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Rabia (<i>Fusarium solani</i>, <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>ciceri</i>, <i>Rhizoctonia solani</i>, <i>Macrophomina phaseolina</i> y <i>Sclerotium rolfsii</i>). Ha sido una enfermedad causante de fuertes daños a la producción de este cultivo y difícil de erradicar del suelo. Cuando la enfermedad se presenta en un cultivo de garbanzo puede provocar la pérdida total de la producción. Para su prevención se deben dar riegos ligeros, evitando estancamientos que fomenten la enfermedad y deben destruirse residuos infectados, para evitar su diseminación. Se sugiere emplear variedades de reciente liberación, pues se comportan como tolerantes a este complejo de hongos.</p> <p>Roya (<i>Uromyces ciceris-arietini</i> Jacz). Es una enfermedad que se presenta en todas las áreas productoras cuando existe ambiente favorable y puede causar pérdidas considerables superiores al 30% de la producción. Para prevenirla ajústese a la siembra de variedades sugeridas en su período de siembra recomendado, para escapar al ataque de este hongo.</p> <p>Moho gris (<i>Botrytis cinerea</i>). Se ha presentado esporádicamente en años atípicamente húmedos y lluviosos, causando pérdidas en el cultivo casi total. Existen posibilidades de que vuelva a presentarse si las condiciones se repiten. En tal caso deben aplicarse prácticas tendientes a prevenir la humedad alta en el cultivo, como sembrar al menos a 80 cm, con tiradas de riego cortas. Los síntomas pueden ser desde aborto de flores, necrosamiento de los puntos de las hojas, dando la planta una apariencia de quemada. En todas las partes afectadas por este hongo se observa una coloración gris oscura, debido a la formación de estructuras del hongo. En caso de presentarse la infestación, se puede aplicar Benlate en dosis de 0.5 a 1.0 kg/ha.</p> <p>Mildíu veloso (<i>Peronospora ciceris</i>). Esta enfermedad se presenta en las hojas formando manchas verde claro y difusas al inicio. Posteriormente avanza sobre el foliolo en forma irregular y adquiere un color amarillo opaco. Si las condiciones de temperatura y humedad son favorables para su desarrollo, se puede observar por el envés de la hoja un micelio veloso de color oscuro, que son las estructuras reproductivas y de dispersión del hongo. En esta fase puede presentarse una defoliación prematura de la planta, que causa un impacto directo al cultivo y calidad de grano, disminuyendo el rendimiento alrededor del 60 %. Para su</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	prevención debe sembrarse en surcos espaciados por lo menos a 80 cm. Aplicar riegos ligeros en tiradas cortas. Si se observan indicios de la enfermedad, se sugiere aplicar 2-3 kg de Manzate o Dithane o Daconil ó Bravo.
Cosecha y poscosecha	Al iniciarse la madurez fisiológica de la planta, se realiza la cosecha por etapas, en tres fases: arranque, enchorizado y trilla; existen equipos que realizan el arranque y enchorizado al mismo tiempo, regularmente se forman chorizos de 8 y 12 surcos. La trilla se realiza al contar con un porcentaje de humedad de 12-14 %.

iv. Papa

El cultivo de papa es de gran importancia en todo México, ya que cada año se siembran cerca de 70,000 ha, con una producción aproximada de un millón 500 000 t, con un rendimiento promedio de 23 t ha⁻¹ que se destinan principalmente al consumo interno del país, tanto en tipo directo como industrial.

La superficie sembrada de papa en la zona norte asciende a 14,000 ha aproximadamente lo que equivale al 20 % de toda la superficie establecida a nivel nacional y mantiene un crecimiento importante, aún cuando es un cultivo de altos costos de producción; ya que esta solanácea requiere una alta frecuencia y demanda hídrica, representando una opción rentable, obteniendo producciones de entre 20 y 30 t ha⁻¹. Los requerimientos productivos del cultivo se muestran en el **Cuadro 4.9**.

Cuadro 4.9 Requerimientos productivos de la papa en la zona norte del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos agroecológicos	Clima y Suelo	Fotoperiodo: neutro. Altitud: 0-3000 msnm. Precipitación; 500-700 mm. Humedad Ambiental: relativamente húmeda (50-60 %). Temperatura: 19.2 grados-día de desarrollo. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-arcillo-limosos. Profundidad: mayor a 60 cm. Salinidad: 0.9-1.6 dS m ⁻¹ . pH: 4.8-5.6. Drenaje: buen drenaje.
Sistemas de producción	Trazo de surcos	La papa comúnmente se siembra a 90 cm de separación entre surcos, distanciamiento que facilita la cosecha mecánica.
Área de influencia	Ahome, El Fuerte y Guasave.	Las áreas potenciales para este cultivo son el municipio de Ahome y Guasave, mientas que en El Fuerte solamente una reducida superficie puede ser aprovechada.
Época de siembra	Fechas de siembra	La época de siembra de este cultivo comprende desde el 1 de octubre hasta el 15 de noviembre, siendo su periodo óptimo del 15 al 20 de octubre.
Costos de producción	Desglose de costos en porcentajes	Preparación del terreno 3 %, Siembra 57 %, Fertilización 13 %, Labores culturales 0.5 %, Riegos 2.5 %, Control integral de plagas y enfermedades 10 %, Cosecha 6.5 %, Diversos 7.5 %, costo total del cultivo \$87,837 (2009-2010), (por dicha distribución se reflejan los altos costos de la producción).

La preparación del terreno define el desarrollo óptimo del cultivo, ya que una buena cama de siembra asegura un alto porcentaje de germinación. A continuación el **cuadro 4.10** muestra el manejo que se da al cultivo en la zona norte del Estado.

Cuadro 4.10 Manejo Agronómico del cultivo de papa en la zona norte del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	El cultivo requiere preparación completa (barbecho o subsuelo, rastreo, nivelación y marca), además de equipos especiales como rotatil el cual homogeniza el tamaño de las partículas del suelo, proporcionando partículas finas.
Siembra	Se requiere de maquinaria especial, esta sembradora permite la aplicación de fungicidas al momento de la siembra. La densidad de siembra varía de 4-6 semillas m^{-1} , esto depende directamente de la calidad y tamaño de la semilla, para obtener 44,000 semillas ha^{-1} .
Riego	El cultivo no debe presentar déficit de humedad, y el intervalo de riego es corto (12-15 días en riego rodado), ocupando una demanda diaria de 3-4 mm; requiriendo bajo riego superficial de 6-8 riegos, mientras que en riego por aspersión de 10-12, a lo largo de su ciclo.
Fertilización	Para una buena fertilización se debe contar con un análisis de laboratorio, requiriendo un adecuado programa de fertilización.
Plagas y enfermedades	<p>Plagas:</p> <p>La palomilla de la papa (<i>P. Operculella</i>), es la principal plaga que afecta este cultivo en la zona norte del estado. La hembra pone sus huevecillos (de 40-290) en casi cualquier parte aérea de la planta, al completar su desarrollo la larva se introduce al suelo para pupar sobre los tubérculos dañándolos antes de ser cosechados, por lo cual un riego ligero en esta etapa reduce esta acción. Las altas temperaturas (Marzo-Mayo) favorecen las altas poblaciones de palomilla por lo que se recomienda sembrar en fechas óptimas. El rendimiento se reduce cuando ocurren defoliaciones del 33% o superiores a partir de la floración; el daño directo en el tubérculo merma la calidad y la cantidad de fruto comercializable en 30% o más si la plaga no se controla oportunamente.</p> <p>Pulgón verde del melón (<i>Myzus persicae</i> Sulzer) y pulgón verde de la papa (<i>Macrosiphum fabae</i> Thomas), Los adultos alados del pulgón verde del melón son de color verde pálido o brillante con una mancha grande oscura en el dorso del abdomen; Los adultos sin alas son verde pálido o verde brillante. Las formas inmaduras son amarillo pálido, rosa pálido o verde pálido. El pulgón verde de la papa es de color verde pálido a rosa; son un poco más grandes que el pulgón verde del melón, con patas y sifúnculos más alargados. Ambas especies se diferencian en que El pulgón verde del melón tiene tubérculos antenales convergentes y en el áfido de la papa los tubérculos son divergentes. El daño más importante que ocasionan estos áfidos es la diseminación de enfermedades. El virus de la hoja enrollada de la papa (PLRV) es transmitido por ambas especies, pero <i>M. persicae</i> es más eficiente vector. La enfermedad es más dañina conforme más temprano se presenta; las plantas originadas de semillas infectadas no producen papa comercializable. También transmiten el virus (potyvirus) "Y" de la papa (PVY); el virus mosaico del pepino (CMV) y el virus del mosaico de la alfalfa (AMV).</p> <p>Enfermedades:</p> <p>El tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>). Es el principal patógeno de este cultivo, la enfermedad se observa en hojas con manchas color verde pálido, en el tubérculo se aprecian depresiones muy superficiales e irregulares; la cual es favorecida con temperaturas de 12-15 °C y una humedad relativa del 100 %, condiciones en las cuales es necesario establecer un manejo preventivo. El resultado de no combatirla, no hacerlo oportunamente o no emplear fungicidas eficaces, puede representar la pérdida total del cultivo.</p> <p>Pudrición seca (<i>Fusarium solani</i>). Afecta tubérculos en almacenaje y semilla después de la siembra. Estos hongos sobreviven en deshechos y viven en el suelo, las temperaturas por</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	encima de los 12 °C favorecen su desarrollo. Esta enfermedad no es de importancia económica debido a que se ha presentado con incidencias muy bajas
Cosecha y poscosecha	Se realiza cuando el tubérculo alcanza los 7 cm de diámetro y logra una acumulación de 2250 °DA (grados día acumulados). Producto que se empaca en arpillas. Para su almacenamiento se debe contar con bodegas refrigeradas manteniendo una temperatura de entre 4-5 °C y baja humedad relativa.

v. Sorgo

El sorgo y se aprovecha en la elaboración de alimento balanceado para animales, y ha tomado fuerza en cuanto a superficie sembrada ya que registra buenos rendimientos y existen los canales de comercialización, esto aunado al bajo costo de producción representa una alternativa de cultivos primavera-verano. Sus requerimientos agroecológicos y manejo se presentan en los cuadros (**Cuadro 4.11 y 4.12**).

Cuadro 4.11 Requerimientos productivos del Sorgo en la zona norte del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos agroecológicos	Clima y Suelo	Fotoperiodo: corto y neutro. Altitud: 0-600 msnm. Precipitación: 450-650 mm. Humedad atmosférica: seca. Temperatura: 18-38 °C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-limosos, franco-arcillo-limosos. Profundidad: 1-2 m. Salinidad: 0-3 dS m ⁻¹ . pH: el óptimo va de 5.5-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje.
Sistemas de producción	Trazo de surcos y distribución de semilla	Se sugiere sembrar con una separación entre surcos de 75-80 cm, otra de las formas utilizadas en la distribución de semilla consiste en la siembra a doble hilera, 30 cm entre hileras y 50 cm para el aporque (80 cm), esto sin alterar el número de semilla por metro cuadrado, la semilla se deposita a una profundidad de 2-3 cm con el fin de lograr una buena germinación.
Área de influencia	Ahome, El Fuerte, Choix, Guasave y Sinaloa de Leyva. (Todo el norte de Sinaloa)	Al ser el principal cultivo después de la siembra de frijol y papa, el sorgo ocupa el segundo lugar en importancia en la región, se establece registrando rendimientos medios de 7 t ha ⁻¹ .
Época de siembra	Fechas de siembra (PV)	La siembra se practica del 01 de febrero al 30 de marzo, siendo su periodo óptimo del 20 de febrero al 10 de marzo.
Costos de producción	Desglose de costos en porcentajes.	Preparación del terreno 14 %, Siembra 10 %, Fertilización 23 %, Labores culturales 9 %, Riegos 11 %, Control integral de plagas y enfermedades 7 %, Cosecha 15 %, Diversos 11 %, costo total del cultivo \$14,354.50 (2009-2010). Recordemos que se emplea como segundo cultivo, por lo cual se aprovechan los recursos invertidos en el primer cultivo (frijol ó papa), reduciéndose sus costos de producción.

Al ser el sorgo un cultivo perenne y rustico, hacen que su manejo agronómico sea sencillo y de fácil aplicación, invirtiéndose un bajo costo en la preparación del terreno y en su forma de sembrar la cual puede ser tanto con sembradoras mecánicas como de precisión debido a su

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

alta densidad de siembra (hasta 35 semillas m⁻¹). El principal riesgo en la siembra de sorgo durante P-V, radica en el ataque del insecto plaga mosca midge, ya que esta puede disminuir de forma considerable la producción, dependiendo de la fecha de siembra empleada, en fechas tardías afecta hasta en un 100 %.

Cuadro 4.12 Manejo agronómico del cultivo de sorgo en la zona norte del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	Este producto se establece como segundo cultivo, sobre residuos de cosecha de frijol y papa, por lo que la preparación es sencilla y poco profunda, con doble rastreo y nivelación se puede realizar la marca fácilmente.
Siembra	Se efectúa en seco a 2-3 cm de profundidad para facilitar la germinación, se realiza con sembradora de precisión empleando una densidad de 25-35 semillas m ⁻¹ (375 semillas ha ⁻¹), al utilizar sembradora mecánica se presenta el problema de no controlar la cantidad de semillas por metro.
Riego	Se realiza el riego de germinación, al final del amacollamiento (entre los 25-30 días) se aplica el primer riego de auxilio, mientras que el segundo se da antes del embuche (50-60 días), a su vez el tercer auxilio debe coincidir con la floración (70 días), el último (cuarto riego) debe coincidir con el estado masoso del grano a los 85 días después de siembra
Fertilización	De acuerdo al análisis de suelo y siendo el nitrógeno el elemento más importante, es necesario buscar el mayor aprovechamiento realizando la fertilización en presiembra o en dos aplicaciones por partes iguales (presiembra y primer riego de auxilio), las fuentes más utilizadas son urea y amoníaco anhidro.
Plagas y enfermedades	<p>Plagas:</p> <p>Gusano trozador (<i>Agrotis</i> sp). Las palomillas son de tamaño medio y de colores oscuros. Las larvas se alimentan de las plantas mordiénolas arriba de la base del tallo, lo que ocasiona su muerte. Un solo gusano trozador puede destruir todas las plantas de varios metros, aunque sólo consumen una parte de ellas. Las larvas pupan en el suelo; el aspecto y forma de las pupas es similar a las del gusano cogollero y gusano elotero. Esta plaga es importante desde la emergencia del cultivo hasta que las plantas tienen alrededor de 30 cm de altura. El ataque ocurre durante la noche; el insecto corta las plantas al ras del suelo. No está determinado el impacto económico que el gusano trozador provoca en el cultivo de maíz, ya que su presencia y daño es inconstante, sin embargo, cuando reducen el número de plantas recomendadas por metro lineal el rendimiento se ve afectado.</p> <p>Trips (<i>Caliothrips phaseoli</i> Hood). El adulto mide aproximadamente un milímetro de largo y es gris oscuro. Los huevecillos son depositados en el envés de las hojas. Normalmente es una plaga de inicio de temporada del cultivo; no obstante, se le detecta presente en el resto del ciclo vegetativo. El trips negro y el trips del cogollo raspan y chupan los tejidos; producen cicatrices que en conjunto ocasionan a la planta un aspecto cenizo. Estas plagas son favorecidas por períodos secos y de temperatura baja, debido a que las plantas tienen un crecimiento más lento.</p> <p>Pulgón del cogollo (<i>Rhopalosiphum maidis</i> Fitch). El adulto mide aproximadamente dos milímetros de largo, algo redondeado, de color azul-verde; tiene las antenas y patas negras y los cornículos son negros, cortos, gruesos y divergentes. En plantas infestadas se observan numerosos pulgones en el cogollo y la parte superior del tallo. Las hojas infestadas se observan moteadas, con áreas amarillas o rojas. Los pulgones pueden ocasionar un retraso de crecimiento y llegan a afectar hasta un 30 % del rendimiento medio.</p> <p>Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i> J.E. Smith). Se considera una plaga importante del Sorgo. La larva se localiza en el cogollo alimentándose de las hojas tiernas, las cuales al desarrollarse se observan agujeradas, lo que ocasiona retraso en el desarrollo del cultivo. Esta plaga es importante desde que la planta emerge hasta que tiene alrededor de 50 cm de altura.</p>

Concepto	Descripción
	<p>El adulto es una palomilla que mide 3.0 cm con las alas extendidas. Es café grisáceo, se localiza en el follaje y en las grietas del suelo, oviposita en el envés de las hojas en grupos de 200-300 huevecillos los cuales se encuentran cubiertos con escamas que se desprenden del adulto. El período de incubación varía de acuerdo a las condiciones ambientales.</p> <p>Mosquita midge (<i>Contarinia sorghicola</i> Coquillett). Es la plaga más importante del cultivo de sorgo en todas las zonas productoras del país. Las hembras depositan sus huevecillos en las espigas, insertándolos en las flores recién abiertas, desarrollándose de una hasta 10 larvas por grano. Los adultos pueden verse volando durante las primeras horas de la mañana alrededor de las panojas en floración, considerándose éstas las horas más apropiadas para el monitoreo de este insecto. Las altas temperaturas favorecen la aparición de esta plaga.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Ergot o Cornezuelo (<i>Sphacelia sorghi</i>). A partir de 1997 esta enfermedad es la más importante de este cultivo, ya que puede afectar hasta el 100% de la producción. La infección ocurre durante la floración, cuando el micelio de una espora invade el ovario de la florecilla y no permite la formación del grano, en su lugar se desarrollan las hifas que emergen de la superficie del ovario en masas brillantes, produciendo una secreción como mielecilla la cual a menudo se torna de color rosada y es conspicua en panículas infectadas, como gotitas pegajosas.</p> <p>Roya o Chahuixtle (<i>Puccinia polysora</i>). Cuando existen condiciones cálidas y húmedas, las uredosporas germinan y producen la infección, inicialmente en las hojas inferiores, pero a temperaturas de 16-23 °C con humedad relativa alta, pueden invadir las hojas superiores y afectar el rendimiento. A partir febrero (en que inicia el incremento de las temperaturas, acompañado de neblinas), lo cual reduce la producción hasta en un 15 %.</p> <p>Pudrición carbonosa del tallo (<i>Macrophomina phaseolina</i>). Esta enfermedad se presenta más severamente en regiones donde las temperaturas del suelo son mayores de 32°C aunado a la falta de humedad. Las pérdidas en rendimiento se presentan aproximadamente del 30%. La raíz del sorgo puede ser colonizada durante los primeros estadios del desarrollo; sin embargo, no es sino hasta después de ocurrida la floración y llenado del grano que el patógeno se desarrolla. Los síntomas se presentan como pudrición radicular y del tallo, secado prematuro de las plantas, acame, pobre desarrollo de panículas con granos pequeños y de baja calidad.</p>
Cosecha y Poscosecha	El grano de sorgo se cosecha a una humedad de 18-22 %, y a una humedad de 14-16 % para propósitos de almacenamiento.

4.2.4. PAQUETES TECNOLÓGICOS DE CULTIVOS MODALIDAD DE TEMPORAL

i. Ajonjolí

El cultivo del ajonjolí es uno de los más importantes en las áreas de temporal del norte de Sinaloa (18,267 ha a nivel estatal), lo que equivale al 3.7% de la superficie total estatal, este cultivo posee la ventaja sobre los demás cultivos de que al requerir menos humedad tiene mayores posibilidades de llegar a cosecha, aun cuando la precipitación sea escasa o errática. El año agrícola 2008 para la zona norte del estado registra una superficie cosechada de 12,500 ha. El rendimiento medio del ajonjolí en condiciones de temporal es de 512 Kg/ha, rendimiento que se considera bajo, en función del potencial del cultivo, pero que se ve afectado tanto por el índice y frecuencia de la precipitación, como por la incidencia de plagas, principalmente el chapulín. El cuadro siguiente (4.13) detalla los requerimientos productivos del cultivo.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 4.13 Requerimientos productivos del Ajonjolí en la zona norte del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos Agroecológicos	Clima y Suelo	Fotoperiodo: corto. Altitud: 0-600 m. Precipitación: 500-1200 mm. Humedad atmosférica: moderadamente húmeda. Temperatura: optima de 25-27°C. Luz: luminosidad alta. Textura: Migajón arenoso y migajón arcilloso. Profundidad: 0.35-1m. Salinidad: 0-1 dS/m. pH: 4.5-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje.
Sistemas de producción	Trazo de surcos y distribución de semilla.	Sembrar en plano inmediatamente después de efectuar el rastreo y antes de que el suelo pierda la humedad dejada por la lluvia. En terrenos desnivelados se debe seguir el sentido perpendicular a la pendiente. Si no dispone de maquinaria, se sugiere utilizar sembradora mecánica "a chorrillo" colocando la semilla en el fondo del surco, al realizar el segundo paso de rastra debe haber suficiente humedad en el suelo, esta labor se realiza en el sentido de las curvas de nivel para evitar la erosión del suelo. La distancia entre surco debe de ser de 70-80 cm, y la semilla se deposita de 3-5 cm de profundidad.
Área de influencia	Ahome, El Fuerte, Choix y Sinaloa	Choix y Sinaloa son los municipios que registran mayor superficie establecida del cultivo con más del 70%, el resto está distribuido en Ahome y El Fuerte.
Época de siembra	Fechas de siembra.	Se puede sembrar desde el inicio del período de lluvias, que es a principios de julio hasta el 10 de agosto como fecha límite. Si se siembra después, la planta puede reducir su potencial productivo por falta de humedad debido a que el ciclo de lluvias es muy corto.

El manejo agronómico de cultivos de temporal es algo simple y poco tecnológico comparado con cultivos de riego, labores como preparación y siembra están sujetas a la presencia de las primeras lluvias. El **Cuadro 4.14**, muestra el manejo agronómico aplicado al Ajonjolí en la zona norte de Sinaloa.

Cuadro 4.14 Manejo agronómico del cultivo de Ajonjolí en la zona norte del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	El cultivo se desarrolla mejor en terrenos de tipo arcillo-limoso o arcilloso-arenoso profundo, con subsuelo permeable y buen drenaje. Barbechar y dar un paso de subsuelo es recomendable, pero sólo cuando se trate de terrenos profundos. Al efectuar estas labores se debe seguir el contorno del terreno para aprovechar mejor la humedad de las primeras lluvias. La preparación puede efectuarse desde fines de junio hasta los primeros días de julio, antes o inmediatamente establecido el período de lluvias. Para controlar la presencia de malas hierbas se da un paso de rastra, si no se cuenta con maquinaria agrícola se sugiere voltear la tierra con un paso de arado inmediatamente después de las primeras lluvias.
Siembra	Se utilizan 2.5.Kg/ha de semilla, para obtener una densidad de siembra de 15-20 plantas por metro lineal (190,000 plantas/ha). Es conveniente tratar la semilla con una mezcla de insecticidas y fungicidas antes de la siembra para protegerse del ataque de algún agente causante de una enfermedad o insecto plaga.
Fertilización	Se sugiere aplicar 40 unidades de nitrógeno por hectárea en una sola aplicación al momento de efectuar la primera labor de cultivo
Plagas y Enfermedades	Plagas: Gusano trozador (<i>Agrotis</i> spp.). Las larvas muerden los tallos, destruyendo las plantas en secciones de surco. Tienen hábitos alimenticios nocturnos; durante el día se les encuentra semienterrados en el suelo cerca de las plantas Mosquita blanca (<i>Bemisia argentifolii</i> Bellows y Perring). El ajonjolí es uno de los

Concepto	Descripción
	<p>principales hospederos de la mosquita blanca. La plaga se presenta desde la emergencia y el daño depende del nivel de infestación y la etapa fenológica atacada, sin embargo, en poblaciones elevadas de la plaga el daño puede provocar alrededor del 80% de merma en el rendimiento.</p> <p>Gusano de la cápsula (<i>Heliothis</i> sp). Es importante durante la floración. Las larvas barrenan los botones florales y las cápsulas incipientes. Se sugiere el control cuando se observe 10 % o más de cápsulas dañadas.</p> <p>Chinche lygus, rápida, apestosa y chinche del ajonjolí. (<i>Lygus lineolaris</i>) (Palisot de Beauvois), <i>Creontiades</i> spp., <i>Nezara viridula</i> (Linn), <i>Euschistus servus</i> (Say) y <i>Cyrtopeltis modestus</i> (Distant). Se alimentan de los botones florales y cápsulas incipientes que provocan su caída y/o avanamiento de los granos. Pueden afectar el rendimiento hasta un 30%, cuando el daño es severo durante la fructificación del cultivo.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Pudrición del pie (<i>Macrophomina phaseoli</i>). Es la enfermedad más importante del ajonjolí en Sinaloa, ya que ocasiona pérdidas significativas en el cultivo. Prospera en condiciones de alta temperatura (de 20-30°C) y alto contenido de humedad en el suelo, seguidas por un período prolongado de escasez de humedad. Los síntomas consisten en una mancha negra en la base de tallo la cual avanza hacia arriba invadiendo la cápsula y semilla. Para su prevención se sugiere usar semilla libre de la enfermedad, no sembrar en terrenos infestados con este hongo, evitar los encharcamientos y no someter al cultivo a condiciones de sequía.</p> <p>Pudrición del tallo y cuello de la raíz. La enfermedad puede atacar en cualquier etapa de desarrollo del cultivo. Su incidencia es favorecida por altas temperaturas (entre 28 y 30°C) y altos contenidos de humedad en el suelo. Los síntomas consisten en manchas acuosas negruzcas que se extienden de la base del tallo a la parte de la planta, causando marchitez, caída de hojas y muerte prematura de las plantas. Para prevenirla, evite el exceso de humedad en el suelo, realice rotación de cultivos y destruyan los residuos de la cosecha.</p>
Cosecha y Poscosecha	<p>El corte se realiza al presentarse la madurez del grano y puede apreciarse cuando las hojas y cápsulas de la parte baja de la planta se tornan amarillentas. Esto ocurre entre los 100 y 110 días después de la siembra. En el corte se hacen manojos pequeños para formar los “monos”, que se deben atar a 25 ó 30 cm de la parte superior para evitar que los derrumbe el viento. La cosecha o trilla se realiza a los 20-30 días después del corte. Esta labor puede realizarse volteando y sacudiendo con una vara manojos de plantas sobre una lona extendida. Posteriormente la semilla se criba y se “ventea” para eliminar las impurezas.</p>

ii. Cacahuete

La importancia del cultivo en la alimentación radica en que proporciona importantes nutrimentos minerales como, hierro, calcio, fósforo, magnesio, selenio y zinc. El paquete tecnológico de este cultivo se resume en los **Cuadros 4.15 y 4.16**.

Cuadro 4.15 Requerimientos productivos del Cacahuete en la zona norte del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimiento Agro ecológico	Clima y suelo	Fotoperiodo: indiferente. Altitud: 0-800-1200 m. Precipitación: 500-700 mm. Humedad atmosférica: seca. Temperatura: 29 y 36.5°C. Luz: luminosidad alta. Textura: arcillo-limosos. Profundidad: 50-60cm. Salinidad: 0-1 dS/m. pH: 4.5-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje.
Sistemas de producción	Trazo de surcos	La siembra de cacahuete se realiza con sembradoras mecánicas. La distancia entre surcos es de 75-80 cm, como única opción de siembra.
Área de	Sinaloa, El Fuerte	El Fuerte, Choix y Sinaloa son los municipios donde se establece este

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable	Descripción	Especificaciones
Influencia	y Choix.	cultivo. El cultivo no es característico de la zona por lo que las áreas establecidas son muy reducidas.
Época de siembra	Fechas de siembra	La siembra se realiza tan pronto como se tenga humedad en el suelo suficiente para la germinación de la semilla. Esto ocurre con las primeras lluvias (desde el 15 de junio hasta el 15 de julio)

Cuadro 4.16 Manejo Agronómico del cultivo de Cacahuete en la zona norte del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	El barbecho se realiza en terrenos compactos o con presencia de maleza se realiza a una profundidad de 20-30 cm. Después se da un paso de rastra, ambos antes de las primeras lluvias para eliminar residuos de cosechas anteriores, el segundo rastreo se realiza cuando se tenga humedad en el suelo suficiente para la germinación de la semilla, como una opción se puede aplicar herbicida pre-emergente para mayor seguridad de no contar con malezas que interfieran con el buen desarrollo del cultivo.
Siembra	La semilla debe ser tratada antes de sembrarse con el fin de prevenir enfermedades causadas por hongos. La siembra se realiza con sembradora mecánica a una profundidad de 2plg aprox. Se recomienda sembrar semilla sin cáscara para evitar enfermedades, la densidad de siembra es de 8-9 semillas por metro lineal (112,000 plantas/ha). Esto se logra con 60-80 Kg/ha de semilla.
Fertilización	Por ser una leguminosa y contar con raíces profundas, bajo condiciones normales el cacahuete tiene la capacidad de fijar por sí mismo el nitrógeno existente en el suelo pero se ha encontrado una mejor respuesta productiva cuando se le proporciona una dosis de fertilización de 40 unidades de nitrógeno y 60 de fósforo por hectárea. Además, este cultivo es muy demandante en calcio, por lo que se recomienda en función de análisis previos de laboratorio su aplicación, la deficiencia de este elemento origina una baja en los rendimientos.
Plagas y enfermedades	<p>Plagas:</p> <p>El Chapulín. El principal problema lo representa el chapulín, que puede presentarse en índices variables de un año a otro, y provoca diversos niveles de daño al alimentarse del follaje y las flores de las plantas. Puede presentarse desde la germinación de la semilla hasta la cosecha: dependiendo de las condiciones que se presenten.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Mancha o Peca de la hoja (<i>Cercospora arachidicola</i> y <i>Cercospora personata</i>). Esta enfermedad produce manchas de color pardo en las hojas de las plantas de cacahuete y puede ocasionar la defoliación total si no se controla. En general, <i>C. arachidicola</i> se presenta en plantas jóvenes, en tanto <i>C. personata</i> ataca plantas adultas.</p> <p>Roya o Chahuixtle (<i>Puccinia arachidis</i> Speg). Se observa entre los 70 y 75 días después de la siembra. Estas enfermedades no son de importancia para el cultivo ya que se presentan muy esporádicamente. Si se presentan ataques severos aplicar algún fungicida.</p>
Cosecha y poscosecha	Se está listo para cosechar cuando la planta presenta un color café-amarillo o las primeras hojas empiezan a secarse, la mayor parte del fruto está bien formada y la cutícula presenta un color rosado. Para la recolección el fruto debe presentar una madurez de 75-80%. La cosecha es una labor que debe realizarse en el tiempo preciso, de lo contrario esta puede disminuir los rendimientos considerablemente (10-20%). La cosecha se puede realizar manual o mecánicamente, esta última la realiza una máquina que arranca la planta y la voltea dejando

Concepto	Descripción
	expuestos al sol los frutos.

4.3. Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU) - Región Centro

4.3.1 DESCRIPCIÓN

Clima subtropical árido cálido, altitud de 300-700 msnm, temperatura media anual de 20 °C, temperatura máxima media anual: 26 °C, temperatura mínima media anual de 18 °C. Precipitación media anual 320 mm; flora y fauna: matorral arbosufrutescente, fauna del desierto.

El CEVACU, cuenta con 16 investigadores que se encargan a la detección de demandas de investigación de los sistemas productos y canalizarlas a través de proyectos de investigación. El radio de acción del CEVACU comprende los municipios de Badiraguato, Culiacán, Navolato, Angostura, Salvador Alvarado, Cósala, Mocorito y Elota.

4.3.2. PROBLEMÁTICA AGRÍCOLA

Dentro de los cultivos que en este Campo Experimental se desarrollan, se tienen los establecidos con modalidad de riego como el Ajonjolí, Arroz, Cártamo y garbanzo los cuales no representan mayor importancia por superficie establecida, ya que estos son más demandados en zonas de temporal a excepción del arroz, que dejó de sembrarse hace algunos años.

En cuanto a cultivos forrajeros (sorgo, maíz, alfalfa y zacates), la zona centro influenciada por el CEVACU opta por dar importancia a este tipo de cultivos al establecerlos no solo en zonas de temporal, como regularmente se haría, sino que también se establecen bajo condiciones de riego, debido a que tres de los principales sistemas producto de este campo son pecuarios (bovinos carne, bovinos leche y caprinos).

Las hortalizas establecidas en esta zona son tomate, chile, pepino, aunque las más importantes en cuanto a superficie son el tomate para consumo en fresco y el chile verde, mismos que registran la mayoría de la superficie en los municipios de Culiacán y Angostura, cabe mencionar que Culiacán registra casi el 50 % de la superficie de tomate a nivel estatal.

El maíz es el cultivo más demandado en las zonas de riego del CEVACU, ya que en los últimos años se han establecido un promedio de 125,000 ha lo que representa el 24 % de la superficie en el estado.

Esta zona cuenta con el área de temporal más amplia en toda la entidad, por lo que la diversidad de cultivos es muy grande (ajonjolí, cacahuete, cártamo, garbanzo, pastos y sorgo), como ejemplo Mocorito, ubicado en la zona de influencia del CEVACU, es la mayor zona productora de cacahuete en todo el estado de Sinaloa, los diferentes tipos de pastos (Buffel, Llanero, Pretoria) y sorgos para forraje acaparan la mayor parte de las zonas de temporal, ya que la ganadería es de primer orden. En el **Cuadro 4.17** se muestra la problemática actual de los diferentes sistemas producto.

Cuadro 4.17 Problemática actual de los principales sistemas-producto del centro de Sinaloa

Sistema producto	Problemática
Maíz	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de producción. • Manejo inadecuado del agua de riego. • Falta de semillas híbridas de bajo costo. • Adopción insuficiente de tecnologías de producción competitivas. • La brecha de rendimiento entre la tecnología INIFAP y la media estatal del productor es de 1.5 ton ha⁻¹, en otoño-invierno.
Garbanzo	<ul style="list-style-type: none"> • Alto riesgo de enfermedades fungosas. • Uso y manejo ineficiente del agua de riego. • Alto costo y bajo uso de semilla certificada. • Adopción insuficiente de tecnologías de producción competitivas. • Mecanización de la cosecha
Hortalizas (Tomate y Chile Verde)	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de producción. • Alto riesgo de mercados si no se cumplen las normas de inocuidad alimentaria. • Patógenos (virus, fitoplasmas, bacterias y hongos) como factor de productos de baja calidad y rendimiento. • Contaminación ambiental con pesticidas y fertilizantes.
Sorgo	<ul style="list-style-type: none"> • Brecha de rendimiento entre lo experimental (8.8 ton ha⁻¹) y la media estatal (7.12 ton ha⁻¹) en riego. • Alto riesgo en temporal por distribución errática de lluvias (sequia). • Prácticas inadecuadas de manejo del cultivo. • Presencia de Ergot como factor de baja calidad y rendimiento.

Programas de investigación

Para responder a las necesidades de investigación, el CEVACU ha establecido una serie de programas de trabajo donde se desarrollan proyectos de investigación, validación y transferencia de tecnología, se cuenta también con 16 investigadores de tiempo completo enfocados a los diferentes programas, tal y como se aprecia en el **Cuadro 4.18**

Cuadro 4.18 Programas de trabajo del Campo Experimental Valle de Culiacán

Programa	Tipo	Sub-programa
Eficientar el uso y manejo del agua	Investigación y validación	Riego presurizado Manejo de riego en tiempo real Integración de la información agroclimatológica
Mejoramiento genético. Formación de variedades mejoradas.	Investigación y validación	Granos, leguminosas y oleaginosas
Manejo integrado de problemas fitosanitarios	Investigación	Virosis en hortalizas (tomate ,chile pepino) Mosquita blanca (soya, frijol y otros) <i>Paratrioza cockerelli</i> (varios) Rabia y mildiu (garbanzo)

Programa	Tipo	Sub-programa
Inocuidad alimentaria	Investigación y validación	Frutos libres de patógenos y residuos de agroquímicos en niveles permisibles.
Producción intensiva de hortalizas	Investigación, validación	Invernaderos (hortalizas)
Investigación dirigida a cadenas agroindustriales y agroalimentarias	Investigación, validación	Oleaginosas (cártamo, soya) Leguminosas (frijol y garbanzo)
Reconversión productiva	Investigación, validación	Oleaginosas Frutales Praderas Leguminosas forrajeras Agricultura orgánica
Red agroclimática	Investigación, validación	Modelos de predicción de plagas insectiles, enfermedades y cosechas Estado del tiempo
Vinculación con productores y sectores agroindustrial y agroalimentario	Transferencia de tecnología	Apoyo a la adopción, validación y transferencia de tecnología

4.3.3. PAQUETES TECNOLÓGICOS DE CULTIVOS - MODALIDAD DE RIEGO

i. Maíz

En Sinaloa se siembran 422,719 ha de las cuales la zona centro tiene establecidas 125,000 ha lo que representa más del 24 %, (promedio de los últimos años) por lo que este cultivo es de gran importancia tanto en superficie como en producción alcanzando las 10 ton ha⁻¹. Esto coloca a la zona en tercer lugar a nivel estado. El **cuadro 4.19** muestra los requerimientos productivos del cultivo para la zona centro del Estado.

Cuadro 4.19 Requerimientos productivos del maíz en la zona centro del Estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimiento agroecológico	Clima y Suelo	Fotoperiodo: medio 10 horas; altitud: 0-3300 msnm; precipitación: 500-800 mm; humedad ambiental: moderadamente húmeda; temperatura: 15-28 °C; luz: alta insolación; textura: suelos franco-arcillosos y franco-limosos; profundidad: 0.8-1 m; salinidad: menor a 7 dS m ⁻¹ ; pH: 5.5 a 7.5; Drenaje: requiere buen drenaje.
Sistema de producción	Trazo de surcos y distribución de semilla	En suelos de barrial es recomendable sembrar en seco, con surcos de 76-80 cm de separación, procurando que la semilla quede a 5 cm de profundidad. Para las variedades de altura normal, el grano se debe depositar cada 12 cm. En suelos arcillo-limosos y barrial se sugiere sembrar con humedad, aplicando un riego de presembrado.
Zonas de influencia	Mocorito, Badiraguato, Culiacán, Cósala, Salvador	La zona centro influye en los DDR: Guamúchil, Culiacán y Elota, mas sin embargo el cultivo está presente en todos los municipios.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable	Descripción	Especificaciones
	Alvarado, Angostura, Navolato y Elota.	
Época de siembra	Fechas de siembra para OI y PV	Para el ciclo OI, se sugiere sembrar de noviembre a diciembre, la fecha óptima de siembra es el 15 de noviembre. Esta fecha registra los mejores rendimientos y la menor incidencia en plagas y enfermedades (pudiéndose considerarse el periodo óptimo del 10 al 20 de noviembre). Para el ciclo PV los rendimientos caen un 30-35 %, la siembra se registran en los meses de febrero y marzo siendo la fecha óptima del 25 de febrero al 10 de marzo.
Costos de producción	Desglose de costo en porcentajes	Preparación del terreno 17 %, Siembra 18 %, Fertilización 27 %, Labores culturales 3 %, Riegos 8 %, Control integral de plagas y enfermedades 6 %, Cosecha 9 %, Diversos 12 %. Costo total del cultivo \$19,942 (2009-2010) (por dicha distribución se reflejan los altos costos de la producción)

Las mejoras aplicadas al manejo agronómico del cultivo de maíz han permitido aumentar su potencial productivo, gracias a la implementación de diferentes técnicas como labranzas de conservación, diferentes tipos de distribución de semilla y distintos métodos de fertilización y dosificación de los mismos, todo esto con el fin de aumentar la producción sin elevar los costos de producción del cultivo. El manejo actual aplicado a la zona centro del Estado se presenta a continuación en el **cuadro 4.20**.

Cuadro 4.20 Manejo agronómico del cultivo de maíz en la zona centro del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	Tanto en suelos de barrial como de aluvión, se debe realizar un barbecho ó subsuelo, uno o dos pasos de rastra, un paso con "Land Plane"; en suelos de barrial se trazan los surcos con 75-80 cm de separación, mientras que en aluvión se trazan los bordos para el riego de inundación. Una vez que el terreno "de punto", se borran los bordos, se rastrea y se siembra en plano en surcos que pueden ser de 76-80 cm de separación de acuerdo con la variedad que se utilice.
Siembra	En suelos de barrial es recomendable sembrar en seco, con surcos de 76-80 cm de separación y en el lomo del mismo, procurando que la semilla quede a 5 centímetros de profundidad. El grano se debe depositar cada 12 cm. La densidad de siembra es de 6-7 (90,000 plantas ha ⁻¹) semillas por metro lineal cuando el cultivo se destina a la producción de elote y de 7-9 (100,000 plantas ha ⁻¹) semillas cuando se destina a la producción de grano.
Riego	En los suelos de aluvión se requieren de tres a cuatro riegos de auxilio y en los de barrial de cuatro a cinco. La longitud de los surcos recomendada es de 200-250 m. Es importante evitar el déficit de humedad durante los períodos críticos de su desarrollo como son: germinación y crecimiento inicial, floración o espigamiento y estado lechoso del grano.
Fertilización	En suelos de barrial se debe aplicar de 220-250 Kg ha ⁻¹ de nitrógeno durante el primer cultivo. En suelos de aluvión aplíquense 80 Kg ha ⁻¹ de nitrógeno en presiembra y 60 en el primero o segundo cultivo. Sin embargo, para una meta de rendimiento de 10 t ha ⁻¹ , en general es necesario aplicar en algunos suelos 250 Kg ha ⁻¹ de nitrógeno, mientras que en otros hasta 350 Kg ha ⁻¹ o más. Estas dosis pueden variar de acuerdo a resultados del análisis de suelos.
Plagas y Enfermedades	Gusano trozador (<i>Agrotis sp.</i>) Las palomillas son de tamaño medio y de colores oscuros. Las larvas se alimentan de las plantas mordéndolas arriba de la base del tallo, lo que

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	<p>ocasiona su muerte. Un solo gusano trozador puede destruir todas las plantas de varios metros, aunque sólo consume una parte de ellas. Las larvas pupan en el suelo, el aspecto y forma de las pupas es similar a las del gusano cogollero y gusano elotero. Esta plaga es importante desde la emergencia del cultivo hasta que las plantas tienen alrededor de 30 cm de altura. El ataque ocurre durante la noche, el insecto corta las plantas al ras del suelo. No está determinado el impacto económico que el gusano trozador provoca en el cultivo de maíz, ya que su presencia y daño es inconstante, sin embargo, cuando reducen el número de plantas recomendadas por metro lineal el rendimiento se ve afectado.</p> <p>Trips (<i>Caliothrips phaseoli</i>, Hood). El adulto mide aproximadamente un milímetro de largo y es gris oscuro. Los huevecillos son depositados en el envés de las hojas. Normalmente es una plaga de inicio de temporada del cultivo; no obstante, se le detecta presente en el resto del ciclo vegetativo. El trips negro y el trips del cogollo raspan y chupan los tejidos, producen cicatrices que en conjunto ocasionan a la planta un aspecto cenizo. Estas plagas son favorecidas por períodos de sequedad, debido a que las plantas tienen un crecimiento más lento. El control químico se recomienda cuando se observen colonias densas de trips por planta y daño notorio en la planta.</p> <p>Pulgón del cogollo, (<i>Rhopalosiphum maidis</i>, Fitch). El adulto mide aproximadamente dos milímetros de largo, algo redondeado, de color azul-verde; tiene las antenas y patas negras y los cornículos son negros, cortos, gruesos y divergentes. En plantas infestadas se observan numerosos pulgones en el cogollo y la parte superior del tallo. Las hojas infestadas se observan moteadas, con áreas amarillas o rojas. Los pulgones pueden ocasionar un retraso de crecimiento y llegar a afectar hasta el 30 % del rendimiento.</p> <p>Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i> J.E. Smith). Se considera la plaga más importante del maíz. La larva se localiza en el cogollo alimentándose de las hojas tiernas, las cuales al desarrollarse se observan agujeradas, lo que ocasiona retraso en el desarrollo del cultivo. Esta plaga es importante desde que la planta emerge hasta que tiene alrededor de 50 cm de altura. En infestaciones tardías puede afectar las espigas y el elote. El adulto es una palomilla que mide 3.0 cm con las alas extendidas. Es café grisáceo, se localiza en el follaje y en las grietas del suelo, oviposita en el envés de las hojas en grupos de 200-300 huevecillos los cuales se encuentran cubiertos con escamas que se desprenden del adulto. El período de incubación varía de acuerdo a las condiciones ambientales. El daño del gusano cogollero puede afectar el rendimiento de grano hasta en un 20% o más, cuando no es controlado oportunamente, dependiendo de la etapa de desarrollo afectada y de la cantidad de la población plaga.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Roya o Chahuixtle (<i>Puccinia polysora</i>). Aunque se presenta en todas las zonas productoras de maíz, en el norte de Sinaloa no ha sido problema. Sin embargo, normalmente a partir febrero (en que inicia el incremento de las temperaturas, acompañado de neblinas) se dan las condiciones favorables para que la infección se presente y progrese, pudiendo reducir la producción hasta el 15 %. Cuando existen condiciones cálidas y húmedas, las uredosporas germinan y producen la infección, inicialmente en las hojas inferiores, pero a temperaturas de 16-23 °C con humedad relativa alta, pueden invadir las hojas superiores y afectar el rendimiento.</p> <p>Achaparramiento (<i>Spiroplasma kunkelii</i>). Esta enfermedad se observa con frecuencia en las siembras de primavera-verano, se caracteriza porque en la época de espigamiento se observan franjas anchas de color amarillo rojizo en las hojas enfermas. Los entrenudos se cortan, resultando plantas más pequeñas. Se forman ramificaciones en las axilas y mazorcas, y se producen hasta seis mazorcas en una caña. Las puntas de las hojas de la mazorca se ramifican tomando la apariencia de hojas y en la mazorca se forman pocos granos y algunas veces ninguno. Esta enfermedad es de creciente preocupación para los productores del maíz. Se presenta en forma endémica, llegando a alcanzar en los casos más severos de 70-100 % de pérdidas en las siembras afectadas.</p>

Concepto	Descripción
	<p>Carbón común (<i>Ustilago maydis</i>). Esta enfermedad aparece donde quiera que se cultiva esta planta. Sin embargo, aparece con mayor frecuencia en las áreas cálidas y moderadamente secas, temperaturas entre 17-33 °C y baja humedad ambiental son propicias para el desarrollo de la enfermedad donde ocasiona daños graves en las variedades susceptibles y en particular en el maíz dulce, disminuyendo su producción, ya que forma agallas en cualquiera de sus órganos aéreos, incluyendo mazorcas, espigas y hojas. El número, tamaño y localización de las agallas que produce el carbón sobre la planta afecta al monto de las pérdidas productivas. Por lo común, las agallas que se forman sobre la mazorca la destruyen casi por completo, mientras que las agallas grandes que se forman en la parte superior de la mazorca ocasionan una disminución mucho mayor en la producción de las plantas que la que ocasionan las que se encuentran debajo de ella. Las pérdidas debidas al carbón del maíz varían ampliamente de una localidad a otra y pueden ir desde un valor insignificante hasta un 10% o más en áreas localizadas. Algunos campos de maíz dulce pueden mostrar pérdidas que se aproximan a un 100%, ocasionada por dicha enfermedad. Sin embargo, en general, en relación a las áreas extensas y al uso de variedades resistentes, las pérdidas en rendimiento de grano tienen un promedio de casi un 2%.</p> <p>Pudrición del tallo (<i>Fusarium, Diplodia, Pythium y Macrophomina</i>). Se presenta un marchitamiento total de la planta, seguido por un rápido desecamiento que puede afectar plantas aisladas, manchones o tramos del surco. En la base del tallo se aprecia una porción oscura y en la parte interna el tejido se encuentra destruido o desgarrado; su color es café si es causado por <i>Fusarium</i> o <i>Diplodia</i>. Si se trata de este último se observan los picnidios oscuros. Si el causal es <i>Botrydiploia</i> se observa un micelio algodonoso oscuro. La pudrición por <i>Pythium</i> va acompañada de una constricción del tallo a manera de torcedura. En los últimos años se ha presentado esta enfermedad con incidencia variable, llegando a ser fuerte. En lotes infestados es frecuente que se presente el acame de plantas, causando gran cantidad de mazorcas sean comidas por roedores, o bien, que durante la cosecha la trilladora o combinada no alcance a levantarlas y se traduzca en pérdidas de rendimiento hasta en un 15 %.</p>
Cosecha y Poscosecha	La cosecha debe realizarse cuando el grano contenga de 15-18 % de humedad, cuando el maíz llega a su madurez fisiológica el contenido de humedad del grano es del 35 %, de esta etapa en adelante el grano comienza a perder humedad, se sugiere monitorear al humedad a partir de esta etapa.

ii. Frijol

El frijol es un cultivo de importancia en el área de influencia del CEVACU. Históricamente se cosechan aproximadamente 33,000 ha de frijol bajo condiciones de riego; de las 73,963 ha establecidas a nivel estado, lo que equivale al 45 %, con un rendimiento promedio de 1.83 t ha⁻¹. Los **Cuadro 4.21 y 4.22** presentan los requerimientos productivos y manejo agronómico respectivamente.

Cuadro 4.21 Requerimientos productivos del frijol en la zona centro del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos agroecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: corto. Altitud: 0- 2400 msnm. Precipitación: 1,000-1,500 mm. Humedad ambiental: moderadamente húmeda (50-60 %). Temperatura: 18-25 °C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-arcillosa y franco-arenosa. Profundidad: 0.6-1m. Salinidad: 0-1 dS m ⁻¹ . pH: 5.3-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje
Sistema de	Trazo de surcos	Tanto en barrial como en aluvión se sugiere sembrar en surcos de 70-80 cm de separación, con una sola hilera por surco. En la actualidad se ha

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable	Descripción	Especificaciones
producción		experimentando con diferentes sistemas de producción como son las camas con doble hilera (60-40 cm, 60-20 cm) así como en surcos convencionales con doble hilera, respetando la densidad de semilla por metro cuadrado
Área de Influencia	Culiacán, Angostura, Mocorito, Badiraguato, Cósala, Salvador Alvarado, Navolato y Elota.	El cultivo de Frijol se adapta de buena forma en algunos municipios del centro del Estado como Culiacán, Angostura, Navolato, Cósala y Elota. En municipios como Mocorito, Badiraguato, Salvador Alvarado y Elota no es un cultivo principal por lo que se siembra menor superficie y con bajos rendimientos.
Época de siembra	Fechas de siembra	Del 15 de octubre al 10 de noviembre para variedades de Azufrado peruano y negros, y del 25 de octubre al 15 de noviembre para las variedades de tipo Azufrado regional. Una siembra antes de la recomendada ocasiona problemas con plagas chupadoras y virosis, y una siembra después a la recomendada problemas con chupadores y moho blanco al final del ciclo.
Desglose de costos	Desglose de costos en porcentajes	Preparación del terreno 18 %, Siembra 19 %, Fertilización 20 %, Labores culturales 5 %, Riegos 6 %, Control integral de plagas y enfermedades 8 %, Cosecha 11 %, Diversos 13 %, Costo total del cultivo \$16,110 (2009-2010) (por dicha distribución se reflejan los altos costos de la producción)

Cuadro 4.22 Manejo agronómico del cultivo de frijol en la zona centro del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	En barrial se sugiere realizar un barbecho o subsuelo, dos pasos de rastra, nivelar y surcar al momento de la siembra; mientras que en aluvión, dos pasos de rastra con riel detrás y nivelación, son suficiente. Este cultivo se desarrolla mejor en suelos de aluvión con buen drenaje interno para evitar el encharcamiento, los cuales son causantes de pudriciones radicales. En suelos de barrial prosperan, pero en terrenos nivelados y con buen control de agua de riego.
Siembra	Se realiza con sembradoras de precisión depositando de 15-18 semillas ($90-100 \text{ Kg ha}^{-1}$), para lograr una densidad de 14 plantas m^{-2} lo que equivale a 175 mil plantas ha^{-1} , en variedades de tipo azufrado peruano; mientras que en variedades de tipo azufrado regional se requieren solo 70Kg de semilla por hectárea; en negros se ocupan de 40-50 Kg ha^{-1} . Tanto en barrial como en aluvión se sugiere sembrar en surcos de 70-80 cm de separación, en barrial la siembra es en el lomo del surco mientras que en aluvión se siembra en plano.
Riego	En suelos de barrial se requieren tres riegos de auxilio para variedades tardías (negros) y dos para las precoces e intermedios (Azufrado regional y Azufrado peruano). El primero debe darse al inicio de la floración, el segundo 12 días después de éste y el tercero, en la etapa de llenado de grano para tardíos; y para precoces-intermedios, el primero al inicio de la floración y el segundo al finalizar ésta. Este calendario de riegos puede modificarse por la presencia de lluvias invernales ("equipatas"). Antes del primer riego de auxilio, debe levantarse el surco con objeto de conducir el agua con facilidad y evitar encharcamientos.
Fertilización	En suelos de barrial y aluvión es conveniente inocular la semilla. Al momento de la siembra se deben aplicar de 80-100 unidades de nitrógeno por hectárea. Es preferible aplicarlo antes de la siembra, aunque también puede dividirse la mitad a la siembra y la otra mitad al aplicar el primer riego de auxilio. Las dosis sugeridas pueden variar de acuerdo al análisis de suelo, aunque regularmente se aplican 200 unidades de nitrógeno más 100 de fósforo a lo largo del

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	ciclo del cultivo.
Plagas y Enfermedades	<p>Mosquita blanca (<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius) y (<i>B. argentifolii</i> Bellows & Perring). La importancia de la mosquita blanca en el cultivo del frijol se debe a su capacidad para transmitir el complejo de virus (virus del mosaico dorado, del clorótico, rugoso y cálico). La mayor población de este insecto ocurre durante el verano (julio-septiembre) y decrecen en el invierno (a partir de octubre), por lo que las fechas de siembra son determinantes para reducir riesgos de daño por el insecto como vector. Se considera que siembras muy tempranas (septiembre) o muy tardías (diciembre) son las más afectadas. Reduce el rendimiento en más del 50%.</p> <p>Chicharrita (<i>Empoasca</i> spp). Los adultos miden unos tres milímetros de largo, son alargados y de color verde tierno; insertan sus huevecillos a lo largo de las nervaduras en el envés de las hojas. Las ninfas nacen a los pocos días y pasan por cinco instares. Son de color blanco sucio y, al igual que los adultos, chupan la savia de las hojas, la planta detiene su crecimiento y decrece la producción de ejote y calidad del grano. Las plantas atacadas por ninfas y adultos no se desarrollan normalmente; las hojas presentan deformaciones y enrollamientos hacia abajo, con amarillamiento en los bordes; también hay deformación de las vainas, achaparramiento general de la planta y pérdidas sustanciales de la producción. Reducción del rendimiento mayor al 40%.</p> <p>Trips (<i>Caliothrips phaseoli</i> Hood). Los huevecillos son insertados en los tejidos del envés de las hojas; las ninfas raspan y chupan las hojas, produciéndoles cicatrices que le dan un aspecto cenizo. Posteriormente, las hojas muy atacadas se tornan de color cobrizo y después se acartonan; pueden ocasionar la defoliación prematura de la planta. El daño se puede reflejar en una considerable merma en el rendimiento, sobre todo en la etapa de prefloración, reduciendo hasta en un 25% el rendimiento.</p> <p>Diabrotica (<i>Diabrotica balteata</i> Leconte). El adulto mide unos seis milímetros de largo y es de color verde claro con bandas amarillentas transversales en los élitros. Ocasionalmente se presenta en infestaciones altas, que causan daño al frijol antes de floración. El daño se manifiesta como orificios de diversos tamaños. Cuando las plantas son chicas pueden destruirlas completamente. En infestaciones muy fuertes, ataca flores y vainas tiernas. Esta plaga es frecuente encontrarla en las siembras efectuadas en el mes de septiembre. Y su daño directo no se considera de importancia económica.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Mosaico dorado. Esta enfermedad es causada por el virus del mosaico dorado del frijol (BGMV), es el virus más importante en la región ya que puede ocasionar pérdidas en el cultivo de 25-95%; su intensidad depende en gran parte de las poblaciones de mosca blanca que se encuentren en el cultivo o cerca de él. Ataca a todas las variedades. Para prevenir esta enfermedad se sugiere, ajustarse al período de siembra ya mencionado (las siembras anticipadas son las más afectadas por la enfermedad) utilizar variedades tolerantes y controlar oportunamente los insectos chupadores, particularmente la mosquita blanca.</p> <p>Mosaico común. Esta enfermedad es causada por el virus del mosaico común del frijol (BCMV), es el patógeno viral más importante de este cultivo, debido a que puede ser transmitido en un alto porcentaje, mecánicamente por la semilla y por varias especies de áfidos. Un promedio de 35% de las semillas producidas por una planta infectada antes de la floración podrían dar origen a plantas con mosaico común. Esta patógeno se presenta en todas las zonas productoras, ocasionando pérdidas del orden del 6 al 98% de la producción. Para prevenir esta enfermedad se recomienda utilizar variedades resistentes a este patógeno, ajustarse al periodo de siembra ya mencionado y evitar el ingreso de áfidos al cultivo.</p> <p>Mosaico enano. Esta enfermedad es causada por el virus del mosaico enano del frijol (BDMV) y es transmitido por mosquita blanca. Esta enfermedad no es de importancia económica debido a que se ha presentado con incidencias muy bajas. Para prevenir la presencia de esta enfermedad es necesario manejar la población del insecto vector, utilizar variedades tolerantes y sembrar en la época antes mencionada.</p>

Concepto	Descripción
	<p>Bacteriosis. Esta enfermedad se ha detectado cuando se presentan condiciones ambientales húmedas y cálidas, con neblinas y precipitaciones fuertes. Puede ocasionar pérdidas de 20-60% en el rendimiento del cultivo. Para prevenir su ataque se debe utilizar semilla producida en lotes libres de bacterias fitopatógenas, además se sugiere barbechar para colocar residuos infectados en un estrato inferior y rotar con cultivos tolerantes. No se debe transitar con maquinaria, implementos o gente por el cultivo cuando haya presencia de rocío, para evitar la diseminación del patógeno. El control químico puede efectuarse, aplicando compuestos a base de cobre y antibióticos.</p> <p>Moho blanco (<i>Sclerotinia</i> Whetzelinia) (<i>sclerotiorum</i> Lib. De By). La enfermedad se inicia generalmente durante la floración, cuando hay suficiente follaje que permite una mayor retención de humedad en torno a la planta. Se identifica por el crecimiento algodonoso de color blanco que cubre la superficie o el interior de porciones de ramas, vainas y hojas. Las vainas, tallos y ramas se marchitan, por lo que causan una reducción en el tamaño de la semilla. Las vainas en contacto con el suelo se infectan rápidamente. Cuando hay suficiente humedad en la atmósfera, las lesiones en las diferentes partes de la planta se cubren con la masa del micelio de color blanco, característica del hongo. Esta enfermedad se ha presentado sistemáticamente en la zona de aluvi3n, pero se ha extendido hacia el barrial, atacando otros cultivos, sobre todo hortícolas. Se desarrolla a una temperatura media inferior a 21°C. La alta humedad relativa o del suelo, provocada por riegos pesados, lluvias invernales o rocíos intensos, reúne las condiciones propicias para que la enfermedad prolifere rápidamente. Por lo cual es necesario extremar las medidas precautorias para reducir su incidencia y en especial en el uso y manejo del agua y de variedades tolerantes. En los ciclos húmedos que favorecen el desarrollo de este patógeno, es necesario establecer un combate preventivo con fungicidas.</p> <p>Roya o Chahuixtle (<i>Uromyces phaseoli</i> var. <i>typica</i>). Esta enfermedad se presenta en variedades criollas sobre todo al sembrarlas en fechas tardías. Pueden defoliar prematuramente la planta y con ello reducir el tamaño de vainas y granos que se refleja en baja de producción. El hongo ataca las hojas y es más abundante y notorio en el envés, pero también invade vainas y tallos. Los primeros síntomas aparecen como pequeños puntos amarillo pálido, que son las pústulas. El hongo sobrevive como uredosporas o teliosporas. Al germinar producen basidiosporas que penetran al tejido a través de la cutícula. Con clima húmedo y temperatura de 16 a 25°C se forman las uredosporas en un lapso de 10 a 15 días, dando lugar a las infecciones secundarias al diseminarse por el viento, principalmente. Estas estructuras maduran para formar teliosporas y ambas son las fases de sobrevivencia del hongo. Para evitar daños por esta enfermedad se sugiere utilizar las variedades recomendadas en su fecha óptima de siembra ya que cuentan con resistencia genética al patógeno.</p>
Cosecha y poscosecha	Inicia al presentarse la madurez fisiológica de la planta, la cual se realiza en tres fases: arranque, enchorizado y trilla; existen equipos que realizan el arranque y enchorizado al mismo tiempo, regularmente se forman chorizos de 8 y 12 surcos. La trilla se realiza al contar con un porcentaje de humedad de 12-14 %.

iii Garbanzo

El garbanzo es un cultivo de importancia en el área de influencia del CEVACU, ya que durante el ciclo 2009-10 se cosecharon 8,083 ha bajo condiciones de riego; de las 21,049 ha establecidas a nivel estado en esta condición, lo que equivale al 38 %, con un rendimiento promedio de 1.8 t ha⁻¹. En los **Cuadro 4.23 y 4.24** se presentan los requerimientos productivos y manejo agronómico respectivamente.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 4.23 Requerimientos productivos del garbanzo en la zona centro del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos agroecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: corto. Altitud: 0- 2200 msnm. Precipitación: 1,000-1,250 mm. Humedad ambiental: moderadamente húmeda (40-50 %). Temperatura: 18-25 °C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-arcillosa y franco-arenosa. Profundidad: 0.6-1m. Salinidad: 2-6 dS m ⁻¹ . pH: 6.2-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje
Sistema de producción	Trazo de surcos	Tanto en barrial como en aluvi3n se sugiere sembrar en surcos de 80-92 cm de separaci3n, con una sola hilera por surco. En la actualidad se ha experimentando con diferentes sistemas de producci3n como son las camas con doble hilera a 140 cm (60-80 cm) respetando la densidad de semilla por metro cuadrado, a trav3s de dicha camas se realiza el riego 3nicamente por un solo lado de cada hilera de siembra.
Área de Influencia	Culiacán, Angostura, Mocorito, Badiraguato, C3sala, Salvador Alvarado, Navolato y Elota.	El cultivo del garbanzo se adapta de buena forma en algunos municipios del centro del Estado como Culiacán, Angostura, Navolato, Mocorito C3sala y Elota.
Época de siembra	Fechas de siembra	La siembra se realiza del 20 de octubre al 15 de diciembre, considerándose como fecha optima todo el mes de noviembre. Una siembra antes de la recomendada ocasiona problemas con plagas como minador de la hoja y una siembra despu3s a la recomendada presenta problemas con enfermedades foliares principalmente.
Desglose de costos	Desglose de costos en porcentajes	Preparaci3n del terreno 18 %, Siembra 19 %, Fertilizaci3n 20 %, Labores culturales 5 %, Riegos 6 %, Control integral de plagas y enfermedades 8 %, Cosecha 11 %, Diversos 13 %, Costo total del cultivo \$14,000 (2009-2010) (por dicha distribuci3n se reflejan los altos costos de la producci3n)

Cuadro 4.24 Manejo agron3mico del cultivo del garbanzo en la zona centro del estado de Sinaloa

Concepto	Descripci3n
Preparaci3n del terreno	En barrial se sugiere realizar un barbecho o subsuelo, dos pasos de rastra, nivelar y surcar al momento de la siembra; mientras que en aluvi3n, dos pasos de rastra con riel detr3s y nivelaci3n, son suficiente. Este cultivo se desarrolla mejor en suelos de barrial con buen drenaje interno para evitar el encharcamiento, los cuales son causantes del complejo de pudriciones radicales, denominadas com3nmente "rabia". Tambi3n es factible realizar labranza reducida, esto consiste en utilizar lo menos la maquinaria para la preparaci3n del suelo tratando de que los residuos de cosecha queden en la superficie. El 3xito de dicho m3todo, estriba en el hecho de que en su inicio el terreno no est3 fuertemente compactado, as3 como en la disponibilidad de equipo para la siembra.
Siembra	Se realiza con sembradoras de precisi3n depositando de 14-16 semillas (90-100 Kg ha ⁻¹), para lograr una densidad m3xima de 12 plantas m ⁻¹ . Tanto en barrial como en aluvi3n se sugiere sembrar en surcos de 80-92 cm de separaci3n, en barrial la siembra es en el lomo del surco mientras que en aluvi3n se siembra en plano.
Riego	En suelos de barrial sugieren dos riegos de auxilio, el primero previo a la floraci3n, es decir a los 40 d3as de sembrado y el segundo al iniciar el llenado de las capsulas a los 65 d3as, ambos riegos deben ser ligeros y de preferencia en surcos alternos. En suelos de aluvi3n, con manto fre3tico elevado, un solo riego de auxilio al inicio de floraci3n puede ser suficiente dependiendo

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	de la presencia de lluvias invernales ("equipatas"). Antes del primer riego de auxilio, debe levantarse el surco con objeto de conducir el agua con facilidad y evitar encharcamientos.
Fertilización	En suelos de barrial y aluvión es conveniente inocular la semilla. Al momento de la siembra se deben aplicar de 80-100 unidades de nitrógeno por hectárea. Es preferible aplicarlo antes de la siembra, aunque también puede dividirse la mitad a la siembra y la otra mitad al aplicar el primer riego de auxilio. Las dosis sugeridas pueden variar de acuerdo al análisis de suelo.
Plagas y Enfermedades	<p>Plagas:</p> <p>Gusano trozador (<i>Agrotis sp.</i>). El gusano trozador es una larva rechoncha y de color gris, con tonalidades café oscuras y claras, llega a medir alrededor de cuatro cm de longitud se les encuentra enroscada en el suelo, a una profundidad de unos 3 a 5 cm, cerca del tallo de las plántulas afectadas. El daño del gusano trozador es importante hasta los 30 días después de la emergencia del cultivo. Se sugiere efectuar muestreos periódicos y cuando se encuentre más de una planta trozada en 10 m y se corra el riesgo de que el número de plantas sea menor a la densidad de plantas recomendadas por metro lineal (12 plantas en promedio), se sugiere realizar el control químico.</p> <p>Minador de la hoja <i>Liriomyza sativae</i> Blanchard. Los adultos son mosquitas de unos 2.5 mm de largo; de color amarillo con el dorso oscuro brillante y alas bien desarrolladas. Ponen sus huevecillos en los cotiledones de las plantas pequeñas, haciendo que la planta se desarrolle anormal o se seque por el ataque de patógenos. La mosca minadora hace galerías en las hojas, ocasionando defoliaciones severas cuando sus poblaciones son muy altas; si esto ocurre cuando el grano está en formación, el rendimiento y la calidad decrecen, debido a que los granos no se desarrollan normalmente y quedan "chupados". Se considera que las siembras del mes de noviembre son menos afectadas, mientras que las siembras de octubre y tardías en diciembre o posteriores pueden ser afectadas seriamente.</p> <p>Gusano soldado <i>Spodoptera exigua</i> (Hubner). Los adultos de gusano soldado miden 1.2 cm de longitud. Las alas anteriores son de color gris brillante con una pequeña mancha circular color naranja pálido, situada ligeramente después de la mitad de las alas, cerca del margen externo de las mismas; debajo de esa mancha presenta otra marca un poco más pequeña de forma arriñonada. Generalmente las larvas consumen el follaje tierno y cuando la infestación es muy alta también se alimentan de los granos en formación, afectando el rendimiento y la calidad; el daño del gusano soldado en las cápsulas se diferencia del ocasionado por el gusano de la bolsa porque el primero perfora la cápsula dejando un orificio irregular, en cambio, el gusano de la cápsula realiza un orificio más o menos redondo y sus excrementos los deja generalmente dentro de la fructificación.</p> <p>Gusano de la cápsula <i>Helicoverpa zea</i> y <i>H. virescens</i>. La primera especie es una palomilla de unos 2.5 centímetros de largo, su color es café ocre, con una pequeña mancha en el centro de las alas superiores. <i>H. virescens</i> mide alrededor de dos centímetros, es de color crema, con tres bandas oblicuas de color café en las alas superiores. A ambas especies se les conoce como gusano de la cápsula o de la bolsa, sin embargo, en el norte de Sinaloa se ha observado que <i>H. virescens</i> predomina en el cultivo de garbanzo en un 100%, pero no se descarta la presencia de <i>H. zea</i>. El gusano de la cápsula es el insecto plaga más importante del garbanzo, por el daño directo que origina reduciendo el rendimiento y la calidad del grano. Principalmente en las fechas de siembra tardías después de noviembre, en las que se pueden encontrar decenas y hasta cientos de larvas por metro de surco, en ésta situación es común que se requieran desde una a más de tres aplicaciones de insecticidas, en muchas ocasiones con resultados poco favorables. Lo anterior origina pérdidas económicas en el cultivo, propicia la selección de resistencia de los insectos a los insecticidas, contamina el medio ambiente y al grano cosechado poniendo en riesgo la comercialización en los mercados de exportación.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Rabia. Ha sido una enfermedad causante de fuertes daños a la producción de este cultivo y difícil de erradicar al suelo. Para su prevención se deben dar riegos ligeros, evitando</p>

Concepto	Descripción
	<p>estancamientos que fomenten la enfermedad y deben destruirse residuos infectados, para evitar su diseminación. Se sugiere emplear variedades de reciente liberación, pues se comportan tolerantes a este complejo de hongos.</p> <p>Roya Es una enfermedad que se presenta en todas las áreas productoras cuando existe ambiente favorable y puede causar pérdidas considerables. Para prevenirla ajústese a la siembra de variedades sugeridas en su período de siembra recomendado, para escapar al ataque de este hongo.</p> <p>Moho gris. Se ha presentado esporádicamente en años atípicamente húmedos y lluviosos. Existen posibilidades de que vuelva a presentarse si las condiciones se repiten. En tal caso deben aplicarse prácticas tendientes a prevenir la humedad alta en el cultivo, como sembrar al menos a 80 cm, con tiradas de riego cortas. En caso de presentarse la infestación, se puede aplicar Benlate en dosis de 0.5 a 1.0 kg/ha.</p> <p>Mildiú vellosa. Se ha presentado en los últimos años con baja incidencia y aumento progresivo. La temporada 1996-97 fue motivo de alarma de los productores y autoridades sanitarias. Para su prevención debe sembrarse en surcos espaciados por lo menos a 80 cm. Aplicar riegos ligeros en tiradas cortas. Si se observan indicios de la enfermedad, se sugiere aplicar 2-3 kg de Manzate o Dithane o Daconil ó Bravo. En caso de que el daño se observe extendido y persistan condiciones de alta humedad será necesario aplicar 2 kg de Ridomil Bravo, Ridomil MZ-72 ó Curzate</p>
Cosecha y poscosecha	Al iniciarse la madurez fisiológica de la planta, se realiza la cosecha por etapas, en tres fases: arranque, enchorizado y trilla; existen equipos que realizan el arranque y enchorizado al mismo tiempo, regularmente se forman chorizos de 8 y 12 surcos. La trilla se realiza al contar con un porcentaje de humedad de 12-14 %.

iv. Tomate

Sinaloa sobresale entre los estados productores de tomate en México. En los ciclos otoño-invierno 2008-2009 se sembraron en promedio 15,000 ha que representa el 50 % de la superficie total sembrada en nuestro país. Actualmente en el valle de Culiacán se siembran aproximadamente 3000 ha de donde se obtiene el 20 % del total de la producción a nivel estado. En los **Cuadros 4.25 y 4.26** se aprecian los requerimientos productivos y manejo agronómico respectivamente.

Cuadro 4.25 Requerimientos productivos del tomate en la zona centro del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Observaciones
Requerimientos agroecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: neutro. Altitud; 0-1000 msnm. Precipitación: 460 mm. Humedad ambiental: relativamente húmeda (50-60 %). Temperatura: 15 y 29 °C. Luz; luminosidad alta. Textura: arcillo-limosos ó arcillo arenoso. Profundidad: 1-1.5 m. Salinidad: 0-2.5 dS m ⁻¹ . pH; 5 y 7. Drenaje: buen drenaje
Sistema de producción	Trazo de surcos y distribución de planta	<p>La separación entre plantas es de 30-40 cm para los híbridos de crecimiento determinado y de 20-25 cm para los indeterminados</p> <p>El trasplante se efectúa a los 30-35 días. Los surcos deben tener 1.8 m de separación, y en caso de que el equipo de cultivo lo permita, la distancia se puede reducir de 1.5-1.6 m. La longitud de los surcos debe ser de 50-70 m como máximo.</p> <p>Para obtener plantas sanas y vigorosas, la siembra y manejo de plántulas se realiza bajo condiciones de invernadero. Bajo este sistema se</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable	Descripción	Observaciones
		requieren 33,333 plantas de crecimiento indeterminado y 23,148 plantas de crecimiento determinado para establecer una hectárea de tomate.
Área de influencia	Mocorito, Badiraguato, Culiacán, Salvador Alvarado, Angostura, Navolato, Elota y Cósala.	La zona de mayor producción de tomate es Culiacán por sus altos rendimientos y la buena adaptación del cultivo a ese municipio, municipios como Angostura, Navolato y Salvador Alvarado establecen este cultivo pero en menor superficie y rendimientos.
Época de siembra	Fechas de siembra	El período de siembra del almácigo se divide en dos etapas: la intermedia del 16 de agosto al 15 de septiembre; y la tardía, del 16 de septiembre al 20 de octubre. En fechas posteriores, los rendimientos y la calidad del fruto se ven afectados por la mayor incidencia de plagas y enfermedades.
Desglose de costos	Desglose de costos en porcentaje	Preparación del terreno 6 %, Siembra 43 %, Fertilización 17 %, Labores culturales 25 %, Riegos 4.5 %, Control integral de plagas y enfermedades 9.5 %, Cosecha 8.5 %, Diversos 9 %, costo total del cultivo \$34,225 (2009-2010). (La mayor inversión se da en el establecimiento del cultivo).

Cuadro 4.26 Manejo agronómico del cultivo de tomate en la zona centro del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	Para una buena preparación del terreno, se sugiere dar un subsuelo y un barbecho profundo. Posteriormente es conveniente desmenuzar los terrones mediante los rastreos necesarios. Por último, debe nivelarse para evitar encharcamientos y contar con un sistema eficiente de riego.
Trasplante	El trasplante se efectúa de los 30-35 días después de la siembra en charola. Los surcos deben tener 1.8 m de separación, y en caso de que el equipo de cultivo lo permita, la distancia se puede reducir de 1.5-1.6 m. La longitud de los surcos debe ser de 50-70 m como máximo. La separación de las plantas es de 30-40 cm para los híbridos de crecimiento determinado y de 20-25 cm para los indeterminados.
Riego	El número de riegos por gravedad varía de 10-15 incluyendo el de pre trasplante, con un intervalo de 15-20 días dependiendo el clima; en goteo, los intervalos varían dependiendo de la etapa de desarrollo: de trasplante a floración, un día sí y uno no, de floración a llenado de fruto, dos días sí y uno no, finalmente de llenado de fruto a cosecha un día sí y uno no.
Fertilización	Etapas temprana e intermedia. Para realizar la fertilización adecuadamente, es necesario realizar análisis periódicos de suelo y de follaje, esto con el fin de aplicar las cantidades necesarias que demande el cultivo. Sin embargo las cantidades mínimas necesarias de los elementos son de 531 unidades de nitrógeno, 228 unidades de fósforo, 431 unidades de potasio, 200 unidades de calcio y finalmente 139 unidades de magnesio. Si el pH es mayor de 7.0, es conveniente usar sulfato de amonio como fuente de nitrógeno. Etapas tardía. Al igual que en la etapa temprana se realiza un análisis de suelo periódicamente y las necesidades de nutrientes son de 559 unidades de nitrógeno, 216 unidades de fósforo, 782 unidades de potasio, 381 unidades de calcio y 294 unidades de magnesio.
Plagas y	Plagas

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
Enfermedades	<p>Mosquita blanca. (<i>Bemisia argentifolii</i> Bellows y Perring). El tomate es uno de los principales hospederos de la mosquita blanca. La plaga se presenta desde la emergencia y el daño depende del nivel de infestación y la etapa fenológica atacada, pudiendo ser hasta del 80% la reducción del rendimiento, pero además afecta la calidad de la fruta cosechada.</p> <p>Minador de la hoja (<i>Lyriomiza trifolii</i> y <i>L. bryoniae</i>) El minador es un díptero cuyas larvas cavan galerías en las hojas sin dañar la piel. Se les conoce como "submarinos" por esta peculiar manera de actuar. De adulto mide 2 mm. En la época invernal suelen permanecer en letargo y al llegar a la madurez aparecen en primavera. La hembra taladra la epidermis de la hoja y coloca los huevos dentro de ella. Cuando los enemigos naturales, principalmente los parasitoides no son eliminados con aspersiones de insecticidas de amplio espectro, las poblaciones de esta plaga y el daño que provocan es mínimo, sin embargo, si el daño rebasa el 25% de follaje dañado y no se controla la población plaga, el rendimiento se puede afectar en un 15% o más.</p> <p>Gusano soldado (<i>Spodoptera exigua</i>). Es la larva de la palomilla nocturna, ha cobrado gran importancia en los últimos años debido a su proliferación en muchos cultivos, tal vez provocada por la dificultad de su control con los insecticidas convencionales. La larva es de color verde con líneas longitudinales de un tono más claro y dos puntos negros a los lados de la parte anterior del cuerpo. Su ataque comprende un sinnúmero de cultivos agrícolas, aunque se le combate más en las hortalizas. El adulto, una palomilla café grisáceo, deposita sobre las hojas masas de huevecillos recubiertas por pelos blancos, de los que salen las larvas a alimentarse gregariamente mientras son jóvenes, carcomiendo las hojas; ya más grandes las perforan y, por último, los gusanos grandes se dirigen a los frutos, devorándolos desde el interior y provocando su caída. Se recomienda controlar la plaga cuando se encuentre 0.25 larvas de gusano soldado de máximo tercer instar de desarrollo.</p> <p>Gusano falso medidor (<i>Trichoplusia ni</i>). Es la larva de la palomilla nocturna, de color café grisáceo con dibujos más oscuros en las alas y una letra "gamma", características sobre cada una de las delanteras. El gusano falso medidor se alimenta únicamente de follaje, aunque su voracidad es tal que cuando se presenta en poblaciones elevadas defolia por completo las plantas, provocando pérdidas mayúsculas. La recomendación para el umbral de daño económico es similar que para gusano soldado, cuando se encuentre 0.25 larvas de gusano soldado de máximo tercer instar de desarrollo.</p> <p>Gusano del cuerno (<i>Manduca sexta</i> y <i>M. quinquemaculata</i>). En Tomate, son orugas defoliadoras grandes. Debido a su gran tamaño, pueden llegar a reducir el follaje de toda una planta en un corto periodo de tiempo. Estos insectos se alimentan solamente de especies de plantas solanáceas aunque prefieren tomate y tabaco. Las larvas generalmente atacan la porción superior de las plantas incluyendo frutos pequeños y botones florales. Por lo general consumen toda la hoja y ocasionan graves problemas de defoliación, más del 90 % del consumo de follaje se presenta durante el último instar. Generalmente la presencia de este insecto es reducida y sólo eventualmente requiere de control químico.</p> <p>Gusano del fruto (<i>Heliothis virescens</i> (F.) y <i>Helicoverpa zea</i> (Boddie)). Los adultos son palomillas de tamaño medio de aproximadamente 2 cm de largo, la primera especie es de color crema y la segunda color ocre o café cobrizo; <i>H. virescens</i> se distingue porque presenta tres bandas longitudinales en las alas anteriores de color claro, <i>H. zea</i> presenta marcas irregulares en las alas anteriores, destacando un punto oscuro en el centro de las mismas. Los estados inmaduros de ambas especies son muy similares. Las larvas pequeñas tienen la cabeza de color negro y el resto del cuerpo de color blanco hialino (cristalino), con numerosas cerdas; en el tercer instar son predominantemente de color café y en ocasiones son de color verde, con líneas longitudinales de color blanco, crema o amarillo; al final de su desarrollo pueden medir alrededor de 3.5 cm de largo. El umbral económico de daño es cuando se encuentre un promedio de cuatro huevecillos viables en 30 hojas, en diferentes sitios del cultivo. El daño del insecto afecta más que nada la viabilidad de los frutos, ocasionando que</p>

Concepto	Descripción
	<p>resulten comercializables si la plaga no se controla oportunamente.</p> <p>Gusano Alfiler (<i>Keiferia lycopersicella</i> (Walsingham)). El adulto es una palomilla pequeña de unos 8 mm de longitud, de color gris claro, con manchas negras en todo el cuerpo. Los huevecillos son muy pequeños, de color blanco y de forma elipsoidal, son depositados en las hojas cerca de las fructificaciones. Las larvas en sus dos primeros instares se alimentan de las hojas y forman una especie de empanada que le sirve de protección, donde pueden llegar a desarrollarse completamente, pero comúnmente en el tercer instar perforan el fruto alrededor del área del cáliz y aquí completan su desarrollo larval, para después pupar en el suelo o a veces en el mismo fruto. En infestaciones fuertes el follaje y los frutos son seriamente dañados, afectando en este último caso más que nada la calidad del fruto. El daño en los frutos puede alcanzar el 80%. El umbral económico de daño de este insecto es 0.25 larvas por planta. El empleo de feromona sexual para evitar la cópula y la reproducción del insecto es efectivo para su control, al registrar un promedio de máximo cinco palomillas por trampa, por noche.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i> Mont de Bary). Es considerada la enfermedad más destructiva del tomate, ya que puede ocasionar la pérdida total del cultivo si no se controla. En las hojas o foliolos se presentan manchas de color gris, circundadas de un halo amarillento, las cuales se ensanchan del margen hacia la base. Por el envés se forman las esporas del hongo, con aspecto algodonoso blanquecino. Atacan la base del pedúnculo (quichi) del fruto y posteriormente se pudre.</p> <p>Moho de la hoja (<i>Cladosporium fulvum</i> Cke). Se encuentra ampliamente distribuida en las zonas productoras de tomate, y puede ser más severa en los sistemas de producción bajo condiciones de invernadero. Las pérdidas en el cultivo pueden alcanzar niveles altos cuando existen las condiciones óptimas para su desarrollo. La enfermedad empieza a manifestarse en las hojas de la parte baja de la planta, y produce manchas amarillentas en el haz, y en el envés agrupaciones de esporas verde claro y oscuras. En ataques fuertes, el plantío toma una coloración café y luego oscuro.</p> <p>Cenicilla (<i>Oidopsis tauric</i> Lev Salmon). En el haz de la hoja produce manchas amarillentas, y en el envés vellosidades de color blanco poco visibles. Puede causar daños drásticos bajo condiciones de sequía. Para su control es recomendable aplicar semanalmente productos azufrados.</p> <p>Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i> Ell. & Mart. Jones & Grout). Puede afectar al cultivo en cualquier etapa de su desarrollo y es capaz de infectar cualquier órgano aéreo de la planta, es por esto que se le considera muy importante. El ataque en almácigo o invernadero es intenso, y puede causar la muerte de todas las plántulas por pudrición basal. En las hojas produce manchas concéntricas oscuras rodeadas por un anillo de color amarillo. Afecta particularmente a los tallos. En plantas maduras puede atacar hojas, tallo y fruto, los síntomas característicos son manchas circulares concéntricas.</p> <p>Enchinamientos y achaparramiento. Este tipo de síntomas lo producen un grupo específico de geminivirus; los begomovirus, pero el de mayor importancia es el virus del enchinamiento amarillo del tomate (TYLCV). Las plantas afectadas presentan un achaparramiento y enchinamiento de las hojas, los brotes jóvenes se distorsionan (y adquieren tintes pálidos con las nervaduras púrpura) y los frutos son de menor tamaño. La infección se puede expandir por todo el cultivo y por ende la pérdida total de este.</p> <p>Mosaico. Esta enfermedad es producida por virus, los principales que afectan al cultivo de tomate son el Virus Mosaico del Pepino (CMV) y el Virus Mosaico del Tabaco (TMV). Estos virus son transmitidos por áfidos y en forma mecánica por semilla. La importancia de estos virus radica en que pueden lograr la pérdida del 100% del cultivo.</p> <p>Cáncer bacteriano (<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i>). Es una</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	enfermedad muy contagiosa y destructiva en este cultivo, en la actualidad se considera como una de las enfermedades más letales del tomate, por esta razón es considerada de importancia cuarentenaria y puede lograr pérdidas totales del cultivo. Las infecciones foliares superficiales causan necrosis en el follaje generalmente en los márgenes de las hojas las cuales pueden avanzar hasta que la hoja completa y el pecíolo mueren.
Cosecha y poscosecha	La cosecha debe efectuarse según sea la demanda y la distancia de los centros de consumo. Si el fruto es para el mercado local, se requiere de un color rosado, y para exportación debe cosecharse en verde sazón, con el fin de que el fruto llegue en buen estado a su destino.

v. Chile Verde

Durante el ciclo agrícola 2008-2009 se sembraron 15,000 ha de chile verde de la cuales 4000 ha se establecieron en el valle de Culiacán, lo que equivale a más del 25 % a nivel estatal, obteniendo una producción de 100,000 t destinadas exclusivamente para el mercado de exportación con rendimientos de 25 t ha⁻¹. El cultivo registra un alto costo de producción (\$59,342) esto se debe a que es necesario la producción de plantas bajo condiciones de invernadero, esta acción absorbe hasta el 30 % del costo total del cultivo. A continuación en el **cuadro 4.27** se especifican los requerimientos productivos para el cultivo en la zona centro del estado.

Cuadro 4.27 Requerimientos productivos del chile en la zona centro del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Observaciones
Requerimientos agroecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: corto. Altitud: 0-2700 msnm. Precipitación: 2200 mm. Humedad ambiental: moderadamente húmeda (50-60 %). Temperatura: 7-29 °C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-arcillosos y arcillo-limosos. Profundidad: 1-1.5 m. Salinidad: 0.9-1.6 dS m ⁻¹ . pH: 4.3-8.3. Drenaje: buen drenaje.
Sistema de producción	Trazo de surcos y distribución de planta.	Los surcos deben tener 1.80 m de separación en doble hilera y de 1.50-1.60 m en hilera sencilla. En ambas situaciones las plantas tendrán una separación de 30-35 cm. En el primer caso habrá una densidad de 31-37 mil plantas por hectárea y para el segundo será de 21-23 mil. En siembras tempranas e intermedias, con el fin de evitar el acame de plantas, se sugiere el uso de hilo y estacones cortos con una separación de 1.5-2.0 m. En siembras tardías, las plantas se desarrollan poco, por lo que en ocasiones no es necesario el uso de estacón.
Área de influencia	Culiacán, Mocorito, Cósala, Salvador Alvarado, Navolato, Elota, Badiraguato y Angostura.	Los DDR influenciados por este cultivo son el de Culiacán y el de Guamúchil.
Época de siembra	Fechas de siembra	La siembra en invernaderos se debe realizar del 01 de agosto al 15 de octubre. Siembras posteriores reducen los rendimientos hasta 50 % por ataque de plagas y enfermedades
Desglose de	Desglose de costos en	Preparación del terreno 4 %, Siembra o plantación 50 %, Fertilización 14 %, Labores culturales 3 %, Riegos 4 %, Control integral de plagas y

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable	Descripción	Observaciones
costos	porcentaje	enfermedades 5 %, Cosecha 8 %, Diversos 12 %, costo total del cultivo \$59,342 (2009-2010) (La mayor inversión se da en el establecimiento del cultivo).

El cultivo puede durar hasta 6 meses, obligando a realizar un manejo eficiente desde la preparación del terreno hasta la cosecha, requiriendo un buen manejo integral de plagas y enfermedades, lográndose su máximo potencial productivo, este apartado absorbe hasta un 5 % del costo total pudiendo aumentar si no se realiza de una manera adecuada. En el **cuadro 4.28** se muestra su manejo agronómico.

Cuadro 4.28 Manejo agronómico del cultivo del cultivo de chile en la zona centro del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	Es conveniente realizar un barbecho profundo así como aplicar los rastreos necesarios para que el suelo cuente con las condiciones óptimas. La nivelación es indispensable para evitar encharcamientos al momento del riego y prevenir pérdidas de las plantas por enfermedades de raíz y marchitez.
Trasplante	La plántula debe presentar una altura de 15-20 cm de altura, y contener 5-6 hojas verdaderas así como un sistema radical bien formado. Debe evitarse el empleo de plántulas enfermas por bacterias o virus.
Riego	El número de riegos varía de 10-15, en gravedad, puede realizarse con intervalos de 7-10 días, de acuerdo a las condiciones del clima. Evitar excesos de agua que provoquen encharcamientos lo cual provoca enfermedades radicales. En goteo se suministra el agua correspondiente a la evapotranspiración, lo cual se cumple con un riego cada tres días regularmente.
Fertilización	Se realizarán análisis de suelo y foliares con el fin de realizar la fertilización de una manera adecuada y en el momento indicado; sin embargo se requieren 507 unidades de nitrógeno, 227 unidades de fosforo, 505 unidades de potasio, 227 unidades de calcio y 190 unidades de magnesio.
Plagas y Enfermedades	<p>Plagas</p> <p>Picudo del chile (<i>Anthonomus eugeni</i>). También llamado en algunas regiones barrenillo, es un insecto de 3-4 mm, color café o casi negro, recubierto de una vellosidad amarillenta, con un pico en el extremo del cual se encuentra un par de mandíbulas. El pico de este insecto está muy ligado con sus hábitos alimenticios y reproductivos ya que con él perfora los frutos de chile y se alimenta de su interior. Las hembras se valen del pico para hacer una perforación y poner dentro un huevecillo, posteriormente cubren el agujero con una secreción que al endurecerse deja a su cría bien protegida de enemigos naturales, y en el lugar ideal para que la larva barrenadora al emerger empiece a alimentarse sin problema de las semillas del chile. El control químico del picudo del chile se sugiera al encontrar un promedio de un adulto en 200 yemas terminales revisadas en cinco sitios del terreno. El daño de este insecto puede ocasionar pérdidas de rendimiento superiores al 60% de la producción.</p> <p>Ácaro blanco (<i>Polyphagotarsonemus latus</i>) se encuentra distribuido en todo el mundo atacando a un gran número de cultivos. Este ácaro es de tamaño muy pequeño (0.11-0.2 mm) con cuerpo de color amarillo pálido a verde. La hembra puede ovipositar en el envés de las hojas más jóvenes durante un periodo de 8-13 días hasta 76 huevecillos. El ciclo completo del ácaro blanco es muy corto, de 4-10 días dependiendo de las condiciones de temperatura. El daño en el rendimiento puede ser mayor al 20% si no se controla oportunamente.</p> <p>Mosquita blanca (<i>Bemisia argentifolii</i> Bellows y Perring). El chile es uno de los principales hospederos de la mosquita blanca. La plaga se presenta desde la emergencia y el daño</p>

Concepto	Descripción
	<p>directo depende del nivel de infestación y la etapa fenológica atacada. En el cultivo del chile el daño de la mosca blanca es de bajo impacto, ya que rara vez presenta poblaciones elevadas, sin embargo, si las poblaciones son del 60% o más deben ser controladas con insecticidas.</p> <p>Minadores de hojas (<i>Lyriomiza trifolii</i> y <i>L. bryoniae</i>) El minador es un díptero cuyas larvas generan galerías en las hojas sin dañar la epidermis. El adulto mide 2 mm. En la época invernal suelen permanecer en letargo y en cuando llegan a la madurez aparecen en primavera. La hembra taladra la epidermis de la hoja y coloca los huevos dentro de ella. Cuando los enemigos naturales, principalmente los parasitoides no son eliminados con aspersiones de insecticidas de amplio espectro, las poblaciones de esta plaga y el daño que provocan es mínimo, sin embargo, si el daño rebasa el 25% de follaje dañado y no se controla la población plaga, el rendimiento se puede afectar en un 25% o más.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Secadera (<i>Phytophthora capsici</i>). Se recomienda llevar a cabo un tratamiento preventivo mediante la inmersión de las raíces en una solución de Tecto, en proporción de dos gramos por litro de agua, antes del trasplante. Las pérdidas en el rendimiento pueden alcanzar hasta un 70 %.</p> <p>Amarillamiento y achaparramiento. Estos síntomas los producen un grupo específico de geminivirus; los begomovirus, pero el más importante es el virus huasteco del chile (PHV). Las plantas afectadas presentan un achaparramiento y en la base del foliolo de las hojas se produce un amarillamiento y los frutos son de menor tamaño. La infección se puede expandir por todo el cultivo y por ende la pérdida total de este.</p> <p>Mosaico. Esta enfermedad es producida por virus, los principales que afectan al cultivo de chile son el Virus Mosaico del Pepino (CMV) y el Virus Mosaico del Tabaco (TMV). Estos virus son transmitidos por áfidos y en forma mecánica por semilla. La importancia de estos virus radica en que pueden lograr la pérdida del 100% del cultivo.</p> <p>Fuego salvaje o Fuego del campo (<i>Pseudomonas siringe pv. tabaci</i>). Actualmente es la principal bacteria que esta infectando los cultivos de chile, ya que si no se controla a tiempo puede lograr la infección en todo el cultivo y su rendimiento disminuye significativamente. Atacan principalmente la lámina foliar de la planta; sin embargo, pueden aparecer lesiones en las flores, cápsulas y tallo.</p>
Cosecha y poscosecha	Se realiza manualmente al presentarse la madurez fisiológica del fruto realizando una depuración al momento del corte para la obtención de fruto de calidad solamente.

4.3.4. PAQUETES TECNOLÓGICOS DE CULTIVOS MODALIDAD DE TEMPORAL

i. Praderas perennes

En el estado de Sinaloa, donde predominan los suelos de lomeríos con pendientes entre 20 y 30%, que presentan fuertes limitaciones para la práctica de cultivos de escarda y graves riesgos de erosión; lo anterior causa considerables pérdidas de suelo por manejo de cultivos y prácticas de producción en terrenos no aptos para la siembra de cultivos anuales.

Por lo anterior es importante darle el uso adecuado a los suelos, por lo que los suelos de lomerío presentan condiciones muy favorables para la ganadería la cual se ha desarrollado satisfactoriamente bajo las condiciones naturales de la región, y adquiere mayor relevancia si

se apoya en la explotación de praderas introducidas que garantizan mayor potencial de rendimiento, a la vez que se conserva inalterable la condición física del suelo.

El pasto es uno de los cultivos más sobresalientes en rendimiento, adaptación y tolerancia a la sequía bajo las condiciones de precipitación pluvial y tipo de suelo. Aun así solo se siembra el 9.4% del total de la superficie de temporal en Sinaloa que son alrededor de 47,000 ha.

Es una gramínea originaria del trópico seco de África; presenta variaciones de crecimiento tanto en altura (60-140 cm), como en amacollamiento. Es una planta perenne de crecimiento erecto y vigoroso, con sistema radical profundo, se reproduce por semilla y en algunas variedades también por rizomas. A continuación se muestran en el **Cuadro 4.29 y 4.30** los requerimientos productivos y manejo agronómico del cultivo respectivamente.

Cuadro 4.29 Requerimientos productivos de pasto de temporal en el estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos Agro ecológicos	Clima y Suelo	Fotoperiodo: corto. Altitud: 0-1200 m. Precipitación: 350-1000 mm., Humedad atmosférica: seca. Temperatura: 18-25°C. Luz: luminosidad alta. Textura: indiferente. Profundidad: 1.5 m. Salinidad: 1.7-2.4 dS/m. pH: 5.5-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje.
Sistemas de producción	Trazo de surcos y distribución de semilla.	<p>Para variedades que se siembran por semilla botánica: Buffel, Pretoria, Llanero y Guinea, variedades Tanzania y Mombaza. Espeque o piquete. Se utiliza en suelos pedregosos o terrenos con troncos. Hacer 3 ó 4 hoyos por metro cuadrado y depositar la semilla cubriéndola ligeramente con una rastra de ramas; las cepas se hacen con azadón o coa a 3.0 cm de profundidad. Al voleo. Dispersar la semilla al voleo de manera uniforme en el terreno previamente preparado, después pasar una rastra de ramas para cubrirla; en surcos: surcar a 80 cm con tracción animal o mecánica y deposite la semilla en el centro del lomo del surco. Cuando se surca con tracción mecánica, simultáneamente se siembra colocando en la barra de la cultivadora tubos de PVC de cuatro pulgadas, el cual sirve para conducir la semilla hasta el centro del lomo del surco, para efectuar la siembra a una profundidad no mayor de 2 cm. Coloque una rastra de ramas pegada a la barra.</p> <p>Se recomienda no utilizar semilla con menos de 20% de germinación. La densidad por método es la siguiente: al voleo: 2.5 kg de semilla pura viva por hectárea y 1.5 kg para siembras en surcos. Esto equivale alrededor de 8-10 kg de semilla comercial con 40% de germinación y un mínimo de 60% de pureza. Para el pasto Pretoria se sugiere 6 kg de semilla comercial con buena calidad (un mínimo de 250 g de semilla pura viva por kg de semilla comercial).</p> <p>Para variedades que se siembran por material vegetativo: Bermudas, Callie, Tifton 68 y Brazos. Siembra al voleo o rastreo. Se debe emplear cuando se dispone de abundante material vegetativo; se distribuyen las guías de manera uniforme sobre la superficie y se incorporan con un rastreo ligero; la densidad de siembra es de 750-1000 kg/ha de material vegetativo.</p> <p>Siembra en surcos. Se surca a 80 cm y se depositan las guías en el fondo del surco y después se raja el lomo del surco para cubrir ligeramente las guías; es conveniente compactar los surcos con un rodillo para lograr un mejor prendimiento de las guías y conservar la humedad;</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable	Descripción	Especificaciones
		la densidad es de 750 kg de guías por ha. A piquete. Se usa cuando se tiene poco material vegetativo disponible, se surca a 80 cm cuando se tiene humedad suficiente; se deben emplear guías en todos los casos de más de 40 días de rebrote, depositándolas en el fondo del surco, procurando que una parte de los nudos queden enterrados y otra parte de la guía quede descubierta, la distancia entre guías dentro del surco es de un metro; la densidad de siembra es de 500 kg de guías por hectárea.
Área de influencia	Zonas norte, centro y sur del Estado de Sinaloa donde prospera el sistema de temporal	Los pastos pueden prosperar en cualquier zona de temporal del estado ya que son muy adaptables por su naturaleza silvestre.
Época de siembra	Fechas de siembra	La siembra de los pastos comprende desde el inicio de lluvias hasta la tercera decena de agosto.

Cuadro 4.30 Manejo agronómico de pastos de temporal en el estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	Si se parte de terreno enmontado, después de tumbar, juntar y quemar se uniformiza el suelo mediante un rastreo. Si son parcelas cultivadas anteriormente, debe darse un subsuelo seguido de rastreo. Si el suelo es ligero, bastará con un doble paso de rastra pesada.
Siembra	La semilla debe tener buen porcentaje (por arriba de 20% de germinación), requiriendo entre 1.5 y 2.5 kg de semilla pura viva por hectárea, dependiendo de la variedad a utilizar.
Fertilización	Después del control de maleza aplique 100 kg de nitrógeno por hectárea en dos aplicaciones. Usando como fuentes: urea, o sulfato de amonio. En terrenos recién desmontados, se fertiliza a partir del segundo año.
Plagas y enfermedades	Por ser de naturaleza silvestre y específicamente para alimento del ganado, las plagas y enfermedades no son un apartado importante ya que el invertir en este tipo de cuestiones harán al cultivo no redituable
Rotación de Pastoreo	El pastoreo debe realizarse bajo rotación y con frecuencia para evitar el desarrollo de forraje duro y de baja calidad. Los descansos programados de potreros son benéficos para la pradera porque permiten que las plantas produzcan semilla y se incremente la población de plantas por sí solas.

ii. Sorgo

El cultivo de sorgo es el principal cultivo usado en la elaboración de alimentos balanceados para animales principalmente puercos y aves. En Sinaloa, el sorgo es el principal cultivo para la producción de forraje, sembrado en las áreas de temporal. El promedio anual de superficie sembrada es de 197,778 ha, mientras que el rendimiento promedio es de 1.27 t ha⁻¹. La productividad es baja, sin embargo su cultivo es extenso formando parte del sistema agropecuario de la región. Culiacán ocupa el primer lugar en superficie con 60,461 ha, lo que equivale al 30% del total de la superficie en el Estado. Los bajos costos de producción bajo la modalidad de temporal influyen para que el cultivo se siga estableciendo. El siguiente **Cuadro 4.31** muestra los requerimientos productivos para la zona centro bajo condiciones de

temporal.

Cuadro 4.31 Requerimientos productivos de sorgo de temporal en el centro de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos Agro ecológicos	Clima y Suelo	Fotoperiodo: corto y neutro. Altitud: 0-600 msnm. Precipitación: 450-650 mm. Humedad atmosférica: seca. Temperatura: 18-38 °C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-limosos, franco-arcillo-limosos. Profundidad: 1-2 m. Salinidad: 0-3 dS m ⁻¹ . pH: el óptimo va de 5.5-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje.
Sistemas de producción	Trazo de surcos y distribución de semilla.	Una vez húmedo el terreno, se sugiere sembrar "a chorrillo", la distancia entre surcos debe ser de 60-80 centímetros de separación, a una profundidad de 5-6 cm; la semilla debe quedar en suelo bien húmedo para obtener un mejor porcentaje de germinación.
Área de influencia	Zonas centro del Estado de Sinaloa donde prospera el sistema de temporal	Mocorito, Badiraguato, Salvador Alvarado, Elota y Navolato.
Época de siembra	Fechas de siembra	Deberá tomarse en cuenta la precocidad del híbrido o variedad a sembrar. En sorgos de ciclo intermedio (115 días a la cosecha), una vez establecido el temporal, se sugiere su siembra hasta el 5 de agosto; en los de ciclo precoz (100 días a la cosecha) se requieren para siembras después del 20 de julio hasta el 10 de agosto. En cambio, los sorgos de ciclo tardío o intermedio tardío sólo deben sembrarse al empezar la temporada de lluvias.

El siguiente **Cuadro 4.32**, muestra el manejo agronómico realizado al cultivo de sorgo de temporal, indicando las labores de preparación previas a la siembra y el manejo de las diferentes plagas que atacan al cultivo.

Cuadro 4.32 Manejo agronómico del cultivo de sorgo de temporal en el centro de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	Se sugiere limpiar el terreno con uno o dos pasos de rastra antes de las lluvias; una vez establecido el temporal debe eliminarse la maleza emergida con otro paso de rastra y se procede a sembrar. Si sólo se cuenta con tracción animal se sugiere dar el primer paso de arado después de caer las primeras lluvias y cuando la maleza alcance entre cinco y diez centímetros conviene dar un paso de rastra perpendicular al primero, y aprovechar para sembrar y orientar el sentido de los surcos contrario a la pendiente del terreno.
Siembra	Se sugiere utilizar 18 Kg/ha de semilla para variedades de ciclo intermedio, tardío y precoces. Es importante verificar que el porcentaje de germinación sea mínimamente de 85%; en caso contrario, incrementar la cantidad de semilla proporcionalmente. Con esto se logra una densidad de siembra/ha de 250,000 plantas/ha, aproximadamente.
Fertilización	En suelos delgados se sugiere aplicar de 64 Kg/ha de nitrógeno y 46 Kg de fósforo; aplicar y cubrir el fertilizante a un lado de las hileras de plantas, y realizar esta operación al abrir surco.
Plagas y enfermedades	Plagas: Gusano trozador (<i>Agrotis</i> sp). Las palomillas son de tamaño medio y de colores oscuros.

Concepto	Descripción
	<p>Las larvas se alimentan de las plantas mordiénolas arriba de la base del tallo, lo que ocasiona su muerte. Un solo gusano trozador puede destruir todas las plantas de varios metros, aunque sólo consumen una parte de ellas. Las larvas pupan en el suelo; el aspecto y forma de las pupas es similar a las del gusano cogollero y gusano elotero. Esta plaga es importante desde la emergencia del cultivo hasta que las plantas tienen alrededor de 30 cm de altura. El ataque ocurre durante la noche; el insecto corta las plantas al ras del suelo. No está determinado el impacto económico que el gusano trozador provoca en el cultivo de maíz, ya que su presencia y daño es inconstante, sin embargo, cuando reducen el número de plantas recomendadas por metro lineal el rendimiento se ve afectado.</p> <p>Trips (<i>Caliothrips phaseoli</i> Hood). El adulto mide aproximadamente un milímetro de largo y es gris oscuro. Los huevecillos son depositados en el envés de las hojas. Normalmente es una plaga de inicio de temporada del cultivo; no obstante, se le detecta presente en el resto del ciclo vegetativo. El trips negro y el trips del cogollo raspan y chupan los tejidos; producen cicatrices que en conjunto ocasionan a la planta un aspecto cenizo. Estas plagas son favorecidas por períodos secos y de temperatura baja, debido a que las plantas tienen un crecimiento más lento.</p> <p>Pulgón del cogollo (<i>Rhopalosiphum maidis</i> Fitch). El adulto mide aproximadamente dos milímetros de largo, algo redondeado, de color azul-verde; tiene las antenas y patas negras y los cornículos son negros, cortos, gruesos y divergentes. En plantas infestadas se observan numerosos pulgones en el cogollo y la parte superior del tallo. Las hojas infestadas se observan moteadas, con áreas amarillas o rojas. Los pulgones pueden ocasionar un retraso de crecimiento y llegan a afectar hasta un 30 % del rendimiento medio.</p> <p>Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i> J.E. Smith). Se considera una plaga importante del Sorgo. La larva se localiza en el cogollo alimentándose de las hojas tiernas, las cuales al desarrollarse se observan agujeradas, lo que ocasiona retraso en el desarrollo del cultivo. Esta plaga es importante desde que la planta emerge hasta que tiene alrededor de 50 cm de altura. El adulto es una palomilla que mide 3.0 cm con las alas extendidas. Es café grisáceo, se localiza en el follaje y en las grietas del suelo, oviposita en el envés de las hojas en grupos de 200-300 huevecillos los cuales se encuentran cubiertos con escamas que se desprenden del adulto. El período de incubación varía de acuerdo a las condiciones ambientales.</p> <p>Mosquita midge (<i>Contarinia sorghicola</i> Coquillett) . Es la plaga más importante del cultivo de sorgo en todas las zonas productoras del país. Las hembras depositan sus huevecillos en las espigas, insertándolos en las flores recién abiertas, desarrollándose de una hasta 10 larvas por grano. Los adultos pueden verse volando durante las primeras horas de la mañana alrededor de las panojas en floración, considerándose éstas las horas más apropiadas para el monitoreo de este insecto. Las altas temperaturas favorecen la aparición de esta plaga.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Ergot o Cornezuelo (<i>Sphacelia sorghi</i>). A partir de 1997 esta enfermedad es la más importante de este cultivo, ya que puede afectar hasta el 100% de la producción. La infección ocurre durante la floración, cuando el micelio de una espora invade el ovario de la florecilla y no permite la formación del grano, en su lugar se desarrollan las hifas que emergen de la superficie del ovario en masas brillantes, produciendo una secreción como mielecilla la cual a menudo se torna de color rosada y es conspicua en panículas infectadas, como gotitas pegajosas.</p> <p>Roya o Chahuixtle (<i>Puccinia polysora</i>). Cuando existen condiciones cálidas y húmedas, las uredosporas germinan y producen la infección, inicialmente en las hojas inferiores, pero a temperaturas de 16-23 °C con humedad relativa alta, pueden invadir las hojas superiores y afectar el rendimiento. A partir febrero (en que inicia el incremento de las temperaturas, acompañado de neblinas), lo cual reduce la producción hasta en un 15 %.</p> <p>Pudrición carbonosa del tallo (<i>Macrophomina phaseolina</i>). Esta enfermedad se presenta más severamente en regiones donde las temperaturas del suelo son mayores de 32°C aunado</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	a la falta de humedad. Las pérdidas en rendimiento se presentan aproximadamente del 30%. La raíz del sorgo puede ser colonizada durante los primeros estadios del desarrollo; sin embargo, no es sino hasta después de ocurrida la floración y llenado del grano que el patógeno se desarrolla. Los síntomas se presentan como pudrición radicular y del tallo, secado prematuro de las plantas, acame, pobre desarrollo de panículas con granos pequeños y de baja calidad.
Cosecha y Poscosecha	El grano de sorgo se cosecha al presentar un 18-25% de humedad, no así si este va a ser almacenado el cual debe tener un 14-16% de humedad.

iii Garbanzo

El garbanzo es un cultivo de importancia en el área de temporal de la zona centro, no solamente por su superficie, ya que durante el ciclo 2009-10 se cosecharon 9,899 ha; de las 10,149 ha establecidas a nivel estado en esta condición, lo que equivale prácticamente al 100 %, por el hecho de que obtiene un rendimiento promedio de 1.028 t ha⁻¹ resulta una de las opciones más rentables en secano. En los **Cuadro 4.33 y 4.34** se presentan los requerimientos productivos y manejo agronómico respectivamente.

Cuadro 4.33 Requerimientos productivos del garbanzo en la zona centro del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos agroecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: corto. Altitud: 0- 2200 msnm. Precipitación: 1,000-1,250 mm. Humedad ambiental: moderadamente húmeda (40-50 %). Temperatura: 18-25 °C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-arcillosa y franco-arenosa. Profundidad: 0.6-1m. Salinidad: 2-6 dS m ⁻¹ . pH: 6.2-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje
Sistema de producción	Trazo de surcos y distribución de semilla.	Al momento que se disponga de suficiente humedad para sembrar, efectúe la siembra a "a chorrillo" en hileras de 70 cm entre sí, y su profanidad puede variar desde 5 a 12; dependiendo de contenido de humedad del suelo y el extracto en que se encuentra, el objeto es que la semilla debe quedar en suelo bien húmedo. Las distancias menores de 70 cm, dificultan las labores de cultivo y las mayores de 70 retardan el cierre del cultivo, lo que favorece al desarrollo de la maleza.
Área de Influencia	Culiacán, Angostura, Mocorito, Badiraguato, Cósala, Salvador Alvarado, Navolato y Elota.	El cultivo del garbanzo de temporal prospera mejor en los municipios de Salvador Alvarado, Angostura, Mocorito, Badiraguato, Salvador Alvarado, Elota y Navolato
Época de siembra	Fechas de siembra	La siembra depende básicamente de la forma del establecimiento de las precipitaciones efectuándose esta del 20 de octubre al 15 de diciembre, considerándose lo óptimo una vez que la humedad sea suficiente y antes que aparezcan las primeras malezas.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 4.34 Manejo agronómico del cultivo del garbanzo en la zona centro del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	Bajo condiciones de temporal es factible realizar labranza reducida, esto consiste en utilizar lo menos la maquinaria para la preparación del suelo tratando de que los residuos de cosecha queden en la superficie. El éxito de dicho método, estriba en el hecho de que en su inicio el terreno no este fuertemente compactado, así como en la disponibilidad de equipo para la siembra. En el manejo tradicional se sugiere limpiar el terreno con uno o dos pasos de rastra antes de las lluvias; una vez establecido el temporal debe eliminarse la maleza emergida con otro paso de rastra y se procede a sembrar. Este cultivo se desarrolla mejor en suelos de barrial con buen drenaje interno para evitar el encharcamiento, los cuales son causantes del complejo de pudriciones radicales, denominadas comúnmente "rabia".
Siembra	La siembra bajo condiciones de temporal se efectúa en plano y la semilla debe depositarse donde este en contacto con la humedad, la profanidad es variable de 6 a 12 cm, teniendo especial cuidado en el sellado del terreno para evitar entrada de aire causando que se evapore la humedad, se deben depositar de 12-14 semillas por metro, para lograr al menos una densidad de 10 plantas m ⁻¹ .
Fertilización	Al momento de la siembra se deben aplicar de 80-100 unidades de nitrógeno por hectárea, en suelos profundos se sugiere el empleo de inoculantes específicos y más aun en suelos donde no se haya cultivado garbanzo en los últimos tres años.
Plagas y Enfermedades	<p>Plagas:</p> <p>Gusano trozador (<i>Agrotis sp.</i>) El gusano trozador es una larva rechoncha y de color gris, con tonalidades café oscuras y claras, llega a medir alrededor de cuatro cm de longitud se les encuentra enroscada en el suelo, a una profundidad de unos 3-5 cm, cerca del tallo de las plántulas afectadas. El daño del gusano trozador es importante hasta los 30 días después de la emergencia del cultivo. Se sugiere efectuar muestreos periódicos y cuando se encuentre más de una planta trozada en 10 metros y se corra el riesgo de que el número de plantas sea menor a la densidad de plantas recomendadas por metro lineal (12 plantas en promedio), se sugiere realizar el control químico.</p> <p>Minador de la hoja <i>Liriomyza sativae</i> Blanchard. Los adultos son mosquitas de unos 2.5 mm de largo; de color amarillo con el dorso oscuro brillante y alas bien desarrolladas. Ponen sus huevecillos en los cotiledones de las plantas pequeñas, haciendo que la planta se desarrolle anormal o se seque por el ataque de patógenos. La mosca minadora hace galerías en las hojas, ocasionando defoliaciones severas cuando sus poblaciones son muy altas; si esto ocurre cuando el grano está en formación, el rendimiento y la calidad decrecen, debido a que los granos no se desarrollan normalmente y quedan "chupados". Se considera que las siembras del mes de noviembre son menos afectadas, mientras que las siembras de octubre y tardías en diciembre o posteriores pueden ser afectadas seriamente.</p> <p>Gusano soldado <i>Spodoptera exigua</i> (Hubner). Los adultos de gusano soldado miden 1.2 cm de longitud. Las alas anteriores son de color gris brillante con un pequeña mancha circular color naranja pálido, situada ligeramente después de la mitad de las alas, cerca del margen externo de las mismas; debajo de esa mancha presenta otra marca un poco más pequeña de forma arriñonada. Generalmente las larvas consumen el follaje tierno y cuando la infestación es muy alta también se alimentan de los granos en formación, afectando el rendimiento y la calidad; el daño del gusano soldado en las cápsulas se diferencia del ocasionado por el gusano de la bolsa porque el del primero perfora la cápsula dejando un orificio irregular, en cambio, el gusano de la cápsula realiza un orificio más o menos redondo y sus excrementos los deja generalmente dentro de la fructificación.</p> <p>Gusano de la cápsula <i>Helicoverpa zea</i> y <i>H. virescens</i>. La primera especie es una palomilla de unos 2.5 cm de largo, su color es café ocre, con una pequeña mancha en el centro de las alas superiores. <i>H. virescens</i> mide alrededor de dos centímetros, es de color crema, con tres bandas oblicuas de color café en las alas superiores. A ambas especies se les conoce como gusano de la cápsula o de la bolsa, sin embargo, en el norte de Sinaloa se ha observado que</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	<p><i>H. virescens</i> predomina en el cultivo de garbanzo en un 100%, pero no se descarta la presencia de <i>H. zea</i>. El gusano de la cápsula es el insecto plaga más importante del garbanzo, por el daño directo que origina reduciendo el rendimiento y la calidad del grano. Principalmente en las fechas de siembra tardías después de noviembre, en las que se pueden encontrar decenas y hasta cientos de larvas por metro de surco, en ésta situación es común que se requieran desde una a más de tres aplicaciones de insecticidas, en muchas ocasiones con resultados poco favorables. Lo anterior origina pérdidas económicas en el cultivo, propicia la selección de resistencia de los insectos a los insecticidas, contamina el medio ambiente y al grano cosechado poniendo en riesgo la comercialización en los mercados de exportación.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Rabia. Ha sido una enfermedad causante de fuertes daños a la producción de este cultivo y difícil de erradicar al suelo. Para su prevención se deben dar riegos ligeros, evitando estancamientos que fomenten la enfermedad y deben destruirse residuos infectados, para evitar su diseminación. Se sugiere emplear variedades de reciente liberación, pues se comportan tolerantes a este complejo de hongos.</p> <p>Roya Es una enfermedad que se presenta en todas las áreas productoras cuando existe ambiente favorable y puede causar pérdidas considerables. Para prevenirla ajústese a la siembra de variedades sugeridas en su período de siembra recomendado, para escapar al ataque de este hongo.</p> <p>Moho gris. Se ha presentado esporádicamente en años atípicamente húmedos y lluviosos. Existen posibilidades de que vuelva a presentarse si las condiciones se repiten. En tal caso deben aplicarse prácticas tendientes a prevenir la humedad alta en el cultivo, como sembrar al menos a 80 cm, con tiradas de riego cortas. En caso de presentarse la infestación, se puede aplicar Benlate en dosis de 0.5 a 1.0 kg/ha.</p> <p>Mildiú vellosa. Se ha presentado en los últimos años con baja incidencia y aumento progresivo. La temporada 1996-97 fue motivo de alarma de los productores y autoridades sanitarias. Para su prevención debe sembrarse en surcos espaciados por lo menos a 80 cm. Aplicar riegos ligeros en tiradas cortas. Si se observan indicios de la enfermedad, se sugiere aplicar 2-3 kg de Manzate o Dithane o Daconil ó Bravo. En caso de que el daño se observe extendido y persistan condiciones de alta humedad será necesario aplicar 2 kg de Ridomil Bravo, Ridomil MZ-72 ó Curzate</p>
Cosecha y poscosecha	Al iniciarse la madurez fisiológica de la planta, se realiza la cosecha por etapas, en tres fases: arranque, enchorizado y trilla; existen equipos que realizan el arranque y enchorizado al mismo tiempo, regularmente se forman chorizos de 8 y 12 surcos. La trilla se realiza al contar con un porcentaje de humedad de 12-14 %.

4.4. Sitio Experimental Sur de Sinaloa (SESSI)–Perteneiente al Campo Experimental Valle de Culiacán

4.4.1. DESCRIPCIÓN

El Centro de Investigaciones Regionales del Noroeste, CIRNO, como responsable directo en el noroeste del país de las innovaciones tecnológicas, dirige sus esfuerzos para dar respuesta a las demandas de la gran diversidad de sistemas producto establecidos en la región en apoyo a la difusión del conocimiento científico; En Sinaloa se apoya en dos campos experimentales estratégicos; Valle de Culiacán y Valle del Fuerte y el Sitio Experimental Sur de Sinaloa.

En su gran mayoría las estrategias han sido diseñadas para impactar productores del sector primario en el gran potencial que ofrecen las áreas de riego, sin embargo se requiere que estas actividades tengan un nuevo enfoque en las áreas de temporal y de riego del sur de Sinaloa; en donde las actividades del sector agropecuario y forestal presentan un gran potencial en el corto, mediano y largo plazo; por lo que es necesario promover y fortalecer los procesos de investigación, validación y transferencia de tecnología para la innovación tecnológica en los sistemas y cadenas agropecuarias y forestales, con un esquema en alianzas con las redes de innovación de INIFAP, que permitan incrementar y optimicen los talentos humanos en estos procesos, utilizando métodos que desarrollen modelos que permitan impactar técnica, social y económicamente en el sector con un enfoque de sostenibilidad.

Estratégicamente el sur de Sinaloa con sede en Mazatlán, presenta las mejores condiciones del estado, comunicación, infraestructura, recursos humanos, materiales, para atender las demandas agropecuarias y forestales que demandan los productores; En fruticultura en mango principal exportador del país, las áreas hortícolas de riego del centro del estado, cada día se mueven mas para el sur; la ganadería de doble propósito y la del sistema de producción de leche del cuenca de Mazatlán, la falta de diversificación de cultivos para atender las demandas de 60 mil ha próximas al riego, atender el sistema agrosilvopastoril con enfoque de sostenibilidad de más de un millón de hectáreas; son entre otros los muchos factores que justifican que el sur de Sinaloa es estratégicamente una región que necesita desarrollarse bajo un esquema que atienda las demandas de más de 20 mil productores que dependen de esta actividad en el sur del estado.

El principal objetivo del SESSI es proponer nuevas alternativas, sin descuidar el deterioro de los recursos suelo, agua y vegetación, a través de la generación, validación, transferencia y adopción de tecnologías agropecuarias y forestales.

La zona influenciada por el SESSI registra principalmente cultivos de temporal dadas sus condiciones Agroclimáticas las cuales benefician este tipo de agricultura y sus municipios son: Mazatlán, Concordia, El Rosario y Escuinapa.

Su extensión territorial asciende a 894,932 ha, de las cuales se destinan al área agrícola de riego 18,883 ha; existe un riego potencial de 60,000 ha (Mazatlán, El Rosario y Escuinapa); en temporal se destinan 134,722 ha y en el área pecuaria 448,543 ha. En el área forestal se cuenta con 237,341 ha y en otros usos 55,493 ha (SIAP, 2008).

Clima: cálido húmedo, altitud: 1500-2400 msnm, temperatura media anual: 24°C, temperatura máxima media anual: 29°C, temperatura mínima media anual: 18°C, precipitación media anual de 800 mm

4.4.2 PROBLEMÁTICA AGRÍCOLA

El mosaico de cultivos bajo sistema de temporal en esta zona es variado ya que acapara la mayor parte de la superficie agrícola, cultivos como el Ajonjolí, Cacahuete, cártamo, Frijol, Maíz, Sorgo y Praderas perennes, han prosperado de buena manera sobreviviendo a pesar de los bajos rendimientos productivos que registra este tipo de agricultura, el cultivo de Mango es una excepción a todo lo anterior ya que la zona sur del Estado es el principal productor y exportador, debido a las grandes extensiones que registra este cultivo las cuales ascienden a 22,051 hectáreas establecidas con rendimientos medios de 4.5 t/ha.

En cuanto a cultivos de riego los registrados en esta zona son chile, maíz y mango, no representando mayor importancia en superficie establecida. El **Cuadro 4.35** muestra la problemática actual de los principales sistema producto de la zona sur del Estado.

Cuadro 4.35 Problemática actual de los principales sistemas-producto del sur de Sinaloa

Sistema producto	Problemática
Frutales	<ul style="list-style-type: none"> • Mango. • Papaya. • Otras frutas exóticas.
Conservación y manejo de recursos naturales.	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación de suelo y agua. • Agroforestería para rehabilitación de áreas erosionadas.
Forrajes	<ul style="list-style-type: none"> • Leguminosas forrajeras. • Producción intensiva bajo temporal y riego.
Mejoramiento genético	<ul style="list-style-type: none"> • Sorgo.
Validación y transferencia de tecnología	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo GGAVATT en Sinaloa. • Modelo de transferencia de tecnología agrícola y forestal.
Nuevas opciones	<ul style="list-style-type: none"> • Pecuarias • Agrícolas • Forestales

Programas de investigación

Cuadro 4.36 Programas de trabajo del Campo Experimental Sur de Sinaloa

Programa	Tipo	Sub-programa
Reconversión y diversificación productiva	Investigación	Frutales, cultivos de apoyo a la industria pecuaria y oleaginosa.
Mejorar eficiencia en aprovechamiento del agua de lluvia	Investigación y validación	Prácticas de conservación de humedad y labranza reducida del suelo y Reconversión a cultivos forrajeros
Desarrollar sistemas de producción sostenibles	Investigación	Enfoques de sostenibilidad en frutales, hortalizas y sistema agropecuario de temporal.

Programa	Tipo	Sub-programa
		Medición de impactos con enfoque de sostenibilidad
Manejo integrado de problemas fitosanitarios	Investigación y validación	Moscas de la fruta, antracnosis, cenicilla y escoba de bruja en mango. Virosis en hortalizas. Inocuidad alimentaria
Red agroclimática	Investigación	Modelos de pronóstico en cultivos sus plagas y enfermedades.
Agricultura intensiva	Investigación, validación	Agricultura protegida
Vinculación con productores y el sector.	Transferencia de tecnología	Apoyo a la transferencia de tecnología.

Algunas de las publicaciones con paquetes tecnológicos generados en el Campo Experimental Sur de Sinaloa se presentan en la **Figura 4.3**.



Figura 4.3 Publicaciones realizadas por el Campo Experimental Sur de Sinaloa

PAQUETES TECNOLÓGICOS DE CULTIVOS MODALIDAD DE RIEGO

i. Tomate

Los municipios en los que se establece el cultivo son Mazatlán, San Ignacio, Elota, El Rosario y Escuinapa. Durante el ciclo agrícola 2008–2009 se establecieron 377 ha de Tomate para exportación en la zona sur del estado de Sinaloa. A continuación el **Cuadro 4.37** detalla los requerimientos productivos del cultivo para la zona sur del Estado.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 4.37 Requerimientos productivos del Tomate en la zona sur del Estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos Agro ecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: neutro. Altitud; 0-1000 m. Precipitación: 460mm. Humedad ambiental: relativamente húmeda (50-60%). Temperatura: 15 y 29°C. Luz; luminosidad alta. Textura: arcillo-limosos. Profundidad: 1-1.5 m. Salinidad: 0-2.5 dS/m. pH; 5 y 7. Drenaje; requiere buen drenaje
Sistema de producción	Trazo de surcos y distribución de planta.	Para obtener plantas sanas y vigorosas, la siembra y manejo de plántulas se realiza bajo condiciones de invernadero. Bajo este sistema se requieren 23,148 a 33,333 plantas por hectárea de tomate, dependiendo del hábito de crecimiento. El trasplante se efectúa a los 30-35 días. Los surcos deben tener 1.8m de separación, y en caso de que el equipo de cultivo lo permita, la distancia se puede reducir de 1.5-1.6 metros. La longitud de los surcos debe ser de 50-70 m como máximo. La separación de las plantas es de 30-40 cm para los híbridos de crecimiento determinado y de 20-25 cm para los indeterminados.
Área de Influencia	Zona sur del Estado de Sinaloa.	La zona sur del estado comprendiendo los municipios de Mazatlán, Elota, El Rosario, Escuinapa y San Ignacio.
Época de siembra	Fechas de siembra.	La época de siembra corresponde al periodo agosto- diciembre, teniendo cosechas extendidas de mayo-junio.
Desglose de costos	Desglose de costos en porcentajes	Preparación del terreno 6%, Siembra 43%, Fertilización 17%, Labores culturales 25%, Riegos 4.5%, Control integral de plagas y enfermedades 9.5%, Cosecha 8.5%, Diversos 9%, costo total del cultivo \$34,225 (2009-2010)

El **Cuadro 4.38** muestra el manejo aplicado al cultivo de tomate en la zona sur del Estado, en el se hace énfasis a la necesidad de una buena preparación del terreno para el buen desarrollo del cultivo, así como la importancia de cada una de las plagas y enfermedades que lo atacan en cada una de sus diferentes etapas.

Cuadro 4.38 Manejo agronómico del cultivo de tomate en la zona sur del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	El cultivo de hortalizas requiere una preparación completa (subsuelo, barbecho, rastreo y nivelación).
Trasplante	La labor de trasplante se realiza al mes de sembrada la semilla en el invernadero. La separación entre surcos puede ser de 1.5-1.8 m. El trazo de tablas debe tener como máximo 50m de longitud. La densidad de siembra corresponde a 23,148 plantas de crecimiento determinado y 33,333 plantas de crecimiento indeterminado para una hectárea.
Riego	El intervalo de riego en sistema de gravedad es de 15-20 días aprox. El número total de riegos a lo largo del ciclo del cultivo de Tomate es de 10-15.
Fertilización	Etapas temprana e intermedia. Se sugiere realizar análisis periódicos de suelo y foliares. En general se requiere de 582 unidades de nitrógeno, 165 unidades de fosforo, 508 unidades de potasio, 245 unidades de calcio y 175 unidades de magnesio.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	<p>Etapa tardía. Al igual que en la etapa temprana se realizan análisis periódicos, pero en general se requieren de 520 unidades de nitrógeno, 171 unidades de fosforo, 529 unidades de potasio, 224 unidades de calcio y 169 unidades de magnesio. Durante la marca aplicar la fórmula 100-250-100. En el período de floración se sugiere asperjar al follaje</p>
<p>Plagas y Enfermedades</p>	<p>Gusano trozador (<i>Agrotis sp.</i>) Las palomillas son de tamaño medio y de colores oscuros. Las larvas se alimentan de las plantas mordéndolas arriba de la base del tallo, lo que ocasiona su muerte. Un solo gusano trozador puede destruir todas las plantas de varios metros, aunque sólo consume una parte de ellas. Las larvas pupan en el suelo, el aspecto y forma de las pupas es similar a las del gusano cogollero y gusano elotero. Esta plaga es importante desde la emergencia del cultivo hasta que las plantas tienen alrededor de 30 cm de altura. El ataque ocurre durante la noche, el insecto corta las plantas al ras del suelo. No está determinado el impacto económico que el gusano trozador provoca en el cultivo de maíz, ya que su presencia y daño es inconstante, sin embargo, cuando reducen el número de plantas recomendadas por metro lineal el rendimiento se ve afectado.</p> <p>Trips (<i>Caliothrips phaseoli</i>, Hood). El adulto mide aproximadamente un milímetro de largo y es gris oscuro. Los huevecillos son depositados en el envés de las hojas. Normalmente es una plaga de inicio de temporada del cultivo; no obstante, se le detecta presente en el resto del ciclo vegetativo. El trips negro y el trips del cogollo raspan y chupan los tejidos, producen cicatrices que en conjunto ocasionan a la planta un aspecto cenizo. Estas plagas son favorecidas por períodos de resequedad, debido a que las plantas tienen un crecimiento más lento. El control químico se recomienda cuando se observen colonias densas de trips por planta y daño notorio en la planta.</p> <p>Pulgón del cogollo, (<i>Rhopalosiphum maidis</i>, Fitch). El adulto mide aproximadamente dos milímetros de largo, algo redondeado, de color azul-verde; tiene las antenas y patas negras y los cornículos son negros, cortos, gruesos y divergentes. En plantas infestadas se observan numerosos pulgones en el cogollo y la parte superior del tallo. Las hojas infestadas se observan moteadas, con áreas amarillas o rojas. Los pulgones pueden ocasionar un retraso de crecimiento y llegar a afectar hasta el 30 % del rendimiento.</p> <p>Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i> J.E. Smith). Se considera la plaga más importante del maíz. La larva se localiza en el cogollo alimentándose de las hojas tiernas, las cuales al desarrollarse se observan agujeradas, lo que ocasiona retraso en el desarrollo del cultivo. Esta plaga es importante desde que la planta emerge hasta que tiene alrededor de 50 cm de altura. En infestaciones tardías puede afectar las espigas y el elote. El adulto es una palomilla que mide 3.0 cm con las alas extendidas. Es café grisáceo, se localiza en el follaje y en las grietas del suelo, oviposita en el envés de las hojas en grupos de 200 a 300 huevecillos los cuales se encuentran cubiertos con escamas que se desprenden del adulto. El período de incubación varía de acuerdo a las condiciones ambientales. El daño del gusano cogollero puede afectar el rendimiento de grano hasta en un 20% o más, cuando no es controlado oportunamente, dependiendo de la etapa de desarrollo afectada y de la cantidad de la población plaga.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i> Mont de Bary). Es considerada la enfermedad más destructiva del tomate, ya que puede ocasionar la pérdida total del cultivo si no se controla. En las hojas o folíolos se presentan manchas de color gris, circundadas de un halo amarillento, las cuales se ensanchan del margen hacia la base. Por el envés se forman las esporas del hongo, con aspecto algodonoso blanquecino. Atacan la base del pedúnculo (quichi) del fruto y posteriormente se pudre.</p> <p>Moho de la hoja (<i>Cladosporium fulvum</i> Cke). Se encuentra ampliamente distribuida en las zonas productoras de tomate, y puede ser más severa en los sistemas de producción bajo condiciones de invernadero. Las pérdidas en el cultivo pueden alcanzar niveles altos cuando existen las condiciones óptimas para su desarrollo. La enfermedad empieza a manifestarse en las hojas de la parte baja de la planta, y produce manchas amarillentas en el haz, y en el</p>

Concepto	Descripción
	<p>envés agrupaciones de esporas verde claro y oscuras. En ataques fuertes, el plantío toma una coloración café y luego oscuro.</p> <p>Cenicilla (<i>Oidopsis tauric</i> Lev Salmon). En el haz de la hoja produce manchas amarillentas, y en el envés vellosidades de color blanco poco visibles. Puede causar daños drásticos bajo condiciones de sequía. Para su control es recomendable aplicar semanalmente productos azufrados.</p> <p>Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i> Ell. & Mart. Jones & Grout). Puede afectar al cultivo en cualquier etapa de su desarrollo y es capaz de infectar cualquier órgano aéreo de la planta, es por esto que se le considera muy importante. El ataque en almacigo o invernadero es intenso, y puede causar la muerte de todas las plántulas por pudrición basal. En las hojas produce manchas concéntricas oscuras rodeadas por un anillo de color amarillo. Afecta particularmente a los tallos. En plantas maduras puede atacar hojas, tallo y fruto, los síntomas característicos son manchas circulares concéntricas.</p> <p>Enchinamientos y achaparramiento. Este tipo de síntomas lo producen un grupo específico de geminivirus; los begomovirus, pero el de mayor importancia es el virus del enchinamiento amarillo del tomate (TYLCV). Las plantas afectadas presentan un achaparramiento y enchinamiento de las hojas, los brotes jóvenes se distorsionan (y adquieren tintes pálidos con las nervaduras púrpura) y los frutos son de menor tamaño. La infección se puede expandir por todo el cultivo y por ende la pérdida total de este.</p> <p>Mosaico. Esta enfermedad es producida por virus, los principales que afectan al cultivo de tomate son el Virus Mosaico del Pepino (CMV) y el Virus Mosaico del Tabaco (TMV). Estos virus son transmitidos por áfidos y en forma mecánica por semilla. La importancia de estos virus radica en que pueden lograr la pérdida del 100% del cultivo.</p> <p>Cáncer bacteriano (<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i>). Es una enfermedad muy contagiosa y destructiva en este cultivo, en la actualidad se considera como una de las enfermedades mas letales del tomate, por esta razón es considerada de importancia cuarentenaria y puede lograr pérdidas totales del cultivo. Las infecciones foliares superficiales causan necrosis en el follaje generalmente en los márgenes de las hojas las cuales pueden avanzar hasta que la hoja completa y el pecíolo mueren.</p>
Cosecha y poscosecha	<p>La cosecha debe efectuarse según sea la demanda y la distancia de los centros de consumo. Si el fruto es para el mercado local, se requiere de un color rosado, y para exportación debe cosecharse en verde sazón, con el fin de que el fruto llegue en buen estado a su destino.</p>

ii. Chile verde

El cultivo de chile es dentro de las hortalizas uno de los de mayor importancia para la economía de los productores en general así como el de mayor impacto económico durante el ciclo otoño-invierno. Durante el año agrícola 2008, la superficie sembrada en la zona sur del estado fue de 8,152 ha, con una producción de 75,642 t y un valor de 303 millones de pesos, la zona sur registra el 50% de la superficie establecida a nivel estatal.

El área cultivada de chile se extiende por cuatro municipios del sur de Sinaloa, Escuinapa es el de mayor superficie, sobre todo en la zona de las islas. El segundo municipio en importancia es El Rosario, seguido por Mazatlán y Concordia. Los requerimientos productivos del cultivo se muestran en el **Cuadro 4.39**.

Cuadro 4.39 Requerimientos productivos del cultivo de chile en la zona sur del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos Agroecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: corto. Altitud: 0-2700 msnm. Precipitación: 2200 mm. Humedad ambiental: moderadamente húmeda (50-60 %). Temperatura: 7-29 °C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-arcillosos y arcillo-limosos. Profundidad: 1-1.5 m. Salinidad: 0.9-1.6 dS m ⁻¹ . pH: 4.3-8.3. Drenaje: buen drenaje.
Sistema de producción	Trazo de surcos y distribución de planta.	El método de siembra más común en la región es en surco sencillo, con una separación de 76-90 cm; el trasplante es sobre el lomo del surco en suelo húmedo. También se puede realizar la plantación en cama melonera de 1.40-1.80 m en siembra a doble hilera, sobre todo si se emplea el riego por goteo. Se recomienda una distancia de 35-40 cm entre plantas en ambos casos.
Área de Influencia	San Ignacio, Mazatlán, Concordia, El Rosario y Escuinapa	El área cultivada de chile se extiende por cuatro municipios del sur de Sinaloa. Escuinapa es el de mayor superficie, sobre todo en la zona de las islas, como son Isla del Bosque, Cristo Rey y Palmito de El Verde; la superficie promedio en dicho municipio supera las 4,000 ha. El segundo municipio en importancia es El Rosario, seguido por Mazatlán y Concordia.
Época de siembra	Fechas de siembra.	Con base en las condiciones climatológicas que prevalecen en la región, se ha definido la mejor época a partir de septiembre, aunque por cuestiones de mercado, éstas se adelantan desde agosto y se prolongan hasta noviembre, con los riesgos correspondientes por el efecto del clima y de la mayor presencia de enfermedades.
Desglose de costos	Desglose de costos en porcentajes	Preparación del terreno 4%, Siembra o plantación 50%, Fertilización 14%, Labores culturales 3%, Riegos 4%, Control integral de plagas y enfermedades 5%, Cosecha 8%, Diversos 12%, Costo total del cultivo \$59,342 (2009-2010)

El **Cuadro 4.40** muestra el manejo aplicado al cultivo de Chile en la zona sur del Estado enfatizando la importancia de las diferentes labores culturales realizadas a lo largo del ciclo del cultivo.

Cuadro 4.40 Manejo agronómico del cultivo de chile en la zona sur del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	Barbechar en forma oportuna. Esta práctica se debe realizar en terrenos un poco húmedos para evitar la formación de terrones; debe dejarse que transcurra un período de dos a tres semanas para que los factores climáticos actúen sobre el suelo y posteriormente realizar uno o dos rastreos cruzados. En caso de siembras con riego de gravedad, se deberá nivelar el terreno para lograr una distribución uniforme del agua y evitar encharcamientos que puedan propiciar enfermedades cuando el cultivo esté establecido.
Trasplante	La plántula debe presentar una altura de 15-20 cm de altura, y contener 5-6 hojas verdaderas así como un sistema radical bien formado. Debe evitarse el empleo de plántulas enfermas por bacterias o virus.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
Riego	En caso de riego rodado, éste puede realizarse de con un intervalo de 7-10 días. Asimismo, se debe evitar excesos de agua que provoquen encharcamientos prolongados, esta situación puede promover enfermedades radicales. En caso de riego por goteo suministrar el agua correspondiente a la evaporada esto es cada dos o tres días regularmente.
Fertilización	Se sugiere realizar análisis periódicos de suelo y foliares. Para obtener un buen rendimiento en el cultivo se requieren 302 unidades de nitrógeno, 170 unidades de fosforo, 275 unidades de potasio, 117 unidades de calcio y 78 unidades de magnesio.
Plagas y Enfermedades	<p>Plagas</p> <p>Picudo del chile (<i>Anthonomus eugeni</i>). También llamado en algunas regiones barrenillo, es un insecto de 3-4 mm, color café o casi negro, recubierto de una velloidad amarillenta, con un pico en el extremo del cual se encuentra un par de mandíbulas. El pico de este insecto está muy ligado con sus hábitos alimenticios y reproductivos ya que con él perfora los frutos de chile y se alimenta de su interior. Las hembras se valen del pico para hacer una perforación y poner dentro un huevecillo, posteriormente cubren el agujero con una secreción que al endurecerse deja a su cría bien protegida de enemigos naturales, y en el lugar ideal para que la larva barrenadora al emerger empiece a alimentarse sin problema de las semillas del chile. El control químico del picudo del chile se sugiera al encontrar un promedio de un adulto en 200 yemas terminales revisadas en cinco sitios del terreno. El daño de este insecto puede ocasionar perdidas de rendimiento superiores al 60% de la producción.</p> <p>Ácaro blanco (<i>Polyphagotarsonemus latus</i>) se encuentra distribuido en todo el mundo atacando a un gran número de cultivos. Este ácaro es de tamaño muy pequeño (0.11-0.2 mm) con cuerpo de color amarillo pálido a verde. La hembra puede ovipositar en el envés de las hojas más jóvenes durante un periodo de 8-13 días hasta 76 huevecillos. El ciclo completo del ácaro blanco es muy corto, de 4-10 días dependiendo de las condiciones de temperatura. El daño en el rendimiento puede ser mayor al 20% si no e controla oportunamente.</p> <p>Mosquita blanca (<i>Bemisia argentifolii</i> Bellows y Perring). El chile es uno de los principales hospederos de la mosquita blanca. La plaga se presenta desde la emergencia y el daño directo depende del nivel de infestación y la etapa fenológica atacada. En el cultivo del chile el daño de la mosca blanca es de bajo impacto, ya que rara vez presenta poblaciones elevadas, sin embargo, si las poblaciones son del 60% o más deben ser controladas con insecticidas.</p> <p>Minadores de hojas (<i>Lyriomiza trifolii</i> y <i>L. bryoniae</i>) El minador es un díptero cuyas larvas generan galerías en las hojas sin dañar la epidermis. El adulto mide 2 mm. En la época invernal suelen permanecer en letargo y en cuando llegan a la madurez aparecen en primavera. La hembra taladra la epidermis de la hoja y coloca los huevos dentro de ella. Cuando los enemigos naturales, principalmente los parasitoides no son eliminados con aspersiones de insecticidas de amplio espectro, las poblaciones de esta plaga y el daño que provocan es mínimo, sin embargo, si el daño rebasa el 25% de follaje dañado y no se controla la población plaga, el rendimiento se puede afectar en un 25% o más.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Secadera (<i>Phytophthora capsici</i>). Se recomienda llevar a cabo un tratamiento preventivo mediante la inmersión de las raíces en una solución de Tecto, en proporción de dos gramos por litro de agua, antes del trasplante. Las pérdidas en el rendimiento pueden alcanzar hasta un 70 %.</p> <p>Amarillamiento y achaparramiento. Estos síntomas los producen un grupo específico de geminivirus; los begomovirus, pero el más importante es el virus huasteco del chile (PHV). Las plantas afectadas presentan un achaparramiento y en la base del foliolo de las hojas se produce un amarillamiento y los frutos son de menor tamaño. La infección se puede expandir por todo el cultivo y por ende la pérdida total de este.</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	<p>Mosaico. Esta enfermedad es producida por virus, los principales que afectan al cultivo de Chile son el Virus Mosaico del Pepino (CMV) y el Virus Mosaico del Tabaco (TMV). Estos virus son transmitidos por áfidos y en forma mecánica por semilla. La importancia de estos virus radica en que pueden lograr la pérdida del 100% del cultivo.</p> <p>Fuego salvaje o Fuego del campo (<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tabaci</i>). Actualmente es la principal bacteria que está infectando los cultivos de Chile, ya que si no se controla a tiempo puede lograr la infección en todo el cultivo y su rendimiento disminuye significativamente. Atacan principalmente la lámina foliar de la planta; sin embargo, pueden aparecer lesiones en las flores, cápsulas y tallo.</p>
Cosecha y poscosecha	La cosecha debe efectuarse según sea la demanda y la distancia de los centros de consumo. Se realiza manualmente al presentarse la madurez fisiológica del fruto realizando una depuración al momento del corte para la obtención de fruto de calidad solamente.

iii. Frijol

El frijol es un cultivo de importancia en el área de influencia del sur de Sinaloa bajo condiciones de riego; ya que durante el ciclo otoño-invierno cosecharon 5,266 ha con un rendimiento promedio de 1.33 t ha⁻¹. En los **Cuadro 4.41 y 4.42** se presentan los requerimientos productivos y manejo agronómico respectivamente.

Cuadro 4.41 Requerimientos productivos del frijol en la zona sur del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos agroecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: corto. Altitud: 0- 2400 msnm. Precipitación: 1,000-1,500 mm. Humedad ambiental: moderadamente húmeda (50-60 %). Temperatura: 18-25 °C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-arcillosa y franco-arenosa. Profundidad: 0.6-1m. Salinidad: 0-1 dS m ⁻¹ . pH: 5.3-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje
Sistema de producción	Trazo de surcos	Tanto en barrial como en aluvión se sugiere sembrar en surcos de 70-80 cm de separación, con una sola hilera por surco cuando se trata de variedades de hábito de crecimiento determinado, mientras que cuando se emplean variedades de hábito indeterminado (grano negro) de semiguía se sugiere utilizar surcos de 80 a 92 cm.
Área de Influencia	Zona sur del Estado de Sinaloa.	La zona sur del estado comprendiendo los municipios de Mazatlán, Elota, El Rosario, Escuinapa y San Ignacio.
Época de siembra	Fechas de siembra	Del 15 de octubre al 10 de noviembre para variedades de Azufrado peruano y negros, y del 25 de octubre al 15 de noviembre para las variedades de tipo Azufrado regional. Una siembra antes de la recomendada ocasiona problemas con plagas chupadoras y virosis, y una siembra después a la recomendada problemas con chupadores y moho blanco al final del ciclo.
Desglose de costos	Desglose de costos en porcentajes	Preparación del terreno 18 %, Siembra 19 %, Fertilización 20 %, Labores culturales 5 %, Riegos 6 %, Control integral de plagas y enfermedades 8 %, Cosecha 11 %, Diversos 13 %, Costo total del cultivo \$16,110 (2009-2010) (por dicha distribución se reflejan los altos costos de la producción)

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 4.42 Manejo agronómico del cultivo de frijol en la zona sur del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	En barrial se sugiere realizar un barbecho o subsuelo, dos pasos de rastra, nivelar y surcar al momento de la siembra; mientras que en aluvión, dos pasos de rastra con riel detrás y nivelación, son suficiente. Este cultivo se desarrolla mejor en suelos de aluvión con buen drenaje interno para evitar el encharcamiento, los cuales son causantes de pudriciones radicales. En suelos de barrial prosperan, pero en terrenos nivelados y con buen control de agua de riego.
Siembra	Se realiza con sembradoras de precisión depositando de 15-18 semillas (90-100 Kg ha ⁻¹), para lograr una densidad de 14 plantas m ⁻¹ lo que equivale a 175 mil plantas ha ⁻¹ , en variedades de tipo azufrado peruano; mientras que en variedades de tipo azufrado regional se requieren solo 70Kg de semilla por hectárea; en negros se ocupan de 40-50 Kg ha ⁻¹
Riego	En suelos de barrial se requieren tres riegos de auxilio para variedades tardías (negros) y dos para las precoces e intermedios (Azufrado regional y Azufrado peruano). El primero debe darse al inicio de la floración, el segundo 12 días después de éste y el tercero, en la etapa de llenado de grano. El primero al inicio de la floración y el segundo al finalizar ésta. Este calendario de riegos puede modificarse por la presencia de lluvias invernales ("equipatas"). Antes del primer riego de auxilio, debe levantarse el surco con objeto de conducir el agua con facilidad y evitar encharcamientos.
Fertilización	En suelos de barrial y aluvión es conveniente inocular la semilla. Al momento de la siembra se deben aplicar de 80-100 unidades de nitrógeno por hectárea. Es preferible aplicarlo antes de la siembra, aunque también puede dividirse la mitad a la siembra y la otra mitad al aplicar el primer riego de auxilio. Las dosis sugeridas pueden variar de acuerdo al análisis de suelo.
Plagas y Enfermedades	<p>Plagas</p> <p>Mosquita blanca (<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius) y (<i>B. argentifolii</i> Bellows & Perring). La importancia de la mosquita blanca en el cultivo del frijol se debe a su capacidad para transmitir el complejo de virus (virus del mosaico dorado, del clorótico, rugoso y cálico). La mayor población de este insecto ocurre durante el verano (julio-septiembre) y decrecen en el invierno (a partir de octubre), por lo que las fechas de siembra son determinantes para reducir riesgos de daño por el insecto como vector. Se considera que siembras muy tempranas (septiembre) o muy tardías (diciembre) son las más afectadas, reduciendo el rendimiento en más del 50 %.</p> <p>Chicharrita (<i>Empoasca</i> spp). Los adultos miden unos tres milímetros de largo, son alargados y de color verde tierno; insertan sus huevecillos a lo largo de las nervaduras en el envés de las hojas. Las ninfas nacen a los pocos días y pasan por cinco instares. Son de color blanco sucio y, al igual que los adultos, chupan la savia de las hojas, la planta detiene su crecimiento y decrece la producción de ejote y calidad del grano. Las plantas atacadas por ninfas y adultos no se desarrollan normalmente; las hojas presentan deformaciones y enrollamientos hacia abajo, con amarillamiento en los bordes; también hay deformación de las vainas, achaparramiento general de la planta y pérdidas sustanciales de la producción.</p> <p>Trips (<i>Caliothrips phaseoli</i> Hood). Los huevecillos son insertados en los tejidos del envés de las hojas; las ninfas raspan y chupan las hojas, produciéndoles cicatrices que le dan un aspecto cenizo. Posteriormente, las hojas muy atacadas se tornan de color cobrizo y después se acartonan; pueden ocasionar la defoliación prematura de la planta. El daño se puede reflejar en una considerable merma en el rendimiento, sobre todo en la etapa de prefloración, reduciendo hasta en un 25 %.</p> <p>Diabrotica (<i>Diabrotica balteata</i> Leconte). El adulto mide unos seis milímetros de largo y es de color verde claro con bandas amarillentas transversales en los élitros. Ocasionalmente se presenta en infestaciones altas, que causan daño al frijol antes de floración. El daño se manifiesta como orificios de diversos tamaños. Cuando las plantas son chicas pueden</p>

Concepto	Descripción
	<p>destruirlas completamente. En infestaciones muy fuertes, ataca flores y vainas tiernas. Esta plaga es frecuente encontrarla en las siembras efectuadas en el mes de septiembre. Y su daño directo no se considera de índole económica, pero si su capacidad de transmitir virosis.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Mosaico dorado. Esta enfermedad es causada por el virus del mosaico dorado del frijol (BGMV), es el virus más importante en la región ya que puede ocasionar pérdidas en el cultivo de 25-95%; su intensidad depende en gran parte de las poblaciones de mosca blanca que se encuentren en el cultivo o cerca de él. Ataca a todas las variedades. Para prevenir esta enfermedad se sugiere, ajustarse al período de siembra ya mencionado (las siembras anticipadas son las más afectadas por la enfermedad) utilizar variedades tolerantes y controlar oportunamente los insectos chupadores, particularmente la mosquita blanca.</p> <p>Mosaico común. Esta enfermedad es causada por el virus del mosaico común del frijol (BCMV), es el patógeno viral más importante de este cultivo, debido a que puede ser transmitido en un alto porcentaje, mecánicamente por la semilla y por varias especies de áfidos. Un promedio de 35% de las semillas producidas por una planta infectada antes de la floración podrían dar origen a plantas con mosaico común. Esta patógeno se presenta en todas las zonas productoras, ocasionando pérdidas del orden del 6 al 98% de la producción. Para prevenir esta enfermedad se recomienda utilizar variedades resistentes a este patógeno, ajustarse al periodo de siembra ya mencionado y evitar el ingreso de áfidos al cultivo.</p> <p>Mosaico enano. Esta enfermedad es causada por el virus del mosaico enano del frijol (BDMV) y es transmitido por mosquita blanca. Esta enfermedad no es de importancia económica debido a que se ha presentado con incidencias muy bajas. Para prevenir la presencia de esta enfermedad es necesario manejar la población del insecto vector, utilizar variedades tolerantes y sembrar en la época antes mencionada.</p> <p>Bacteriosis. Esta enfermedad se ha detectado cuando se presentan condiciones ambientales húmedas y cálidas, con neblinas y precipitaciones fuertes. Puede ocasionar pérdidas de 20-60% en el rendimiento del cultivo. Para prevenir su ataque se debe utilizar semilla producida en lotes libres de bacterias fitopatógenas, además se sugiere barbechar para colocar residuos infectados en un estrato inferior y rotar con cultivos tolerantes. No se debe transitar con maquinaria, implementos o gente por el cultivo cuando haya presencia de rocío, para evitar la diseminación del patógeno. El control químico puede efectuarse, aplicando compuestos a base de cobre y antibióticos.</p> <p>Moho blanco (<i>Sclerotinia</i> Whetzelinia) (<i>sclerotiorum</i> Lib. De By). La enfermedad se inicia generalmente durante la floración, cuando hay suficiente follaje que permite una mayor retención de humedad en torno a la planta. Se identifica por el crecimiento algodonoso de color blanco que cubre la superficie o el interior de porciones de ramas, vainas y hojas. Las vainas, tallos y ramas se marchitan, por lo que causan una reducción en el tamaño de la semilla. Las vainas en contacto con el suelo se infectan rápidamente. Cuando hay suficiente humedad en la atmósfera, las lesiones en las diferentes partes de la planta se cubren con la masa del micelio de color blanco, característica del hongo. Esta enfermedad se ha presentado sistemáticamente en la zona de aluvión, pero se ha extendido hacia el barrial, atacando otros cultivos, sobre todo hortícolas. Se desarrolla a una temperatura media inferior a 21°C. La alta humedad relativa o del suelo, provocada por riegos pesados, lluvias invernales o rocíos intensos, reúne las condiciones propicias para que la enfermedad prolifere rápidamente. Por lo cual es necesario extremar las medidas precautorias para reducir su incidencia y en especial en el uso y manejo del agua y de variedades tolerantes. En los ciclos húmedos que favorecen el desarrollo de este patógeno, es necesario establecer un combate preventivo con fungicidas.</p> <p>Roya o Chahuixtle (<i>Uromyces phaseoli</i> var. <i>typica</i>). Esta enfermedad se presenta en variedades criollas sobre todo al sembrarlas en fechas tardías. Pueden defoliar prematuramente la planta y con ello reducir el tamaño de vainas y granos que se refleja en baja de producción. El hongo ataca las hojas y es más abundante y notorio en el envés, pero también invade vainas y tallos. Los primeros síntomas aparecen como pequeños puntos</p>

Concepto	Descripción
	amarillo pálido, que son las pústulas. El hongo sobrevive como uredosporas o teliosporas. Al germinar producen basidiosporas que penetran al tejido a través de la cutícula. Con clima húmedo y temperatura de 16 a 25°C se forman las uredosporas en un lapso de 10 a 15 días, dando lugar a las infecciones secundarias al diseminarse por el viento, principalmente. Estas estructuras maduran para formar teliosporas y ambas son las fases de sobrevivencia del hongo. Para evitar daños por esta enfermedad se sugiere utilizar las variedades recomendadas en su fecha óptima de siembra ya que cuentan con resistencia genética al patógeno.
Cosecha y poscosecha	Inicia al presentarse la madurez fisiológica de la planta, la cual se realiza en tres fases: arranque, enchorizado y trilla; existen equipos que realizan el arranque y enchorizado al mismo tiempo, regularmente se forman chorizos de 8 y 12 surcos. La trilla se realiza al contar con un porcentaje de humedad de 12-14 %.

4.4.4. PAQUETES TECNOLÓGICOS DE CULTIVOS MODALIDAD DE TEMPORAL

i. Frijol

En el ciclo 2008-2009 se sembraron 2,172 ha de frijol bajo sistema de temporal, con un rendimiento medio de 600 Kg/ha, lo que equivale al 28% de la superficie total a nivel Estado (SIAP, 2008). El área productora está localizada en los suelos de aluvión de los márgenes de los ríos y en los suelos arenosos de las planicies costeras; estos suelos son de topografía plana y forman los valles de los ríos Presidio y Baluarte en los municipios de Mazatlán y El Rosario, respectivamente. A continuación se muestra el **Cuadro 4.43** que contiene los requerimientos productivos necesarios para el desarrollo del cultivo en la zona sur del Estado.

Cuadro 4.43 Requerimientos productivos de frijol de temporal en el sur de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos Agro ecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: corto. Altitud: 0- 2400 m. Precipitación: 1,000-1,500 mm. Humedad ambiental: moderadamente húmeda (50-60%). Temperatura: 18-27°C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-arcillosa y franco-arenosa. Profundidad: 0.6-1 m. Salinidad: 0-1 dS/m. pH: 5.3-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje
Sistema de producción	Trazo de surcos y distribución de planta.	En terrenos de aluvión y arenosos la siembra es en surcos con separación de 55-70 cm. En terrenos con buena humedad se sugiere sembrar a 70 cm de separación entre surcos.
Área de Influencia	Mazatlán, Rosario, Elota y San Ignacio.	El área productora está localizada en los suelos de aluvión de los márgenes de los ríos y en los suelos arenosos de las planicies costeras, estos suelos son de topografía plana y forman los valles de los ríos Presidio y Baluarte en los municipios de Mazatlán y Rosario, respectivamente, además de las Islas del Palmito de La Virgen y de La Piedra a lo largo de la franja costera, en menor proporción se cultiva en suelos de barrial y aluvión en los municipios de Elota y San Ignacio.
Época de siembra	Fechas de siembra.	La época de siembra para el cultivo de frijol de humedad residual en el sur de Sinaloa está comprendida del 15 de octubre al 30 de noviembre para suelos de aluvión y barrial y del 15 de octubre hasta el 15 de diciembre para suelos arenosos de las planicies costeras en las islas de La Piedra, del Palmito de La Virgen y del Palmito del Verde, que tienen

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable	Descripción	Especificaciones
		manto freático a poca profundidad y son terrenos que tardan más tiempo para presentar condiciones apropiadas para la siembra

El **Cuadro 4.44** muestra detalle del manejo agronómico aplicado al cultivo de frijol en la zona sur del Estado.

Cuadro 4.44 Manejo agronómico del cultivo de frijol de temporal en la zona sur del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	En terrenos de aluvi3n, la preparaci3n del terreno puede realizarse a base de rastreos; frecuentemente dos rastreos son suficientes para acondicionar una buena cama de siembra para la semilla; es conveniente que cada dos o tres a1os se realice un barbecho a 30cm de profundidad para romper la capa compacta que se forma por el paso constante de la maquinaria y el ganado. En suelos arenosos, la preparaci3n se realiza con dos o m1s rastreos; cuando se encuentren fuertemente invadidos por grama debe efectuarse un barbecho en mayo o junio; cuando la grama est3 seca se retira del terreno y se procede a quemarla.
Siembra	La siembra puede hacerse a chorrillo, con la ayuda de sembradora mec1nica o con embudo. La cantidad de semilla por hect1rea es variable y depende principalmente del tama1o de la semilla de cada variedad. Las variedades de Azufrado requieren de 90 Kg/ha de semilla, mientras que las variedades de frijoles negros solo necesitan 50 Kg de semilla por hect1rea. Esto logra una densidad de siembra por hect1rea de 200,000 plantas/ha.
Fertilizaci3n	Los suelos de aluvi3n y barrial donde se siembra frijol de humedad guardan un aceptable nivel de fertilidad, por lo que no requieren adici3n de fertilizantes; en cambio, en los suelos arenosos de las planicies costeras es conveniente fertilizar con una dosis de 46 Kg/ha de nitr3geno, la fertilizaci3n se realiza al voleo, previo a la siembra.
Plagas y Enfermedades	<p>Plagas:</p> <p>Mosquita blanca (<i>Bemisia tabaco</i>) Gennadius y (<i>B. argentifolii</i>) Bellows & Perring. La importancia de la mosquita blanca en el cultivo del frijol se debe a su capacidad para transmitir el virus del mosaico dorado. La mayor poblaci3n de este insecto ocurre durante el verano (julio-septiembre) y decrecen en el invierno (a partir de octubre), por lo que las fechas de siembra son determinantes para reducir riesgos de da1o por mosquita blanca. Se considera que siembras muy tempranas (septiembre) o muy tard1as (diciembre) son las m1s afectadas.</p> <p>Chicharrita (<i>Empoasca</i>) spp. Los adultos miden tres mil1metros de largo, son alargados y de color verde tierno; insertan sus huevecillos a lo largo de las nervaduras en el env3s de las hojas. Las ninfas nacen a los pocos d1as y pasan por cinco instares. Son de color blanco sucio y, al igual que los adultos, chupan la savia de las hojas, la planta detiene su crecimiento y decrece la producci3n de ejote y calidad del grano. Las plantas atacadas por ninfas y adultos no se desarrollan normalmente; las hojas presentan deformaciones y enrollamientos hacia abajo, con amarillamiento en los bordes; tambi3n hay deformaci3n de las vainas, achaparramiento general de la planta y p3rdidas sustanciales de la producci3n.</p> <p>Trips (<i>Caliothrips phaseoli</i>) Hood. Los huevecillos son insertados en los tejidos del env3s de las hojas; las ninfas raspan y chupan las hojas, produci3ndoles cicatrices que le dan a la hoja un aspecto cenizo. Posteriormente, las hojas muy atacadas se tornan de color cobrizo y despu3s se acartonan; pueden ocasionar la defoliaci3n prematura de la planta. El da1o se puede reflejar en una considerable merma en el rendimiento.</p> <p>Diabrotica (<i>Diabrotica balteata</i>) Leconte. El adulto mide unos seis mil1metros de largo y es de color verde claro con bandas amarillentas transversales en los 3litros. Ocasionalmente se presenta en infestaciones altas, que causan da1o al frijol antes de floraci3n. El perjuicio se manifiesta como orificios de diversos tama1os. Cuando las plantas son chicas pueden destruirlas completamente. En infestaciones muy fuertes, ataca flores y vainas tiernas. Esta plaga es frecuente encontrarla en las siembras efectuadas en el mes de septiembre.</p>

Concepto	Descripción
	<p>Enfermedades:</p> <p>Mosaico dorado. Es la enfermedad causada por virus más importante en la región; su intensidad depende en gran parte de las poblaciones de mosca blanca que se encuentren en el cultivo o cerca de él. Ataca a todas las variedades. Para prevenir esta enfermedad se sugiere, ajustarse al período de siembra ya mencionado (las siembras anticipadas son las más afectadas por la enfermedad) utilizar variedades tolerantes y controlar oportunamente los insectos chupadores, particularmente la mosquita blanca.</p> <p>Moho Blanco (<i>Sclerotinia</i>) (Whetzelinia) (<i>sclerotiorum</i>) (Lib.) De By. La enfermedad se inicia generalmente durante la floración, cuando hay suficiente follaje que permite una mayor retención de humedad en torno a la planta. Se identifica por el crecimiento algodonoso de color blanco que cubre la superficie o el interior de porciones de ramas, vainas y hojas. Las vainas, tallos y ramas se marchitan, por lo que causan una reducción en el tamaño de la semilla. Las vainas en contacto con el suelo se infectan rápidamente. Cuando hay suficiente humedad en la atmósfera, las lesiones en las diferentes partes de la planta se cubren con la masa del micelio de color blanco, característica del hongo. Esta enfermedad se ha presentado sistemáticamente en la zona de aluvión, pero se ha extendido hacia el barrial, atacando otros cultivos, sobre todo hortícolas. Se desarrolla a una temperatura media inferior a 21°C. La alta humedad relativa o del suelo, provocada por riegos pesados, lluvias invernales o rocíos intensos, reúne las condiciones propicias para que la enfermedad prolifere rápidamente.</p>
Cosecha y poscosecha	Inicia al presentarse la madurez fisiológica de la planta, la cual se realiza en tres fases: arranque, enchorizado y trilla; existen equipos que realizan el arranque y enchorizado al mismo tiempo, regularmente se forman chorizos de 8 y 12 surcos. La trilla se realiza al contar con un porcentaje de humedad de 12-14%.

ii. Mango

En el estado de Sinaloa se cultivan alrededor de 28,776 hectáreas de mango (*Mangifera indica* L.), de las cuales 22,051 están localizadas en el sur de Sinaloa que es la principal región productora, constituida por los municipios de Escuinapa, El Rosario, Mazatlán y Concordia. El cultivo es considerado uno de los principales sistema producto en el sur de Sinaloa debido a la derrama económica que se genera desde la producción de la planta en vivero hasta la distribución de cosechas a los principales centros de acopio.

Originalmente, el cultivo comercial de mango en Sinaloa se originó en las áreas de riego del centro (Culiacán) y norte (Higueras de Zaragoza, Ahome), para finalmente desplazarse a la región sur, donde se desarrolló con mayor impulso. Actualmente la superficie bajo condiciones de temporal es del 75% y bajo riego del 25%. En la actualidad cerca del 83% del área con mango en Sinaloa se encuentra en esa región ya que presenta las condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo. Los requerimientos productivos del cultivo se muestran en el **Cuadro 4.45** que a continuación se presenta.

Cuadro 4.45 Requerimientos productivos del mango en la zona sur del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos Agroecológicos	Clima y suelo	Fotoperiodo: neutro. Altitud: 0-1200 m. Precipitación: 760-3800 mm Humedad ambiental: seca (40-50%). Temperatura: 4-42°C. Luz: luminosidad alta. Textura: indiferente. Profundidad: 1-2m de capa arable.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable	Descripción	Especificaciones
		Salinidad: 0.9-1.6 dS/m. pH; 5 y 7.5. Drenaje: requiere buen drenaje.
Sistema de producción	Especificaciones de plantas en vivero.	Para tener éxito en el establecimiento de una nueva plantación de mango se debe asegurar que las plantas de vivero reúnan las siguientes características: variedad deseada, sana, edad adecuada (árboles de 12-24 meses), con una altura de 60-70cm, tallo erecto, evitar injertar el patrón o porta injerto en el terreno donde se establecerá la huerta de mango, las plantas deben estar "endurecidas", es decir, no tener brotes ni hojas tiernas antes de llevarse al trasplante.
Área de Influencia	Mazatlán, Concordia, Rosario, San Ignacio y Escuinapa.	La zona sur del estado de Sinaloa es la más productora y la que con mayor superficie cuenta (70% del total del estado) en cuanto al cultivo de mango se refiere ya que originalmente este cultivo se originó en la zona centro y norte del estado fue en el sur donde tuvo un mayor empuje.
Época de siembra	Fechas de siembra.	La mejor época para realizar el trasplante es durante el periodo de lluvias, pero si se dispone de agua de riego, se puede trasplantar en cualquier época, pero de preferencia en los meses de octubre a marzo.

La importancia del manejo agronómico de cultivos perennes como el Mango bajo sistema de temporal, radica en el tipo de preparación del terreno, labor de suma importancia ya que las pendientes que se presentan en esta zona obligan a realizar labores que no promuevan la erosión de los suelos y pérdidas de nutrientes. El **Cuadro 4.46** muestra a detalle las condiciones de preparación del terreno así como un listado completo de plagas y enfermedades de importancia para el cultivo.

Cuadro 4.46 Manejo agronómico del cultivo de mango en la zona sur del estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	En terrenos con pendientes no es conveniente mover el suelo con maquinaria. Su preparación se limita a eliminar la maleza mediante chapeos o aplicación de herbicidas. En terrenos planos, la preparación del suelo se inicia con un barbecho de 20-30 cm de profundidad para facilitar la penetración de las raíces y, de ser posible hacerlo con un mes o más de anticipación al trasplante
Trasplante	Después de trazar la huerta debe procederse a abrir las cepas en donde se plantarán los arbolitos. Antes de eliminar la estaca que marca el lugar de la cepa, debe utilizarse el escantillón o plantillas de trasplante y colocar la hendidura central de éste en la estaca marcadora; después se coloca y se fija en el suelo una estaca gula en cada una de las muescas laterales del escantillón. Hecha esta operación se puede eliminar la estaca marcadora y abrir la cepa en su lugar. Las cepas puede hacerse con maquinaria (con broca) o manualmente. La densidad por hectárea es de 65 árboles por hectárea aproximadamente.
Fertilización	Durante los primeros dos años se deberán suministrar 300 g de nitrógeno y 200 g de fósforo por año, del tercer al séptimo año se suministraran 400 g de nitrógeno, 500 g de fósforo y 500 g de potasio por año, hasta el año 15 se suministran 1000 g de nitrógeno, 500 g de fósforo y 1000 g de potasio, todo esto es por cada árbol.
Plagas y Enfermedades	Plagas: Mosca de la fruta (<i>Anastrepha ludens</i> (Loew)). Las moscas de la fruta están consideradas como una de las 10 plagas agrícolas de mayor importancia económica en el mundo. Esta plaga afecta más de 30 especies frutales que se cultivan en forma comercial y 60 que se

Concepto	Descripción
	<p>cultivan en menor escala, cuya superficie conjunta ocupa 1.9 millones de hectáreas, con una producción anual de 13 millones de toneladas. La mosca de la fruta es una plaga de importancia cuarentenaria y para su combate se realizan campañas fitosanitarias a cargo del comité estatal de sanidad vegetal.</p> <p>Escamas (<i>Coccus mangiferae</i>). El adulto es de color café, de tamaño muy pequeño (2-4 mm), protegido por una cubierta de cera. Generalmente vive asociado con las hormigas, que se alimentan de sus secreciones azucaradas. Las escamas son insectos chupadores que succionan la savia de tallos jóvenes, hojas y frutos, y producen secreciones azucaradas que favorecen el desarrollo del hongo que causa la fumagina. El daño ocasionado por esta plaga es indirecto, reduciendo el vigor de las plantas y el rendimiento cuando las plantas se infestan severamente, en esta situación el rendimiento puede verse afectado hasta un 15% o más.</p> <p>Hormigas. Existen varias especies, pero las comunes son (<i>Atta mexicana</i>, <i>Conomyrma sp.</i>, <i>Ectatomma ruidum</i> e <i>Iridomyrmex humiles</i>). Aunque algunas hormigas actúan como enemigos naturales de muchos insectos plaga, también tienen un efecto dañino, por la relación simbiótica con los áfidos, escama, mosca blanca, etc., que les proporcionan secreciones dulces para su alimentación, ellas a su vez las protegen de ataques de parasitoides y depredadores, por lo que aumenta la población de la plaga.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Antracnosis (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Penz). Ataca a hojas, flores y frutos en condiciones de alta humedad relativa (mayor de 90%) y temperaturas de 17-20°C. La mayoría de los cultivares son susceptibles; solo Tommy Atkins y Keitt poseen resistencia moderada entre los cultivares comerciales. Síntomas. Las primeras infecciones aparecen en ramas y hojas jóvenes como pequeñas lesiones de color café o negro, de forma angular o irregular que se fusiona para formar grandes áreas necróticas, las cuales se pueden romper y desintegrar. El hongo penetra en los frutos verdes; permanece en vida latente y se desarrolla posteriormente cuando el fruto empieza a madurar. Las pérdidas poscosecha fluctúan entre 30 y 60% de la producción.</p> <p>Cenicilla (<i>Oidium mangiferae</i> Berthet). El síntoma característico, en las partes afectadas es la presencia de polvillo de color blanco que se puede desprender muy fácil. Los daños directos se presentan principalmente en la panícula. Desarrollo de la enfermedad. El micelio del patógeno se desarrolla superficialmente y toma sus nutrientes del interior de las células del hospedante. Se presenta en condiciones de alta humedad relativa (mayor que 90%) y temperatura de 20-22°C. Las pérdidas en promedio de producción son del 3%.</p> <p>Roña (<i>Elsinoe mangiferae</i> Bitancourt & Jenkins). La roña es causada por el hongo <i>Elsinoe mangiferae</i> Bitancourt & Jenkins. La enfermedad fue reportada primeramente en florida y cuba en 1942, pero actualmente se encuentra en casi todas las regiones productoras de mango. Este patógeno ataca de preferencia a tejidos jóvenes y suculentos, provocando infecciones en hojas, panículas, flores y frutos. Se presenta en condiciones ambientales similares a los de la cenicilla y antracnosis. En Sinaloa siempre está asociada con severos ataques de trips y ácaros. Sin embargo, cuando se presentan condiciones favorables de temperatura, humedad, etapa fenológica del cultivo y fuente de inóculo y entrada, esta enfermedad adquiere importancia porque puede ocasionar pérdidas hasta del 100%.</p> <p>Malformación o escoba de bruja (<i>Fusarium oxysporum</i>, <i>F. subglutinans</i>). Esta enfermedad se encuentra en la mayoría de las regiones productoras del país, causando serios daños en la producción. Ataca tanto a los brotes vegetativos como a las inflorescencias. Los síntomas en los brotes vegetativos representan una reducción en el tamaño de los entrenudos proliferación de yemas axilares y pérdidas de la dominancia apical y del área foliar. En la inflorescencia se reduce el tamaño del eje central y secundario; las flores se compactan, "petrifican" y hay una proliferación de flores estériles. En estas panículas casi no hay producción de frutos, y los que llegan a formarse son extemporáneos, o se caen antes de madurar.</p>

Concepto	Descripción
	Pudrición texana (<i>Phymatotrichum omnivorum</i> Shem). El hongo que causa esta enfermedad se encuentra ampliamente distribuido en Baja California, Sonora, Sinaloa y los estados fronterizos del noroeste de México, además de otros del centro. Es una de las principales causas de la muerte de numerosos árboles de mango en las zonas productoras del centro y norte de Sinaloa. Los síntomas de las plantas enfermas inician con un amarillamiento-bronceado de las hojas superiores de la copa; al poco tiempo, 24-48 horas después, viene marchitamiento generalizado que culmina con la muerte del árbol alrededor de tres días después. Esta enfermedad puede ocasionar pérdidas totales en la producción.
Cosecha y poscosecha	Todos los cultivares tienen un período de cosecha más o menos definido, con ligera, y a veces marcada variación, en su época de maduración. Por ejemplo; <ul style="list-style-type: none"> • Tempranas (junio- julio): Haden, Manila, Vandyke. • Intermedia (julio-agosto): Tommy Atkins, Kent, Ataulfo • Tardía (agosto- septiembre): Keitt, Palmer, Osteen

iii. Sorgo de temporal

El cultivo de sorgo para grano bajo la modalidad de temporal tiene gran importancia social y económica en el sur de Sinaloa. Se establece principalmente en los municipios de Elota, San Ignacio, Mazatlán, Concordia, El Rosario y Escuinapa, junto con el sorgo forrajero ocupa la mayor superficie en el sur de Sinaloa. La agricultura de temporal, es una actividades que manejada de manera integral, forma el sistema agropecuario más utilizado por los productores de la región. En el ciclo agrícola primavera-verano 2008 se sembraron cerca de 45,234 ha de sorgo para grano y forrajero, que representan el 22% a nivel Estado, con un rendimiento promedio de 2.27 t ha⁻¹ para grano y 15 t ha⁻¹ de forraje verde. No obstante, sigue siendo la falta de producto el principal problema en la elaboración de alimento para consumo animal. Los requerimientos productivos se muestran en el **Cuadro 4.47** que a continuación se muestra.

Cuadro 4.47 Requerimientos productivos del sorgo de temporal en la zona sur del estado de Sinaloa

Variable	Descripción	Especificaciones
Requerimientos Agro ecológicos	Clima y Suelo	Fotoperiodo: corto y neutro. Altitud: 0-600 m. Precipitación: 350-600 mm. Humedad atmosférica: seca. Temperatura: 18-38 °C. Luz: luminosidad alta. Textura: franco-limosos, franco-arcillo-limosos. Profundidad: 1-2 m. Salinidad: 0-3 dS/m. pH: el óptimo va de 5.5-7.5. Drenaje: requiere buen drenaje.
Sistemas de producción	Trazo de surcos y distribución de semilla.	La separación entre surcos más recomendable es de 60 cm, aunque se puede sembrar desde 60 hasta 80 cm, pero depende del tipo de maquinaria disponible.
Área de influencia	Zona sur del Estado de Sinaloa (zona de temporal).	Zona sur del estado Mazatlán, Elota, San Ignacio, Concordia, Escuinapa y El Rosario, donde prospera el cultivo bajo sistema de temporal.
Época de	Fechas de	El período de siembra comprende desde el establecimiento de lluvias

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable	Descripción	Especificaciones
siembra	siembra.	hasta el 15 de agosto. Los híbridos tardíos se deben sembrar al inicio de las lluvias, y los intermedios y precoces al final de éstas.

El buen manejo agronómico del cultivo de Sorgo de temporal permite obtener buenos resultados productivos, así mismo es importante señalar la resistencia del cultivo a altas temperaturas y baja precipitación característica de una zona. El sorgo presenta vulnerabilidad a ciertas plagas y enfermedades que no le permiten un buen desarrollo a lo largo del ciclo, por lo que el manejo integrado de estas es primordial en la obtención de buenos resultados. A continuación se presenta el **Cuadro 4.48** que muestra el manejo agronómico del cultivo para la zona sur del Estado.

Cuadro 4.48 Manejo Agronómico del cultivo de Sorgo de temporal en zona sur del Estado de Sinaloa

Concepto	Descripción
Preparación del terreno	<p>Con anticipación al temporal conviene desbrotar, juntar y quemar la maleza y los restos de la cosecha anterior. Para obtener una buena cama de siembra y mayores probabilidades de éxito, debe aprovecharse al máximo el período de lluvias. Para optimizar la humedad es necesario efectuar una preparación temprana, "en seco" (durante los meses de mayo y junio), lo que implica el uso de maquinaria para barbechar y posteriormente rastrear.</p> <p>De ser posible, el terreno se debe emparejar o nivelar, esto ayuda a que haya una mejor distribución del agua de lluvia en el suelo. Es necesario orientar los surcos en sentido perpendicular a la pendiente para evitar el arrastre del suelo por efecto de la lluvia.</p> <p>Cuando el terreno tenga suficiente humedad es conveniente hacer un último rastreo y proceder a la siembra.</p>
Siembra	La cantidad de semilla recomendada para la siembra del sorgo para grano es de 20 Kg/ha, para obtener una densidad de población de 285-300 mil plantas por hectárea.
Fertilización	Se sugiere la aplicación total en presiembra o al momento de la siembra de la fórmula 64-46-00, utilizar urea como fuente de nitrógeno (46% N), utilizar fosfato diamónico (18-46-00) o superfosfato triple de calcio (0-46-0), como fuente principal de fósforo.
Plagas y enfermedades	<p>Plagas:</p> <p>Gusano trozador (<i>Agrotis</i>) sp. Las palomillas son de tamaño medio y de colores oscuros. Las larvitas se alimentan de las plantitas mordiéndolas arriba de la base del tallo, lo que ocasiona su muerte. Un solo gusano trozador puede destruir todas las plantas de varios metros, aunque sólo consumen una parte de ellas. Las larvas pupan en el suelo; el aspecto y forma de las pupas es similar a las del gusano cogollero y gusano elotero. Esta plaga es importante desde la emergencia del cultivo hasta que las plantas tienen alrededor de 30 cm de altura. El ataque ocurre durante la noche; el insecto corta las plantas al ras del suelo.</p> <p>Trips (<i>Caliothrips phaseoli</i>) (Hood). El adulto mide aproximadamente un milímetro de largo y es gris oscuro. Los huevecillos son depositados en el envés de las hojas. Normalmente es una plaga de inicio de temporada del cultivo; no obstante, se le detecta presente en el resto del ciclo vegetativo. El trips negro y el trips del cogollo raspan y chupan los tejidos; producen cicatrices que en conjunto ocasionan a la planta un aspecto cenizo. Estas plagas son favorecidas por períodos de sequedad, debido a que las plantas tienen un crecimiento más lento.</p> <p>Pulgón del cogollo (<i>Rhopalosiphum maidis</i>) (Fitch). El adulto mide aproximadamente dos milímetros de largo, algo redondeado, de color azul-verde; tiene las antenas y patas negras y</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Concepto	Descripción
	<p>los cornículos son negros, cortos, gruesos y divergentes. En plantas infestadas se observan numerosos pulgones en el cogollo y la parte superior del tallo. Las hojas infestadas se observan moteadas, con áreas amarillas o rojas. Los pulgones pueden ocasionar un retraso de crecimiento y llegan a afectar hasta el 30% del rendimiento.</p> <p>Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) (J.E. Smith). Se considera una plaga importante del Sorgo. La larva se localiza en el cogollo alimentándose de las hojas tiernas, las cuales al desarrollarse se observan agujeradas, lo que ocasiona retraso en el desarrollo del cultivo. Esta plaga es importante desde que la planta emerge hasta que tiene alrededor de 50 cm de altura. El adulto es una palomilla que mide 3.0 cm con las alas extendidas. Es café grisáceo, se localiza en el follaje y en las grietas del suelo, oviposita en el envés de las hojas en grupos de 200-300 huevecillos los cuales se encuentran cubiertos con escamas que se desprenden del adulto. El periodo de incubación varía de acuerdo a las condiciones ambientales.</p> <p>Mosquita midge (<i>Contarinia sorghicola</i>) (Coquillett). Es la plaga más importante del cultivo de sorgo en todas las zonas productoras del país. Las hembras depositan sus huevecillos en las espigas, insertándolos en las flores recién abiertas, desarrollándose de una hasta 10 larvas por grano. Los adultos pueden verse volando durante las primeras horas de la mañana alrededor de las panojas en floración, considerándose éstas las horas más apropiadas para el monitoreo de este insecto. Las altas temperaturas favorecen la aparición de esta plaga.</p> <p>Enfermedades:</p> <p>Ergot o Cornezuelo (<i>Sphacelia sorghi</i>). A partir de 1997 esta enfermedad es la más importante de este cultivo, ya que puede afectar hasta el 100% de la producción. La infección ocurre durante la floración, cuando el micelio de una espora invade el ovario de la florecilla y no permite la formación del grano, en su lugar se desarrollan las hifas que emergen de la superficie del ovario en masas brillantes, produciendo una secreción como mielecilla la cual a menudo se torna de color rosada y es conspicua en panículas infectadas, como gotitas pegajosas.</p> <p>Roya o Chahuixtle (<i>Puccinia polysora</i>). Cuando existen condiciones cálidas y húmedas, las uredosporas germinan y producen la infección, inicialmente en las hojas inferiores, pero a temperaturas de 16-23 °C con humedad relativa alta, pueden invadir las hojas superiores y afectar el rendimiento. A partir febrero (en que inicia el incremento de las temperaturas, acompañado de neblinas), lo cual reduce la producción hasta en un 15 %.</p> <p>Pudrición carbonosa del tallo (<i>Macrophomina phaseolina</i>). Esta enfermedad se presenta más severamente en regiones donde las temperaturas del suelo son mayores de 32 °C aunado a la falta de humedad. Las pérdidas en rendimiento se presentan aproximadamente del 30%. La raíz del sorgo puede ser colonizada durante los primeros estadios del desarrollo; sin embargo, no es sino hasta después de ocurrida la floración y llenado del grano que el patógeno se desarrolla. Los síntomas se presentan como pudrición radicular y del tallo, secado prematuro de las plantas, acame, pobre desarrollo de panículas con granos pequeños y de baja calidad.</p>
Cosecha y Poscosecha	El grano de sorgo se cosecha a una humedad de 18-22 %, y a una humedad de 14-16% para propósitos de almacenamiento.

4.5 Plagas y enfermedades de los cultivos de importancia para el estado de Sinaloa}

4.5.1 NIVEL DE IMPORTANCIA DE LAS PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LOS CULTIVOS MÁS IMPORTANTES DE SINALOA

CULTIVO	PLAGA/ENFERMEDAD	IMPORTANCIA		
		ALTA	MEDIA	BAJA
Maíz	Plagas			
	Gusano Trozador (<i>Agrotis</i> sp.)			X
	Trips amarillo (<i>Frankliniella</i> sp.)		X	
	Trips negro (<i>Caliothrips phaseoli</i>)		X	
	Pulgón del Cogollo (<i>Rhopalosiphum maidis</i>)			X
	Gusano Cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	X		
	Gusano Elotero (<i>Heliothis zea</i>)		X	
	Mosca de los Estigmas (<i>Euxesta stigmatias</i> , <i>Chaetopsis massyla</i> , <i>Eumecosomia nubila</i>)	X		
	Conchuela café (<i>Euchistus servus</i>)			X
	Chinche Verde (<i>Nezara viridula</i>)			X
	Araña Roja (<i>Tetranychus</i> spp.)		X	
	Chicharrita (<i>Dalbulus maidis</i>)			X
	Enfermedades			
	Roya (<i>Puccinia polysora</i>)			X
	Achaparramiento (<i>Spiroplasma kunkelii</i>)			X
	Carbón Común (<i>Ustilago maydis</i>)			X
Pudrición del Tallo (<i>Fusarium</i> , <i>Diplodia</i> , <i>Pythium</i>)		X		
Frijol	Plagas			
	Mosca Blanca (<i>Bemisia tabaci</i> biotipo B)	X		
	Chicharrita (<i>Empoasca fabae</i>)			X
	Trips (<i>Caliothrips phaseoli</i>)		X	
	Chinche Verde (<i>Nezara viridula</i>)		X	
	Conchuela Café (<i>Euchistus servus</i>)		X	
	Diabrotica (<i>Diabrotica balteata</i>)			X
	Pulgones (<i>Aphis</i> spp.)	X		
	Enfermedades			
	Mosaico Dorado (Virus del Mosaico Dorado del Frijol)		X	
	Mosaico Común (Virus del Mosaico Común del Frijol)			X
	Mosaico Enano (Virus del Mosaico Enano del Frijol)			X
	Bacteriosis			X
Moho Blanco (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)		X		

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

	Roya (<i>Uromyces Phaseoli</i> var. <i>typica</i>)			X
Garbanzo	Plagas			
	Gusano trozador (<i>Agrotis</i> sp.)			
	Minador de la hoja (<i>Liriomyza sativae</i> Blanchard)			
	Gusano soldado (<i>Spodoptera exigua</i> Hubner)			
	Gusano de la cápsula (<i>Helicoverpa zea</i> y <i>H. virescens</i>)			
	Enfermedades			
	Rabia (<i>Fusarium solani</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>ciceri</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Macrophomina phaseolina</i> y <i>Sclerotium rolfsii</i>)	X		
	Roya (<i>Uromyces ciceris-arietini</i> Jacz)		X	
	Moho gris (<i>Botrytis cinerea</i>)			X
	Mildiú veloso (<i>Peronospora ciceris</i>)			X
	Sorgo	Plagas		
Grillo (<i>Acheta domesticus</i>)				X
Gusano Trozador (<i>Agrotis ipsilon</i>)				X
Trips Negro (<i>Caliothrips phaseoli</i>)			X	
Trips del cogollo (<i>Frankliniella</i> sp.)			X	
Pulgón del Cogollo (<i>Rhopalosiphum maidis</i>)				X
Gusano Cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)		X		
Mosquita Midge (<i>Contarinia sorghicola</i>)		X		
Enfermedades				
Ergot o Comezuelo (<i>Sphacelia sorghi</i>)				X
Roya o chahuixtle (<i>Puccinia polysora</i>)				X
Pudrición carbonosa del tallo (<i>Macrophomina phaseolina</i>)			X	
<i>Fusarium moniliforme</i> y <i>Colletotrichum graminicola</i>			X	
Ajonjolí		Plagas		
	Gusano trozador (<i>Agrotis</i> spp.)			
	Mosquita blanca (<i>Bemisia argentifolii</i>)			
	Gusano de la cápsula (<i>Heliothis</i> sp.)			
	Chinche lygus, rápida, apestosa y chinche del ajonjolí. (<i>Lygus lineolaris</i>)			
	Enfermedades			
	Pudrición del pie (<i>Macrophomina phaseoli</i>)		X	
	Pudrición del tallo y cuello de la raíz			X
Mancha de la hoja (<i>Alternaria sesami</i>)			X	
Papa	Plagas			
	Pulgón verde de la papa (<i>Myzus persicae</i>)	X		
	Gusano de Alambre (<i>Limoniuss</i> sp.)			X

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

	Palomilla de la papa (<i>Phthorimaea operculella</i> Zeller)	X		
	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> biotipo B)		X	
	Pulgón saltador (<i>Paratrioza cockerelli</i>)		X	
	Enfermedades			
	Tizón Tardío (<i>Phytophthora infestans</i>)	X		
	Pudrición seca (<i>Fusarium solani</i>)			X
	Moho Blanco (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)			X
	Sarna Común (<i>Streptomyces scabies</i>)			X
Cacahuate	Plagas			
	Gusano Trozador (<i>Agrotis ipsilon</i>)			X
	Gallina Ciega (<i>Phyllophaga</i> spp.)			X
	Chapulín (<i>Melanoplus</i> sp.)	X		
	Diabrotica (<i>Diabrotica</i> spp.)			X
	Gusano Saltarín (<i>Elasmopalpus lignosellus</i>)		X	
	Gusano Peludo (<i>Estigmene acrea</i>)		X	
	Araña Roja (<i>Tetranychus</i> spp.)		X	
	Enfermedades			
	Mancha o peca de la hoja (<i>Cercospora arachidicola</i> y <i>C. personata</i>)			X
	Roya o Chahuixtle (<i>Puccinia arachidis</i> Speg)			X
Tomate	Plagas			
	Diabrotica (<i>Diabrotica variegata</i>)			X
	Pulga Negra (<i>Epitrix</i> sp.)			X
	Mosca Blanca (<i>Bemisia tabaci</i> biotipo B)	X		
	Minador de la hoja (<i>Liriomyza trifolii</i>)		X	
	Gusano Soldado (<i>Spodoptera exigua</i>)		X	
	Gusano Falso Medidor (<i>Trichoplusia ni</i>)			X
	Gusano del cuerno (<i>Manduca sexta</i> y <i>M. quinquemaculata</i>)			X
	Gusano del fruto (<i>Heliothis virescens</i> y <i>Helicoverpa zea</i>)	X		
	Gusano Alfiler (<i>Keiferia lycopersicella</i>)		X	
	Enfermedades			
	Moho de la hoja (<i>Cladosporium fulvum</i>)			X
	Tizón Tardío (<i>Phytophthora infestans</i>)		X	
	Cenicilla (<i>Oidopsis taurica</i>)	X		
	Tizón Temprano (<i>Alternaria solani</i>)		X	
	Mancha Gris de la hoja (<i>Stemphylium solani</i>)		X	
	Marchitez (<i>Fusarium oxysporum</i>)	X		
	Enchinamiento y achaparramiento (Geminivirus)		X	
	Mosaico (Virus Mosaico del Pepino y Virus Mosaico del Tabaco)	X		

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

	Chamusquina (Virus de la Marchitez Manchada del Tomate)			X
	Mancha Bacteriana (<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tabaci</i>)		X	
	Cáncer bacteriano (<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i>)		X	
Chile	Plagas			
	Conchilla prieta (<i>Blapstinus</i> spp.)			X
	Grillo (<i>Achaeta assimillis</i>)		X	
	Pulga Saltona (<i>Epitrix</i> spp.)			X
	Diabrotica (<i>Diabrotica balteada</i>)			X
	Minador de la hoja (<i>Liriomiza activae</i> Frick)		X	
	Trips (<i>Frankliniella</i> sp.)		X	
	Gusano soldado (<i>Spodoptera exigua</i>)		X	
	Pulgón (<i>Myzus persicae</i>)	X		
	Mosca Blanca (<i>Bemisia argentifolii</i>)		X	
	Pulgón verde de la papa (<i>Myzus persicae</i>)	X		
	Picudo del chile (<i>Anthonomus eugenii</i>)	X		
	Enfermedades			
	Mancha Bacteriana (<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i>)			X
	Marchitez (<i>Phytophthora capsici</i>)	X		
	Amarillamiento y achaparramiento (Geminivirus)		X	
	Mosaico (Virus Mosaico del Pepino y Virus Mosaico del Tabaco)	X		
Fuego salvaje o fuego del campo (<i>Pseudomonas siringe</i> pv. <i>tabaci</i>)	X			
Plagas				
Mango	Trips (<i>Frankliniella</i> spp.)		X	
	Mosca de la fruta (<i>Anastrepha</i> spp.)	X		
	Escamas (<i>Coccus mangiferae</i>)			X
	Escama parlatoria (<i>Parlatoria pseduaspidiotus</i>)	X		
	Hormigas (<i>Atta mexicana</i>)			X
	Barrenador del tallo (<i>Dendrobius</i> sp.)		X	
	Enfermedades			
	Antracnosis (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Penz)		X	
	Cenicilla (<i>Oidium mangiferae</i> Berth)			X
	Roña del fruto (<i>Elsinoe mangiferae</i> Bitanc y Jenkins)			X
	Pudrición Texana (<i>Phymatotrichum omnivorum</i>)	X		
	Malformación o Escoba de bruja (<i>Fusarium moniliforme</i>)			X

4.6. Literatura Consultada

- Angulo, S.R., Joaquín, T.I. 2009. Paquete tecnológico para alta productividad de cacahuate. Folleto técnico. Fundación Produce Sinaloa, A.C. Sinaloa, México. 23pp
- Azcón. B.J. y Talón, M. 2003. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Ed. McGraw-Hill Interamericana. 522pp
- FONDO NACIONAL DE CEREALISTAS Y DE LEGUMINOSAS. Guía ambiental para los cultivos de cereales y leguminosas. Colombia. 62pp.
- INIFAP-CEVAF. 2000. Guía para la asistencia técnica agrícola (área de influencia del campo experimental Valle del Fuerte. Primera Edición. ISSN-1405-2896. Juan José Ríos, Sinaloa. 283pp
- INIFAP-CEVAF. 2003. Guía para la asistencia técnica agrícola (área de influencia del campo experimental Valle del Fuerte. Sexta edición. Juan José Ríos, Sinaloa. 208pp
- INIFAP-CEVACU. 2003. Guía para la asistencia técnica agrícola (área de influencia del campo experimental Valle de Culiacán. Quinta Edición. Culiacán Sinaloa. 209pp
- INIFAP-CEVASS. 2004. Guía para la asistencia técnica agrícola (área de influencia del campo experimental Sur de Sinaloa. Segunda Edición. Mazatlán Sinaloa. 173pp
- Ojeda, B.W., Sifuentes, I.E. y Unland, W.H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. Agrociencia. 40:13-25.
- <http://www.siap.gob.mx/>
- Sifuentes, I.E., Macías, C.J., Apodaca, S.M. y Cortez, ME. 2009. Predicción de la fenología de papa (principios y aplicaciones prácticas). Folleto técnico No. 32. INIFAP-CEVAF. 48pp
- Villalpando. 2001. Requerimientos agroecológicos de los cultivos. INIFAP
- Fundación Produce Sinaloa. Memoria Jornada de Transferencia de Tecnología de Mango 2005. FPS. 104pp.
- INIFAP-CEVAF. 2001. Guía para producir Ajonjolí en el centro de Sinaloa (área de influencia del campo experimental Valle de Culiacán. Folleto para productores No 47. ISSN-1405-3896. Culiacán, Sinaloa. 12pp
- INIFAP-CEVAF. 2001. Establecimiento y Manejo de pasto Llanero (área de influencia del campo experimental Sur de Sinaloa. Folleto para productores No 11. ISSN-1405-3896. Mazatlán, Sinaloa. 11pp.
- Michel Ricardo., Chirinos Hamlet., Lagos G. Armando. Laboratorios Agrícolas AyL. Manual de Agronomía, Primera Edición, 1998. Guadalajara, Jalisco, México. 132pp

5. AJUSTE DE PAQUETES TECNOLÓGICOS EN RESPUESTA AL CAMBIO CLIMÁTICO

CONTENIDO

5.1 INTRODUCCIÓN	214
5.2 CULTIVOS DE LA ZONA NORTE	214
5.3 CULTIVOS DE LA ZONA CENTRO.....	235
5.4 CULTIVOS DE LA ZONA SUR	254

CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 5.1 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de maíz bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa	215
Cuadro 5.2 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de maíz bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa.....	216
Cuadro 5.3 . Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de frijol bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa.....	218
Cuadro 5.4 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de frijol bajo riego en el ciclo otoño-invierno y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa	219
Cuadro 5.5 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de papa bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa	222
Cuadro 5.6 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de papa bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa.....	223
Cuadro 5.7 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de sorgo bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa	226
Cuadro 5.8 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de sorgo bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa.....	226
Cuadro 5.9 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de ajonjolí bajo temporal y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa.....	228
Cuadro 5.10 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de ajonjolí bajo temporal y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa	229

Cuadro 5.11 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de cacahuete bajo temporal y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa	231
Cuadro 5.12 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de cacahuete bajo temporal y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa	232
Cuadro 5.13 . Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de maíz bajo riego y propuesta de ajuste en el centro de Sinaloa	235
Cuadro 5.14 . Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de maíz bajo riego y propuesta de ajuste en el centro de Sinaloa.....	236
Cuadro 5.15 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de frijol bajo riego y propuesta de ajuste en el centro de Sinaloa.....	239
Cuadro 5.16 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de frijol bajo riego en el ciclo otoño-invierno y propuesta de ajuste en el centro de Sinaloa	240
Cuadro 5.17 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de tomate bajo riego y propuesta de ajuste en el centro y sur de Sinaloa	243
Cuadro 5.18 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de tomate bajo riego y propuesta de ajuste en el centro y sur de Sinaloa	243
Cuadro 5.19 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de chile verde bajo riego y propuesta de ajuste en el centro y sur de Sinaloa	246
Cuadro 5.20 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de chile verde bajo riego y propuesta de ajuste en el centro y sur de Sinaloa	247
Cuadro 5.21 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de pastos perennes bajo temporal y propuesta de ajuste en el estado de Sinaloa.....	250
Cuadro 5.22 . Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de sorgo bajo temporal y propuesta de ajuste en el centro y sur de de Sinaloa	251
Cuadro 5.23 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de sorgo bajo temporal y propuesta de ajuste en el centro y sur de Sinaloa	252
Cuadro 5.24 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de frijol bajo temporal y propuesta de ajuste en el sur de Sinaloa.....	255
Cuadro 5.25 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de frijol bajo temporal y propuesta de ajuste en el sur de Sinaloa.....	255
Cuadro 5.26 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de mango bajo temporal y propuesta de ajuste en el sur de Sinaloa.....	257
Cuadro 5.27 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de mango bajo temporal y propuesta de ajuste en el sur de Sinaloa	258

5.1 INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática provocada por el Cambio Climático (CC), obliga a realizar una serie de ajustes a los diferentes paquetes tecnológicos que se utilizan actualmente para el manejo de los cultivos establecidos en el Estado de Sinaloa. La zona norte presenta el inconveniente de que la mayoría de sus cultivos (maíz, frijol, hortalizas) se encuentran en los límites de tolerancia a temperaturas extremas principalmente. Esto obliga a realizar cambios en el sistema de producción existente ya que la no adecuación de las formas actuales de producción, podría provocar la reducción de rendimientos en forma considerable.

5.2 CULTIVOS DE LA ZONA NORTE

La zona norte del Estado destaca por ser una región con altos potenciales productivos en la zona de riego, tanto en cultivos de granos como en hortalizas. Esto se debe a que actualmente las condiciones de clima permiten el desarrollo de cultivos que son de gran importancia para la alimentación como frijol, maíz, sorgo, tomate y chile. Este tipo de cultivos presentan poca tolerancia a condiciones adversas, como altas temperaturas o déficit hídrico, que se espera se incrementen de acuerdo al escenario de CC proyectado, la baja precipitación que proyectan las tendencias del CC, afectaría a los cultivos establecidos en la modalidad de temporal, obligando a realizar una serie de ajustes tanto en los requerimientos productivos como en el manejo agronómico de los mismos, con el fin de aminorar los efectos negativos que dicho cambio puede causar, limitando el desarrollo de algunos y disminuyendo el potencial de rendimiento en otros.

Maíz riego

El cultivo de maíz en la zona norte del estado ocupa el primer lugar en superficie establecida tanto en el ciclo otoño-invierno (OI) como en primavera-verano (PV), ya que tradicionalmente es un cultivo seguro en cuanto a recuperación de inversiones, además, su rendimiento se ha venido incrementando cada año, en aproximadamente 290 kg ha^{-1} de grano como promedio estatal (SIAP, 2010), manteniendo su rentabilidad a pesar del incremento de los costos de producción.

Este cultivo presenta cierta resistencia a condiciones climáticas adversas, ya que puede tolerar altas temperaturas y lluvias severas, siempre y cuando no coincidan con etapas críticas, cuando esto sucede puede controlarse en cierta forma con la modificación de fecha de siembra de manera que no se afecte el nivel productivo del cultivo. Lo anterior indica que el maíz es un cultivo que podría, con algunas modificaciones en su manejo, adaptarse a las condiciones del CC.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

En el **Cuadro 5.1** se enlistan los factores o variables vulnerables a las condiciones de CC y su influencia en el cultivo de maíz, en el norte de Sinaloa.

Cuadro 5.1 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de maíz bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Precipitación	Para el norte de Sinaloa se espera una reducción del 20%. Esto significa que de los 360 mm de promedio anual, se reducirá a 288 mm. En las zonas de riego esto generará mayor demanda de agua para el riego de asiento.	Implementar técnicas de conservación de agua en riego por gravedad para aprovechar mejor el agua de lluvia principalmente en el riego de establecimiento del cultivo (asiento).
Humedad relativa	El maíz requiere una atmósfera moderadamente húmeda. Con reducción de la precipitación este cultivo crecerá en un ambiente más seco ocasionando un incremento en la evapotranspiración diaria y aumento en la respiración.	Los sistemas de riego por aspersión ayudan a incrementar la humedad del aire en caso necesario.
Temperatura	Este factor probablemente es el más importante. Para el 2020 se espera un incremento en 0.8°C en esta zona afectando la fisiología del cultivo: reducción del ciclo fenológico, aumento en la respiración y transpiración.	Los sistemas de riego por aspersión ayudan a incrementar la humedad del aire y mantener la temperatura en un rango menos crítico.
Salinidad	El norte de Sinaloa es una de las regiones con mayor problema de salinidad de suelos. Se espera un incremento en la evaporación debido al aumento de la temperatura por efecto del CC, propiciando un mayor ascenso y concentración superficial de sales. El maíz puede tolerar concentraciones de sales de hasta 1.7 dS/m y pH de 5.5-7.5, sin reducción en rendimiento.	El riego por goteo, la labranza de conservación, la siembra en camas y en doble hilera entre otras, pueden ayudar a mantener y mover las sales fuera de la zona de raíces.
Altitud	La zona norte del estado es la más importante tanto en superficie como en producción de este cultivo. El área de riego ubicada en las zonas bajas, sería la mayormente afectada.	Es factible una migración del cultivo hacia zonas más altas, sin embargo en estas regiones, se tendría el problema de pendientes fuertes y menor profundidad de suelos.
Potencial productivo	El incremento de la temperatura de acuerdo al escenario de CC podría obligar a reubicar las áreas de explotación.	Realizar estudios de potencial productivo en base al escenario de cambio climático esperado y definir o reclasificar las áreas de respuesta homogénea que cumplan con los requerimientos edafoclimáticos del cultivo.
Calidad del suelo	La mayor intensidad de la lluvia esperada implica incrementos en el escurrimiento superficial de los suelos, acentuándose en aquellos de baja permeabilidad (arcillosos), desnudos y con pendiente mayor al 1%, y con ello la consecuente pérdida de suelo y nutrientes reduciendo la calidad del suelo.	Evitar la quema de socas; cubrir el suelo con el 30% de paja; evitar laboreo excesivo e implementar la labranza de conservación para minimizar el impacto de las gotas de agua de lluvia, reducir el escurrimiento superficial e inducir

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
		su infiltración y conservación.

El **Cuadro 5.2** muestra las variables vulnerables al impacto del CC en el manejo agronómico aplicado al cultivo de maíz bajo riego así como los ajustes necesarios.

Cuadro 5.2 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de maíz bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Fechas de siembra	Actualmente para un ciclo otoño-invierno el periodo de siembras recomendado comprende desde septiembre a diciembre siendo el mes de noviembre el óptimo. Para el ciclo primavera-verano las fechas de siembra son del 25 de febrero al 10 de marzo. Se espera una reducción o acortamiento del período de siembra para otoño invierno y un impacto fuertemente negativo sobre el rendimiento para primavera-verano	<p>Desarrollo, validación y calibración de modelos de simulación dinámica de crecimiento que consideren los requerimientos de clima del cultivo y los cambios en base al escenario de cambio climático esperado para facilitar y agilizar el ajuste del periodo óptimo de siembra; se espera que este periodo se ajuste del 15 de noviembre al 15 de diciembre, para otoño invierno y no recomendarse su siembra en primavera-verano.</p> <p>Desarrollar e introducir nuevas variedades con mayor tolerancia al estrés hídrico y térmico, que requieran mayor cantidad de GDA para que conserven la duración de su ciclo actual</p> <p>Diseñar nuevos planes de riego para adecuar la operación de la red hidráulica sin afectar la oportunidad del servicio de riego a usuarios en periodos mas compactos.</p>
Riego	Como consecuencia del incremento de temperatura se espera que el ciclo fenológico del cultivo se reduzca y se modifiquen los requerimientos de riego, tendientes a reducirse, además de ocasionar picos de alta demanda hídrica por el compactamiento del periodo de siembra afectando directamente la operación y el servicio de riego por el saturamiento de la red de canales.	<p>Utilizar técnicas de programación integral con sistemas computacionales para estimar las necesidades o demandas de agua bajo condiciones de variabilidad y CC.</p> <p>Adecuar o modificar los planes de riego para una adecuada operación de la red de distribución hidráulica y garantizar la entrega oportuna del riego.</p> <p>Implementar técnicas de riego y de ingeniería de diseño ya generadas y validadas para incrementar la eficiencia del uso del agua y disminuir los volúmenes tanto a nivel parcelario</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
		como en la misma red hidráulica.
Fertilización	La zona norte sería la más afectada por el cambio climático, como consecuencia, el potencial de rendimiento disminuirá. Ante tal situación, las demandas nutrimentales se reducirán también, sobre todo en los períodos fuera de la nueva temporada de siembras. Una mayor volatilización del nitrógeno ante el aumento de la evaporación, así como pérdidas por lixiviación causado por el incremento de las frecuencias de riegos, ocasionando menores eficiencias en su grado de uso.	Fraccionar la fertilización nitrogenada en función de los riegos, hasta la floración. Realizar prácticas que disminuyan el calentamiento de la superficie del suelo y reduzcan la evaporación favoreciendo la conservación de la humedad en el mismo, como el manejo de cubiertas vegetales y labranza de conservación.
Plagas	Un incremento en la temperatura podría afectar la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando mayor número de generaciones de estos en el cultivo. Sin embargo, este incremento podría ser o no ventajoso para algunos, ya que así como existen rangos óptimos de temperatura, existe una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo. Eventualmente se modificaría el tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, antes o después de lo "normal". La modificación de temperaturas provocaría que en el subciclo otoño-invierno se presenten condiciones de presencia y daño por plagas parecido a como históricamente ha sucedido en el subciclo primavera-verano. Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga se incrementarían al aumentarse la velocidad de desarrollo y el número de generaciones. Se pronostica mayor presencia y daño de gusano cogollero y mosca de los estigmas. Otra plaga que incrementaría su presencia y daño, sería la araña roja, así como chicharritas y trips. Probablemente los áfidos con requerimientos de temperaturas relativamente frescas y moderada humedad relativa, sean afectados negativamente, con un periodo menor de condiciones ambientales apropiadas.	Implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generar, calibrar y validar modelos fenológicos, para definir criterios de decisión. El combate de los insectos plaga tendrá que basarse en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra y otras de tipo biorracional.
Enfermedades	Con un incremento en la temperatura las enfermedades fungosas podrían manifestarse mas frecuentemente en el cultivo, pero por otro lado este incremento podría ser no ventajoso para que esto se logre, ya que también necesitan de una humedad relativa alta para que se presenten. Eventualmente se modificaría el momento de aparición de las enfermedades, debido al periodo de tiempo donde las condiciones de temperatura y humedad relativa sean las idóneas para el ataque de estos hongos fitopatógenos.	Implementar un monitoreo sistemático de los hongos fitopatógenos para la toma de decisiones en el manejo de la enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada. Programar en forma precisa la cantidad y frecuencia del riego así como su aplicación para evitar encharcamientos prolongados. Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagónicos si se conjugan las condiciones de humedad

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
		relativa, proximidad del riego, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno. Desarrollar modelos de pronóstico de enfermedades.
Cosecha	Con el incremento en temperatura y la reducción de la humedad relativa, se espera un acortamiento del ciclo o una reducción importante de los días transcurridos de la siembra a la cosecha; si el grano se cosecha con menor humedad a la recomendada (<16%) se tendrán problemas de pérdidas de mazorcas en el terreno, quebrado de grano y problemas de comercialización.	Mayor atención en el monitoreo de la humedad del grano a partir de su madurez fisiológica para determinar el mejor momento de cosecha que es del 16 al 18%.

Frijol riego

Los efectos del CC podrían impactar negativamente al cultivo de frijol ya que este presenta alta sensibilidad a condiciones extremas del clima. Las altas temperaturas causadas por el CC podrían impedir el establecimiento del cultivo en fechas manejadas actualmente, debiendo retrasar las siembras a periodos donde se presenten condiciones menos cálidas (noviembre), sin embargo, debe tomarse en cuenta la posible presencia de inviernos más fríos que pueden afectar etapas como la floración y formación de vainas con impactos negativos en la producción.

En el **Cuadro 5.3**, se analiza el posible impacto del CC en el cultivo de frijol bajo riego, y algunas sugerencias para mitigar los posibles impactos.

Cuadro 5.3 . Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de frijol bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Humedad relativa	Las siembras de octubre actuales, no tienen problemas por altas humedades relativas y periodos secos en el desarrollo del cultivo, sin embargo, si pueden favorecer la presencia o ausencia de enfermedades que lo afectan. Bajo cambio climático podría haber el riesgo que en las siembras de octubre el ambiente se torne más seco, y en noviembre más húmedo ambas condiciones favorecen o limitan el desarrollo de diferentes enfermedades que afectan el cultivo.	Reprogramar fechas de siembra, para que el inicio del desarrollo del cultivo no coincida con altas temperaturas que afectarían a la planta.
Temperatura	El rango térmico para crecimiento del cultivo es de 2 a 27 °C y el óptimo de 18°C, que actualmente al sembrar en octubre cada vez se	Desplazar fechas de siembra a meses menos cálidos (noviembre).

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
	cumple menos con estos requerimientos.	
Salinidad y drenaje	El cultivo es sensible a la salinidad ($CE \leq 1$ dS/m y pH de 5.5 – 6.5), se estima que potencialmente su rendimiento tendería a disminuir al incrementar las zonas salinas por efecto del aumento de la evaporación. Por otro lado al incrementarse la intensidad de lluvias en suelos de baja infiltración se presentarán problemas de aireación y enfermedades.	Evitar establecer el cultivo en suelos fuera del rango tolerable y mal drenados. La disminución de la precipitación y la mayor evaporación podría generar que aumenten las zonas con estos problemas, por lo que la superficie establecida disminuiría.
Potencial productivo	El incremento de la temperatura de acuerdo al escenario de CC esperado podría obligar a reubicar las áreas de explotación.	Realizar estudios de potencial productivo en base al escenario de cambio climático esperado y a definir las áreas de respuesta homogénea que cumplan con los requerimientos edafoclimáticos del cultivo.

De la misma manera, en el **Cuadro 5.4** se menciona la vulnerabilidad de factores del manejo agronómico y los posibles ajustes recomendados de adaptación.

Cuadro 5.4 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de frijol bajo riego en el ciclo otoño-invierno y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Fecha de siembra	Se espera una reducción en el periodo de siembras, actualmente en Sinaloa es del 1 de octubre al 15 de noviembre. El período de siembras podría reducirse a menos de un mes.	Ajustar las fechas de siembra, ya que las altas temperaturas impedirán establecerlo en épocas de siembra actuales, se espera que el periodo sea del 15 de octubre al 20 de noviembre.
Calidad del suelo	La mayor intensidad de la lluvia esperada implica incrementos en el escurrimiento superficial de los suelos, acentuándose en aquellos de baja permeabilidad (arcillosos), desnudos y con pendiente mayor al 1%, y con ello la consecuente pérdida de suelo y nutrientes afectando su calidad.	Evitar la quema de socas; manejo de cubiertas con al menos el 30% de la paja de cultivos cosechados; evitar el laboreo excesivo e implementar prácticas de labranza reducida o de conservación para minimizar el impacto de las gotas de agua de lluvia, reducir el escurrimiento superficial e inducir su infiltración y conservación.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Riego	Como consecuencia del incremento de temperatura se espera un incremento de la evapotranspiración provocando cambios importantes en la calendarización del riego.	<p>La programación integral del riego con información climática en tiempo complementada con el uso de software y sensores de humedad del suelo para estimar de manera precisa la lámina y frecuencia de riego.</p> <p>Implementar técnicas de riego y de ingeniería de diseño ya generadas y validadas para incrementar la eficiencia del uso del agua, y evitar encharcamientos que pongan en riesgo la sanidad del cultivo.</p>
Fertilización	El posible incremento en las temperaturas afectaría la dinámica del nitrógeno tanto en suelo como en planta (volatilización e incremento en la respiración). Lluvias intensas y riegos ineficientes durante el periodo de desarrollo del cultivo incrementan el lavado de elementos móviles como nitrógeno.	Evitar altas dosis en pocas aplicaciones (regularmente se realizan una o dos aplicaciones de fertilizantes), realizar más labores de fertirrigación que eviten las pérdidas de nutrientes por volatilización y lixiviación (eficiente aplicación del agua de riego).
Plagas	<p>El posible incremento en la temperatura impactaría en la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando mayor número de generaciones de estos en el cultivo. El incremento en la velocidad de desarrollo podría ser o no ventajoso para algunos, ya que existen rangos óptimos de temperatura, y una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo.</p> <p>El tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, podría variar antes o después de lo "normal". Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga se incrementarían al aumentar la velocidad de desarrollo y el número de generaciones. Se espera mayor presencia y daño de mosca blanca por el virus que transmite en el cultivo. Otras plagas que es posible aumente su presencia y daño, es la chicharrita y trips.</p> <p>Probablemente los áfidos con requerimientos de temperaturas relativamente frescas y moderada humedad relativa, sean afectados negativamente, por el periodo menor de condiciones ambientales apropiadas.</p>	<p>Las actividades más importantes para contrarrestar el efecto del CC en los insectos, es implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generando, validando y calibrando modelos fenológicos, para definir criterios de decisión.</p> <p>El combate de los insectos plaga tendrá que basarse más en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra y otras de tipo biorracional.</p>

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Enfermedades	<p>Con un incremento en la temperatura las enfermedades virales (Mosaico dorado) podrían manifestarse con más incidencia y más rápido en el cultivo, ya que temperaturas arriba de los 25°C favorecen el incremento de las poblaciones de los vectores, particularmente la mosquita blanca y por lo tanto la agresividad de la epidemia.</p> <p>Con un incremento en la temperatura las enfermedades causadas por hongos y bacterias podrían manifestarse mas frecuentemente en el cultivo, pero por otro lado este incremento podría ser no ventajoso para que esto se logre, ya que también necesitan de una humedad relativa alta para que se presenten. Eventualmente se modificaría el momento de aparición de las enfermedades, debido al periodo de tiempo donde las condiciones de temperatura y humedad relativa sean las idóneas para el ataque de estos fitopatógenos.</p> <p>En caso del moho blanco si la tendencia es el desplazamiento de la fecha de siembra por efecto del CC, el retrasarse al menos en quince días el inicio de esta, es mayor el riesgo de que la planta en sus etapas reproductivas coincida con condiciones ambientales que favorezcan el desarrollo del hongo.</p>	<p>Para la prevención de enfermedades virales se sugiere ajustarse al período de siembra ya mencionado (las siembras anticipadas al mes de octubre son las más afectadas), utilizar variedades tolerantes y controlar oportunamente los vectores, particularmente la mosquita blanca. Implementar un monitoreo sistemático de los hongos y bacterias fitopatógenos para la toma de decisiones en el manejo de la enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada.</p> <p>Programar en forma precisa la cantidad y frecuencia del riego así como su aplicación para evitar encharcamientos prolongados.</p> <p>Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagónicos si se conjugan las condiciones de humedad relativa, proximidad del riego, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno.</p>

Papa riego

La papa es un cultivo que ha venido en aumento tanto en superficie como en niveles de producción en el norte de Sinaloa, ya que las condiciones de la zona son las adecuadas para el desarrollo del mismo. Los efectos del CC sobre este, obligarían a realizar cambios que aminoren los daños causados por la variabilidad climática (altas temperaturas principalmente) realizando un ajuste en el manejo agronómico. La utilización de maquinaria agrícola especial para la preparación del terreno y cosecha del cultivo, impiden maniobrar con los posibles cambios que se presentaran, por lo que el rediseño de estas será fundamental para la continuidad del cultivo en la zona.

El desplazamiento de fechas de siembra a meses menos cálidos será fundamental ya que las fechas manejadas actualmente presentarían temperaturas nocivas para el desarrollo del cultivo. Todo indica que la fecha óptima del cultivo se compactara tanto que obligara a los productores a sembrar al mismo tiempo provocando problemas de saturación de mercados.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

En los Cuadros 5.5 y 5.6 se especifican los impactos del CC en los factores y variables vulnerables tanto agroecológicas como de manejo.

Cuadro 5.5 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de papa bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Humedad relativa	Debido a que este cultivo requiere una atmósfera relativamente húmeda (cuanto), con escenario de cambio climático esperado esta tenderá a disminuir.	Promover y generalizar el uso de sistemas de riego por aspersión, o bien con riego por gravedad acortando el intervalo para su aplicación.
Temperatura	La papa requiere temperaturas frescas (2-29 C), el incremento en temperaturas con el escenario de CC esperado, provocaría una alteración significativa en la fisiología de la planta, al incrementarse la respiración y transpiración y acortándose su ciclo fenológico	Cambiar fechas de siembra. Desarrollar e introducir variedades resistentes a estrés térmico y combinar con el uso de sustancias antiestrés. Promover y generalizar el uso de sistemas de riego por aspersión, o bien con riego por gravedad acortando el intervalo para su aplicación.
Salinidad y drenaje	El posible incremento en temperaturas será factor que aumentará la tasa de evaporación y movimiento de sales a la superficie, si se sobrepasan lo límites tolerantes (0.9 -1.6 dS/m) el rendimiento puede verse afectado considerablemente. Por otro lado el aumento en la intensidad de lluvias y el pobre drenaje de los suelos puede llegar a ocasionar problemas de aireación y enfermedades.	Atender necesidad de obras de drenaje parcelario, superficial como subterráneo, combinado con el uso de mejoradores de suelo para el desplazamiento de las sales a horizontes fuera del área radicular. Mantener niveles entre 60 y 70 % de humedad aprovechable del suelo.
Potencial productivo	Acortamiento del ciclo de crecimiento y reducción del potencial de rendimiento debido al incremento de la temperatura y las tasa de respiración y transpiración, esto implica cambios en el periodo de siembra o la reubicación de las áreas de siembra..	Realizar estudios de potencial productivo en base al escenario de cambio climático esperado y determinar las áreas de respuesta homogénea que cumplan con los requerimientos edafoclimaticos del cultivo.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 5.6 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de papa bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Fecha de siembra	<p>Actualmente se recomienda del 1 de octubre hasta el mes de diciembre, siendo óptimo del 1 de octubre al 15 de noviembre.</p> <p>El posible efecto del impacto del CC indica representa una reducción significativa en el periodo de siembra o el desplazamiento del cultivo a otras áreas.</p>	<p>La tendencia de ajuste es concentrarse al mes de noviembre, lo cual es verificable mediante el desarrollo, validación y/o calibración de modelos de simulación dinámica del crecimiento que consideren los requerimientos climáticos y los cambios en base al escenario de CC, combinado con la experimentación de campo especialmente si este cultivo se desplaza a otras áreas.</p> <p>Desarrollar e introducir nuevas variedades con mayor tolerancia al estrés hídrico y térmico y combinar con el manejo del estrés con sustancias sintetizadas o naturales u otras practicas.</p>
Preparación del terreno	<p>La modificación del patrón de lluvias e incremento en intensidad podría retrasar la preparación del terreno ya que el cultivo requiere preparación completa (barbecho, rastreo, nivelación y marca y desmenuzado), requiere suelos con estructura fina al momento de la siembra para lograr una buena germinación.</p>	<p>El cambio en fechas de siembra puede disminuir el problema si no se presentan lluvias. Mejorar el drenaje superficial para evitar encharcamientos mediante subsoleo y construcción de drenes.</p>
Siembra	<p>El posible incremento en la intensidad de lluvias afectaría el desempeño de la sembradora, además las altas temperaturas en suelos podrían reducir la germinación de la semilla.</p>	<p>Implementar tecnología para la modificación de maquinaria que en su momento permitan sembrar con excesos de humedad. Valorar la implementación de siembra directa.</p>
Riego	<p>Como consecuencia del incremento de temperatura se espera que el ciclo fenológico del cultivo se reduzca y se modifiquen los requerimientos de riego, tendientes a reducirse; el bajo nivel de humedad en el suelo se asocia también a la presencia de enfermedades como roña común y el exceso a Rizoctonia y Fusarium.</p>	<p>La programación integral del riego con información climática en tiempo real complementada con el uso de software y sensores de humedad del suelo para estimar de manera precisa la lámina y frecuencia de riego, lo que permitirá mantener un nivel adecuado de humedad en el suelo en las etapas críticas como el desarrollo de tubérculos para asegurar el rendimiento y su calidad, evitando agrietamientos del suelo que facilitan la invasión de palomilla de la papa</p> <p>Implementar técnicas de riego y de ingeniería de diseño ya generadas y validadas para incrementar la eficiencia del uso del agua y evitar encharcamientos que pongan en riesgo la sanidad del cultivo.</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Fertilización	Las altas temperaturas causaran mayor evaporación provocado pérdidas de fertilizantes en algunas fuentes como urea por volatilización en aplicaciones superficiales o lixiviación con riegos de auxilio pesados, lo cual generara la utilización de mayores dosis de nutrientes.	Evitar aplicaciones superficiales y fertilizar con nitrógeno en base a la demanda del cultivo hasta la mitad del periodo de tuberización. Utilizar fuentes de fertilizantes con menor grado de volatilización. La eficiencia de uso del nitrógeno dependerá en gran medida de la eficiencia obtenida con el riego de auxilio. Utilizar software como apoyo para la elaboración de programas de nutrición según la demanda del cultivo.
Plagas	<p>El posible incremento de la temperatura afectará la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando mayor número de generaciones de estos. Sin embargo, este incremento en la velocidad de desarrollo podrá ser o no ventajoso para algunos, ya que así como existen rangos óptimos de temperatura, existe una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo. Eventualmente se modificará el tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, antes o después de lo "normal". Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga se incrementarían al aumentar la velocidad de desarrollo y el número de generaciones.</p> <p>Se espera la anticipación de la presencia y mayor abundancia y daño de la palomilla de la papa, el insecto plaga principal del cultivo. Otras plagas que incrementarían su presencia y daño, son mosca blanca, Paratrioza y gusano soldado. Probablemente los áfidos con requerimientos de temperaturas relativamente frescas y moderada humedad relativa, sean afectados negativamente, por un periodo menor de condiciones ambientales apropiadas.</p>	<p>Las actividades más importantes para contrarrestar el efecto del CC en los insectos es implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generando, validando y calibrando modelos fenológicos, para definir criterios de decisión.</p> <p>El combate de los insectos plaga tendrá que basarse más en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra y otras de tipo biorracional.</p>
Enfermedades	<p>Con un incremento en la temperatura estas enfermedades fungosas (Tizón tardío y Fusarium) se manifestarían con menor frecuencia en el cultivo ya que sus temperaturas óptimas de desarrollo son de 12 a 20°C, aunado a la presencia de lluvias estos fitopatógenos atacarían con mayor incidencia al cultivo de papa por el aumento de humedad.</p> <p>Eventualmente se modificaría el momento de aparición de las enfermedades, debido al periodo de tiempo donde las condiciones de</p>	<p>La presencia de lluvias favorece la aparición de la enfermedad (tizón tardío), el aumento en las temperaturas por efecto del CC pueden reducir la incidencia de la enfermedad.</p> <p>Implementar un monitoreo sistemático de los hongos fitopatógenos para la toma de decisiones en el manejo de la enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada.</p> <p>Programar en forma precisa la cantidad y</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
	<p>temperatura y humedad relativa sean las idóneas para el ataque de estos hongos.</p> <p>Por otra parte, la presencia de lluvias intensas antes de la emergencia provocan pudriciones severas de tubérculo semilla (madre), así como incidencia de enfermedades de suelo y follaje si se mantiene este exceso de humedad durante el ciclo.</p>	<p>frecuencia del riego así como su aplicación para evitar encharcamientos prolongados.</p> <p>Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagónicos si se conjugan las condiciones de humedad relativa, proximidad del riego, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno.</p> <p>Cinceleo profundo para mejorar el drenaje interno, diseño y trazo de drenaje superficial inmediatamente después de la siembra para eliminar el exceso de agua (lluvia o riego) y evitar encharcamientos prolongados.</p>
Cosecha	<p>Tradicionalmente la cosecha se realiza a los 120 días después de la siembra, bajo cambio climático esta tenderá a reducirse.</p> <p>El posible aumento de temperatura ambiental aceleraría la deshidratación del suelo por el incremento en la temperatura de este lo cual puede favorecer la formación de terrones que pueden provocar daños físicos a los tubérculos y su deformación, particularmente si no se tuvo atención en cuanto al mantenimiento de la humedad óptima del suelo, afectando de manera negativa en la calidad.</p>	<p>Cambiar el sistema de estimación de fechas de cosecha con el fin de evitar la pérdida excesiva de humedad que dificulten la misma.</p> <p>Mantener un nivel adecuado de humedad en el suelo en las etapas críticas, particularmente en la etapa del desarrollo de tubérculos. Empleo de acondicionadores de suelo que mejoren su estructura y friabilidad. La siembra de abonos verdes en el verano. Reducir la intensidad del laboreo y vigilar el contenido de humedad adecuado para laborear.</p>
Costo de producción	<p>Los costos de producción se elevaran principalmente en el combate a plagas y enfermedades y almacenaje de la cosecha, este último debido al aumento en el uso de energía por la mayor temperatura ambiental.</p>	<p>Utilización de sistemas de alerta (plagas, enfermedades y nutrición) para lograr un adecuado manejo preventivo y de nutrición, ya que estas labores podrían aumentar significativamente los costos de producción si no se manejan integralmente.</p>

Sorgo riego

El cultivo de sorgo por sus características fisiológicas representa una opción viable para permanecer en la zona ya que es tolerante a sequía y muy resistente a atmósferas secas. También este cultivo es resistente a altas temperaturas ya que tiene como media mínima óptima diaria 18 °C.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

La afectación al cultivo de sorgo por aumento en la salinidad será relativamente baja ya que es de los pocos que es moderadamente sensible a las sales con rangos de 0-3 dS/m. En los **Cuadros 5.7** y **5.8** se presentan los impactos del CC en el cultivo y los ajustes recomendados de adaptación para variables agroecológicas y manejo agronómico respectivamente.

Cuadro 5.7 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de sorgo bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
Precipitación, Temperatura, Suelos: salinidad y drenaje	<p>El sorgo es un cultivo que se establece en primavera verano. La temperatura del suelo para la emergencia es de 12 a 14 °C; el umbral térmico de desarrollo es de 15 a 40 °C con un óptimo de 24 a 30 °C.</p> <p>Por su rusticidad prospera en una gran diversidad de suelos principalmente en los de textura franco-limosos, franco-arcillo-limosos, con profundidad de 1-2 m, buen drenaje, con pH óptimo de 5.5-7.5. y una conductividad eléctrica de 0-3 dS/m.</p> <p>Sus características fisiológicas lo ubican como poco vulnerable a temperaturas altas y sequías propias del escenario de CC esperado, además de su sistema radicular muy desarrollado y fibroso.</p>	Aprovechar su resistencia a factores como temperaturas elevadas, sequía y salinidad, y su rusticidad para prosperar en una gran diversidad de suelos para utilizarlo como alternativa de reconversión productiva y sembrarse además en otoño-invierno.
Calidad del suelo	El incremento en la intensidad de la lluvia esperada implica mayores escurrimientos superficiales de los suelos, acentuándose en aquellos de baja permeabilidad (arcillosos), desnudos y con pendiente mayor al 1%, esto provocará pérdida de suelo y nutrientes reduciendo su calidad.	Evitar la quema de socas; manejo de cubiertas con al menos el 30% de la superficie del suelo con paja o residuos de cosecha; evitar el laboreo excesivo e implementar prácticas de labranza reducida o de conservación, para minimizar el impacto de las gotas de agua de lluvia, reducir la insolación, evaporación y el escurrimiento superficial del agua e inducir su infiltración y conservación.

Cuadro 5.8 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de sorgo bajo riego y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
Fecha de siembra	Sus características fisiológicas lo ubican como poco vulnerable a temperaturas altas propias del escenario de CC esperado, además de su sistema radicular muy desarrollado y fibroso.	Aprovechar su resistencia a factores como temperaturas elevadas y salinidad, y su rusticidad para prosperar en gran diversidad de suelos para utilizarlo como alternativa de reconversión productiva y sembrarse en otoño-invierno.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
Riegos	Se prevé que se acorten los intervalos de riegos por la reducción del ciclo fenológico. El último riego mal manejado puede provocar brotación antes de la cosecha.	Programación integral del riego para generar los nuevos calendarios de riego en base a grados día (DGC). Implementar un sistema de alerta para el manejo del último riego.
Fertilización	Las altas temperaturas causarán mayor evaporación provocando pérdidas de fertilizantes en algunas fuentes como urea por volatilización en aplicaciones superficiales o lixiviación con riegos de auxilio pesados, lo cual generara la utilización de mayores dosis de nutrientes.	Evitar aplicaciones superficiales y fertilizar con nitrógeno en base a la demanda del cultivo hasta la floración. Utilizar fuentes de fertilizantes con menor grado de volatilización. La eficiencia de uso del nitrógeno dependerá en gran medida de la eficiencia obtenida con el riego de auxilio.
Plagas	<p>El incremento de la temperatura afectaría la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando mayor número de generaciones de estos en el cultivo. Sin embargo, este incremento en la velocidad de desarrollo podrá ser o no ventajoso para algunos, ya que así como existen rangos óptimos de temperatura, existe una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo. Eventualmente se modificará el tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, antes o después de lo "normal". El incremento de temperaturas podría ocasionar que en fechas de siembra tempranas e intermedias se presenten condiciones de presencia y daño por plagas parecido a como históricamente ha sucedido en siembras tardías. Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga se incrementarán al aumentar la velocidad de desarrollo y el número de generaciones.</p> <p>Se espera presencia anticipada y daño de mosca midge, la principal plaga del cultivo, así como de gusano cogollero dañando el punto de crecimiento, pero también incrementando su comportamiento como barrenador del tallo. Otras plagas que aumentaría su presencia y daño, es el trips, chicharritas y araña roja. Probablemente los áfidos con requerimientos de temperaturas relativamente frescas y moderada humedad relativa, sean afectados negativamente, con un periodo menor de condiciones ambientales apropiadas.</p>	<p>Las actividades más importantes para contrarrestar el efecto del CC en los insectos, es implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generando, validando y calibrando modelos fenológicos, para definir criterios de decisión.</p> <p>El combate de los insectos plaga tendrá que basarse más en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra. Y otras de tipo biorracional.</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
Enfermedades	Con un incremento en la temperatura las enfermedades fungosas podrían manifestarse mas frecuentemente en el cultivo, pero por otro lado este incremento podría ser no ventajoso para que esto se logre, ya que también necesitan de una humedad relativa alta para que se presenten. Eventualmente se modificaría el momento de aparición de las enfermedades, debido al periodo de tiempo donde las condiciones de temperatura y humedad relativa sean las idóneas para el ataque de estos hongos fitopatógenos.	Implementar un monitoreo sistemático de los hongos fitopatógenos para la toma de decisiones en el manejo de la enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada. Programar en forma precisa la cantidad y frecuencia del riego así como su aplicación para evitar encharcamientos prolongados. Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagónicos si se conjugan las condiciones de humedad relativa, proximidad del riego, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno.

Ajonjolí temporal

El cultivo de ajonjolí bajo sistema de temporal se perfila para ser uno de los cultivos que menos afectación tendría por las alteraciones del CC ya que su resistencia a altas temperaturas le será útil al momento de enfrentar los incrementos que se prevén sufrirá la zona norte del Estado. Los **Cuadros 5.9 y 5.10** muestran los factores vulnerables a las condiciones de CC tanto en variables agroecológicas como en manejo agronómico respectivamente

Cuadro 5.9 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de ajonjolí bajo temporal y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
Precipitación	El ajonjolí prospera adecuadamente en regiones con precipitaciones de 500 a 1000 mm. El régimen de lluvias en la parte temporalera del norte de Sinaloa es de 350 a 500 mm, por debajo del requerimiento optimo del cultivo, aunado a la menor precipitación esperada bajo el escenario climático proyectado, pone en riesgo su productividad.	Desarrollar técnicas para la captación y conservación del agua así como el desplazamiento a zonas menos afectadas por la reducción en la precipitación.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 5.10 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de ajonjolí bajo temporal y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
Fecha de siembra	El ajonjolí es un cultivo que soporta altas temperaturas y tolera atmósferas secas o de baja humedad relativa por lo que no le afectaría cambio en cualquiera de estas. Un retraso en el establecimiento de las lluvias y su siembra hasta el mes de agosto pone en riesgo su buen desarrollo incluso a que no deba sembrarse por problemas de bajas temperaturas hacia finales de ciclo.	El ajonjolí es un cultivo que soporta altas temperaturas y tolera atmósferas secas por lo que no le afectaría el cambio en cualquiera de estas y su fecha de siembra dependerá del establecimiento de las lluvias. Si dicho patrón se presentara en tiempos y cantidad no idóneos para el se corre el riesgo de perder la productividad y el buen desarrollo del mismo haciéndolo no remunerable. Emplear técnicas de captación y conservación del agua de lluvia para tener la suficiente humedad y no sembrar más allá del mes de julio.
Cosecha de agua	El régimen de precipitación es de 350 a 500 mm distribuidos principalmente en los meses de julio a octubre, el cual el se modificara, con tendencia a la baja, de acuerdo al escenario de CC esperado; esta cantidad de lluvia es menor a la requerida por el ajonjolí, que aunado a lo errático de su distribución y el escurrimiento, repercute en que la cantidad de agua disponible sea muy baja, afectando el rendimiento. Por otra parte se espera un incremento de la temperatura ambiental que puede provocar o favorecer una mayor evapotranspiración y con ello que el déficit de humedad sea mas critico.	Realizar labores de preparación profundas como subsoleo será fundamental para la retención de humedad de lluvia. Implementar prácticas de captación y conservación como el pileteado o formación de cuencas o “contras” entre los surcos para captar y distribuir en forma mas uniforme el agua de lluvia, la que se puede realizar en forma simultánea a la siembra, escarda o cultivo. Promover los sistemas de labranza reducida o de conservación en los que los residuos vegetales, parcialmente o no incorporados, juegan un papel importante al reducir la insolación y disminuir el impacto de las gotas de lluvia así como la evaporación y el encostramiento, favoreciendo la conservación de la humedad en el perfil y la reducción del deterioro del suelo.
Siembra	La semilla es afectada por los excesos de humedad al momento de la siembra causando la aparición de hongos que impiden la germinación. La siembra de este cultivo de temporal se realiza con sembradoras mecánicas mismas que no están diseñadas para enfrentar problemas de posibles excesos de humedad causados por el aumento en la severidad de las lluvias, ni mucho menos para laborar en terrenos sin previa preparación o cero labranza, misma que se podría necesitar al momento de presentar poca humedad en el suelo causada por déficit en la	Utilizar productos para el tratamiento de semilla previniendo la aparición de hongos. Diseñar sembradoras que realicen la misma labor que las actuales pero que a su vez tengan la opción de ser eficientes en terrenos con poca o cero preparación.

Evaluación del impacto del cambio climático
 FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
	precipitación con el fin de mover lo menos posible el suelo.	
Fertilización	La aplicación del fertilizante en la zona de temporal, comúnmente se realiza en una sola aplicación, en presiembra, esto con el fin de lograr la disolución de estos con el agua de las lluvias, lo que provoca pérdida de fertilizante por lavado y lixiviación, las fuentes utilizadas son generalmente granulados que son afectados por su exposición a altas temperaturas, como las esperadas, volatizándolo y causando pérdidas.	<p>Utilizar otras fuentes de fertilizantes y evitar su aplicación superficial, realizar fertilizaciones durante el ciclo si las lluvias proporcionan humedad suficiente para su incorporación, combinado con el tratamiento de la semilla en la siembra con biofertilizantes que permitan la auto fertilización de la planta, principalmente con nitrógeno y fósforo, y reducir o eliminar la aplicación de fertilizantes químicos en presiembra.</p> <p>En muchos casos la biofertilización puede sustituir la fertilización química.</p>
Plagas	<p>El posible incremento de la temperatura afectaría la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando mayor número de generaciones de estos en el cultivo. Sin embargo, este incremento en la velocidad de desarrollo podrá ser o no ventajoso para algunos, ya que así como existen rangos óptimos de temperatura, existe una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo. Eventualmente se modificará el tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, antes o después de lo "normal". El incremento de temperaturas provocaría que en fechas de siembra tempranas e intermedias se presenten condiciones de presencia y daño por plagas parecido a como históricamente ha sucedido en siembras tardías. Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga se incrementarán al aumentar la velocidad de desarrollo y mayor número de generaciones. Se espera presencia anticipada y mayor de mosca blanca, la principal plaga del cultivo, así como de gusano cogollero dañando el punto de crecimiento, pero también incrementando su comportamiento como barrenador del tallo. Otras plagas que incrementarán su presencia y daño, son las chinches chupadoras que se alimentan de las fructificaciones (botones, flores y frutos) como la chinche ligus, la chinche rápida, chinche verde apestosa, conchuela café, chinche del ajonjolí, así como gusano soldado.</p>	<p>Las actividades más importantes para contrarrestar el efecto del CC en los insectos es implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generar, modelos fenológicos calibrados, para definir criterios de decisión.</p> <p>El combate de los insectos plaga tendrá que basarse más en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra y otras de tipo biorracional.</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
Enfermedades	<p>Pudrición del pie. Es la enfermedad más importante del ajonjolí ya que tendría las condiciones idóneas para prosperar, las altas temperaturas y las lluvias esporádicas y torrenciales harían que se desarrollara en mejores condiciones provocando daños al cultivo que repercutirán en su productividad.</p> <p>Pudrición del tallo y cuello de la raíz. Lo más probable es que esta enfermedad aumente ya que su incidencia es beneficiada por altas temperaturas y alta humedad en el suelo misma que se presentara al registrarse las lluvias de temporal.</p>	<p>Implementar un monitoreo sistemático de los hongos fitopatógenos en combinación con el monitoreo climático, para la toma de decisiones en el manejo de la enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada.</p> <p>Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagónicos si se conjugan las condiciones de humedad relativa, proximidad del riego, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno.</p>

Cacahuete temporal

El cultivo de Cacahuete se establece en áreas muy reducidas en el norte del estado ya que los suelos que se encuentran en esta área no presentan las características propias para el desarrollo del cultivo, aunado a esto se encuentra la baja tolerancia del cultivo a la salinidad y tomando en cuenta la excesiva evaporación que causarán las altas temperaturas por los efectos del CC, las zonas con problemas de sales podrían aumentar afectando el buen desarrollo del cultivo. Los **Cuadros 5.11** y **5.12** muestran la susceptibilidad del cultivo a las condiciones de CC haciendo mención a ajustes que servirán a afrontar este problema.

Cuadro 5.11 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de cacahuete bajo temporal y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
Temperatura y precipitación	<p>La temperatura adecuada para su cultivo se sitúan entre los 20 y 40 °C, con el óptimo entre 25 y 30 °C; la especie resulta muy sensible a las heladas y no soporta las bajas temperaturas durante mucho tiempo.</p> <p>El cacahuete prospera adecuadamente en regiones con precipitaciones de 400 a 600 mm. El régimen de lluvias en la parte temporalera del norte de Sinaloa es de 350 a 500 mm, el cual está ligeramente por debajo del requerimiento hídrico del cultivo, aunado a la menor precipitación esperada bajo el escenario climático proyectado, pone en riesgo su productividad.</p>	<p>El cacahuete es un cultivo que soporta altas temperaturas y tolera atmósferas secas o de baja humedad relativa por lo que no le afectaría el cambio bajo el escenario de CC esperado para cualquiera de estas</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 5.12 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de cacahuete bajo temporal y propuesta de ajuste en el norte de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
Fecha de siembra	El cacahuete es un cultivo que soporta altas temperaturas y tolera atmósferas secas o de baja humedad relativa por lo que no le afectaría cambio en cualquiera de estas. Un retraso en el establecimiento de las lluvias y su siembra hasta después del 10 de agosto pone en riesgo su buen desarrollo incluso a que no deba sembrarse por problemas de bajas temperaturas hacia finales de ciclo.	El cacahuete es un cultivo que soporta altas temperaturas y tolera atmósferas secas por lo que no le afectaría el cambio en cualquiera de estas y su fecha de siembra dependerá del establecimiento de las lluvias. Si dicho patrón se presentara en tiempos y cantidad no idóneos para el se corre el riesgo de perder la productividad y el buen desarrollo del mismo haciéndolo no remunerable. Emplear técnicas de captación y conservación del agua de lluvia para tener la suficiente humedad y no sembrar mas allá del mes de julio.
Cosecha de agua	El régimen de precipitación es de 350 a 500 mm distribuidos principalmente en los meses de julio a octubre, el cual el se modificara, con tendencia a la baja, de acuerdo al escenario de CC esperado; esta cantidad de lluvia es menor a la requerida por el cacahuete, que aunado a lo errático de su distribución y el escurrimiento, repercute en que la cantidad de agua disponible sea muy baja, afectando el rendimiento. Por otra parte se espera un incremento de la temperatura ambiental que puede provocar o favorecer una mayor evapotranspiración y con ello que el déficit de humedad sea mas crítico.	Realizar labores de preparación profundas como subsoleo será fundamental para la retención de humedad de lluvia. Implementar prácticas de captación y conservación como el pileteado o formación de cuencas o "contras" entre los surcos para captar y distribuir en forma mas uniforme el agua de lluvia, la que se puede realizar en forma simultánea a la siembra, escarda o cultivo, evitando encharcamientos a partir de clavado de ginóforos Promover los sistemas de labranza reducida o de conservación en los que los residuos vegetales, parcialmente o no incorporados, juegan un papel importante al reducir la insolación y disminuir el impacto de las gotas de lluvia así como la evaporación y el encostramiento, favoreciendo la conservación de la humedad en el perfil y la reducción del deterioro del suelo.
Siembra	Esta semilla es afectada por los excesos de humedad al momento de la siembra causando la aparición de hongos que impiden la germinación. La siembra de este cultivo de temporal se realiza con sembradoras mecánicas mismas que no están diseñadas para enfrentar problemas de posibles excesos de humedad causados por el aumento en la severidad de las lluvias, ni mucho menos para laborar en terrenos sin previa preparación o cero labranza, misma que se	Utilizar productos para el tratamiento de semilla previniendo la aparición de hongos. Diseñar sembradoras que realicen la misma labor que las actuales pero que a su vez tengan la opción de ser eficientes en terrenos con poca o cero preparación.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
	podría necesitar al momento de presentar poca humedad en el suelo causada por déficit en la precipitación con el fin de mover lo menos posible el suelo.	
Fertilización	La aplicación del fertilizante en la zona de temporal, comúnmente se realiza en una sola aplicación, en presiembra, esto con el fin de lograr la disolución de estos con el agua de las lluvias; esto tiene el riesgo de perdidas, en el caso de nitrógeno, por volatilización o lixiviación de hacerse con mucha anticipación a la siembra y se dan condiciones secas o de exceso de humedad, lo que provoca perdidas, principalmente de nitrógeno. Por otra parte el escenario de CC esperado plantea incrementos en la temperatura, si bien es cierto no afectaran fisiológicamente al cultivo, si influye en una mayor temperatura del suelo que puede perjudicar la actividad microbiana de este y un aceleramiento en la descomposición de la materia orgánica en deterioro de su fertilidad.	No realizar aplicaciones de fertilizantes en presiembra, a menos que un análisis de suelos determine como critico su aplicación, en cuyo caso seria principalmente a base de fósforo como potasio. Realizar la inoculación de la semilla con biofertilizantes, combinada con la fertilización química, para promover la fijación biológica de nitrógeno y fósforo y un mayor volumen radicular que favorezca la exploración de un mayor volumen de suelo y la absorción de agua. Evitar dejar el fertilizante sobre la superficie del suelo y al aplicarse de preferencia que el suelo no este seco e incorporarse inmediatamente para reducir la volatilización. La biofertilización puede llegar a sustituir la fertilización química.
Plagas	El posible incremento de la temperatura afectaría la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando mayor número de generaciones de estos en el cultivo. Sin embargo, este incremento en la velocidad de desarrollo podrá ser o no ventajoso para algunos, ya que así como existen rangos óptimos de temperatura, existe una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo. Eventualmente se modificará el tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, antes o después de lo "normal". El incremento de temperaturas provocaría que en fechas de siembra tempranas e intermedias se presenten condiciones de presencia y daño por plagas parecido a como históricamente ha sucedido en siembras tardías. Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga se incrementarán al aumentar la velocidad de desarrollo y mayor número de generaciones. Se espera presencia anticipada y daño de chapulín, la principal plaga del cultivo, así como de trips.	Las actividades más importantes para contrarrestar el efecto del CC en los insectos es implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generar, modelos fenológicos calibrados, para definir criterios de decisión. El combate de los insectos plaga tendrá que basarse más en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra y otras de tipo biorracional.
Enfermedades	Con un incremento en la temperatura las enfermedades fungosas podrían manifestarse mas frecuentemente en el cultivo, pero por otro lado este incremento podría ser no ventajoso	Implementar un monitoreo sistemático de los hongos fitopatogenos en combinación con el monitoreo climático, para la toma de decisiones en el manejo de la

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de Impacto	Ajustes
	<p>para que esto se logre, ya que también necesitan de una humedad relativa alta para que se presenten. Eventualmente se modificaría el tiempo de aparición de las enfermedades, debido al periodo de tiempo donde las condiciones de temperatura y humedad relativa sean las idóneas para el ataque de estos hongos fitopatógenos.</p>	<p>enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada.</p> <p>Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagonistas si se conjugan las condiciones de humedad relativa, proximidad del riego, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno.</p>

5.3 CULTIVOS DE LA ZONA CENTRO

La zona centro, reconocida a nivel estatal por sus logros en producción de los diferentes cultivos que ahí se establecen, durante los últimos años ha encontrado la manera de programar sus siembras de tal forma que el clima no interfiera de manera negativa durante las etapas críticas de desarrollo de los cultivos, logrando establecer rangos amplios de fechas de siembra que permiten al productor adecuar sus actividades a estas. Los efectos que se podrían tener a causa del CC impedirían que lo anterior continúe dándose, de tal forma que una serie de ajustes será primordial para la continuidad de los cultivos ya que la elevación en temperaturas extremas y cambios en el patrón de lluvias rediseñará todo el sistema causando acortamiento de fechas de siembra, principalmente. A continuación se describen los posibles impactos esperados por efecto del CC en los cultivos del centro del estado, así como se mencionan los ajustes recomendados en su manejo como de adaptación a dicho impacto.

Maíz riego

Al igual que en la zona norte, en el centro del estado, este cultivo representa el grano más importante en cuanto a superficie sembrada. En general el manejo agronómico también es similar al norte variando únicamente en la fecha de siembra, ya que esta zona por naturaleza presenta temperaturas más altas, por lo que el establecimiento del cultivo se desplaza hacia el mes de diciembre, mientras que en el norte la mejor temporada de siembras es durante el mes de noviembre.

En el **Cuadro 5.13** se enlistan los factores o variables vulnerables a las condiciones de CC y su influencia en el cultivo de maíz, en el norte de Sinaloa.

Cuadro 5.13 . Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de maíz bajo riego y propuesta de ajuste en el centro de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Precipitación	Para el centro de Sinaloa se espera se mantenga la precipitación actual y se incremente su variabilidad e intensidad. En algunas áreas del centro donde el agua de riego es escasa las lluvias se aprovechan para el establecimiento del cultivo y completar su ciclo de desarrollo, si no se presentan cuando se requieren el cultivo se verá afectado por largos períodos de estrés afectando su rendimiento.	Implementar técnicas de conservación de agua para aprovechar mejor el agua de lluvia, desarrollar sistemas de monitoreo y pronóstico de lluvias, uso de sensores de humedad del suelo para detectar períodos de estrés.
Humedad relativa	El maíz requiere una atmósfera moderadamente húmeda. Con reducción de la precipitación este cultivo crecerá en un ambiente más seco ocasionando un incremento en la evapotranspiración diaria y aumento en la respiración.	Los sistemas de riego por aspersión ayudan a incrementar la humedad del aire en caso necesario.
Temperatura	Este factor probablemente es el más importante. Para el 2020 se espera un incremento en 0.8°C en esta zona afectando la fisiología del cultivo: reducción del	Los sistemas de riego por aspersión ayudan a incrementar la humedad del aire y mantener la

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
	ciclo fenológico, aumento en la respiración y transpiración.	temperatura en un rango menos crítico.
Salinidad	Se espera un incremento en la evaporación debido al aumento de la temperatura por efecto del CC, propiciando un mayor ascenso y concentración superficial de sales. El maíz puede tolerar concentraciones de sales de hasta 1.7 dS/m y pH de 5.5-7.5, sin reducción en rendimiento.	El riego por goteo, la labranza de conservación, la siembra en camas y en doble hilera entre otras, pueden ayudar a mantener y mover las sales fuera de la zona de raíces.
Altitud	La zona centro también es importante al igual que el norte en superficie establecida. El área de riego ubicada en las zonas bajas, sería la mayormente afectada.	Es factible una migración del cultivo hacia zonas más altas, sin embargo en estas regiones, se tendría el problema de pendientes fuertes y menor profundidad de suelos.
Potencial productivo	El incremento de la temperatura de acuerdo al escenario de CC podría obligar a reubicar las áreas de explotación.	Realizar estudios de potencial productivo en base al escenario de cambio climático esperado y definir o reclasificar las áreas de respuesta homogénea que cumplan con los requerimientos edafoclimáticos del cultivo.
Calidad del suelo	La mayor intensidad de la lluvia esperada implica incrementos en el escurrimiento superficial de los suelos, acentuándose en aquellos de baja permeabilidad (arcillosos), desnudos y con pendiente mayor al 1%, y con ello la consecuente pérdida de suelo y nutrientes reduciendo la calidad del suelo.	Evitar la quema de socas; manejo de cubiertas con al menos el 30% de la paja de cultivos cosechados; evitar el laboreo excesivo e implementar prácticas de labranza reducida o de conservación, para minimizar el impacto de las gotas de agua de lluvia, reducir el escurrimiento superficial e inducir su infiltración y conservación.

El **Cuadro 5.14** muestra las variables vulnerables al impacto del CC en el manejo agronómico aplicado al cultivo de maíz bajo riego así como los ajustes necesarios.

Cuadro 5.14. Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de maíz bajo riego y propuesta de ajuste en el centro de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Fecha de siembra	Actualmente para un ciclo otoño-invierno el periodo de siembras recomendado comprende desde noviembre a diciembre siendo el mes de diciembre el óptimo. Para el ciclo primavera-verano las fechas de siembra son durante enero y febrero. Se espera una reducción o acortamiento del periodo de siembra para otoño invierno y un impacto fuertemente negativo sobre el rendimiento para primavera-verano	Desarrollo, validación y calibración de modelos de simulación dinámica de crecimiento que consideren los requerimientos de clima del cultivo y los cambios en base al escenario de cambio climático esperado para facilitar y agilizar el ajuste del periodo óptimo de siembra; se espera que este periodo se ajuste del 15 de diciembre

Evaluación del impacto del cambio climático
 FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
		<p>al 15 de enero, para otoño invierno y no recomendarse su siembra en primavera-verano.</p> <p>Desarrollar e introducir nuevas variedades con mayor tolerancia al estrés hídrico y térmico, que requieran mayor cantidad de GDA para que conserven la duración de su ciclo actual</p> <p>Diseñar nuevos planes de riego para adecuar la operación de la red hidráulica sin afectar la oportunidad del servicio de riego a usuarios en periodos más compactos.</p>
Riego	<p>Como consecuencia del incremento de temperatura se espera que el ciclo fenológico del cultivo se reduzca y se modifiquen los requerimientos de riego, tendientes a reducirse, además de ocasionar picos de alta demanda hídrica por la compactación del periodo de siembra afectando directamente la operación y el servicio de riego por la saturación de la red de canales.</p>	<p>Utilizar técnicas de programación integral con sistemas computacionales para estimar las necesidades o demandas de agua bajo condiciones de variabilidad y CC.</p> <p>Adecuar o modificar los planes de riego para una adecuada operación de la red de distribución hidráulica y garantizar la entrega oportuna del riego.</p> <p>Implementar técnicas de riego y de ingeniería de diseño ya generadas y validadas para incrementar la eficiencia del uso del agua y disminuir los volúmenes tanto a nivel parcelario como en la misma red hidráulica.</p>
Fertilización	<p>Las demandas nutrimentales se reducirán también, sobre todo en los períodos fuera de la nueva temporada de siembras. Una mayor volatilización del nitrógeno ante el aumento de la evaporación, así como pérdidas por lixiviación causado por el incremento de las frecuencias de riegos, ocasionando menores eficiencias en su grado de uso.</p>	<p>Fraccionar la fertilización nitrogenada en función de los riegos, hasta la floración.</p> <p>Realizar prácticas que disminuyan el calentamiento de la superficie del suelo y reduzcan la evaporación favoreciendo la conservación de la humedad en el mismo, como el manejo de cubiertas vegetales y labranza de conservación.</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Plagas	<p>Un incremento en la temperatura podría afectar la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando mayor número de generaciones de estos en el cultivo. Sin embargo, este incremento podría ser o no ventajoso para algunos, ya que así como existen rangos óptimos de temperatura, existe una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo. Eventualmente se modificaría el tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, antes o después de lo "normal". La modificación de temperaturas provocaría que en el subciclo otoño-invierno se presenten condiciones de presencia y daño por plagas parecido a como históricamente ha sucedido en el subciclo primavera-verano. Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga se incrementarían al aumentarse la velocidad de desarrollo y el número de generaciones. Se pronostica mayor presencia y daño de gusano cogollero y mosca de los estigmas. Otra plaga que incrementaría su presencia y daño, sería la araña roja, así como chicharritas y trips. Probablemente los áfidos con requerimientos de temperaturas relativamente frescas y moderada humedad relativa, sean afectados negativamente, con un periodo menor de condiciones ambientales apropiadas.</p>	<p>Implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generar, calibrar y validar modelos fenológicos, para definir criterios de decisión.</p> <p>El combate de los insectos plaga tendrá que basarse en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra y otras de tipo biorracional.</p>
Enfermedades	<p>Con un incremento en la temperatura las enfermedades fungosas podrían manifestarse mas frecuentemente en el cultivo, pero por otro lado este incremento podría ser no ventajoso para que esto se logre, ya que también necesitan de una humedad relativa alta para que se presenten. Eventualmente se modificaría el momento de aparición de las enfermedades, debido al periodo de tiempo donde las condiciones de temperatura y humedad relativa sean las idóneas para el ataque de estos hongos fitopatógenos.</p>	<p>Implementar un monitoreo sistemático de los hongos fitopatógenos para la toma de decisiones en el manejo de la enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada.</p> <p>Programar en forma precisa la cantidad y frecuencia del riego así como su aplicación para evitar encharcamientos prolongados.</p> <p>Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagonicos si se conjugan las condiciones de humedad relativa, proximidad del riego, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno.</p> <p>Desarrollar modelos de pronóstico de enfermedades.</p>
Cosecha	<p>Con el incremento en temperatura y la reducción de la humedad relativa, se espera un acortamiento del ciclo o una reducción importante de los días transcurridos de la siembra a la cosecha; si el grano se cosecha con menor humedad a la recomendada (<16%) se tendrán problemas de pérdidas de mazorcas en el terreno, quebrado de grano y</p>	<p>Mayor atención en el monitoreo de la humedad del grano a partir de su madurez fisiológica para determinar el mejor momento de cosecha que es del 16 al 18%.</p>

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
	problemas de comercialización.	

Frijol riego

El cultivo de frijol sigue siendo de gran relevancia en el centro de Sinaloa, históricamente se cosechan aproximadamente 33,000 ha bajo condiciones de riego; sin embargo es de los más sensibles a altas y bajas temperaturas así como a excesos de humedad, condiciones que se esperan se acentúen bajo los escenarios de CC debido al incremento en la variabilidad climática.

En el **Cuadro 5.15** se analiza el posible impacto del CC en el cultivo de frijol bajo riego, y algunas sugerencias para mitigar los posibles impactos.

Cuadro 5.15 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de frijol bajo riego y propuesta de ajuste en el centro de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Humedad relativa	Las siembras del 15 de octubre al 15 de noviembre actuales, no tienen problemas por altas humedades relativas y periodos secos en el desarrollo del cultivo, sin embargo, si pueden favorecer la presencia o ausencia de enfermedades que lo afectan. Bajo cambio climático podría haber el riesgo que en las siembras de octubre el ambiente se torne más seco, y en noviembre más húmedo ambas condiciones favorecen o limitan el desarrollo de diferentes enfermedades que afectan el cultivo.	Reprogramar fechas de siembra, para que el inicio del desarrollo del cultivo no coincida con altas temperaturas que afectarían a la planta.
Temperatura	El rango térmico para crecimiento del cultivo es de 2 a 27 °C y el óptimo de 18°C, que actualmente al sembrar en octubre cada vez se cumple menos con estos requerimientos.	Desplazar fechas de siembra a meses menos cálidos (noviembre).
Salinidad y drenaje	El cultivo es sensible a la salinidad (CE \leq 1 dS/m y pH de 5.5 – 6.5), se estima que potencialmente su rendimiento tendería a disminuir al incrementar las zonas salinas por efecto del aumento de la evaporación. Por otro lado al incrementarse la intensidad de lluvias en suelos de baja infiltración se presentarán problemas de aireación y enfermedades.	Evitar establecer el cultivo en suelos fuera del rango tolerable y mal drenados. La disminución de la precipitación y la mayor evaporación podría generar que aumenten las zonas con estos problemas, por lo que la superficie establecida disminuiría.
Potencial productivo	El incremento de la temperatura de acuerdo al escenario de CC esperado podría obligar a	Realizar estudios de potencial productivo en base al escenario de cambio climático esperado y a definir

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
	reubicar las áreas de explotación.	las áreas de respuesta homogénea que cumplan con los requerimientos edafoclimáticos del cultivo.

De la misma manera, en el **Cuadro 5.16** se menciona la vulnerabilidad de factores del manejo agronómico y los posibles ajustes recomendados de adaptación.

Cuadro 5.16 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de frijol bajo riego en el ciclo otoño-invierno y propuesta de ajuste en el centro de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Fecha de siembra	Se espera una reducción en el periodo de siembras, actualmente en Sinaloa es del 1 de octubre al 15 de noviembre. El período de siembras podría reducirse a menos de un mes.	Ajustar las fechas de siembra, ya que las altas temperaturas impedirán establecerlo en épocas de siembra actuales, se espera que el periodo sea del 01 al 30 de noviembre.
Calidad del suelo	La mayor intensidad de la lluvia esperada implica incrementos en el escurrimiento superficial de los suelos, acentuándose en aquellos de baja permeabilidad (arcillosos), desnudos y con pendiente mayor al 1%, y con ello la consecuente pérdida de suelo y nutrientes afectando su calidad.	Evitar la quema de socas; manejo de cubiertas con al menos el 30% de la paja de cultivos cosechados; evitar el laboreo excesivo e implementar prácticas de labranza reducida o de conservación para minimizar el impacto de las gotas de agua de lluvia, reducir el escurrimiento superficial e inducir su infiltración y conservación.
Riego	Como consecuencia del incremento de temperatura se espera un incremento de la evapotranspiración provocando cambios importantes en la calendarización del riego.	La programación integral del riego con información climática en tiempo complementada con el uso de software y sensores de humedad del suelo para estimar de manera precisa la lámina y frecuencia de riego. Implementar técnicas de riego y de ingeniería de diseño ya generadas y validadas para incrementar la eficiencia del uso del agua, y evitar encharcamientos que pongan en riesgo la sanidad del cultivo.
Fertilización	El posible incremento en las temperaturas afectaría la dinámica del nitrógeno tanto en suelo como en planta (volatilización e incremento en la respiración). Lluvias intensas y riegos ineficientes durante el periodo de desarrollo del cultivo incrementan el lavado de elementos móviles como nitrógeno.	Evitar altas dosis en pocas aplicaciones (regularmente se realizan una o dos aplicaciones de fertilizantes), realizar más labores de fertirrigación que eviten las pérdidas de nutrientes por volatilización y lixiviación (eficiente aplicación del agua de riego).
Plagas	El posible incremento en la temperatura impactaría en la velocidad de desarrollo de los insectos en	Las actividades más importantes para contrarrestar el efecto del CC en los

Evaluación del impacto del cambio climático
 FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
	<p>general (dañinos y benéficos), provocando mayor número de generaciones de estos en el cultivo. El incremento en la velocidad de desarrollo podría ser o no ventajoso para algunos, ya que existen rangos óptimos de temperatura, y una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo.</p> <p>El tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, podría variar antes o después de lo "normal". Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga se incrementarían al aumentar la velocidad de desarrollo y el número de generaciones.</p> <p>Se espera mayor presencia y daño de mosca blanca por el virus que transmite en el cultivo.</p> <p>Otras plagas que es posible aumente su presencia y daño, es la chicharrita y trips.</p> <p>Probablemente los áfidos con requerimientos de temperaturas relativamente frescas y moderada humedad relativa, sean afectados negativamente, por el periodo menor de condiciones ambientales apropiadas.</p>	<p>insectos, es implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generando, validando y calibrando modelos fenológicos, para definir criterios de decisión.</p> <p>El combate de los insectos plaga tendrá que basarse más en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra y otras de tipo biorracional.</p>

Variable o factor vulnerable	Descripción de impactos	Ajuste
Enfermedades	<p>Con un incremento en la temperatura las enfermedades virales (Mosaico dorado) podrían manifestarse con más incidencia y más rápido en el cultivo, ya que temperaturas arriba de los 25°C favorecen el incremento de las poblaciones de los vectores, particularmente la mosquita blanca y por lo tanto la agresividad de la epidemia.</p> <p>Con un incremento en la temperatura las enfermedades causadas por hongos y bacterias podrían manifestarse mas frecuentemente en el cultivo, pero por otro lado este incremento podría ser no ventajoso para que esto se logre, ya que también necesitan de una humedad relativa alta para que se presenten. Eventualmente se modificaría el momento de aparición de las enfermedades, debido al periodo de tiempo donde las condiciones de temperatura y humedad relativa sean las idóneas para el ataque de estos fitopatógenos.</p> <p>En caso del moho blanco si la tendencia es el desplazamiento de la fecha de siembra por efecto del CC, el retrasarse al menos en quince días el inicio de esta, es mayor el riesgo de que la planta en sus etapas reproductivas coincida con condiciones ambientales que favorezcan el desarrollo del hongo.</p>	<p>Para la prevención de enfermedades virales se sugiere ajustarse al período de siembra ya mencionado (las siembras anticipadas al mes de octubre son las más afectadas), utilizar variedades tolerantes y controlar oportunamente los vectores, particularmente la mosquita blanca. Implementar un monitoreo sistemático de los hongos y bacterias fitopatógenos para la toma de decisiones en el manejo de la enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada.</p> <p>Programar en forma precisa la cantidad y frecuencia del riego así como su aplicación para evitar encharcamientos prolongados.</p> <p>Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagonicos si se conjugan las condiciones de humedad relativa, proximidad del riego, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno.</p>

Tomate Riego

La zona centro del Estado es la que registra la mayor superficie de tomate, la tecnología de producción se ha desarrollando de tal forma que los rendimientos han aumentado considerablemente, una de las características del cultivo es su amplio rango de fechas de siembra, las fechas tempranas de julio-agosto en almácigos podrían ser desplazadas, ya que las altas temperaturas proyectadas debido al CC en estos meses serán nocivas para el desarrollo de la plántula. Por la similitud de condiciones agroclimáticas y de manejo el análisis de impactos es aplicado para las zonas centro y sur. El **Cuadro 5.17** presenta las variables agroecológicas susceptibles al CC describiendo el impacto y ajustes para contrarrestar el impacto.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 5.17 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de tomate bajo riego y propuesta de ajuste en el centro y sur de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción del impacto	Ajuste
Precipitación	Se prevé sea consistente la precipitación media para la zona centro del Estado; se proyecta que la precipitación será la misma en cantidad pero con incremento en la intensidad que coincide con el periodo de establecimiento del cultivo	El uso de sistemas de riego presurizados (goteo y aspersión) seguirán siendo una buena alternativa en ahorro de agua, acompañado del desplazamiento en el establecimiento del cultivo apoyándose con el uso de modelos de predicción de la precipitación.
Humedad relativa	El cultivo requiere una humedad relativa de 50 a 60%, la cual se espera una reducción por el incremento de la temperatura de acuerdo al escenario de CC esperado, lo cual provocara una mayor necesidad diaria de riego.	Manejo preciso del riego para mantener el nivel de humedad requerido por el cultivo, tanto en almacigo como en campo. Empleo de nebulizadores al interior de los invernaderos para mantener la humedad en intervalo óptimo.
Temperatura	Los requerimientos del cultivo están entre los 15-29°C; con el incremento de la temperatura por efecto del CC esperado, se esperan desordenes fisiologicos como aborto de flores, y un menor periodo de cortes para la producción de frutos calidad exportación.	Dedicar una mayor superficie bajo agricultura protegida y empleo de técnicas de acondicionamiento climático con base en sistemas de alerta a eventos extremos y modelos de crecimiento vegetal.

El **Cuadro 5.18** muestra las variables afectadas a causa del CC y los ajustes necesarios para mitigar estos efectos describiendo a detalle el nivel de impacto que sufrirá el cultivo en su manejo agronómico tanto en el centro como en el sur del estado.

Cuadro 5.18 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de tomate bajo riego y propuesta de ajuste en el centro y sur de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción del impacto	Ajuste
Fechas de siembra de almacigo	Las siembras de almácigos en fechas tempranas (agosto) se verían afectadas por el posible aumento en la temperatura, provocando poca factibilidad para sembrar en esas fechas, debido a que se incrementara la susceptibilidad de la plántula a las condiciones climáticas adversas.	Realizar posibles modificaciones a invernaderos (cubiertas plásticas) con el fin de crear las condiciones idóneas que permitan sembrar en fechas tempranas, o bien evitar siembras de agosto y programar la superficie sembrada en septiembre para evitar sobre oferta del producto.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción del impacto	Ajuste
Desarrollo del cultivo	Como resultado del incremento de la temperatura bajo el escenario planteado, el periodo del trasplante a floración podrá verse acortado o reducido al igual que el intervalo al primer corte, cuyos frutos serán de mala calidad (deformes).	<p>Generar híbridos con tolerancia al estrés térmico. Validar o evaluar sustancias antiestrés nuevas o ya utilizadas en otros cultivos.</p> <p>Desplazar o retardar la temporada de trasplante con el fin de evitar lluvias severas que afecten las primeras etapas del cultivo.</p> <p>Implementación de surcos o camas altas que impidan la inundación del predio causadas por posibles excesos de lluvias durante la temporada del trasplante.</p>
Riegos	Las altas temperaturas y las lluvias prolongadas provocaran que se modifiquen los requerimientos e intervalos de riego en los diferentes sistemas de producción así como el número total de estos.	Monitoreo permanente de las condiciones climáticas y el empleo de algoritmos para la programación integral del riego basada en DGA, apoyada con modelos de crecimiento del cultivo, sensores de humedad y el uso adecuado de los sistemas de riego para la determinación precisa de las láminas e intervalos del mismo, y evitar la saturación del suelo y pérdidas de nutrientes por lixiviación.
Fertilización	La aplicación de fertilizante en etapas tempranas podría ocasionar pérdidas considerables por lavado y lixiviación debido a fuertes lluvias y pérdidas por volatilización debido a las altas temperaturas, causando la adición de más nutrientes. Además de incrementar mano de obra, debido a que el cultivo requiere fertilización continua, para lo cual en días lluviosos, se hacen aplicaciones dirigidas a las plantas.	Continuar la utilización de sistemas de riego que permitan la fertirrigación (goteo, aspersión y micro aspersión, entre otros) para reduce la pérdida de nutrientes. Cuidar un manejo eficiente del riego.
Plagas	Afectaría la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando un mayor número de generaciones en el cultivo. Pero este incremento en la velocidad de desarrollo podría ser o no favorable para algunos, ya que así como existen rangos óptimos de temperatura, existe una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo. Es probable se modifique el tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, antes o después de lo "normal". El incremento de temperaturas provocará que en el subciclo otoño-invierno se presenten condiciones de presencia y daño por plagas parecido a como históricamente ha sucedido en las fechas tardías de siembra. Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga podrán verse incrementados	<p>Las actividades sugeridas para contrarrestar el posible efecto del CC en los insectos, es implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generando modelos fenológicos calibrados, para definir criterios de decisión.</p> <p>El combate de los insectos plaga tendrá que basarse más en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra y otras de tipo biorracional.</p> <p>Acortar el periodo de siembra actual de septiembre al 31 de diciembre, en especial para este cultivo.</p> <p>Uso adecuado de plaguicidas a través de sistemas de riego presurizados, principalmente sistémicos, en</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción del impacto	Ajuste
	<p>al aumentar la velocidad de desarrollo y mayor número de generaciones. Se espera mayor presencia y daño de mosca blanca y virus que trasmite, gusano del fruto, gusano soldado, gusano falso medidor, minador de la hoja, trips. Probablemente los áfidos con requerimientos de temperaturas relativamente frescas y moderada humedad relativa, sean afectados negativamente, con un periodo menor de condiciones ambientales apropiadas, sin embargo, el daño por virus que trasmite no se espera que decrezca.</p>	<p>combinación con el manejo eficiente del riego.</p>
Enfermedades	<p>Con un incremento en la temperatura y de humedad relativa se propiciarían condiciones ambientales óptimas para el ataque de enfermedades fungosas y de bacterias en el cultivo. Eventualmente se modificaría el tiempo de aparición de las enfermedades, debido al periodo de tiempo donde las condiciones de temperatura y humedad relativa sean las idóneas para el ataque de estos fitopatógenos.</p> <p>Con un incremento en la temperatura las enfermedades virales podrían manifestarse con más incidencia y más rápido en el cultivo, ya que temperaturas arriba de los 25°C favorecen el incremento de las poblaciones de los vectores, particularmente la mosquita blanca y pulgón, con la agresividad de la epidemia aumentaría significativamente.</p>	<p>Implementar un monitoreo sistemático de los hongos y bacterias fitopatógenas para la toma de decisiones en el manejo de la enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada.</p> <p>Programar en forma precisa la cantidad y frecuencia del riego así como su aplicación para evitar encharcamientos prolongados.</p> <p>Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagónicos si se conjugan las condiciones de humedad relativa, proximidad del riego, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno.</p> <p>Para la prevención de enfermedades virales se sugiere ajustarse al período de siembra ya mencionado, utilizar variedades tolerantes y controlar oportunamente los vectores, particularmente la mosquita blanca y pulgón.</p>
Cosecha	<p>El escenario de CC incrementará la variabilidad climática favoreciendo la presencia de desórdenes fisiológicos por temperaturas inferiores a 10 °C afectando la calidad del fruto.</p>	<p>Adecuar las condiciones establecidas del cultivo y buscar nuevas alternativas de tolerancia de híbridos a estrés térmico.</p> <p>Adecuar el diseño y manejo de los sistemas de producción en ambientes controlados.</p>
Costo de producción	<p>Los posibles cambios en la temperatura podrían generar lluvias severas ocasionando mayor incidencia de enfermedades, lo que</p>	<p>La prevención de plagas y enfermedades mediante sistemas de alerta ayudan a disminuir el costo. Una mayor</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción del impacto	Ajuste
	elevaran el costo de producción. El aumento en la temperatura favorecerá el daño por las plagas, debido a que se corta su ciclo de vida. Las lluvias provocan que se detenga el riego en el cultivo, mas no la fertilización, la cual tiene que ser dirigida al cultivo, incrementando la mano de obra dedicada a esta labor.	dosificación de fertilizantes, empleando la fertirrigación, aunado a un manejo eficiente del agua de riego evita la pérdida de nutrientes por volatilización y lixiviación, evitando la sobre fertilización del cultivo, disminuyendo costos.

Chile Verde riego

El establecimiento en fechas tempranas (julio-agosto) para la producción de plántula de chile verde en invernadero, con el fin de lograr buenos precios de comercialización es posible se vea afectado, debido a las altas temperaturas que se registraran en esos meses, lo que llevaría a una saturación de mercados por la reducción en los periodos de fechas de siembra. Al igual que el tomate las condiciones agroclimáticas y de manejo son similares en las zonas centro y sur por lo que el análisis realizado a continuación aplica para estas. En el **Cuadro 5.19** se enlistan las variables agroecológicas que serán afectadas a causa del CC para las dos zonas mencionadas.

Cuadro 5.19 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de chile verde bajo riego y propuesta de ajuste en el centro y sur de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción del impacto	Ajuste
Precipitación	Se prevé sea consistente la precipitación media para la zona centro del Estado. Cabe mencionar que se proyecta que la precipitación sería la misma en cantidad pero no en uniformidad.	El uso de sistemas de riego presurizados (goteo y aspersión) seguirán siendo una buena alternativa en ahorro de agua, acompañado de desplazamiento de establecimiento del cultivo
Humedad Ambiental	El cultivo requiere de atmosferas húmedas (50%-60%) por lo que el ascenso de temperatura lo afectaría ya que la humedad relativa disminuirá. Las siembras tempranas (agosto-septiembre) se verían más afectadas por las intensas temperaturas y baja humedad atmosférica, provocando estrés híbrido en cultivo.	Evitar siembras tempranas y desplazarlas a fechas con climas menos cálidos (probablemente octubre y noviembre)

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción del impacto	Ajuste
Temperatura	<p>Actualmente las temperatura más elevada se registra durante los meses de julio a septiembre (en ocasiones hasta octubre), provocando problemas en el cultivo durante su establecimiento y desarrollo, principalmente en aquellos establecidos en fechas tempranas, durante estos meses se han registrado temperaturas de hasta 45°C.</p> <p>Los requerimientos del cultivo están entre los 18-24°C; con el incremento de la temperatura, ≥ 33 °C, por efecto del CC esperado, se esperan desordenes fisiologicos como deformación de frutos y un intervalo mas extenso para corte reduciéndose por consiguiente el numero de cortes totales con calidad de exportación.</p>	Dedicar una mayor superficie bajo agricultura protegida y empleo de técnicas de acondicionamiento climático con base en sistemas de alerta a eventos extremos y modelos de crecimiento vegetal.

El manejo agronómico del cultivo de chile resulta primordial para la obtención de buenos resultados productivos, por lo que el **Cuadro 5.20** muestra los factores que resultan vulnerables en cuestión de manejo así como los ajustes pertinentes para contrarrestar o aminorar el impacto

Cuadro 5.20 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de chile verde bajo riego y propuesta de ajuste en el centro y sur de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Descripción del impacto	Ajuste
Fechas de siembra de almácigo	La siembra en invernaderos del mes de julio se vería afectadas por el incremento de las temperaturas en esas fechas provocando una posible deshidratación de pro 5.16 muestra lántulas. Siembras posteriores reducen la producción de plantas de buen vigor hasta 50 % por ataque de plagas, enfermedades y aumento de costo de manejo por dichos patógenos.	Realizar posibles modificaciones a invernaderos (cubiertas plásticas) con el fin de crear las condiciones idóneas que permitan sembrar tanto en julio como en agosto, para evitar la reducción del periodo de trasplante y la sobreoferta de producto.
Desarrollo del cultivo	El escenario de CC incrementará la variabilidad climática y con ello que se presenten con mayor frecuencia temperaturas inferiores a 10 °C alargando el periodo de llenado de fruto a cosecha	Generar híbridos con tolerancia al estrés térmico, así como validar y evaluar sustancias antiestrés nuevas o ya utilizadas.
Riego	La aplicación de riegos basados en DDS, así como a intervalos de riego fijos, podrían verse afectados por las variaciones del patrón de temperaturas, ya que es posible que la planta requiera el agua, antes o después, a los intervalos sugeridos. La aplicación del riego a destiempo puede ocasionar enfermedades fungosas por exceso de humedad y baja en los	Monitoreo permanente de las condiciones climáticas y el empleo de algoritmos para la programación integral del riego basada en DGA, apoyada con modelos de crecimiento del cultivo, sensores de humedad y el uso adecuado de los sistemas de riego para la determinación precisa de las láminas e

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción del impacto	Ajuste
	<p>rendimientos causados por déficit de humedad.</p> <p>Las altas temperaturas y las lluvias prolongadas provocarían que se modifiquen los requerimientos e intervalos de riego en los diferentes sistemas de producción así como el número total de estos.</p>	<p>intervalos del mismo, y evitar la saturación del suelo coadyuvando a la prevención de enfermedades del suelo causadas por excesos de humedad, así como pérdidas de nutrientes por lixiviación.</p>
Fertilización	<p>La aplicación de fertilizante en etapas tempranas podría ocasionar pérdidas considerables por lavado y lixiviación debido a fuertes lluvias y pérdidas por volatilización debido a las altas temperaturas, causando la adición de más nutrientes. Además de incrementar mano de obra, debido a que el cultivo requiere fertilización continua, para lo cual en días lluviosos, se hacen aplicaciones dirigidas a las plantas.</p>	<p>Continuar la utilización de sistemas de riego que permitan la fertirrigación (goteo, aspersión y micro aspersión, entre otros) para reducir la pérdida de nutrientes y con un manejo eficiente del riego. Reducir la utilización de fuentes granuladas susceptibles a la volatilización por altas temperaturas.</p>
Plagas.	<p>Afectaría la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando un mayor número de generaciones en el cultivo. Pero este incremento en la velocidad de desarrollo podría ser o no favorable para algunos, ya que así como existen rangos óptimos de temperatura, existe una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo. Es probable se modifique el tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, antes o después de lo "normal". El incremento de temperaturas provocará que en el subciclo otoño-invierno se presenten condiciones de presencia y daño por plagas parecido a como históricamente ha sucedido en las fechas tardías de siembra. Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga podrán verse incrementados al aumentar la velocidad de desarrollo y mayor número de generaciones.</p> <p>Las plagas mayormente afectadas serían:</p> <p>Picudo del Chile (<i>Anthonomus eugenii</i>), Acaro blanco (<i>Polyphagotarsonemus latus</i>), Mosquita blanca (<i>Bemisia argentifolii</i> (Bellows y Perring) y Minadores de hojas (<i>Lyriomiza trifolii</i> y <i>Lyriomiza bryoniae</i>)</p>	<p>Las actividades sugeridas para contrarrestar el posible efecto del CC en los insectos, es implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generando modelos fenológicos calibrados, para definir criterios de decisión.</p> <p>El combate de los insectos plaga tendrá que basarse más en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra y otras de tipo biorracional.</p> <p>Particularmente en este cultivo es importante acortar el periodo de siembra actualmente de septiembre al 31 de diciembre.</p>

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Descripción del impacto	Ajuste
Enfermedades	<p>Con un incremento en la temperatura y de humedad relativa se propiciarían condiciones ambientales óptimas para el ataque de enfermedades fungosas y de bacterias en el cultivo. Eventualmente se modificaría el tiempo de aparición de las enfermedades, debido al periodo de tiempo donde las condiciones de temperatura y humedad relativa sean las idóneas para el ataque de estos fitopatógenos.</p> <p>Con un incremento en la temperatura las enfermedades virales podrían manifestarse con más incidencia y más rápido en el cultivo, ya que temperaturas arriba de los 25°C favorecen el incremento de las poblaciones de los vectores, particularmente la mosquita blanca y pulgón, con la agresividad de la epidemia aumentaría significativamente.</p>	<p>Implementar un monitoreo sistemático de los hongos y bacterias fitopatógenas para la toma de decisiones en el manejo de la enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada.</p> <p>Programar en forma precisa la cantidad y frecuencia del riego así como su aplicación para evitar encharcamientos prolongados.</p> <p>Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagonistas si se conjugan las condiciones de humedad relativa, proximidad del riego, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno.</p> <p>Para la prevención de enfermedades virales se sugiere ajustarse al período de siembra ya mencionado, utilizar variedades tolerantes y controlar oportunamente los vectores, particularmente la mosquita blanca y pulgón.</p>
Cosecha	<p>Como resultado del incremento de la temperatura o la variabilidad climática bajo el escenario planteado, el periodo del trasplante a floración podrá verse acortado o reducido al igual que el intervalo al primer corte, cuyos frutos serán de mala calidad (deformes).</p>	<p>Desarrollar técnicas de producción adaptadas a cambio climático con el fin de obtener frutos de calidad al momento de la cosecha.</p>
Costo de producción	<p>Los posibles cambios en la temperatura podrían generar lluvias severas ocasionando mayor incidencia de enfermedades, lo que elevarán el costo de producción. El aumento en la temperatura favorecerá el daño por las plagas, debido a que se corta su ciclo de vida. Las lluvias provocan que se detenga el riego en el cultivo, mas no la fertilización, la cual tiene que ser dirigida al cultivo, incrementando la mano de obra dedicada a esta labor.</p>	<p>La prevención de plagas y enfermedades mediante sistemas de alerta ayudan a disminuir el costo. Una mayor dosificación de fertilizantes, empleando la fertirrigación, aunado a un manejo eficiente del agua de riego evita la pérdida de nutrientes por volatilización y lixiviación, evitando la sobre fertilización del cultivo, disminuyendo costos.</p>

Praderas perennes de temporal

Uno de los problemas más importantes que limitan la productividad de las explotaciones ganaderas en las regiones tropicales es el manejo inadecuado de las praderas y agostaderos que, en su mayoría de los casos, se pastorean con una carga animal superior a su capacidad. El auge obtenido por los pastos perennes en el Estado de Sinaloa ha provocado su establecimiento, incluso en zonas de riego, aumentado su potencial productivo, esto debido principalmente a la resistencia a condiciones extremas de temperatura y errática precipitación, aunado a esto los costos de manejo de cultivo son muy bajos ya que al destinar el producto a la alimentación de ganado, no es necesario la exigencia de calidad en la producción. La naturaleza silvestre del cultivo lo hace inmune a la afectación por ataque de plagas y enfermedades reduciendo aun más los costos de producción. Basados en las bondades que muestra el cultivo referente a condiciones de CC, el **Cuadro 5.21** muestra las variables que sufrirán mayor afectación así como la respuesta del cultivo a estas, las cuales son aplicables para todo el estado de Sinaloa.

Cuadro 5.21 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de pastos perennes bajo temporal y propuesta de ajuste en el estado de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajuste
Requerimientos agroecológicos	La naturaleza silvestre de los pastos permite que se adapten a casi cualquier tipo de clima, sobreviven a precipitaciones bajas, resisten atmosferas extremadamente secas, y algunas especies toleran índices moderadamente altos de salinidad.	Este cultivo es altamente adaptable a condiciones de cambio climático.
Zonas	Los pastos dependiendo de la variedad pueden prosperar en cualquier zona de temporal del estado ya que son muy adaptables por su naturaleza silvestre.	Se adaptan a cualquier zona de temporal.
Fechas de siembra del cultivo	Al igual que los diferentes cultivos de temporal, los pastos se establecen antes o durante las primeras lluvias. El posible cambio en el patrón de precipitación será la condicionante para el establecimiento de este cultivo por lo que las fechas de siembra actuales no serán necesariamente las mismas.	Las posibles afectaciones del cultivo por movimiento en fechas de siembra no son significativas.
Preparación del terreno	La protección de lluvias anticipadas y severas pudiera atrasar la preparación del suelo, ocasionando que se retrase la siembra.	La siembra de este cultivo puede ser realizada manualmente y con presencia de excesos de humedad
Siembra	La siembra se realiza al voleo de forma manual por lo que difícilmente puede verse afectada por algún factor que impida realizar la siembra, ya que la semilla no necesita ser tapada para que germine.	No existen afectaciones de importancia en la labor.
Fertilización	A este cultivo generalmente no se le suministra cantidad significativa de nutrientes (60-80 Kg/ha de nitrógeno por año) por lo que las pérdidas de	Las dosis aplicadas a este cultivo indican que las posibles pérdidas de nutrientes por volatilización y lixiviación principalmente, no son significativas.

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajuste
	nutrientes por efecto del CC (altas temperaturas y cambio en el patrón de lluvias) no serían significativas.	

Sorgo temporal

El cultivo de Sorgo de temporal, destinado principalmente a la alimentación de ganado, no presenta mayores problemas para adaptarse a los posibles efectos de CC, ya que el cultivo es resistente a altas temperaturas y considerando que se pronostica que la media en precipitación se mantenga, se debe considerar como una opción de continuidad del cultivo, incluso se pronostica que la superficie establecida aumente considerablemente debido a lo anterior. Estos factores y sus ajustes se muestran a detalle a continuación en los **Cuadros 5.22** y **5.23** aplicables por su similitud de condiciones tanto a la zona centro como sur del estado.

Cuadro 5.22 . Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de sorgo bajo temporal y propuesta de ajuste en el centro y sur de de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajuste
Precipitación, Temperatura, Suelos (salinidad y drenaje)	<p>El sirgo prospera en zonas con precipitaciones de 450 a 650 mm, es un cultivo que se establece en primavera verano. La temperatura del suelo para la emergencia es de 12 a 14 °C; el umbral térmico de desarrollo es de 15 a 40 °C con un óptimo de 24 a 30 °C.</p> <p>Por su rusticidad prospera en una gran diversidad de suelos principalmente de textura franco-limosos, franco-arcillo-limosos, con profundidad de 1-2 m y buen drenaje, con un pH óptimo entre 5.5 y 7.5. y una conductividad eléctrica de 0-4 dS/m.</p> <p>Sus características fisiológicas lo ubican como poco vulnerable a temperaturas altas y sequías propias del escenario de CC esperado, además de su sistema radicular muy desarrollado y fibroso.</p>	Aprovechar su resistencia a factores como temperaturas elevadas, sequía y salinidad, y su rusticidad para prosperar en una gran diversidad de suelos para utilizarlo como alternativa de reconversión productiva.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 5.23 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de sorgo bajo temporal y propuesta de ajuste en el centro y sur de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajuste
Fecha de siembra	El cultivo de sorgo se establece con la presencia de las primeras lluvias (julio-agosto). El cambio en el patrón de lluvias pudiera provocar que estas se retracen o adelanten debido a la variabilidad climática; en este caso las variedades de ciclo intermedio y tardío pudieran ser mas afectadas por cambios en el patrón de lluvias, ya que estas deben establecerse durante el mes de julio, fecha en que podrían presentarse lluvias severas que impedirían la siembra, de no haber preparado el terreno, o bien no contar con las condiciones de humedad si las lluvias se retrasan, condicionando el uso de genotipos de ciclo corto cuya expectativa de rendimiento es menor.	Anticipar la preparación del suelo al mes de julio, o si el terreno lo permite implementar sistemas de siembra con labranza reducida o de conservación con la cual se requiere un tiempo mínimo de inversión de tiempo para tener el suelo en condiciones para la siembra y poder emplear los materiales de ciclo largo preferentemente. Generar y utilizar genotipos con tolerancia al estrés hídrico y térmico.
Cosecha de agua	El régimen de precipitación es de 350 a 700 mm distribuidos principalmente en los meses de julio a noviembre, el cual no se modificara de acuerdo al escenario de CC esperado; esta cantidad de lluvia es similar a la requerida por el sorgo (400-450 mm), sin embargo lo errático de su distribución pluvial y el escurrimiento, repercute en que la cantidad de agua disponible en algunas etapas fenologicas criticas este por debajo de la requerida, afectando el rendimiento. Por otra parte se espera un incremento de la temperatura ambiental que puede provocar o favorecer una mayor evapotranspiración y con ello que el déficit de humedad sea mayor.	Implementar prácticas de captación y conservación como el pileteado o formación de cuencas o “contras” entre los surcos para captar y distribuir en forma mas uniforme el agua de lluvia, la que se puede realizar en forma simultánea a la siembra, escarda o cultivo. Promover los sistemas de labranza reducida o de conservación en los que los residuos vegetales, parcialmente o no incorporados, juegan un papel importante al reducir la insolación y disminuir el impacto de las gotas de lluvia así como la evaporación y el encostramiento, favoreciendo la conservación de la humedad en el perfil y la reducción del deterioro del suelo, además del efecto benéfico en el contenido de materia orgánica.
Fertilización	La aplicación del fertilizante en la zona de temporal, comúnmente se realiza en una sola aplicación, en presiembra, esto con el fin de lograr la disolución de estos con el agua de las lluvias; esto tiene el riesgo de perdidas, en el caso de nitrógeno, por volatilización o lixiviación de hacerse con mucha anticipación a la siembra y se dan condiciones secas o de exceso de humedad, lo que provoca perdidas, principalmente de nitrógeno. Por otra parte el escenario de CC esperado plantea incrementos en la temperatura, si bien es cierto no afectaran fisiológicamente al cultivo, si influye en una mayor temperatura del suelo que puede perjudicar la actividad microbiana de este y un aceleramiento en la descomposición de la materia orgánica en deterioro de su fertilidad.	No realizar aplicaciones de fertilizantes en presiembra, a menos que un análisis de suelos determine como critico su aplicación, en cuyo caso seria principalmente a base de nitrógeno y fósforo como potasio; fertilizar durante el ciclo si las lluvias proporcionan humedad suficiente para su incorporación y la etapa así lo determina. Realizar la inoculación de la semilla con biofertilizantes, combinada con la fertilización química, para promover la fijación biológica de nitrógeno y fósforo y un mayor volumen radicular que favorezca la exploración de un mayor volumen de suelo y la absorción de agua. Evitar dejar el fertilizante sobre la superficie del suelo y al aplicarse de preferencia que el suelo no este seco e incorporarse inmediatamente para reducir la volatilización.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajuste
		La biofertilización puede llegar a sustituir la fertilización química.
Plagas	<p>El incremento de la temperatura afectaría la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando mayor número de generaciones de estos en el cultivo. Sin embargo, este incremento en la velocidad de desarrollo podrá ser o no ventajoso para algunos, ya que así como existen rangos óptimos de temperatura, existe una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo. Eventualmente se modificará el tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, antes o después de lo "normal". El incremento de temperaturas podría ocasionar que en fechas de siembra tempranas e intermedias se presenten condiciones de presencia y daño por plagas parecido a como históricamente ha sucedido en siembras tardías. Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga se incrementarán al aumentar la velocidad de desarrollo y el número de generaciones. Se espera presencia anticipada y daño de mosca midge, la principal plaga del cultivo, así como de gusano cogollero dañando el punto de crecimiento, pero también incrementando su comportamiento como barrenador del tallo. Otras plagas que aumentaría su presencia y daño, es el trips, chicharritas y araña roja. Probablemente los áfidos con requerimientos de temperaturas relativamente frescas y moderada humedad relativa, sean afectados negativamente, con un periodo menor de condiciones ambientales apropiadas.</p>	<p>Las actividades más importantes para contrarrestar el efecto del CC en los insectos, es implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generando, validando y calibrando modelos fenológicos, para definir criterios de decisión.</p> <p>El combate de los insectos plaga tendrá que basarse más en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra y otras de tipo biorracional.</p>
Enfermedades	<p>Con un incremento en la temperatura las enfermedades fungosas podrían manifestarse mas frecuentemente en el cultivo, pero por otro lado este incremento podría ser no ventajoso para que esto se logre, ya que también necesitan de una humedad relativa alta para que se presenten. Eventualmente se modificaría el tiempo de aparición de las enfermedades, debido al periodo de tiempo donde las condiciones de temperatura y humedad relativa sean las idóneas para el ataque de estos hongos fitopatógenos.</p>	<p>Implementar un monitoreo sistemático de los hongos fitopatógenos para la toma de decisiones en el manejo de la enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada.</p> <p>Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagónicos si se conjugan las condiciones de humedad relativa, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno.</p>

5.4 CULTIVOS DE LA ZONA SUR

Tomate riego

La zona sur del Estado, debido principalmente a su ubicación y orografía, no presentara afectación de consideración por efecto del CC, dando continuidad al establecimiento de mosaicos de cultivo actuales. Las variables agroclimáticas y de manejo que resultarán mas afectadas por su similitud se mencionan en los **Cuadros 5.17 y 5.18** en el apartado de la zona centro.

Chile verde riego

El chile es un cultivo semiperenne, ya que su ciclo puede llegar a durar hasta 10 meses, analizando los posibles efectos que tendría el CC en la temperatura principalmente y la posible prolongación de la temporada cálida, disminuyendo la temporada fría, su establecimiento se limitará solo a los meses de noviembre-enero. Entre otras cosas esto provocaría que la temporada de cosechas (que inicia a partir de diciembre) se viera afectada negativamente, disminuyendo la duración de su ciclo y por ende su nivel productivo, dicho análisis se presenta por similitud de condiciones en los **Cuadros 5.19 y 5.20** de la zona centro.

Frijol temporal

La limitada superficie, que presenta la zona sur, con topografía ideal para la producción agrícola adaptada a la modalidad de riego, obliga a establecer cultivos, como el frijol, bajo temporal, esto presenta inconvenientes de importancia, como los excesos de humedad, ya que el cultivo es sensible a este factor, por la posible presencia de lluvias severas durante el ciclo del mismo. La probable influencia de los efectos del CC en esta zona, es limitada, por lo que con solo ajustar fechas de siembra con el fin de evitar, lo más posible la temporada de fuertes lluvias, el cultivo podrá seguir desarrollándose, como se explica en los **Cuadros 5.24 y 5.25**.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 5.24 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de frijol bajo temporal y propuesta de ajuste en el sur de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajuste
Precipitación	La afectación que tendría la zona sur en cuanto a precipitación, no será significativa, ya que se prevé, se mantenga en la misma cantidad en la zona de temporal, pudiendo presentar solo el problema de severidad; los posibles efectos del CC a nivel general podrían disminuirla o en su caso aumentarlas ocasionalmente que tampoco beneficia al cultivo	Implementar sistemas de producción (diferentes tipos de distribución de semilla) que eviten la retención de excesos de humedad causados por posibles lluvias severas.
Humedad Ambiental	Las características tropicales de la zona proporcionan una atmosfera idónea para el desarrollo del cultivo, sin embargo la inestabilidad en el comportamiento de la temperatura principalmente causado por CC, podrían causar ocasionalmente atmosferas secas que no beneficien al cultivo.	Ajustar fechas de siembra que eviten en medida de lo posible, la presencia de días calurosos durante el desarrollo del cultivo.
Temperatura	El rango térmico para crecimiento del cultivo es de 2 a 27 °C, con un óptimo de 18°, las características climáticas de la zona no generan actualmente problema alguno para el buen desarrollo del mismo, el posible aumento en la temperatura por efectos del CC modificara estas condiciones generando condiciones adversas al cultivo en su desarrollo.	Modificar fechas de siembra con base a los movimientos de los patrones de temperatura, con el fin de evitar temperaturas nocivas para el cultivo (temperaturas altas).
Salinidad	Esta zona presenta características de clima tropical, los problemas de salinidad difícilmente afectaran a los cultivos establecidos en su área de influencia. Este cultivo es sensible a la salinidad (0-1.6 dS/m) por lo que un ligero aumento en esta, causado por efectos del CC, lo podría afectar.	Establecer el cultivo en zonas libres de problemas de salinidad ya que el cultivo es intolerante a estas.

Cuadro 5.25 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de frijol bajo temporal y propuesta de ajuste en el sur de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajuste
Área de influencia	Por las características tropicales que presenta esta zona, hacen posible el establecimiento del cultivo en todos los municipios influenciados, siempre y cuando cuenten con terrenos planos y con buen drenaje ya que las lluvias de temporal podrían causar inundaciones que afectan negativamente al mismo. Al no pronosticarse cambios significativos por efecto del CC en cuanto a volumen de lluvias, los posibles problemas serian causados por la severidad de estas, ya que la intensidad, se proyecta que si aumente.	Modificación en los sistemas de producción (trazo de surcos principalmente) con el fin de evitar encharcamientos en el cultivo que provoquen problemas en la planta.
Épocas de siembra del	Se prevé que la cantidad de precipitación se mantenga para la zona sur, la severidad de las lluvias podría aumentar a causa del CC, alterando	Establecer el cultivo evitando los meses de temporadas de lluvias fuertes (junio-septiembre)

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajuste
cultivo	las fechas en que estas se presentan (normalmente junio-septiembre), los excesos de lluvia afectarían las zonas con manto freático poco profundo, retrasando la siembra ya que las condiciones optimas del terreno tardarían en presentarse a causa del exceso de humedad. La época de siembra para el cultivo de frijol de humedad residual en el sur de Sinaloa está comprendida del 15 de octubre al 15 de diciembre.	Realizar labores de preparación que eviten los encharcamientos, así como las que sirvan para la eliminación de excesos de humedad (cultivos).
Preparación del terreno	La condicionante para las labores de preparación del terreno será la presencia de las lluvias y su intensidad, el posible cambio en el patrón de precipitación afectaría labores claves, causando retraso en el establecimiento del cultivo repercutiendo en la producción.	Evitar realizar labores que retengan los excesos de humedad (labores profundas)
Siembra	Los altos contenidos de humedad en el suelo, causados por fuertes lluvias en fechas cercanas al establecimiento del cultivo, provocarían problemas en las labores de siembra causando un retraso que a su vez generaría problemas con presencia de plagas principalmente. El posible cambio en patrones de precipitación influenciado por efectos del CC, aunado al aumento en la intensidad de lluvia pudiera impedir las siembras en tiempo y forma.	Adecuaciones en la maquinaria de siembra que permitan trabajar con excesos de humedad. Tratamientos de semilla que eviten enfermedades causados por hongos y bacterias harían posible la siembra del cultivo.
Fertilización	Los suelos de aluvión y barrial tienden a guardar un aceptable nivel de fertilidad, en siembra de frijol con humedad residual. Esto ayuda a no realizar adición de fertilizantes; esta cualidad podría verse afectada si los efectos del CC propician las condiciones para la presencia de fuertes lluvias que causarían el lavado de nutrientes en el suelo. Esto provocara que el suelo requiera de la adición de fertilizantes por lo que el costo de producción aumentaría considerablemente.	No presenta problemas debido a las características de retención de nutrientes de los suelos de la zona. Si es necesaria la adición de fertilizantes, aplicar fuentes solubles de preferencia, ya que se asimilan más pronto reduciendo las perdidas por volatilización.
Plagas y enfermedades	El posible incremento en la temperatura impactaría en la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando mayor número de generaciones de estos en el cultivo. El incremento en la velocidad de desarrollo podría ser o no ventajoso para algunos, ya que existen rangos óptimos de temperatura, y una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo. El tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, podría variar antes o después de lo "normal". Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga se incrementarían al aumentar la velocidad de desarrollo y el número de generaciones. Se espera mayor presencia y daño de mosca blanca por el virus que transmite en el cultivo. Otras plagas que es posible que aumente su presencia y daño, es la chicharrita y trips. Probablemente los áfidos con requerimientos de	Las actividades más importantes para contrarrestar el efecto del CC en los insectos, es implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generando, validando y calibrando modelos fenológicos, para definir criterios de decisión. El combate de los insectos plaga tendrá que basarse más en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra. Y otras de tipo biorracional.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajuste
	temperaturas relativamente frescas y moderada humedad relativa, sean afectados negativamente, por el periodo menor de condiciones ambientales apropiadas.	
Cosecha	Considerando las tres fases de la cosecha: 1) arranque, 2) enchORIZADO (alomillado) y 3) trilla, las cuales se realizan en el momento determinado por el contenido de humedad de la planta, estimado empíricamente en base a días después de siembra. El posible incremento de temperatura modificaría la oportunidad de cada fase y la cosecha se aceleraría. La trilla óptima se sugiere cuando el grano tiene del 12-14% de humedad.	La aplicación de software que ayuden a la estimación del momento exacto de trilla evitando la excesiva pérdida de humedad del grano que impedirán una buena labor de cosecha.

Mango temporal

El establecimiento de cultivos perennes, como el mango, bajo la modalidad de temporal en la zona sur, ha tenido un empuje significativo debido a las características tropicales de la región que benefician su desarrollo, la topografía del área conlleva a la utilización de este tipo de cultivos ya que se establecen con facilidad en terrenos con pronunciados declives, es importante mencionar que esta zona es la que registra la mayor superficie destinada al cultivo de Mango en todo el estado. Debido a su ubicación tendría menores efectos causados por el CC comparado con la zona centro y norte, y tomando en cuenta la resistencia de los cultivos perennes, su desarrollo difícilmente se vería afectado, por lo que se pronostica que la producción continúe debiendo solo realizar algunos ajustes en sus requerimientos agroecológicos (**Cuadro 5.26**) y manejo agronómico (**Cuadro 5.27**).

Cuadro 5.26 Impacto del cambio climático en las variables agroecológicas para el cultivo de mango bajo temporal y propuesta de ajuste en el sur de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajustes
Precipitación	El cultivo se adapta a regiones donde existen una estación seca y una estación húmeda bien definidas. Por ser un cultivo perenne, tiene cierta resistencia a los posibles efectos del CC. Es importante señalar que la temporada de cosecha en el estado (junio-septiembre) coincide con la temporada de lluvias (finales de junio a septiembre), las cuales se prevé aumenten su intensidad considerablemente, esto causaría problemas para la recolección del fruto así como pérdidas en producción y calidad (enfermedades) con el azote de fuertes lluvias. (Riegos)	Implementación de sistemas de riego eficientes, adecuación de técnicas de desfaseamiento de cosecha.
Humedad relativa	Se ve afectado por atmósferas secas acompañadas de altas temperaturas dañando sobre todo a frutos jóvenes y hojas. La reducción de la temporada de frío	Establecimiento de sistemas de riego presurizado para amortizar las altas temperaturas e incrementar la

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajustes
	(finales de noviembre-enero) indican que la temporada de calor iniciara antes de lo normal (abril) registrándose un aumento en las temperatura a partir del mes de febrero, fecha que coincide con el inicio de la fructificación del mango, etapa sensible a altas temperaturas y atmosferas secas.	humedad relativa, modificar el arreglo topológico y/o las densidades de población.
Temperatura	Aun con el aumento de temperatura previsto para todo el Estado en general, el rango en que fluctúa la temperatura del cultivo es muy amplia (4 a 42 °C, con una media óptima para la fotosíntesis y desarrollo de 24-27 °C). La posible inconsistencia en las temperaturas por efectos del CC podrían coincidir o incrementarse aun mas en etapas criticas del cultivo afectándolo en su desarrollo.	Desarrollo de sistemas de alerta climática.
Salinidad	No prospera en suelos calcáreos ni salinos 0.9-1.6 dS/m. El alargamiento de las temporadas de calor pronosticadas a causa del CC provocara una excesiva evaporación en el suelo que a su vez causa que las sales emerjan a la superficie afectando al cultivo.	Manejo de pastos cubierta vegetal tolerantes salinidad

Cuadro 5.27 Impacto del cambio climático en el manejo agronómico del cultivo de mango bajo temporal y propuesta de ajuste en el sur de Sinaloa

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajustes
Establecimiento y/o recuperación de huertos	Variedades actuales pueden ser afectadas por los efectos del cambio climático.	Manejo de densidades de población y arreglo topológico, variedades tolerantes a escenarios de cambio climático
Fertilización	La fertilización de cultivos perennes como el mango en zonas de temporal, son una práctica que se realiza comúnmente cada año (la dosis depende de la edad del árbol), esto indica que las dosis no son muy altas y es una labor manual, por lo que su afectación radica en la perdida por volatilización a causa de altas temperaturas y por una mala realización que provoque el lavado de nutrientes en terrenos con pendiente al momento de la presencia de lluvias (en terrenos con pendientes fuertes el fertilizante se coloca en la base superior del árbol en relación al declive).	Establecimiento de sistemas de fertirriego, para reducir las pérdidas por lixiviación o volatilización
Plagas	Las plagas más importante de este cultivo son la moscas de la fruta, escamas (<i>coccus mangiferae</i>) y hormigas. Existen varias especies, pero las comunes son <i>Atta mexicana</i> , <i>conomyrna sp.</i> , <i>Ectatomma ruidum</i> e <i>Iridomyrmex humiles</i> . El CC afectaría la velocidad de desarrollo de los insectos en general (dañinos y benéficos), provocando un mayor número de generaciones en el	Las actividades sugeridas para contrarrestar el posible efecto del CC en los insectos, es implementar un monitoreo sistemático de los mismos, generando modelos fenológicos calibrados, para definir criterios de decisión. El combate de los insectos plaga

Evaluación del impacto del cambio climático
 FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Variable o factor vulnerable	Especificaciones	Ajustes
	<p>cultivo. Pero este incremento en la velocidad de desarrollo podría ser o no favorable para algunos, ya que así como existen rangos óptimos de temperatura, existe una velocidad óptima de acumulación de temperatura efectiva de desarrollo.</p> <p>Es probable se modifique el tiempo de aparición y desaparición de las especies insectiles en el campo, antes o después de lo "normal". Las fallas de los insecticidas debido a degradación por radiación, condiciones inapropiadas para utilizarlos, y los problemas por resistencia de los insectos plaga podrán verse incrementados al aumentar la velocidad de desarrollo y mayor número de generaciones.</p>	<p>tendrá que basarse más en el manejo ecológico, con énfasis en el control biológico y otras medidas culturales, como la fecha de siembra y otras de tipo biorracional.</p>
Enfermedades	<p>El inicio de la temporada de lluvias está asociado con la aparición de enfermedades fungosas ya que reúne las condiciones idóneas (alta humedad relativa y temperaturas de 18-30 °C). Los posibles efectos del CC para la proliferación de estas enfermedades serian las torrenciales y severas lluvias que provocaran un ambiente húmedo prolongado por varios días que hicieran subir la humedad relativa hasta un 90% óptima para el ataque de hongos fitopatógenos.</p>	<p>Implementar un monitoreo sistemático de los hongos fitopatógenos para la toma de decisiones en el manejo de la enfermedad y ajustarse a la fecha de siembra recomendada.</p> <p>Aplicación preventiva de fungicidas o de microorganismos antagónicos si se conjugan las condiciones de humedad relativa, temperatura, etapa fenológica y se tienen antecedentes de su presencia en el terreno.</p>
Costos	<p>Los incrementos de insumos para la producción podrían incrementarse por modificaciones en los paquetes tecnológicos</p>	<p>Modificación de las políticas de gobierno, establecimiento de subsidios en insumos, apoyos para la comercialización</p>

6. ADAPTACIÓN DE LA AGRICULTURA DE SINALOA AL CAMBIO CLIMÁTICO

CONTENIDO

6.1 INTRODUCCIÓN	265
6.2 IMPORTANCIA DE LA ADAPTACIÓN	266
6.3 TENDENCIAS Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA AGRICULTURA DE SINALOA	268
6.3.1 AGRICULTURA DE RIEGO	269
6.3.2 AGRICULTURA DE TEMPORAL	269
6.4 ACCIONES DE ADAPTACIÓN PARA LA AGRICULTURA DE SINALOA	270
6.4.1 ADAPTACIÓN A CORTO PLAZO (RESILIENCIA) DE LA AGRICULTURA	272
i. Acciones generales	272
6.4.2 ADAPTACIÓN A LARGO PLAZO DE LA AGRICULTURA.....	275
i Acciones generales	275
ii. Acciones específicas para la agricultura de riego.....	277
iii. Acciones específicas para la agricultura de temporal	278
6.5 DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS DE ADAPTACIÓN	279
6.5.1 TÉCNICAS DE ADAPTACIÓN PARA LA AGRICULTURA DE RIEGO	280
i. Técnicas de adaptación a corto plazo	280
ii. Técnicas adaptación a largo plazo	291

*Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura
de riego y temporal del estado de Sinaloa*

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

6.5.2 TÉCNICAS DE ADAPTACIÓN PARA LA AGRICULTURA DE TEMPORAL
297

6.6 GRANDES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SINALOA..... 301

6.7 REVISIÓN Y AJUSTE DE POLÍTICAS GUBERNAMENTALES..... 301

6.8 LITERATURA CITADA..... 308

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 6.1 . Diferentes conceptualizaciones del cambio climático y adaptación.	267
Figura 6.2 Riesgo actual de un sistema productivo y cambio en la zona de tolerancia a una variable climática por acciones de adaptación.....	268
Figura 6.3 Rendimiento relativo versus lamina neta aplicada para varios valores de Ky	282
Figura 6.4 Riego en camas con surcos pequeños es muy eficiente para forzar el movimiento lateral con una superficie superficial evaporativa pequeña.....	283
Figura 6.5 Flujo deseable de la humedad en riego por surcos alternos.....	284
Figura 6.6 . Esquemática del riego con reducción en el gasto	284
Figura 6.7 Ejemplo de comportamiento para un día del Déficit de Presión de Vapor	285
Figura 6.8 Comparación del intervalo entre generaciones en los distintos escenarios climáticos	286
Figura 6.9 Sistema de alerta para el carbón parcial de trigo en el estado de Sonora	286
Figura 6.10 Eficiencia del riego y nitrógeno en dos sistemas de riego de baja presión (MCLF y MCPVC) y en riego convencional (RC) con surcos a 0.75 m en maíz. INIFAP-CEVAF. 2006-2007.....	288
Figura 6.11 Monitoreo y predicción de la fenología en el módulo de riego Santa Rosa del DR 075, Río Fuerte Sinaloa	289
Figura 6.12 Ejemplos de agricultura protegida.....	291
Figura 6.13 Componentes de los flujos de agua durante su distribución desde la fuente a la parcela.....	292
Figura 6.14 Cultivo afectado por efecto del CC.....	293
Figura 6.15 . Parcelas manejadas mediante agricultura de conservación (siembra directa)	295

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

Figura 6.16 Pronóstico de temperatura a corto plazo.....	296
Figura 6.17 . Proceso de capacitación y servicio de riego a técnicos con acceso a la informática	296
Figura 6.18 Pileteadora para la reducción de escurrimientos superficiales.....	300
Figura 6.19 Componentes del Sistema de Pronóstico del Riego en Tiempo Real	303
Figura 6.20 Programación integral y gestión del riego a través de internet.....	304
Figura 6.21 Sistema de alerta de riego mediante dispositivo móvil.....	305
Figura 6.22 Sitio web con aplicaciones en programación del riego.....	306
Figura 6.23 Recomendación del Banco Mundial para la adaptación al cambio climático de América Latina.....	307

CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 6.1 . Distribución de riegos aplicados y uso del agua en maíz otoño-invierno 02-03 Módulo de riego Batequis-DR075.....	280
Cuadro 6.2 Valores del parámetro K_y para algunos cultivos agrícolas (Doorembos y Kassan, 1986).	282
Cuadro 6.3 Requerimientos de riego del maíz grano para diferentes fechas de siembra en el módulo de riego Batequis, DR-075	289
Cuadro 6.4 Estimación de la duración del ciclo fenológico del maíz por fases bajo condiciones de clima actuales.....	290
Cuadro 6.5 Estimación de la duración del ciclo fenológico del maíz por fases bajo para el periodo 2011-2040	290
Cuadro 6.6 Estimación de la duración del ciclo fenológico del maíz por fases bajo para el periodo 2041-2070	290
Cuadro 6.7 Estimación de la duración del ciclo fenológico del maíz por fases bajo para el periodo 2071-2098	291
Cuadro 6.8 Acciones de adaptación al cambio climático aplicables a los diferentes cultivos de riego del estado de Sinaloa.	297
Cuadro 6.9 Acciones de adaptación para los cultivos de temporal de Sinaloa ...	300

6.1 INTRODUCCIÓN

Existen dos opciones de respuesta para reducir el riesgo derivado del cambio climático: mitigación y adaptación. La mitigación se refiere a limitar el cambio climático a través de una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y en su secuestro a través de sistemas de captura terrestres. La adaptación se centra en moderar los efectos adversos de un cambio climático inevitable a través de acciones en los sistemas vulnerables. En el contexto del cambio climático, la adaptación en la agricultura se refiere al ajuste en parte o la totalidad de los sistemas productivos en respuesta a un estímulo climático para reducir la vulnerabilidad al clima por parte de los agricultores, instituciones, empresas, organizaciones y tomadores de decisiones relacionados con las actividades agrícolas.

La agricultura no sólo es víctima de las repercusiones del cambio climático, también es fuente responsable de parte de la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, mediante la emisión de óxido nítrico por el uso de fertilizantes nitrogenados y la quema de pajas y diésel por el uso excesivo de maquinaria en la preparación del suelo, por mencionar algunos, prácticas que son comunes en el estado de Sinaloa; en este sentido la agricultura juega un papel muy importante en el ciclo del carbono, se puede mantener o incrementar el contenido de carbono en el suelo mediante prácticas agrícolas como labranza mínima o cero, entre otras, con las cuales es factible su secuestro o fijación en el suelo.

Las acciones de mitigación de gases de efecto invernadero son importantes, sin embargo se requieren previamente definir acciones de adaptación para responder de una manera integral a los impactos actuales y potenciales del cambio climático considerando la vulnerabilidad de los sectores productivos.

Los agricultores del estado de Sinaloa han desarrollado acciones de adaptación a lo largo de la historia para afrontar las consecuencias de la variabilidad climática en sus sistemas productivos. Sin embargo, por efecto del cambio climático en los patrones típicos de las variables climáticas precipitación y temperatura, estos cambios pueden ser tan intensos que superen la capacidad de adaptación de los productores. Los sectores productivos del estado de Sinaloa que se encuentran en altitudes inferiores cercanas a las costas están más expuestos a los impactos del cambio climático como inundaciones, sequías, ciclones y plagas y enfermedades. Varios sectores agrícolas de Sinaloa son muy vulnerables al cambio climático por tener una gran dependencia de las actividades agrícolas que son muy sensibles a las condiciones ambientales, siendo los agricultores de temporal, en zonas marginadas, los más vulnerables por su limitado acceso a tecnología y mercado.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

En el presente documento se analizan las principales acciones de adaptación para el estado de Sinaloa en dos grandes grupos:

- Identificación de tecnologías y prácticas agrícolas apropiadas a los sistemas productivos del estado que permitan disminuir la vulnerabilidad de dichos sistemas a la variabilidad y el cambio climático
- Identificación de la estrategia gubernamental para reducir la vulnerabilidad climática de la agricultura de Sinaloa

6.2 IMPORTANCIA DE LA ADAPTACIÓN

Estimar la repercusión causada por cambio climático en el futuro está en función de las asunciones sobre el desarrollo socioeconómico concurrente esperado. La comparación de estas estimaciones es difícil ya que depende del tipo y nivel de las medidas de adaptación implantadas. Existen diferentes niveles de ajuste en relación al nivel de los impactos relacionados con el clima derivados de la variabilidad y su efecto; Füssel y Klein, 2006 ejemplifican estos niveles de adaptación (**Figura 6.1**).

La trayectoria inferior de dicha figura denota el caso de referencia de un clima inalterado donde las variaciones en el nivel de los impactos temporales son causadas por cambios debido a factores no climáticos, dicha trayectoria presenta un incremento inicial relacionado con el clima (ejemplo, al crecimiento poblacional), posteriormente presenta un decremento sustancial (ejemplo, al desarrollo económico). La segunda del “agricultor clarividente” (en inglés conocido como clairvoyant farmer) que tiene un visión de las condiciones climáticas futuras y no presenta restricciones para implantar medidas de ajuste. La trayectoria superior se denomina la del “agricultor tonto” que no reacciona a las señales del cambio climático, seguida con la del “agricultor típico” que solamente ajusta sus prácticas de manejo en forma reactiva a los cambios persistentes del clima, y la tercera, del “agricultor inteligente” que usa la información disponibles en las condiciones futuras esperadas para ajustar su sistema productivo en forma proactiva; Las barras a la derecha ilustran las correspondientes interpretaciones del término “impactos climáticos”, variando de potenciales (asumiendo no adaptación) a inevitables (asumiendo adaptación perfecta).

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

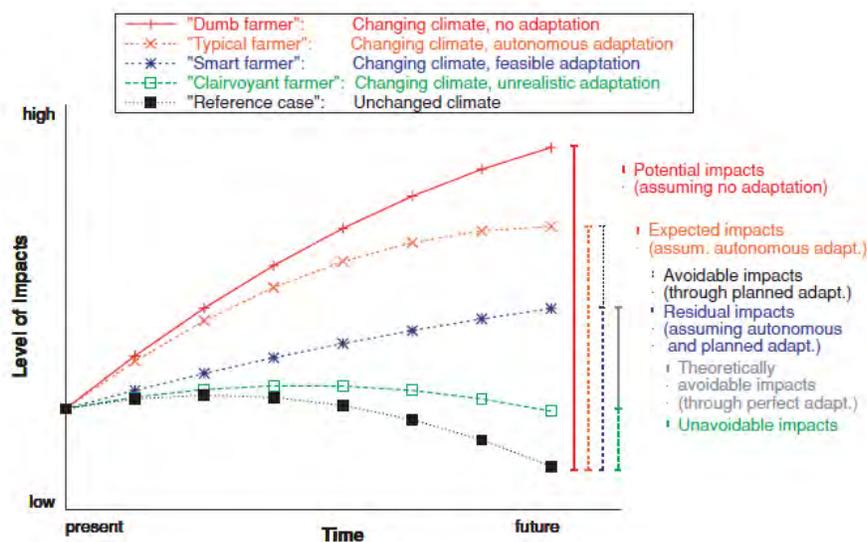


Figura 6.1 . Diferentes conceptualizaciones del cambio climático y adaptación.

La **Figura 6.2** presenta el riesgo actual de un sistema productivo, donde se describen dos zonas para una variable climática de interés, por ejemplo la precipitación. Existe un rango de tolerancia de la precipitación donde el sistema productivo responde satisfactoriamente, sin embargo si los valores de esta variable climática salen del rango de tolerancia, el sistema será vulnerable a dichos cambios y los resultados pueden ser catastróficos para los productores. En este sentido, un sistema productivo muy vulnerable sería cuando el rango de tolerancia en los valores de la variable climática es muy angosto. El establecimiento de los ajustes en los sistemas productivos por medio de acciones de adaptación permite ampliar el rango de tolerancia de la/las variables climáticas alteradas, sin causar efectos catastróficos para los productores como se presenta en la **Figura 6.2**. Las acciones de adaptación no eliminan los posibles efectos climáticos sobre los sistemas de producción, sino que permitan tolerar valores más extremos en las condiciones climáticas que pueden ocasionar alteraciones o siniestros en la producción de dichos sistemas.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

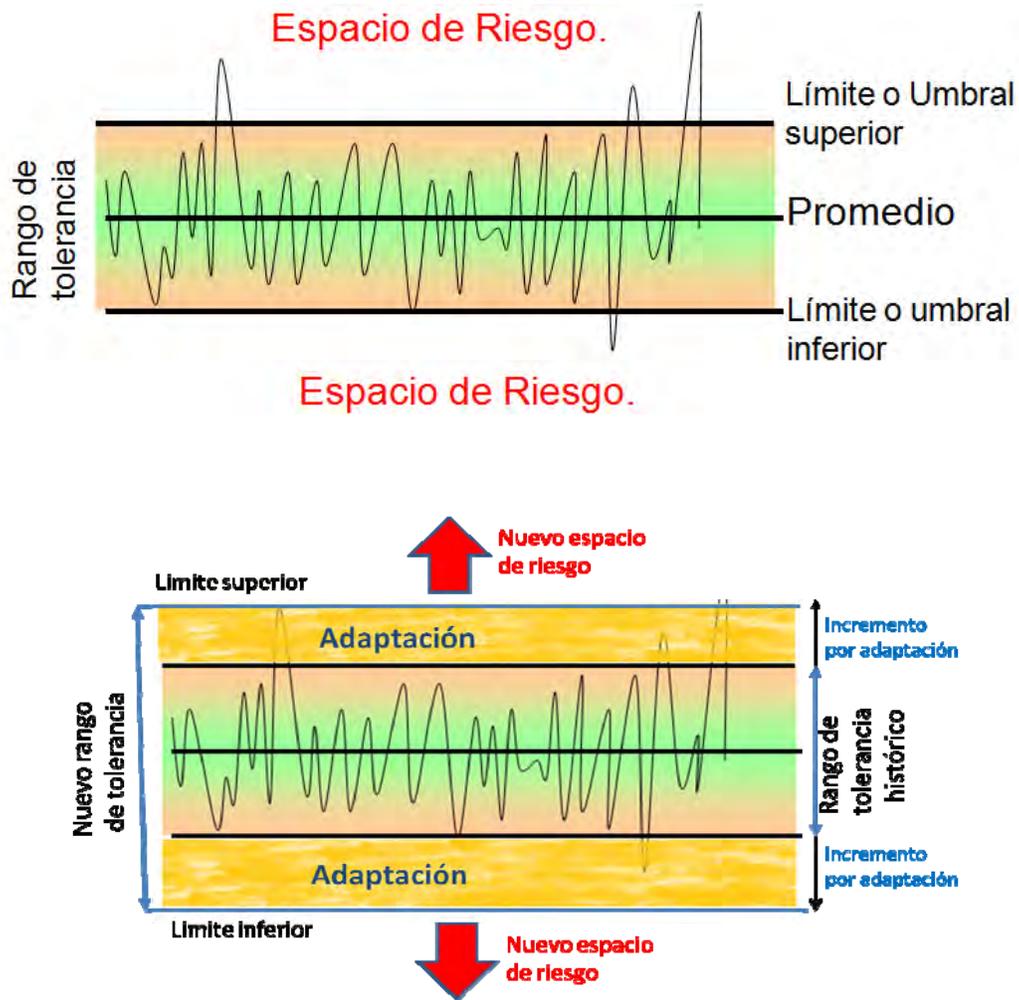


Figura 6.2 Riesgo actual de un sistema productivo y cambio en la zona de tolerancia a una variable climática por acciones de adaptación

6.3 TENDENCIAS Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA AGRICULTURA DE SINALOA

Los cambios técnicos, institucionales y socioeconómicos de los últimos 30 años han transformado la agricultura de Sinaloa, principalmente bajo riego. Aunque la dirección y tasa de los cambios futuros son inciertas, es importante analizar la tendencia y su situación actual.

6.3.1 AGRICULTURA DE RIEGO

La agricultura de riego ha mostrado una tendencia al uso intensivo de insumos agrícolas para lograr un incremento en el rendimiento de los diferentes cultivos. Por ejemplo, el rendimiento promedio de maíz ha manifestado un incremento anual de $290 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a partir de 1982, mientras que en el frijol es de $75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Sin embargo, estas tasas de crecimiento podrían disminuir por impacto del cambio climático, debido al aumento de la temperatura ambiental y a la disminución de la precipitación. Igualmente se observa una tendencia hacia el monocultivo del maíz debido a su rentabilidad, que puede poner en riesgo la sustentabilidad de la agricultura de riego y presentar una mayor vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático.

En el aspecto socioeconómico, la agricultura de riego de Sinaloa ha mostrado una tendencia a la concentración de la tierra (menos productores y más superficie por productor), además la tecnificación de la agricultura ha restringido la generación de empleos y favorecido la emigración de la población rural a los centros urbanos, principalmente Mazatlán, Culiacán y Los Mochis. El incremento en los costos de los insumos como semillas, pesticidas, fertilizantes y combustibles, ha disminuido la rentabilidad de la agricultura, la cual ha sido agravada por problemas en la comercialización y por la limitada planeación en el sector agrícola. La captación de apoyos del Gobierno Federal ha facilitado el desarrollo de la agricultura en el estado.

La recurrencia de sequías ha puesto en alerta varias regiones agrícolas del estado ya que la reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos ha disminuido la intensidad del uso de la tierra. La superficie sembrada se concentra principalmente en cultivos de otoño-invierno, y se presenta una fuerte reducción de segundos cultivos en el ciclo primavera-verano. Factores como el uso excesivo de agroquímicos (principalmente fertilizantes), el monocultivo de maíz, la baja eficiencia del riego, entre otros, han favorecido la degradación de los suelos. Ante estas circunstancias, combinado con el incremento en la variabilidad climática, los problemas de degradación del suelo y el agua podrían poner en riesgo la sostenibilidad de la agricultura de las zonas de riego del estado. Aunado a ello el deterioro ambiental creciente limitará, en un futuro próximo, el desarrollo de la agricultura de riego bajo un esquema de uso intensivo e indiscriminado de agroquímicos.

6.3.3 AGRICULTURA DE TEMPORAL

La agricultura de temporal es más vulnerable que la de riego, debido al bajo nivel tecnológico de los productores, el grado de fraccionamiento y baja calidad de sus terrenos, entre otros factores; por otra parte, la fuerte variabilidad de la precipitación ha

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

limitado el desarrollo y rentabilidad de la agricultura de secano. La exportación de productos agrícolas de zonas temporales es mínima, con excepción del garbanzo cuya producción se exporta en su totalidad. Los apoyos gubernamentales hacia los productores temporales no se dirigen a mejorar las actividades de su proceso productivo, sino a mantenerlos en sus lugares de origen y evitar su migración a las zonas urbanas.

La baja calidad de los suelos por su topografía irregular y profundidad, aunados a deficientes procesos productivos ha generado una mayor degradación de los suelos y de los recursos naturales. Este contexto desfavorable podría agravarse bajo un escenario de cambio climático, que prevé un incremento de lluvias torrenciales en la región; el cambio de uso del suelo, de forestal a agrícola, ha aumentado el deterioro de estas zonas.

El cambio climático incrementará los riesgos de la producción de temporal. Por ello, el Estado deberá instrumentar políticas y estrategias gubernamentales para reducir estos impactos, más allá del pago por desastres como el FONDEN o el PACC.

6.4 ACCIONES DE ADAPTACIÓN PARA LA AGRICULTURA DE SINALOA

Las zonas de riego de Sinaloa se encuentran entre las más productivas del país debido a la conjugación favorable de factores destacando los climáticos, edáficos, sociales y tecnológicos. El estado tiene el mayor índice de producción en maíz con un rendimiento de 10.6 ton·ha⁻¹ de grano obtenido en el ciclo otoño invierno 2009-2010 en una superficie de 442,000 con un volumen de producción de 4'714,313 ton, además es uno de los principales productores de hortalizas como tomate y papa, estableciéndose en el mismo ciclo una superficie de 13,742 y 10,000 ha, respectivamente, con una producción de 710,690 y 275,400 ton, en el mismo orden. Lo anterior muestra que el desarrollo del estado este asociado a las actividades agrícolas, sin embargo, el impacto del cambio climático en este sector, puede tener graves repercusiones que pueden acentuarse por problemas económicos, sociales y ambientales. Ante esta situación el estado debe concebir e implementar políticas públicas que permitan atenuar dichos impactos de manera anticipada.

Históricamente se ha demostrado la capacidad adaptativa de la agricultura sinaloense con situaciones que son análogas al cambio climático, como la reconversión del patrón de cultivos donde destacan la sustitución del algodón y trigo por maíz, motivada por los bajos precios de mercado, problemas fitosanitarios y altos costos de producción. Otro ejemplo es el establecimiento de acciones de adaptación durante períodos de escasez de agua que se presentaron de 1995 a 2004 en los distritos de riego del norte de Sinaloa, teniendo su nivel crítico en el año agrícola 2002-2003, cuando se tenía solo el 38% de

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

agua en el sistema de presas obligando a los módulos de riego a implementar acciones de emergencia para atemperar la sequía, tales como la tecnología de programación y seguimiento del riego complementado con técnicas de conservación de humedad, logrando reducir el 30% de la lámina tradicional aplicada en el cultivo de maíz sin detrimento del rendimiento.

Por otro lado, las zonas de temporal localizadas principalmente en el centro y sur del estado, siguen representando un medio de sustento para un segmento importante de la población rural ya que se establecen alrededor de 47,000 ha que representa el 7% de la superficie total agrícola. Las proyecciones de cambio climático indican una disminución en la precipitación de las regiones agrícolas, lo cual incrementará su vulnerabilidad al practicarse la agricultura en suelos de baja calidad que ya se encuentran en situación socioeconómica crítica. Ante este panorama se requiere de políticas de planificación para definir una estrategia de adaptación para reducir sus impactos en los sistemas productivos y de quienes la practican.

Riebsame (1991) distingue dos tipos de ajustes de la agricultura por efectos del cambio climático: a corto y largo plazo. El primer tipo está asociado a la resiliencia del sistema y el segundo a su adaptación en el sentido estricto. Acciones de adaptación a corto plazo son las primeras acciones a realizar para reducir los efectos del cambio climático en los sistemas de producción agrícola; por sus características estos ajustes son realizados a iniciativa de los propios productores, por lo cual no se requiere nuevas investigaciones o cambios en las políticas agrícolas. El segundo tipo requiere ajustes mayores en infraestructura, tecnologías de producción, mecanismos de mercado, y políticas gubernamentales.

La resiliencia se refiere a la habilidad de un organismo, comunidad o ecosistema para absorber perturbaciones externas de fuerte impacto y baja probabilidad y retornar a su estado original. Un ejemplo son las sequías, que son fluctuaciones climáticas que periódicamente inducen cambios en el plan anual de cultivos a sembrar, en las prácticas de manejo y en las asignaciones de volumen por hectárea. La adaptación a largo plazo se presenta cuando un factor básico productivo se mantiene en niveles críticos por un periodo largo de tiempo, genera cambios permanentes en la forma y funcionamiento de los sistemas de producción agrícola. Un ejemplo de este ajuste se presenta cuando una disminución en los escurrimientos en la cuenca provoca una disminución en los volúmenes almacenados y, por consiguiente, una reducción de los volúmenes asignados para uso agrícola. Este panorama induce cambios estructurales en la infraestructura y prácticas agrícolas para incrementar la eficiencia en el uso del agua a través de la tecnificación y modernización del riego (sistema de multicompuertas, conversión de riego por gravedad a goteo o aspersión, uso de algoritmos de programación integral del riego, etc.).

La adaptación a largo plazo provoca ajustes permanentes a los sistemas de producción agrícola y requiere de la intervención del Estado para su planeación, promoción e implementación. Sin el apoyo del Estado las acciones de adaptación a largo plazo tendrán bajas posibilidades de adopción. A continuación se presenta las acciones de adaptación detectadas para la agricultura en Sinaloa divididas por su tipo: corto y largo plazo, y modalidad de agricultura: riego y temporal.

6.4.1 ADAPTACIÓN A CORTO PLAZO (RESILIENCIA) DE LA AGRICULTURA

Existen diversas acciones potencialmente aplicables a corto plazo en la agricultura de Sinaloa, muchas de las cuales ya han sido adoptadas con éxito por los productores del estado, y en otras regiones del país y del mundo.

i. Acciones generales

Tanto en agricultura de riego como de temporal, se pueden enlistar modificaciones de cuya aplicación inducirán un ajuste en los efectos del cambio climático:

- **Adaptación a nivel parcelario**

Ajuste de la temporada de siembra - cosecha actual. El cambio climático provocará un acomodo en el desarrollo y crecimiento de los cultivos; por lo cual se requerirá un ajuste del período de siembra actual; para atemperar periodos de estrés hídrico o térmico en etapas fenológicas críticas y minimizar el impacto en los rendimientos de los genotipos existentes; así como existen fechas de siembra recomendables desde el punto de vista sanitario, también se pueden generar para el manejo del riego. Los requerimientos de riego del maíz son de 36 cm para una siembra del 10 de octubre y de 50 cm sembrado el 10 de diciembre, que arrojan una diferencia de 14 cm tan solo modificando la fecha de siembra; como se ejemplifico en el distrito de riego 075, donde se recomienda sembrar maíz hasta el 10 de noviembre ya que en esta fecha el cultivo requiere la menor cantidad de agua y además en suelos de textura franco-arcillosa es posible llevarlo a madurez con tres riegos de auxilio, respecto a 4-5 que se aplican en texturas más ligeras. La definición del período de siembras requiere de un análisis complementario y exhaustivo sobre productividad e incidencia de plagas y enfermedades.

Uso de genotipos adaptables a la variabilidad climática (estrés térmico e hídrico). Los materiales empleados en el Estado están adaptados para las condiciones climáticas actuales; sin embargo, el cambio en los patrones climáticos y en los sistemas productivos demandará la selección de genotipos con mayores atributos para emplear en un ciclo agrícola. Si los materiales requeridos ya existen solo deben de validarse para determinar su aplicación espacial y temporal en las regiones agrícolas del Estado. La tendencia será utilizar materiales de ciclo largo bajo condiciones de riego, pero en temporal, el tipo de variedad deberá ajustarse a la cantidad y duración de las lluvias.

Densidad de siembra. El material genético actualmente disponible y de gran adopción comercial en el medio agrícola local, ha demostrado ser portador de un alto potencial de rendimiento por unidad de superficie mostrando a su vez una alta fertilidad de grano, es decir, no presenta el factor negativo que es el índice de plantas estériles de mazorca aún

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

en poblaciones de 100,000 plantas o más por hectárea; surcado de 76-80 cm con ocho semillas por metro lineal. Con las prácticas actuales de siembra exista una desviación en las características ya que no se esta optimizando debido a que cada planta en un modelo exacto se desarrolla en un área de 950-1000 cm² (76-80 cm x 12.5 cm).

Esta distribución y área por planta significa una competencia muy fuerte que se traduce en *diferentes* grados negativos, como los siguientes: 1) competencia radical por alelopatía a través de segregación de sustancias inhibitoras aún entre plantas de la misma especie (intraespecífica) y 2) competencia aérea por luminosidad y CO₂ principalmente. Al disminuir la precipitación, se dispone de menor humedad disponible para el cultivo, por lo que la eficiencia por planta con el empleo de densidades de siembra bajas en la agricultura de temporal es un mecanismo de preservación que debe considerarse como un ajuste; ahora bien existen límites para los genotipos de uso actual. Como ejemplo en el frijol las densidades de siembra empleadas en temporal se encuentran en el rango de 8 a 12 plantas por metro de surco.

Mayor profundidad de siembra. Un incremento en la temperatura significa mayor evaporación y el secado más rápido de la superficie del suelo reduciendo la humedad en el estrato de siembra que puede provocar la disminución del porcentaje de emergencia. El aumento de la profundidad de siembra, hasta un nivel que no afecte la capacidad de emergencia de la plántula y que contrarreste la pérdida de humedad superficial puede garantizar un alto porcentaje de germinación; esta acción debe estudiarse para los suelos y cultivos de las regiones agrícolas del Estado, ya que solo puede ser aplicable en cultivos como maíz, sorgo, trigo, garbanzo, entre otros, y en suelos que no tengan problemas de encostramiento.

- **Conservación del agua en el perfil del suelo**

Existen varias técnicas para conservar la humedad en la zona de raíces, muchas de éstas han sido usadas o se utilizan parcialmente en el Estado.

Labranza de conservación. Existe la tendencia de dejar parte de los residuos vegetales sobre la superficie del suelo en lugar de incorporarlos en el perfil del suelo durante el barbecho del suelo. Este tipo de labranza conocida como labranza de conservación reduce la evaporación de la humedad del suelo.

Siembra directa. La siembra directa como una variante de la labranza de conservación, permite reducir la alteración de la superficie del suelo y mantener la humedad del suelo.

Modificación del microclima. Existen técnicas como el uso de cubiertas plásticas que permiten modificar el microclima y reducir la evaporación del suelo.

Uso de sustancias para control de la evaporación/transpiración. Existen varias sustancias que pueden tener efectos benéficos en los cultivos bajo condiciones de estrés térmico e hídrico. Una de las sustancias más prometedoras son las sustancias antiestrés.

ii ACCIONES ESPECIFICAS PARA LA AGRICULTURA DE RIEGO

La agricultura de riego será impactada por cambios en los patrones climáticos de la temperatura y precipitación. El cambio climático está asociado a una intensificación del ciclo hidrológico con un incremento esperado en la frecuencia e intensidad de eventos severos. Un aumento del nivel del mar y en la evaporación así como mayor incertidumbre en la precipitación, son manifestaciones del aumento en la variabilidad climática que impactaran la disponibilidad y calidad del agua y suelo.

- **Uso de cultivos de menor demanda de agua.**

Una de las acciones más usadas durante los operativos de emergencia, ante la ocurrencia de sequias en los distritos de riego, es limitar la siembra de cultivos de alta demanda de agua. En este sentido, las zonas de riego deben de tener caracterizadas las necesidades hídricas de los cultivos para promover los cultivos de baja demanda cuando se presenten períodos críticos de baja disponibilidad hídrica.

- **Técnicas para el uso eficiente del agua.**

El riego por gravedad sigue siendo el sistema de riego más usado en las zonas de riego del Estado. Existen varias técnicas que mejoran la aplicación del riego por gravedad, entre las más importantes son el riego deficitario, el humedecimiento parcial de la zona radical, el riego en surcos alternos, el riego en camas, el riego por impulsos, riego con reducción del gasto, el ajuste del tamaño y disposición de surcos. Varias de estas técnicas se usan o se usaron en las zonas de riego de Sinaloa, sin embargo se requiere de definir con mayor precisión su aplicabilidad, definiendo restricciones y zonas potenciales de aplicación.

- **Calendarización del riego.**

Existen los insumos tecnológicos y experiencia para generalizar la calendarización científica del riego. Existe una red agroclimatológica densa en el estado de Sinaloa operada por Fundación Produce de Sinaloa que proporciona información detallada de la variación de la evapotranspiración de referencia, que es el insumo para apoyar la calendarización del riego. Sin embargo, el uso práctico de dicha red es muy limitado, restringido a proporcionar información de las principales variables meteorológicas de interés agrícola. A pesar su bondad y de los esfuerzos realizados por el IMTA y el INIFAP para calibrar los parámetros de calendarización del riego en los distritos de riego 075 y 076, el uso de la programación de riego científica es limitada en el estado. Diversos

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

estudios realizados en el estado muestran que es posible disminuir las láminas de riego aplicadas a los cultivos, sin una merma en los rendimientos convencionales. Sin duda, la aplicación de la calendarización científica del riego es una acción de adaptación que se puede implantar a corto en las zonas de riego de Sinaloa.

iii. ACCIONES ESPECÍFICAS PARA LA AGRICULTURA DE TEMPORAL

- **Cosecha de agua.**

Una de las acciones de adaptación a corto plazo más prometedoras para la agricultura de temporal es el uso de técnicas de cosecha de agua para concentrar y mantener el agua en la zona de raíces. El uso de surcos en curvas de nivel mantiene la humedad y disminuye la erosión de los suelos. Lo anterior puede ser complementado con cercas vivas. La creación artificial de piletas o cajas de agua, con la ayuda de pileteadoras, en la base de los surcos induce la infiltración del agua y reduce los escurrimientos. Fundación Produce Sinaloa ha financiado el resurgimiento de las técnicas de cajas de agua en cultivos de temporal, principalmente sorgo granífero. Otra técnica potencial es dividir la parcela de temporal en zonas de escurrimiento sin cultivo y en zonas de infiltración con cultivo, de esta forma, el agua que proviene de las zonas de escurrimiento se deriva y acumula en la zona radical.

6.4.2 ADAPTACIÓN A LARGO PLAZO DE LA AGRICULTURA

i Acciones generales

- **Nuevas variedades e híbridos.**

La adaptación de la agricultura al cambio climático demanda el desarrollo de nuevos híbridos y variedades cambiantes para el estado de Sinaloa para mantener o evitar una reducción significativa en los rendimientos convencionales debido a estrés térmico e hídrico que se proyecta se presente a mediano plazo en el Estado. Lo anterior es aunado al periodo de utilidad de las variedades e híbridos comerciales que es del orden de 5 a 15 años.

- **Ajuste en el manejo del sistema del cultivo.**

La intensificación en el desarrollo de los cultivos, la disminución de la lluvia y el incremento de la temperatura demandarán un ajuste estacional en el manejo de los cultivos, que requerirá del ajuste en las prácticas agronómicas, en el uso e intensidad de pesticidas y fertilizantes, en la adopción de nuevas herramientas para la selección y

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

monitoreo de cultivos, en la mejora de la tecnología de riego y drenaje parcelario, y sobretodo en el desarrollo de capacidades gerenciales y técnicas de los agricultores

- **Reconversión productiva.**

Hay varios cultivos que tendrán que eliminarse por su sensibilidad al estrés térmico e hídrico. Cultivos como el frijol y la papa que son muy sensibles al estrés térmico tendrán que ajustar su época de desarrollo y definir las zonas mas propicias a medida que se intensifique el cambio climático en el estado. Cambios en la disponibilidad en el agua y el incremento en las temperaturas máximas restringirá el desarrollo de varios cultivos durante el ciclo primavera-verano.

Por el incremento en los requerimientos hídricos de los cultivos perennes, estos serán más restringidos en las zonas de riego. Lo anterior indica la necesidad de una reconversión gradual en cultivos a cultivar a medida que se intensifique el cambio climático.

- **Agricultura de precisión.**

La agricultura de riego intensiva de Sinaloa requerirá ir incorporando elementos de la agricultura de precisión, que asume que las características de los suelos y el ambiente donde se desarrollan los cultivos varían en tiempo y espacio, por lo que se requiere primeramente del uso de técnicas y metodologías para estimar, evaluar y entender dichas variaciones. En segundo término, con la información colectada de la variabilidad de la parcela, se programa la aplicación variable de los insumos agrícolas como riego, fertilizantes, pesticidas y otros insumos agrícolas. Algunos productores del estado de Sinaloa usa cosechadoras equipadas con geoposicionadores que permiten estimar la variabilidad de los rendimientos en sus parcelas, dicha información es útil para conocer la variabilidad espacial de la fertilidad y manejo de su parcela.

- **Programación de la aplicación de insumos agrícolas.**

El cambio climático demandará un mejor uso de los insumos agrícolas para lo cual se requerirá de un monitoreo permanente de los cultivos para conocer su estado fisiológico y así programar con precisión la cantidad y oportunidad de los insumos agrícolas como los siguientes:

Calendarización de fertilizantes. El cambio en los patrones climáticas y la necesidad de su monitoreo permitirá tener un mayor seguimiento de las condiciones ambientales durante el ciclo fenológico de los cultivos. Un mayor seguimiento a la fenología de los cultivos permitirá realizar un calendarización programada de aplicación de los fertilizantes en función de la fenología.

Calendarización de pesticidas. Un incremento en la temperatura intensificará el desarrollo de los organismos patógenos. Por lo que demandará una mayor precisión en la

aplicación de agroquímicos para su control a través de sistemas de monitoreo y aplicación fitosanitaria.

- **Ajuste de políticas institucionales y normativas.**

Se requiere un ajuste en las políticas institucionales y legales para favorecer la implantación de acciones de adaptación a largo plazo que permitan la diversificación del ingreso de los productores y fomenten el empleo rural, la generalización del seguro agropecuario para contingencias climatológicas. La reconversión productiva de las zonas agrícolas de Sinaloa demandará de una política de planeación para implantar cambios graduales en los cultivos a sembrar en dichas zonas. Siendo las zonas agrícolas de temporal las zonas vulnerables por cambio climático, se requiere del desarrollo y aplicación de planes gubernamentales de adaptación que incluya la seguridad alimentaria como eje rector. Las zonas de riego requerirán del apoyo del estado para normar el mercado y banco del agua, su reconversión productiva, el ajuste de derechos de agua.

ii. Acciones específicas para la agricultura de riego

La agricultura necesitará realizar varias acciones de adaptación estructurales para responder de manera planificada a los nuevos que impone el cambio climático. A continuación se presentan las acciones más importantes a implantar.

- **Planeación y evaluación de años agrícolas.**

Sin duda un cambio sustancial en la gestión de las zonas de riego será la planeación de las actividades asociadas con el servicio de riego, que incluye una mayor estimación de los volúmenes a distribuir a diferentes niveles de operación de la zona de riego, las demandas hídricas de los cultivos y el plan de cultivos y riegos más idóneo para las condiciones climáticas esperadas en la zona de riego. En este sentido, el uso de proyecciones estacionales del clima en función de las anomalías estacionales como el fenómeno del niño será de gran ayuda para ajustar los planes de riego a los almacenamientos esperados en las fuentes de abastecimiento de las zonas de riego.

- **Tecnificación y modernización de la red de distribución.**

Varias zonas de riego del estado de Sinaloa tienen baja eficiencia de distribución, lo que implica que grandes volúmenes no alcancen las zonas de los cultivos. Se requiere realizar una tecnificación y modernización de la red de distribución para tener una mayor eficiencia en la red desde la fuente a la parcela.

- **Tecnificación y modernización de la aplicación del riego.**

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

El siguiente nivel de tecnificación se requiere a nivel parcelario. Actualmente la mayor superficie de las zonas de riego utiliza el riego parcelario con eficiencias de aplicación por abajo del 50%. Ante un escenario de menor disponibilidad de agua, se requiere de la introducción de mejores técnicas para aplicar el riego a la parcelas.

- **Servicio del riego.**

La mayor parte del servicio de riego en las zonas de riego del estado de Sinaloa es realizado por asociaciones Civiles de Usuarios de Riego (ACUR) con limitada capacidad de desarrollo para incorporar procedimientos y tecnologías innovadores que demanda la restricción en los volúmenes disponibles bajo cambio climática. Sin duda se tendrá que incorporar mejores herramientas de seguimiento y supervisión del servicio de riego como la dotación volumétrica, para entregar y medir con precisión y oportunidad los volúmenes de riego a nivel parcelario.

- **Administración de las zonas de riego.**

Una mejor supervisión del servicio de riego demanda de una mejor administración de las zonas de riego. Se debe tener una mejor contabilidad no solo de los aspectos económicos de la zona de riego sino también de la contabilidad del agua entregada y pagos realizados por usuario.

- **Dotación y derechos de agua.**

Cada vez será más difícil cumplir con los volúmenes asignados en los derechos de agua de los usuarios, por lo que para cumplir con el principio de equidad será requerirá un incorporación de un sistema para el seguimiento de los volúmenes entregados durante el año agrícola y la dotación asignada por usuario, como lo indican los escenarios esperados de mayor recurrencia de periodos de escasez de agua.

iii. Acciones específicas para la agricultura de temporal

- **Plan de cultivos/variedades.**

El desarrollo de sistema de pronóstico climático estacional con mayor precisión permitirá una mayor planeación de los cultivos a nivel variedades a sembrar dado una proyección climática para el periodo de lluvias y temperaturas esperadas. Ciclos de lluvias cortos indicarían el uso de variedades precoces.

- **Envío de rastrojos.**

La alta productividad de los cultivos en el estado cada fin de temporada dejan una gran cantidad de residuos de cosecha principalmente maíz y sorgo, que bajo un esquema de planeación adecuada pueden representar una alternativa viable para aminorar los efectos de escasez de alimento para el ganado en las zonas de temporal, beneficiando no solo a este sector sino a los productores agrícolas que recibirían apoyo por el envío de sus

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

rastrojos, además, se reduciría en gran medida la contaminación del aire y deterioro de los suelos por la quema inmoderada de rastrojos que actualmente se practica.

- **Conservación de la biodiversidad forestal.**

Cada vez se pierde más superficie forestal en las zonas de temporal principalmente por la deforestación desmedida, esto ha provocando que el deterioro de suelos se incremente y sea mayor el agua que se pierda por escurrimientos. De continuar con esta situación habrá más riesgos de sequías frecuentes que aunado a los efectos del CC podrían ser más prolongadas.

- **Explotación de aguas subterráneas.**

Bajo el escenario de CC que se espera sobretodo en la zona norte del estado de una reducción de la precipitación, la explotación de aguas subterráneas con fines agrícolas podría ser otra alternativa para enfrentar estas condiciones. Estos cuerpos de agua todavía no se han aprovechado adecuadamente.

- **Comercialización.**

Toda actividad productiva debe traer satisfactores de varía índole, para ello deben existir suficientes y adecuados programas de comercialización que atiendan los mercados locales y nacionales principalmente. La agricultura de temporal debe ser una actividad atractiva para quienes la practican y una alternativa para evitar la migración de las poblaciones rurales hacia las ciudades.

- **Normatividad.**

Deben existir leyes y reglamentos elaborados de acuerdo a los tiempos modernos de globalización y sustentabilidad, pero lo más importante que se promueva la cultura de la legalidad.

6.5 DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS DE ADAPTACIÓN

A continuación se detallan varias técnicas que potencialmente se aplican o pueden ser aplicadas para realizar un uso más eficiente del agua, para contrarrestar efectos negativos en los cultivos debido a estrés hídrico y térmico de los cultivos para la agricultura del estado de Sinaloa.

6.5.1 TÉCNICAS DE ADAPTACIÓN PARA LA AGRICULTURA DE RIEGO

i. Técnicas de adaptación a corto plazo

• Programación integral y gestión del riego

El objetivo de la programación integral del riego es generar automáticamente y en tiempo real programas de riego de acuerdo a la fenología del cultivo y suelo, aún bajo condiciones variables de clima, usando el concepto días grado crecimiento.

Ojeda, et al., (2006) generaron en el Valle del Fuerte para el cultivo de maíz, los parámetros de programación integral: coeficiente de cultivo (Kc), Profundidad dinámica de la raíz (Pr) y factor de abatimiento (F) expresándolos mediante modelos matemáticos, los cuales pueden ser programados en sistemas computacionales., como los sistemas SRITER (desarrollado por IMTA) e IrriModel 2010 (desarrollado INIFAP-CEVAF en 2009). Dentro de las ventajas de estas herramientas destacan:

- Programación integral bajo diferentes sistemas de riego
- Programación integral bajo condiciones de escasez
- Programación de la temporada de siembras
- Predicción del último riego

Aplicando las bases teóricas de la programación científica del riego y mediante ajustes del F en el sistema de pronóstico del riego en tiempo real, se logró distribuir durante el ciclo otoño-invierno 02-03 considerado de baja disponibilidad, una lámina “baja” de 75 cm asignada para maíz. Bajo condiciones normales la asignación de agua es de 95 cm. La distribución se realizó en un riego de presiembra de 23 cm y tres riegos de auxilio de 16 cm. Los riegos fueron aplicados en las etapas V8 (8ª hoja), R1 (Jiloteo o floración) y R3 (granos lechoso). En el **Cuadro 6.1** se presenta la distribución de los riegos y las láminas aplicadas.

Cuadro 6.1 . Distribución de riegos aplicados y uso del agua en maíz otoño-invierno 02-03 Módulo de riego Batequis-DR075

Riegos aplicados	Superficie ha	Superficie %	Volumen Mm3	Volumen %	Lámina (cm)
3	1174	19.7	7123	16.6	60.7
4	4755	79.8	35551	82.7	74.8
5	32	0.5	261	0.7	81.6
Total	5961	100	42935	100	72.1

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

Obsérvese que el 80% de la superficie se manejó con cuatro riegos y el promedio ponderado de la lámina aplicada fue de 72 cm. Con un avance del 70% de la superficie cosechada hasta el 20 de junio del 2003, no se reportó reducción significativa en rendimientos.

- **Riego deficitario**

La relación del rendimiento con el riego esta asociada con la etapa fenológica. El riego deficitario ha sido estudiado y aplicado en diversas partes del mundo. Primeramente debe realizarse un análisis para explorar la posible reducción en rendimiento de un cultivo debido a una reducción en sus requerimientos hídricos potenciales. La reducción en el rendimiento potencial puede ser proporcionalmente menor que la reducción en el riego aplicado. Los cultivos presentan diferentes sensibilidad al estrés hídrico dependiendo de su etapa fenológica.

El estrés hídrico se presenta cuando la evapotranspiración real de un cultivo (ET_a) es menor que la demandada bajo condiciones óptimas que producen su máximo rendimiento potencial. La siguiente ecuación, adaptada de Doorembos y Kassan (1986), presenta el comportamiento entre las láminas netas (aplicada y requerida) y el rendimiento esperado de un cultivo.

$$R_r = (1 - K_y) + K_y \cdot L_{na}/L_{nr}$$

Donde R_r es el rendimiento potencial relativo (uno es el rendimiento máximo), L_{nr} es la lámina neta requerida durante el periodo de crecimiento de interés para alcanzar su máximo rendimiento potencial, L_{na} es la lámina neta aplicada para reponer la lámina neta requerida por el cultivo, K_y es el coeficiente de rendimiento. El parámetro K_y define la pendiente del modelo. Un valor de K_y de uno implica que el rendimiento es directamente proporcional a la lámina aplicada, un valor positivo menor de uno indica un efecto menor al estrés hídrico de un cultivo, esto es, una disminución de una unidad en los requerimientos hídricos requeridos implica un reducción menor a una unidad en el rendimiento. Valores de $K_y > 1$ indican alta sensibilidad de un cultivo al estrés hídrico (**Figura 6.3**).

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

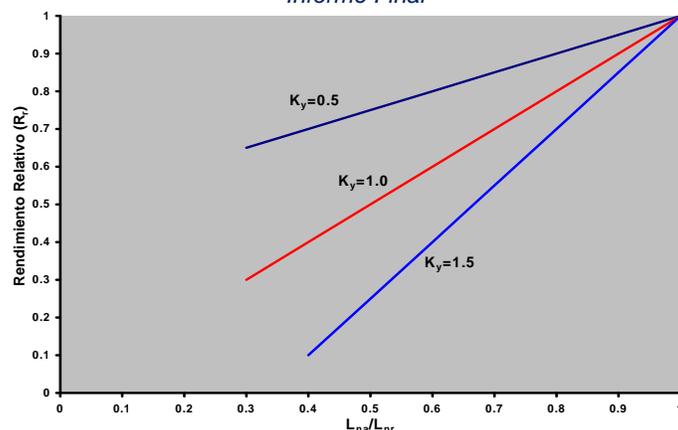


Figura 6.3 Rendimiento relativo versus lamina neta aplicada para varios valores de K_y

Los cultivos presentan una variación de K_y durante su ciclo fenológico. Altos valores de K_y están asociados a las etapas hídricas de un cultivo que presentan alta demanda evapotranspirativa y alta sensibilidad del cultivo al estrés hídrico como se muestra en el **Cuadro 6.2** para algunos cultivos.

Cuadro 6.2 Valores del parámetro K_y para algunos cultivos agrícolas (Doorembos y Kassan, 1986).

CULTIVO	ETAPA FENOLÓGICA				Total Ciclo
	Vegetativo	Floración	Formación de grano	Maduración	
Frijol	0.2	1.1	0.75	0.2	1.15
Maíz	0.4	1.5	0.5	0.2	1.25
Sorgo	0.2	0.55	0.45	0.2	0.9
Trigo invierno	0.2	0.6	0.5	-	1.00
Trigo primavera	0.2	0.65	0.55	-	1.15

Por ejemplo, si se sabe que los requerimientos de riego del maíz son de 40 cm y solamente se tienen disponibles 32, la pregunta sería cómo aplicarlos. Si los riegos se redujeran proporcionalmente, se tendría una reducción en el rendimiento del 25%:

$$R_r = (1 - K_y) + K_y \cdot L_{na}/L_{nr} = (1 - 1.25) + 1.25 \cdot 32/40 = 0.75$$

Si los requerimientos de riego son de 7 cm, 13 cm, 12 cm, 8 cm, respectivamente durante las cuatro etapas fenológicas, pero se estresa el cultivo solamente durante las etapas vegetativas y maduración se tendría solamente una reducción del 10%. En cambio si esa reducción (8 cm) se aplica solamente durante la etapa de floración, se tendría una reducción del 30% del rendimiento potencial.

En base a lo anterior, se tendría que propiciar una política para reducir las láminas aplicadas durante las etapas menos sensibles al estrés hídrico, que corresponden a las etapas con el menor valor del coeficiente K_y .

- **Técnicas de conservación del agua a nivel parcelario**

Existen varias técnicas parcelarias de bajo costo para la conservación del agua. Si la aplicación de las técnicas descritas se complementa con una nivelación del terreno, los ahorros de agua se incrementan sustancialmente ya que se mejora la uniformidad del riego.

A continuación se presentan varias técnicas parcelarias potencialmente aplicables a la agricultura del estado de Sinaloa.

Riego en camas: Camas anchas con surcos bajos permite un rápido mojado horizontal, permitiendo el mojado del borde de la cama tal como se muestra en la **Figura 6.4**. La cama consiste en un bordo de 1.6 m de ancho y 20 cm de alto el cual se realiza durante el primer cultivo (antes del primer riego de auxilio). Una ventaja adicional de las camas es que las sales se acumulan en el centro de la cama (Cardon, *et. al.*, 2003).

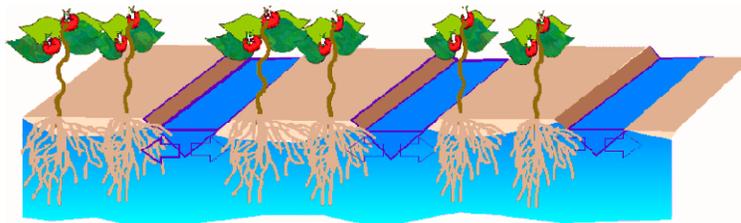


Figura 6.4 Riego en camas con surcos pequeños es muy eficiente para forzar el movimiento lateral con una superficie superficial evaporativa pequeña

Surcos alternos: Cuando las plantas son pequeñas sus requerimientos de riego son bajos por lo que el riego por surcos alternos es una técnica excelente en suelos francos, en especial si los agricultores tienden a sobreirrigar. Se puede aplicar el riego en todos los surcos cuando el cultivo se encuentre a su máxima demanda hídrica. En el riego por surcos alternos el agua se aplica dejando un surco sin regar durante el primer riego, en el segundo riego el agua se aplica en el surco no regado, para el tercer y cuarto riego se hace lo mismo, alternado el riego en los surcos.

El riego en surcos alternos no es recomendable en terrenos con pendiente fuerte por la reducida superficie de mojado que genera baja infiltración del suelo, también no se recomienda en suelos con baja permeabilidad al requerir mayores tiempos de riego para tener un buen mojado lateral de los surcos (Yonts, *et al*, 2003).

Las láminas aplicadas entre riegos en surcos continuos y alternos no se reducen a la mitad, esta reducción es de aproximadamente 20-30% ya que los tiempos de riego en surcos alternos aumentan debido al incremento en el flujo lateral. A pesar de mayor incremento en los tiempos de riego, Cabrera (1994) disminuyó en 20% la lámina aplicada e incrementó la productividad en 2.3 ha/hombres/jornada para surcos de 300 m y un gasto

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

de 90 lps manejado por dos regadores en suelos arcillo-limosos. Una ventaja adicional de los surcos alternos es que las sales se acumulan en el surco seco (Cardon et al, 2003). En la **Figura 6.5** se puede apreciar el perfil de mojado deseable con este método.

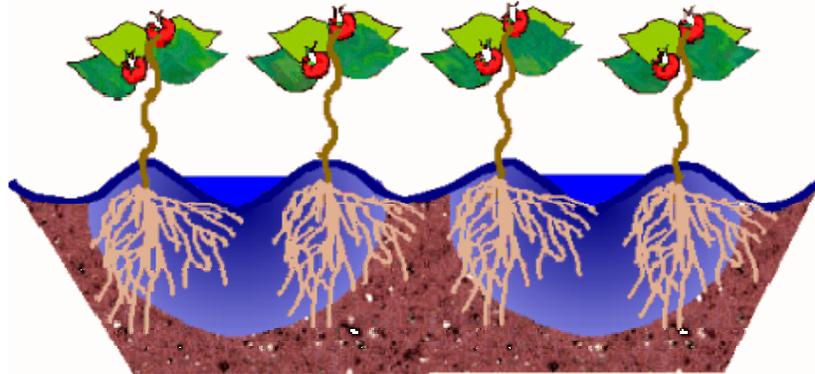


Figura 6.5 Flujo deseable de la humedad en riego por surcos alternos

Riego con gasto reducido: durante el 75% de la fase de avance se utilizan gastos altos con la ayuda de dos sifones, para posteriormente reducir el gasto, quitando un sifón, y completar el riego con un solo sifón para completar la lámina faltante considerando gasto y tiempo óptimos, como se observa en la **Figura 6.6**. Por ejemplo, si el surco tiene 1000 m, se inicia el riego con dos sifones y cuando el agua avance 750 m, se quita un sifón, dejando un solo sifón para terminar el riego. Se puede utilizar una estaca, un bote o una botella colocada a una distancia de 3/4 de la longitud del surco para apoyarse en el momento de decidir la reducción en el gasto del surco.



Figura 6.6 . Esquemática del riego con reducción en el gasto

- **Reducción del estrés térmico con riego por aspersión.**

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

El déficit de presión de vapor es la fuerza motriz de la evapotranspiración, resulta de restar la presión de vapor de agua a saturación de la presión de vapor real del aire, ambas a una temperatura determinada. (Guariguata y Kattan, 2002).

Los cultivos requieren determinadas condiciones de humedad, luz y temperatura para no sufrir estrés. Las plantas reaccionan fisiológicamente al déficit de presión de vapor (DPV= presión de vapor a saturación - presión de vapor actual). Para una temperatura dada, el déficit de saturación de vapor de agua DPV varía con la humedad del aire. La mayoría de los cultivos no sufren estrés por DPV, cuando este valor oscila entre 0.5 y 1.5 kPa.

El riego por aspersión representa una alternativa para contrarrestar el estrés por alta temperatura y baja humedad relativa sobre la planta, ya que al ser aplicado regula estos parámetros; se recomienda contar con sensores para un monitoreo y sistema de alerta, que indiquen el momento oportuno de activar este sistema de riego. En la **Figura 6.7** se muestran el monitoreo del DPV durante un día.

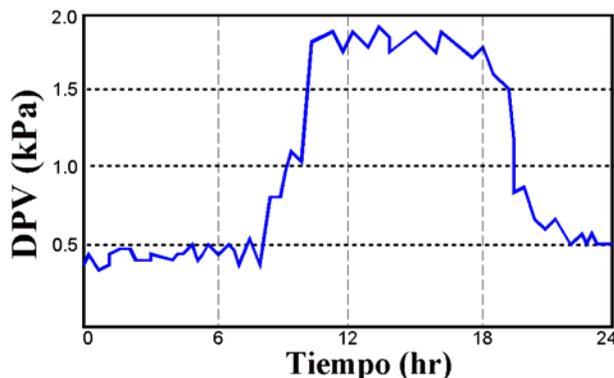


Figura 6.7 Ejemplo de comportamiento para un día del Déficit de Presión de Vapor

- **Modelos de predicción de plagas y enfermedades**

El comportamiento de los insectos, como otros organismos poikiloterms, es influido grandemente por la temperatura ambiente y el cálculo de la temperatura efectiva de desarrollo en unidades calor, es una forma más exacta para medir y posteriormente pronosticar la ocurrencia de eventos fenológicos, más exacta que en tiempo cronológico.

Utilizando un modelo de predicción de la palomilla de la papa, generado por Cortez (2008), se logró determinar el intervalo de días entre generaciones, en cada uno de los escenarios de clima: 1998-1999 (P), 2007-2008 (P0) y las proyecciones de CC al 2020 (P1), 2050 (P2) y 2080 (P3); en la **Figura 6.8** Se puede observar la reducción del intervalo de días entre generaciones y el incremento de hasta 3 generaciones al comparar P y P0 con P1, P2 y P3.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

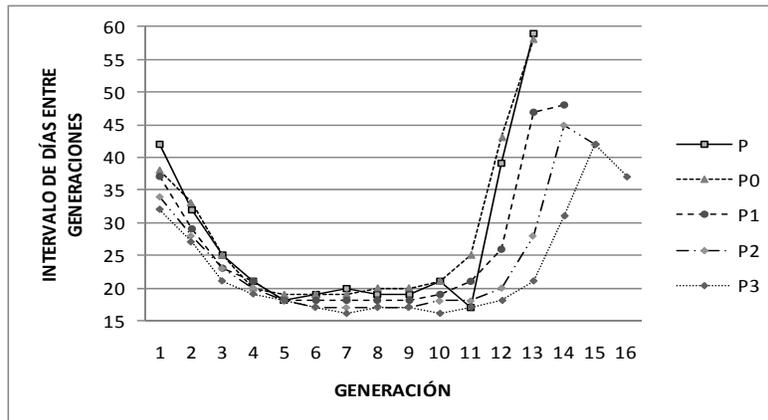


Figura 6.8 Comparación del intervalo entre generaciones en los distintos escenarios climáticos

El uso de modelos de predicción de enfermedades al igual que el de enfermedades también representa una opción viable como medida de adaptación al cambio climático ya que permiten en forma anticipada estimar la probabilidad de presencia de enfermedades de acuerdo a la variabilidad climática. En la **Figura 6.9** Se muestra un sistema de alerta del carbón parcial de trigo desarrollado por el Campo Experimental Costa de Hermosillo del INIFAP y que ha tenido gran aceptación por los agricultores.

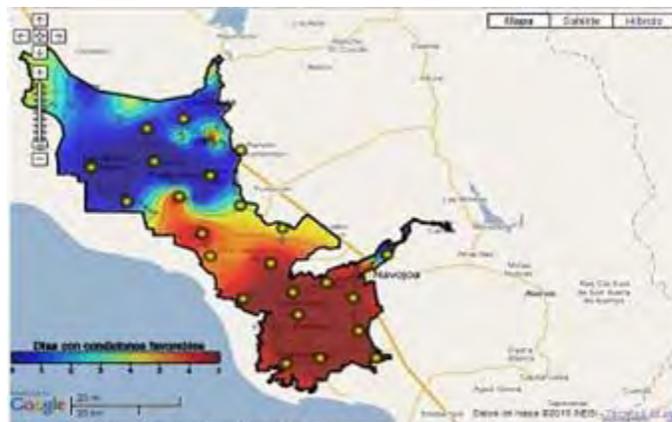


Figura 6.9 Sistema de alerta para el carbón parcial de trigo en el estado de Sonora

- **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada**

El transporte de nitratos a través del perfil del suelo se encuentra influenciado, no solo por las propiedades del mismo y las dosis de fertilización, sino también por el tipo de cultivo y la aplicación de riego. En suelos con contenidos importantes de arenas finas o limos se evidencian las mayores pérdidas de nitrógeno bajo riego. Dada la relación entre el riego y el movimiento de los nitratos en el suelo, la eficiencia en el uso del agua de irrigación y del nitrógeno aplicado por fertilización adquiere gran relevancia si se pretende realizar una producción sustentable (Rimski et al., 2002).

En México, la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado varía en forma general desde 40 hasta 80%; debido a ello, la dosis de fertilización requerida puede variar enormemente. Esta variación en la eficiencia es producto de los siguientes factores: 1) las propiedades físicas del suelo (textura o problemas de compactación), 2) la nivelación del terreno, la incorporación y características de los residuos de cultivo, 3) el sistema de aplicación del agua, 4) el manejo del agua de riego, 5) la época de aplicación y fuente de nitrógeno, 6) la magnitud de la precipitación, 7) la profundidad del sistema radical del cultivo y 8) el manejo en general incluido el fitosanitario (INIFAP 2005). En el norte de Sinaloa las eficiencias de aplicación del riego en maíz son en promedio del 45%, encontrándose las mayores pérdidas por efecto de escurrimientos y percolación (Gutiérrez, 2004), lo que hace suponer una pérdida similar de nitrógeno con repercusiones en los costos de producción y contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

En el ciclo 2006-2007 en el valle del Fuerte se buscó incrementar la eficiencia en el uso del nitrógeno incrementando la eficiencia del riego en dos sistemas de riego de baja presión (multicompuertas), uno de tubería en PVC (MCPVC) y el otro de manguera Layflat (MCLF), ambos de 6 pulgadas de diámetro y separación de compuertas de 0.75 m. El testigo fue una parcela con riego tradicional (RC) a base de surcos con separación de 0.75 m conectados a canales a cielo abierto. Se encontró que al incrementar la eficiencia del riego se incrementó la eficiencia del nitrógeno como se muestra en la **Figura 6.10**.

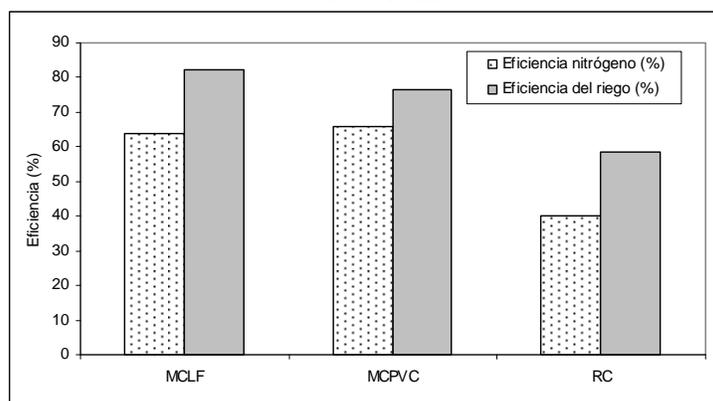


Figura 6.10 Eficiencia del riego y nitrógeno en dos sistemas de riego de baja presión (MCLF y MCPVC) y en riego convencional (RC) con surcos a 0.75 m en maíz. INIFAP-CEVAF. 2006-2007.

- **Uso de sustancias antiestrés**

Estudios recientes del uso de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) para reducir el estrés del cultivo de papa mostraron que las plantas los tratamientos de H_2O_2 incrementaron significativamente la acumulación de almidón entre 6.7 % y 30 % con respecto a los controles que fueron asperjados con agua, de acuerdo a los métodos de gravedad específica o de antrona en espectrofotómetro. Se encontraron marcados efectos de tratamientos con H_2O_2 , en la anatomía de tallos aéreos y en el contenido de almidón bajo condiciones de invernadero. Tallos tratados con H_2O_2 fueron hasta unos 27 % más gruesos que los controles, principalmente debido al alargamiento de las células de parénquima de la medula. Observaciones histoquímicas indicaron que hubo más granos de almidón en corteza y tejido de medula en tallos tratados con H_2O_2 . El H_2O_2 también incrementó el número y tamaño de elementos traqueales del xilema en los haces vasculares y el número de fibras interfasciculares. Las cuantificaciones usando análisis de imágenes confirmaron que tallos de plantas tratadas con H_2O_2 contuvieron hasta 3.4 veces más almidón y 62 % más lignina que los testigos. Este nuevo tratamiento químico para promover acumulación de almidón es potencialmente útil en la producción del cultivo de papa y en investigación.

- **Monitoreo de cultivos**

El monitoreo de cultivos es y seguirá siendo una excelente herramienta para la toma de decisiones en el manejo de los mismos. El desarrollo de los sistemas de información geográfica cada vez hace más práctico esta herramienta. En grandes zonas agrícolas como las de Sinaloa el monitoreo de la fenología de los cultivos ayuda a una mejor programación de la aplicación de insumos como el riego. En la **Figura 6.11** Se puede observar un reporte gráfico de la fenología del cultivo de maíz en el módulo de riego Santa Rosa perteneciente al distrito 075, información utilizada para definir la aplicación del último riego el cual se recomienda aplicar cuando el cultivo se encuentra en la fase lechoso-masoso (R3-R4) en suelos arcillosos o franco arcillosos.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

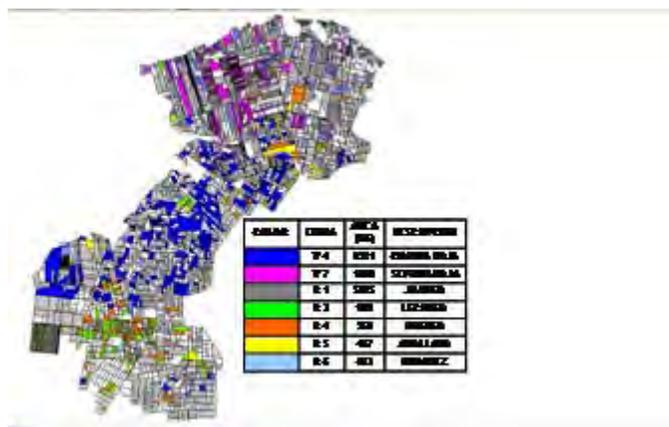


Figura 6.11 Monitoreo y predicción de la fenología en el módulo de riego Santa Rosa del DR 075, Río Fuerte Sinaloa

Ajuste de la temporada de siembras

La temporada de siembra óptima no sólo debe obtenerse en función de la presencia potencial de plagas y enfermedades, sino también considerando otros factores como el tipo de labranza usada, la temperatura del suelo, los requerimientos de riego y los climáticos. En el módulo de riego Batequis con el apoyo del sistema de pronóstico de riego en tiempo real, la fenología local de cultivos en grados-día e información climática promedio, se determinaron los requerimientos de riego del maíz considerando 1100 grados-día para aplicar el último riego y 1500 grados-día para madurez fisiológica. Asumiendo también ausencia de lluvias y suelo predominante tipo arcilloso (50% arcilla y 30% limo). En el **Cuadro 6.3** se presentan los resultados de esta simulación; de acuerdo a la tabla, se recomendó sembrar del 15 de octubre al 15 de noviembre, período donde el cultivo tiene un consumo relativamente bajo de agua y donde se presentan los más altos rendimientos.

Cuadro 6.3 Requerimientos de riego del maíz grano para diferentes fechas de siembra en el módulo de riego Batequis, DR-075

Fecha de Siembra	Duración del ciclo (días)	ETo (mm)	ETr (mm)	Número de riegos
01/09	99	431	222	3
15/09	129	495	289	3
01/10	155	574	366	4
15/10	168	638	420	4
01/11	176	684	465	5
15/11	175	708	492	5
01/12	170	715	504	6
15/12	162	707	501	6
01/01	151	695	490	5
15/01	142	685	474	5

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

Debido a que esta planeación se realizó con información climática promedio, es posible que en los próximos años se presenten condiciones de clima que demanden mayor o menor uso del agua que el promedio. El uso de variedades cuyos requerimientos de riego se ajusten a la distribución estacional de la lluvia tendrán también la mayor posibilidad para obtener mejores rendimientos y un mejor uso eficiente del agua (Wang, et al., 2002).

Otro análisis que ayudará a programar la temporada de siembras, es el efecto del incremento de la temperatura en las fases críticas de los cultivos ya que a medida que sea menor la duración del ciclo el rendimiento se reduce también significativamente. Para el caso específico del maíz, los **Cuadros 6.4, 6.5, 6.6 y 6.7** presentan la duración total del ciclo y la duración de estimada en cada fase (V8, VT, R2 y R6) para las tres zonas de Sinaloa, tanto para el periodo actual como para periodos P1, P2, P3 del escenario A1B de CC.

Cuadro 6.4 Estimación de la duración del ciclo fenológico del maíz por fases bajo condiciones de clima actuales

Zona	Duración de días por etapa				Total Días
	1	2	3	4	
Norte	54	22	36	42	154
Centro	42	17	32	42	133
Sur	41	16	30	42	129

Cuadro 6.5 Estimación de la duración del ciclo fenológico del maíz por fases bajo para el periodo 2011-2040

Zona	Duración de días por etapa				Total Días
	1	2	3	4	
Norte	48	19	35	41	143
Centro	38	15	30	39	122
Sur	38	14	28	39	119

Cuadro 6.6 Estimación de la duración del ciclo fenológico del maíz por fases bajo para el periodo 2041-2070

Zona	Duración de días por etapa				Total Días
	1	2	3	4	
Norte	43	17	32	41	133
Centro	35	13	28	37	113
Sur	35	13	26	38	112

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

Cuadro 6.7 Estimación de la duración del ciclo fenológico del maíz por fases bajo para el periodo 2071-2098

Zona	Duración de días por etapa				Total Dias
	1	2	3	4	
Norte	40	16	30	39	125
Centro	33	12	26	36	107
Sur	33	12	24	36	105

ii. Técnicas adaptación a largo plazo

- **Conversión a agricultura protegida (invernaderos y casa sombra)**

La agricultura protegida será una alternativa de adaptación del CC a largo plazo por la capacidad que tiene de esta de controlar en cierta medida el clima dentro de estas estructuras. Además de lo anterior Campura *et al.*, (2008) concluyeron que el desarrollo de los invernaderos en las últimas décadas en regiones como Almería, es la causa probable de la ausencia de calentamiento del clima del sur de la provincia (-0.3 °C), a diferencia del clima del sur de España y del hemisferio norte, estimado en una tasa de +0.4 °C por década durante los últimos 25 años. A este efecto protector del albedo o reflejo debe sumarse el de la elevada captación de CO₂ por los cultivos agrícolas almerienses, estimado según sus investigaciones en curso en unas 10 toneladas de CO₂ por hectárea, aproximadamente equivalente a la emisión anual de 4 automóviles. La **Figura 6.12** Muestra una vista del interior y del exterior de invernaderos tecnificados.



Figura 6.12 Ejemplos de agricultura protegida

- **Mejoramiento de la red de distribución de distritos de riego**

Una alta eficiencia de riego implica conducir el mismo volumen de agua desde la fuente de aprovechamiento hasta la parcela y satisfacer los requerimientos de agua de los cultivos. La **Figura 6.13** muestra que el volumen bruto que se extrae de la presa presenta una reducción en su volumen al circular por la red de distribución, entregarse a los usuarios en las tomas granjas y aún sufrir una reducción al pasar por las regaderas interparcelarias. Al aplicarse a las parcelas, solamente parte del volumen aplicado se queda en la zona de raíces que finalmente es extraído por las plantas en su mayor parte es liberado a la atmósfera ya sea por transpiración de las plantas o por evaporación de agua en la vecindad de la superficie del suelo.

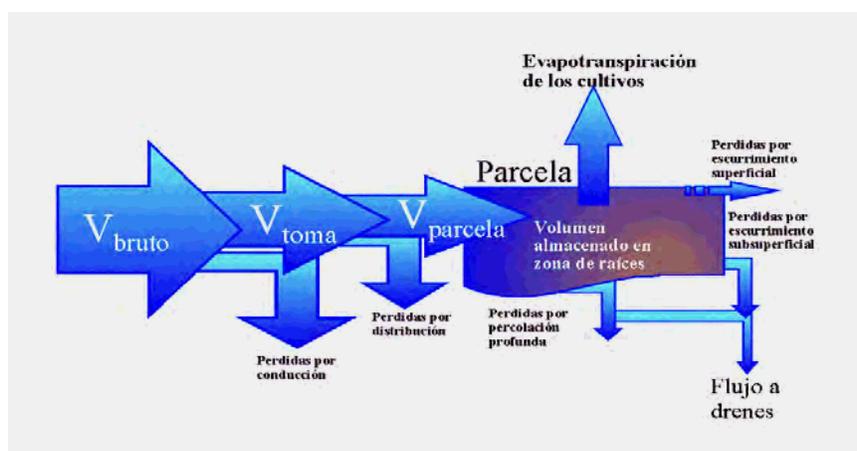


Figura 6.13 Componentes de los flujos de agua durante su distribución desde la fuente a la parcela

En el Distrito de Riego 075 la eficiencia de conducción de la fuente abastecimiento a la entrega a la red mayor del distrito es del 93, la eficiencia de conducción en la red mayor es del 90%, en la red menor donde se entrega a nivel toma granja es del 85%, la eficiencia de distribución de la toma granja a la cabecera de la parcelas es del 90% y la eficiencia parcelaria del 40% que genera un eficiencia global del orden del 25%. Si se divide la eficiencia del agua en tres eficiencias:

$$e_g = e_c e_d e_a = 0.71 * 0.90 * 0.4 = 0.25$$

- **Reconversión productiva. Migración de cultivos**

El cambio climático supone un importante factor adicional de desgaste de los sistemas ya afectados por una creciente demanda de recursos, por unas prácticas de gestión insostenibles y por la contaminación, que en muchos casos pueden ser de magnitud igual o mayor que con el cambio climático. Aunque estos factores interactuarán de manera distinta según las regiones, es de esperar que reduzcan la capacidad de algunos sistemas

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

medioambientales para proporcionar, de manera continuada, bienes y servicios esenciales necesarios para un adecuado desarrollo económico y social, y en particular alimentos apropiados, aire y agua limpios, energía, abrigo seguro, índices de enfermedad bajos y oportunidades de empleo. Además, el cambio climático tendrá lugar en un contexto de desarrollo económico que podría hacer a algunos grupos o países menos vulnerables al cambio climático, por ejemplo incrementando los recursos disponibles para la adaptación; los países que experimentan tasas de crecimiento bajas, un rápido aumento de su población y degradación ecológica podrían ser cada vez más vulnerables a los posibles cambios. (IPCC, 1997)

Los cambios del clima interactuarán con los efectos negativos de las medidas que se adopten para incrementar la producción agrícola, afectando así de diversas maneras al rendimiento de los cultivos y a la productividad, según el tipo de práctica o de sistema agrícola en uso. Los efectos directos más importantes se deberán al cambio de factores tales como la temperatura, la precipitación, la duración de la estación de cultivo o los momentos en que se produzcan fenómenos extremos o se alcancen umbrales críticos que influyan en el desarrollo de los cultivos. (IPCC, 1997). La **Figura 6.14** Representa el efecto negativo del CC en el desarrollo de los cultivos



Figura 6.14 Cultivo afectado por efecto del CC

Planeación integral de distritos de riego

Una buena operación de un distrito de riego implica entregar el agua a los cultivos en la cantidad y frecuencia que lo demandan. Para cumplir con este objetivo se debe de planear la operación (elaboración del plan de riegos), implementar el plan (entregar el agua a los usuarios) y monitorear la operación (realizar aforos y generar reportes de seguimiento del plan de riego realizado). Por falta de personal idóneo y capacitación las tres fases del proceso de operación de una zona de riego no se cumplen en su totalidad o se omite alguna, resultado en una mala operación de un distrito que bajo condiciones de baja disponibilidad provoca la disminución de la superficie regable o se subirriga gran

cantidad de superficie, afectando la economía de los agricultores.

Antes de iniciar un año agrícola, los administradores de un distrito de riego, en los diferentes niveles de operación, deben de elaborar un plan de riegos que defina como utilizar el agua disponible dada una demanda generada a partir de un patrón de cultivos. La elaboración de estos planes es una tarea difícil que requiere de conocimientos básicos de estadística, operación, hidrología e ingeniería de riego y drenaje. La elaboración de planes involucra las siguientes etapas: i) Estimación de la posible disponibilidad en las fuentes de abastecimiento, ii) Estimación de la demanda para un patrón de cultivos esperado y iii) Acoplar la disponibilidad a la demanda.

Es cada vez más frecuente que la superficie realmente regada sea menor a la potencial regable debido a la presencia de sequías. Bajo condiciones de limitada disponibilidad de agua, los agricultores se adaptan a las restricciones en la dotación asignada. Ante esta situación, los agricultores deben elegir algunas de las siguientes alternativas (muchas veces por acuerdo de la asociación de usuarios) para enfrentar el problema (Ojeda, 2002):

- **Labranza de conservación**

Una de las principales causas de la degradación del ambiente y la baja en rentabilidad de los cultivos, es el manejo inadecuado de los sistemas de producción tradicionales (Mendoza, 2002). El uso excesivo de labranza y la imprecisión en la toma de decisiones de manejo ya esta impactando negativamente en la agricultura mexicana. Estos impactos se pueden observar en los siguientes aspectos: 1) deterioro de suelos, 2) costos de producción altos, 3) uso ineficiente del agua, 4) calentamiento global y 5) gasto excesivo de combustibles fósiles. Se ha observado a través del tiempo un rápido deterioro físico, químico y biológico de una gran parte de los suelos del país. Según Cabrera y Beltrán (1993), en el Sur de Sonora anualmente la calidad de los suelos pierde 0.52%.

En el sistema de labranza de conservación su característica principal es que el suelo se disturba al mínimo posible, de esta manera los residuos vegetales no se incorporan al mismo quedando sobre la superficie, los que cubrirán el suelo como un mantillo; esto conservara su estructura natural permitiendo que el espacio poroso y su continuidad se mantengan intactos. Además, el mantillo reducirá la insolación (Velázquez, et. al, 1997) y disminuirá el impacto de las gotas de lluvia (Villar, 1996) así como la evaporación (Lal, 1999) y el encostramiento (Figueroa y Morales, 1992), como se puede observar en la **Figura 6.15**.



Figura 6.15 . Parcelas manejadas mediante agricultura de conservación (siembra directa)

- **Producción de genotipos de ciclo largo tolerantes a sequía y a estrés térmico**

El estudio de las respuestas de las plantas al estrés es un aspecto fundamental de la fisiología ambiental o eco fisiología, la cual se propone conocer cómo las plantas funcionan en sus ambientes naturales y cuáles son los patrones que determinan su distribución, supervivencia y crecimiento (Kramer y Boyer 1995, Lambers *et al.* 1998, Ackerly *et al.* 2002).

Cuando una planta está sometida a unas condiciones significativamente diferentes de las óptimas para la vida se dice que está sometida a *estrés*, si bien las diferentes especies o variedades difieren en sus requerimientos óptimos y por tanto en su susceptibilidad a un determinado estrés (Hsiao 1973, Levitt 1980).

Además, hay períodos o etapas del desarrollo, como el estadio de plántula, donde las especies pueden ser particularmente sensibles (o no sensibles) a un estrés determinado. El conocimiento de los mecanismos de resistencia al estrés permite comprender los procesos evolutivos implicados en la adaptación de las plantas a un ambiente adverso y predecir hasta cierto punto la respuesta vegetal al incremento de la adversidad asociada en muchos casos al cambio climático global.

Estos conocimientos, pueden ser aplicados para mejorar las características de las plantas tanto en su fase de cultivo como en la selección de variedades que se ajusten a unos requerimientos ambientales determinados o, simplemente, en mejorar la productividad de una especie (Kozlowski *et al.*1991, Nilsen y Orcutt 1996).

- **Seguimiento y pronóstico climático**

La variabilidad climática esperada por efecto del CC obligará a desarrollar sistemas de seguimiento y pronóstico climático cada vez más precisos, sobre todo para eventos extremos como heladas, altas temperaturas, huracanes, etc. Este tipo de estimaciones deberán realizarse con un nivel de resolución alta para la adecuada toma de decisiones.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

En la **Figura 6.16** Se muestra un ejemplo de un pronóstico climático a corto plazo para la variable temperatura.

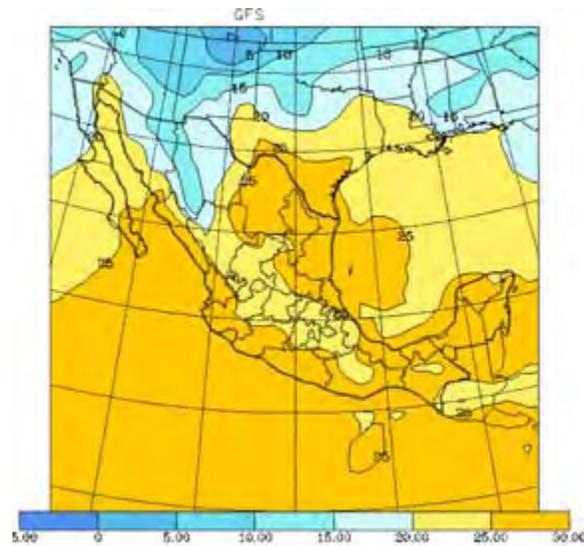


Figura 6.16 Pronóstico de temperatura a corto plazo

- **Servicio de riego integral**

Para lograr los impactos esperados en proyectos de gran visión en zonas de riego debe existir un servicio integrable de riego que capacite y brinde soporte técnico a los usuarios utilizando las nuevas herramientas de la informática y la comunicación que les ayude a toma de decisiones diarias. En Sinaloa ya se cuentan con las condiciones para hincar una nueva era de desarrollo a nivel del productor ya que cada vez son más los agricultores que tienen acceso a este tipo de tecnologías (**Figura 6.17**).



Figura 6.17 . Proceso de capacitación y servicio de riego a técnicos con acceso a la informática

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

Las acciones de adaptación descritas anteriormente se deben aplicar en los sistemas de producción de los cultivos que así lo permitan, es por esto que el **Cuadro 6.8** Presenta una relación de acciones (estructurales y no estructurales) recomendadas para cultivos.

Cuadro 6.8 Acciones de adaptación al cambio climático aplicables a los diferentes cultivos de riego del estado de Sinaloa.

Cultivo	Acciones de adaptación
Maíz	<p>Estructurales: Tecnificación de distritos de riego (parcela y red de distribución), sistemas de riego por aspersión como control de estrés térmico</p> <p>No estructurales: ajuste en fechas de siembra (modelos biológicos), planeación de superficie sembrada, programación integral y gestión del riego, técnicas de conservación del agua, modelos de predicción de plagas y enfermedades, reconversión de cultivos (cártamo, sorgo, ajonjolí), introducción de genotipos de ciclo largo y tolerantes a sequía</p>
Frijol	<p>Estructurales: sistemas de riego por aspersión como control de estrés térmico, adecuación de maquinaria para siembra en suelo mojado</p> <p>No estructurales: ajuste de fechas de siembra, planeación de la superficie sembrada, programación integral y gestión del riego, ajuste del manejo de la fertilización nitrogenada (fraccionamiento), predicción de plagas y enfermedades, reconversión de cultivos (sorgo), híbridos de ciclo largo y tolerantes a sequía.</p>
Papa	<p>Estructurales: generalizar el uso del riego por aspersión, modificación de maquinaria para siembra y cosecha</p> <p>No estructurales: ajuste en fechas de siembra, uso de variedades tolerantes a altas temperaturas y ciclo largo, aplicación de sustancias antiestrés térmico, traslado de áreas de siembra, programación integral y gestión del riego, modelos de predicción de plagas y enfermedades.</p>
Sorgo	<p>Estructurales: no aplica</p> <p>No estructurales: aprovechamiento de la capacidad de adaptación del sorgo, programación integral y gestión del riego, modelos fonológicos para plagas y enfermedades, ajuste del manejo de fertilización nitrogenada (fraccionamiento).</p>
Tomate	<p>Estructurales: uso de sistemas de riego por aspersión, adecuación de estructuras de sistemas de producción en ambientes controlados.</p> <p>No estructurales: ajuste de fechas de siembra y planeación de superficie sembrada, programación integral y gestión del riego, uso de modelos de predicción de plagas y enfermedades, manejo eficiente de la fertilización.</p>
Chile	<p>Estructurales: uso de sistemas de riego por aspersión, uso de sistemas de producción en ambientes controlados.</p> <p>No estructurales: ajuste de fechas de siembra, desplazamiento a zonas libres de sales, programación integral y gestión del riego, manejo eficiente de la fertilización, modelos de predicción de plagas y enfermedades.</p>

6.5.2 TÉCNICAS DE ADAPTACIÓN PARA LA AGRICULTURA DE TEMPORAL

- **Cosecha de Agua**

Se denomina cosecha de agua a la captación de escorrentías superficiales provenientes de precipitaciones, para propósitos de producción agropecuaria o forestal y es considerada como una forma rudimentaria de riego. En las zonas secas el recurso más limitante para la producción es el agua, por lo que se debe emplear técnicas de riego suplementario, con el fin de aumentar la producción agrícola y mejorar los medios de

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

subsistencia de las áreas de temporal. En ambientes secos una gran parte del agua se pierde por evapotranspiración, lo que reduce considerablemente la productividad del agua de lluvia.

La implementación de técnicas de cosecha de agua pueden mejorar la productividad de regiones de temporal, en un estudio realizado en Asia occidental y África del norte se encontró que más del 50% del agua que se pierde se puede recuperar a un costo muy pequeño (Oweis y Hachum 2006).

Para realizar un adecuado diseño de captación de agua se recomienda utilizar la formula propuesta por Anaya *et al.* (1976), la cual se describe a continuación:

$$TM = As + \frac{1}{C} \frac{UC - P}{P} As$$

$$Ae = \frac{1}{C} \left(\frac{UC - P}{P} \right) As$$

Donde:

TM = tamaño de micro captación

As = área de siembra, se consideran 50 cm de explotación del sistema radicular para cultivos en hilera

Ae = área de escorrentía

C = coeficiente de escorrentía del Ae

UC-P = total de deficiencias mensuales de agua durante el ciclo vegetativo del cultivo

P = Total de la lluvia que cae en el tiempo que dure en desarrollo el cultivo, con un 50% de probabilidades

Para facilitar la infiltración del agua en el área de siembra se recomienda subsolear y dar un paso de arado, cincales u otro implemento para mejorar el desarrollo de las raíces, posteriormente, con un arado de vertedera, se construyen los surcos, siguiendo las curvas de nivel.

A continuación se describen las principales técnicas utilizadas para la captación de agua en agricultura de temporal (FAO 2000):

- **Distanciamiento entre hileras.**

La distancia entre surcos se calcula de acuerdo a la formula de Anaya *et al.* (1976).

Método Guimaraes Duque (GM). Consiste en la formación de surcos seguidos por camellones altos y largos. El surco y el camellón son formados a través de cortes efectuados con un arado de disco reversible sobre la curva de nivel previamente trazada, con este método los surcos alcanzan una profundidad media de 0.25 m y un espaciamiento de 1.5 m.

- **Técnica de captación de agua de ICRISAT (International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropic).**

Consiste en la formación de surcos con profundidad de 0.20 m alternado por camellones un poco arriba del nivel normal de la superficie del suelo. Una de las ventajas de este método es que puede adaptarse al espaciamiento de varios cultivos anuales, además de que requiere de poca fuerza motriz, lo que permite el uso de tracción animal

Método de W. Consiste en la formación de una secuencia alterna entre camellones largos y camellones estrechos, los primeros tienen sección triangular, la cual funciona como área de captación; los camellones cortos tienen sección trapezoidal y conforman el área de siembra. Este sistema presenta las siguientes ventajas: permite la mecanización, inclusive, para el manejo de los cultivos; facilita la incorporación de materia orgánica para el mejoramiento del suelo en el área de siembra y puede adaptarse a cualquier espaciamiento de siembra, y puede implantarse con tractor o con tracción animal.

Métodos de surcos interceptados. Consiste en la intercepción de los surcos con pequeñas tapadas construidas con parte del suelo removido del propio surco, a través de la utilización de equipo de tracción animal, con el objetivo de impedir el escurrimiento del agua de lluvia en el surco, permitiendo de esta manera, una mayor oportunidad de infiltración en el perfil del suelo. Cuando en un evento lluvioso ocurren grandes precipitaciones que provocan encharcamientos, se recomienda la eliminación del taponamiento de los surcos con la ayuda de surcadores simples; cuando las lluvias han disminuido, se deben formar nuevamente.

Microcuencas de captación individual (para árboles frutales). Consiste en formar a lo largo de la hilera de árboles bordos ya sea con tractor o con tracción animal, este es el caso de microcuencas continuas, para el caso de microcuencas de captación individual se separan con 2 bordos entre cada árbol

Pileteo. Consiste en realizar pequeñas cavidades a lo largo del surco con el propósito de evitar escurrimientos y aumentar la captación del agua de lluvia, también son utilizados en algunos sistemas de riego cuando se tiene el problema de baja velocidad de infiltración. **(Figura 6.18)**

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final



Figura 6.18 Pileteadora para la reducción de escurrimientos superficiales

Para cada cultivo de temporal las acciones recomendadas se presentan en el **Cuadro 6.9**

Cuadro 6.9 Acciones de adaptación para los cultivos de temporal de Sinaloa

Cultivo	Acciones de adaptación
Ajonjoli	Estructurales: obras para cosecha de agua, adecuación de maquinaria para suelos secos y mojados No estructurales: técnicas de conservación de humedad, aprovechamiento de su capacidad de adaptación y tolerancia a altas temperaturas, ajuste del manejo de fertilización nitrogenada (fraccionamiento), modelos de predicción de plagas y enfermedades.
Cacahuete	Estructurales: obras para cosecha de agua, adecuación de maquinaria para suelos secos y mojados No estructurales: técnicas de conservación del agua y control de salinidad en suelos
Pasto	Estructurales: obras para cosecha de agua No estructurales: técnicas de conservación de humedad, aprovechamiento de su capacidad de adaptación y tolerancia a altas temperaturas, prácticas reductoras de la erosión del suelo
Sorgo	Estructurales: obras para cosecha de agua, adecuación de maquinaria para suelos secos y mojados No estructurales: técnicas de conservación de humedad, aprovechamiento de su capacidad de adaptación y tolerancia a altas temperaturas, uso de variedades precoces para aprovechamiento de lluvia, prácticas reductoras de la erosión del suelo.
Frijol	Estructurales: adecuación de maquinaria para suelos secos y mojados No estructurales: técnicas de conservación de humedad, ajuste de fechas de siembra, desplazamiento a zonas libres de sales, prácticas reductoras de la erosión del suelo.
Mango	Estructurales: introducción de sistemas de riego en áreas específicas No estructurales: técnicas de conservación de humedad, prácticas reductoras de la erosión del suelo, manejo eficiente de la fertilización.

Es importante que todas estas acciones de adaptación se respalden con una adecuada normatividad, que se promueva un cambio en la cultura del ambiente y la formación de técnicos y tecnólogos.

6.6 GRANDES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO PARA SINALOA

Implantar acciones de adaptación en la agricultura del estado de Sinaloa demanda una serie de investigaciones para acelerar el proceso de adopción y transferencia de tecnologías y metodologías, nuevas o mejoradas, entre las más importantes destacan:

1. Compilación, generación y verificación de información climática histórica y futura para el estado de Sinaloa facilitando el intercambio de información
2. Desarrollo de nuevas variedades/híbridos tolerantes a estrés térmico e hídrico
3. Sistemas de monitoreo ambiental y alerta temprana, sanitaria e hídrica
4. Estudios de potencial productivo de nuevos cultivos con fines de reconversión productiva
5. Actualización del potencial productivo de los cultivos actuales del Estado de Sinaloa
6. Estudios para conocer la factibilidad de aplicación de sustancias antiestrés
7. Actualización dinámica de paquetes tecnológicos
8. Transferencia de paquetes tecnología ajustados bajo condiciones de cambio climático
9. Desarrollo, validación, calibración y aplicación de modelos biológicos para analizar comportamiento de cultivos/organismos bajos escenarios de cambio climático
10. Desarrollo y validación de tecnologías para la aplicación diferencial de insumos agrícolas
11. Estudios de impacto regional del cambio climático para estimar su variabilidad espacial y temporal en los sectores productivos
12. Desarrollo del servicio agrometeorológico regional con fines de apoyo en el seguimiento del desarrollo de los cultivos y aplicación óptima de insumos agrícolas y prácticas de manejo.
13. Desarrollo de capacidades técnicas (ajustar modelos, herramientas, métodos, procesos)
14. Medición de la vulnerabilidad de las zonas productivas

6.7 REVISIÓN Y AJUSTE DE POLÍTICAS GUBERNAMENTALES

- Elaboración del inventario estatal de emisión de GEI

Elaborar un inventario estatal de emisión ayudará a los gobiernos a formular sus planes estatales de desarrollo bajo un enfoque sostenible. Los inventarios deben contener las suficientes bases de datos de todos los sectores productivos y el grado de influencia de estos en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) para poder en el mediano plazo hacer diagnósticos del daño que se le está causando al estado y tomar medidas de mitigación y adaptación, que puedan prevenir catástrofes sobretodo en las zonas más vulnerables

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

La elaboración de los inventarios estatales de emisión sirve para establecer políticas de desarrollo en los estados. La SEMARNAT, ha propuesto que los planes estatales de desarrollo deben realizarse considerando los inventarios de GEI para poder establecer políticas que permitan el mejor aprovechamiento de los recursos económicos. Los inventarios deben identificar y contabilizar las contribuciones porcentuales de las principales fuentes de emisión de GEI que contribuyan al calentamiento global para orientar medidas de mitigación y adaptación.

En el plan estatal de desarrollo de Sinaloa, se distinguen cuatro líneas de trabajo relacionadas con el CC: 1) ordenamiento Territorial, 2) reconversión productiva con diversificación de cultivos, 3) fomentar la productividad pecuaria y 4) fortalecer las empresas locales para la generación de empleos de calidad.

- **Incorporación de tecnologías de información.**

En los inicios de este nuevo siglo todas las ciencias se han visto influenciadas por el impacto de las nuevas tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el desarrollo de los procesos que le son inherentes. La agricultura es una de las profesiones más antiguas del hombre, pero en la actualidad es una de las actividades que está iniciando un proceso de desarrollo acelerado. Por ejemplo, la ingeniería genética y la agricultura de precisión, dependen cada vez más del procesamiento de datos.

Estos aspectos hacen pensar en los cambios profundos que está logrando el uso de las TIC en la manera de trabajar de los agricultores, por cuanto mejora la eficacia de sus actividades, dando pie para que hoy pueda hablarse con toda propiedad de informática y agricultura. Grenón (1994) llamaron a esta nueva fusión como agromática y la definieron como la aplicación de los principios y técnicas de la informática y la computación a las teorías y leyes del funcionamiento y manejo de los sistemas agropecuarios

En Sinaloa su desarrollo ha sido incipiente, sin embargo, se cuenta con los principales insumos para que en el corto plazo se tenga un desarrollo acelerado: existe una nueva generación de agricultores con acceso a las tecnologías de la informática y 2) existe el interés y la capacidad suficiente por parte de los diferentes organismos para expandirla.

La CONAGUA y Fundación Produce Sinaloa, principalmente han hecho intentos por apoyar proyectos relacionados con esta nueva forma de aplicar la tecnología, entre los que se encuentran los siguientes:

Spriter. Es un sistema desarrollado de 1997 a 2004 por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) con financiamiento de la Comisión Nacional del Agua (CNA), que permite la automatización de los cálculos de la calendarización de riego en tiempo "real" manipulando las diferentes bases de datos de los componentes físicos del sistema agua-suelo-planta-atmósfera. Fue diseñado para la apoyar la operación de módulos y

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

distritos de riego y mejorar sus eficiencias en el uso del agua. El sistema ha permitido estimar la eficiencia global de los distritos de riego 075 y 076 en un 30%, lo cual indica que solamente una tercera parte del agua almacenada en la presa se queda finalmente en la zona de raíces, el resto es perdido por filtración en los canales, mala operación, o baja eficiencia de aplicación. La **Figura 6.19** Muestra los componentes del Spriter.



Figura 6.19 Componentes del Sistema de Pronóstico del Riego en Tiempo Real

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

IrriModel. Es un sistema computacional desarrollado por el INIFAP en el norte de Sinaloa en 2009 cuyo objetivo es la programación integral y gestión del riego en tiempo real en los diferentes cultivos, operado a través de Internet. IrriModel. Por sus características y a la facilidad de acceso actual de la Internet durante el ciclo otoño-invierno 2009-2010 en poco tiempo se logró su diseminación a gran escala, permitiendo mejorar el manejo del riego en el cultivo de papa. **La Figura 6.20** Muestra el seguimiento del cultivo y del riego a través del sistema IrriModel.



Figura 6.20 Programación integral y gestión del riego a través de internet

IrriMovil. Se desarrollo como una alternativa a IrriModel (**Figura 6.21**) con el fin de lograr que los productores utilicen esta herramienta a un estandar en sus predios. Se uso el entorno de desarrollo Netbeans IDE, un entorno de desarrollo BlackBerry JDE y una nueva API de interfaces de usuarios JavaME llamada Lwuit.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final



Figura 6.21 Sistema de alerta de riego mediante dispositivo móvil

IrriWeb. La metodología para programar los riegos es muy compleja para un productor y es afectada por el clima, lo cual hace que el productor de papa no programe sus riegos adecuadamente perdiendo calidad y sus ingresos, por otro lado también se pierden agua y fertilizante. La **Figura 6.22** muestra la caratula principal de un sitio web con aplicaciones en programación de riego.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final



Figura 6.22 Sitio web con aplicaciones en programación del riego

- **Promoción y difusión del cambio climático.**

Por ser el presente trabajo uno de los primeros en su tipo a nivel estatal, la promoción y difusión de este tema se encuentra en sus etapas iniciales. Se ha logrado formar un grupo multidisciplinario a nivel estatal que ha participado en tres talleres estatales para analizar la problemática del estado y generar propuestas de adaptación. Se ha tenido participación en eventos masivos de difusión como la ExpoAgro 2010 en Culiacán y la IV Megaconvención en Mazatlán. Se esta iniciando a utilizar la tecnología de la información para divulgar e involucrar a todos las cadenas productivas del estado en el tema.

- **Incorporación del CC en la educación**

Se sugiere incorporar iniciar una nueva cultura del CC a todos los niveles de la educación desde niveles básicos hasta superiores y continuar en el desarrollo de las diferentes actividades productivas. El Banco Mundial ha recomendado a diferentes países, entre ellos México que deberá adaptar su agricultura ante los efectos del Cambio Climático mediante estrategias tecnológicas que le permitan proteger sus cultivos y ganado ante las variaciones de clima extremo, para ello su punto de partida deberá ser la educación. (Figura 6.23).

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

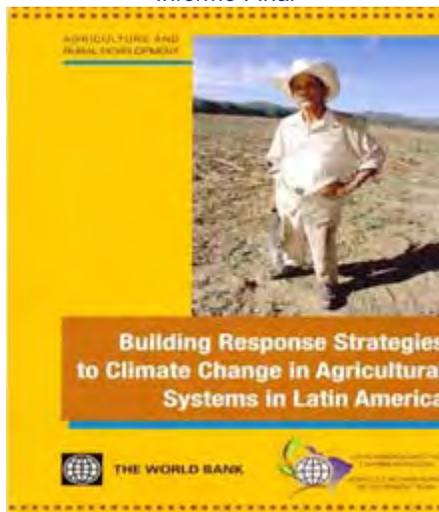


Figura 6.23 Recomendación del Banco Mundial para la adaptación al cambio climático de América Latina

- **Incorporación del CC como variable de diseño en proyectos productivos del sector agrícola**

Ante las nuevas condiciones climáticas y de variación climática es urgente la Incorporación del CC como variable de diseño en proyectos productivos del sector agrícola. Los sistemas de riego, los invernaderos, las nuevas variedades son algunos ejemplos que deben tomar en cuenta los nuevos escenarios climáticos.

- **Riesgo agroclimático y seguro agrícola**

A nivel nacional no existe una clasificación del riesgo climático agrícola municipal lo que los hace vulnerables a los eventos extremos. Para esto se requiere compilar las bases de datos climáticas y analizarlas para definir índices de siniestralidad histórica, los eventos más comunes de este tipo son sequías de verano, granizadas, heladas tardías, Inundaciones, etc. Esta herramienta sería de gran utilidad para la asignación de los seguros agrícolas.

6.8 LITERATURA CITADA

- Allen, R.G. Pereira, L.S., Raes, D. Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome
- Ackerly, D., C. Knight, S. Weiss, K. Barton y K. Starmer. 2002. Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia*. 130: 449 - 457.
- Anaya M. y Tovar S. 1976. Métodos de captación "in situ" de agua de lluvia para frutales. pp. 126-127. En: Avances de la Enseñanza y la Investigación 1975-1976. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., p 15. En: Resúmenes. Avances Metodológicos de la Enseñanza e Investigación de campo 1970, del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Cabrera, C. F.y Beltrán, F.M. 1993. La problemática de los suelos del Valle del Mayo y su proyección a futuro. En CIANO-INFORMA Zona Sur. Vol. III No. 3 pág.3.
- Cabrera, R. 1994. Consideraciones sobre la tecnología del riego superficial en caña de azúcar. Nota técnica. Revista Caña de Azúcar. 12:85-97. INIA. Venezuela.
- Campra, P., M. Garcia, Y. Canton, and A. Palacios-Orueta. 2008. Surface temperature cooling trends and negative radiative forcing due to land use change toward greenhouse farming in southeastern Spain, *J. Geophys. Res.*, 113, D18109.
- Cardon, G. E., J. G. Davis, T. A. Bauder, y R. M. Waskoml. 2003. Managing saline soils. Crop Series No. 0.503. Cooperative Extension. Colorado State University. 5 pp.
- Cortés J.J.M. 2007. Resultados con métodos de labranza en trigo. Folleto para productores No. 38. Campo Experimental Valle del Yaqui-CIRNO-INIFAP. 20 p.
- Doorenbos, J. Y A. H. Kassam. 1986. Yield response to water. FAO. Irrigation and Drainage paper No. 33. Roma, Italia. 189 pp.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

- Enciso-Medina, J. M., D. L. Martin and D. Eisenhauer. 1999. "Infiltration Model for Furrow Irrigation". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE. 124(2): pp 73-81.
- FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas No. 8. Roma, Italia. 234 p.
- FAO. 2000. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia experiencias en América Latina
- Füssel H.-M. and R. J. T. Klein. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic Change* (2006) 75: 301–329
- Guariguata y Kattan. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Ediciones LUR, Cartago, Costa Rica. 619 pp.
- Gutiérrez, Alfredo. 2004. Diagnostico de la operación de módulos de riego en la zona norte de Sinaloa (Modulo "Batequis" DR075). Tesis de licenciatura. Chapingo, México. 166 pp
- Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol*. 24: 519-570.
- <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/610/61009814.pdf>
- http://www.biologiezentrum.at/pdf_frei_remote/PHY_39_3_0013-0017.pdf
- <http://www.fao.org/ag/ca/es/index.html>
- <http://www.sinaloa.gob.mx/images/stories/pdf/Planestataldesarrollo20052010.pdf>
- IPCC, 1997. Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad. (Incluido en resumen para responsables de políticas). Informe especial del Grupo de trabajo II del IPCC, 1997.
- Kozlowski, T. T., P. J. Kramer y S. G. Pallardy. 1991. *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press. Toronto.
- Kramer, P. J. y J. S. Boyer. 1995. *Water relations of plants and soils*. Academic Press. San Diego.

Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del estado de Sinaloa

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Informe Final

- Lambers, H., F. S. Chapin III y T. L. Pons. 1998. *Plant physiological ecology*. Springer Verlag, York PA.
- Levitt, J. 1980. *Responses of plants to environmental stresses*. Academic Press, New York.
- Nilsen, E. T. y D. M. Orcutt. 1996. *Physiology of plants under stress*. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Ojeda, W. 2002. Importancia de la plantación hidroagrícola en distritos de riego bajo condiciones de baja disponibilidad. Comisión Estatal de Agua de Guanajuato. *Revista Aquaforum*. 30:10-14. Guanajuato, Gto.
- Riebsame, W. E. 1991. Adjusting water resources management to climate change. *Clim. Change*. 13:69-67
- Rimski-Korsakov, H; M. Torres Duggan; R. S. Lavado. "Influencia de la Fertilización y el Riego en la Lixiviación de Nitratos en un Suelo Arenoso". XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, 11 al 14 de abril de 2002.
- Sifuentes, I.E. y Ojeda B.W. 2003. Acciones para mitigar los efectos de una sequía en zonas de riego (Caso módulo Batequis-DR075). En memorias del XII Congreso Nacional de Irrigación. Zacatecas, México.
- Sifuentes, I.E. y Ojeda B.W. 2005. Métodos de conservación del agua en riego superficial: una alternativa para incrementar la eficiencia en el uso del agua. En memorias del XIII Congreso Nacional de Irrigación. Acapulco, Gro., México.
- Theib Oweis and Ahmed Hachum. 2006. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. *Agricultural water management*. 80: 57-73.
- Wang, H., C. Liu, y L. Zhang. 2002. Water-saving agriculture in China: an overview. In *advances in agronomy*. 75:135-171.
- Yonts, D. C., D. E. Eisenhauer y D. Varner. 2003. *Managing Furrow Irrigation Systems*. Guide G97-1338-A. Cooperative Extension. Institute of Agricultural and Natural Resources. University of Nebraska. Lincoln, Nebraska, USA

7. COLABORADORES DEL PROYECTO

7.1 Relación de colaboradores del proyecto.....	312
7.2 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.....	313
7.3 Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.....	315
7.4 Colegio de Postgraduados.....	319
7.5 Tesistas.....	319
7.6 Asistentes.....	320

7.1 Relación de colaboradores del proyecto

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Waldo Ojeda Bustamante

Mauro Iñiguez Covarrubias

Martín José Montero Martínez

Héctor Emiliano Quiñones Pedroza

Israel Velasco Velasco

Helene Unland Weiss

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas

Ernesto Sifuentes Ibarra

Jaime Macías Cervantes

José Guadalupe Quintana Quiroz.

Víctor Manuel González Calderón.

Vladimir Ruiz Pérez

Ada Ascencio Álvarez

Luis Alberto Hernández Espinal

Heidi Melania Medina Montenegro

Jaime Valdez Amaya

Edgardo Cortez Mondaca.

Juan Esteban Reyes Jiménez.

Tomás Moreno Gallegos.

Colegio de Postgraduados

Juan Manuel Gonzalez Camacho

Tesistas

Regulo Nájera Solís (Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala)

Rosendo Abel Corral Vega (Universidad A. Sinaloa)

Mapo Mora Edgar Mauricio (Universidad A. Sinaloa)

Asistentes

Eduardo Celis Lais

Cesar Ricardo Minauro Cervera

7.2 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Waldo Ojeda Bustamante. Doctor en Ciencias del Suelo y Agua por la Universidad de Arizona (1995), maestría en computación aplicada por el CP e ingeniero agrónomo especialista en irrigación por la U.A. Chapingo. Ha impartido más de 30 cursos a nivel licenciatura y postgrado relacionados con la agrometeorología, ingeniería de riego y métodos numéricos en varias universidades e institutos de investigación. Ha publicado tres libros como autor principal y es miembro del sistema nacional de investigadores, Nivel I. Ha sido secretario administrativo y de organización de la Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación. Responsable de más de 10 proyectos de investigación y transferencia de tecnología para zonas de riego de varios estados del país financiados por la Comisión Nacional de Agua, CONACYT, IMTA y Asociaciones de Usuarios. Ha trabajado en temas relacionados con el uso eficiente del agua en zonas de riego, agricultura protegida, agrometeorología, y modelación de interés agrícola. Es investigador del Instituto Mexicano de Tecnología de riego en el área de ingeniería de riego desde 1995.

Mauro Iñiguez Covarrubias. Doctor en ingeniería por la UAEMEX. Maestro en ciencias en Hidrociencias por el Colegio de Postgraduados e ingeniero Civil por la U. A. Zacatecas. Experiencia en la gestión de zonas de riego del país mexicana. Especialista en Hidráulica de la Coordinación de Riego y Drenaje del IMTA.

Martín José Montero Martínez. Físico por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en el año de 1989. En 1994, obtuvo el Grado de Maestro en Ciencias (Geofísica) en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Obtuvo el grado de Doctor en Ciencias de la Atmósfera en la Universidad de Arizona en 1999. Además tiene estudios posdoctorales en la Universidad de Dalhousie (Canadá) en 1999-2000. Desde entonces trabaja en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, donde ha tenido la oportunidad de colaborar en varios proyectos de investigación enfocados a cambio climático. Tiene alrededor de 16 publicaciones (3 en journals internacionales; 8 en memorias de congresos internacionales; 5 en memorias de congresos nacionales); 2 capítulos en libro; y 18 participaciones (ponencias o posters) en conferencias (12 internacionales, 6 nacionales). Además de haber participado varias veces como profesor en el posgrado IMTA y haber graduado a la fecha a 5 estudiantes a nivel licenciatura y dos en proceso a nivel maestría.

Hector Emiliano Quiñones Pedroza. Héctor Emiliano Quiñones Pedroza. Ingeniero en Irrigación por la Universidad Autónoma Chapingo (1981). Maestro en Ingeniería Hidráulica por la Universidad Autónoma de Coahuila (1984). Maestro en Ciencias del Agua por la Universidad de Ciencias y Técnicas de Languedoc en Montpellier, Francia (1986). Doctorado en modelación hídrica de cultivos por el Instituto Nacional Politécnico de Francia (1989). Postdoctorado en manejo integral de cuencas por la Universidad Agronómica de Praga (1992). Postdoctorado en metrología y cambio climático en el Instituto Francés del Medio Ambiente (2002). Ha trabajado en el Banco de México, en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en el Colegio de Postgraduados, en el Instituto Francés de Investigaciones Agrícolas, en el Instituto Francés del Medio Ambiente, en AGROPOLIS Internacional, en la Universidad Agronómica de Praga y ha dado cursos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en la Universidad de Coahuila, en la Universidad de Nuevo León y en la División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM entre otras.

Israel Velasco Velasco. Ingeniero en Irrigación por la Universidad Autónoma Chapingo (1982), maestro en ingeniería (aprovechamientos hidráulicos) por la UNAM (1989), y Doctor en hidráulica (UNAM, 2002), con orientación en la hidrología de la

desertificación, sequía y escasez de agua. Responsable de más de 10 proyectos de investigación y transferencia de tecnología para manejo hidrológico de cuencas y zonas de riego, balances hidrológicos y estudios agroclimáticos regionales. Autor de múltiples artículos en congresos nacionales e internacionales, así como 3 capítulos de libro sobre diversos aspectos de la sequía, y 6 artículos publicados en revistas especializadas. Participa regularmente como profesor de asignatura en la UNAM, Campus Morelos, para la maestría en Ingeniería Ambiental. Ha dirigido 2 tesis de licenciatura y 4 de maestría sobre temas relacionados con la gestión del agua.

Helene Emmi Karin Unland Weiss. Obtuvo el grado de Asociado de Ciencias Aplicadas en Ciencias de Computo en el Colegio del Oeste de Arizona en el año de 1986. En 1991, obtuvo el Grado de Licenciatura de Ciencias en Hidrología y Recursos de Agua en la Universidad de Arizona. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias en Hidrología en la Universidad de Arizona en 1996. A partir de ese año, se incorpora al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, donde ha coordinado la planeación e implementación de redes de observación agrometeorológicas con fines de pronóstico de riego en tiempo real en los distritos de riego más importantes del país, así como ha dirigido investigaciones en medición directa y análisis del balance de energía mediante métodos micrometeorológicos para la calibración de los coeficientes de cultivo. Autor de 2 artículos y coautor de 1 artículo publicados en revistas internacionales arbitradas; autor de 16 y coautor de 15 ponencias publicadas en memorias de conferencias nacionales; autor de 9 y coautor de 4 artículos publicados en memorias de conferencias internacionales; ha contribuido con artículos en 4 libros publicados y en 30 informes técnicos.

7.3 Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas

Ernesto Sifuentes Ibarra. Ing. Agrónomo especialista en maquinaria agrícola egresado de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila en 1992, con maestría en Suelos en la misma Institución en 1995. Experiencia en manejo de sistemas de riego y fertirriego. De 1996 a 1997 encargado del desarrollo y adaptación del sistema de pronóstico de riego en tiempo real en el Valle del Carrizo, Sinaloa. De 1997 a 2004 responsable del desarrollo y transferencia del sistema de pronóstico de tiempo real en el Valle del Fuerte. Actualmente es investigador en Uso y Manejo del Agua en el INIFAP-CEVAF. Cuenta con publicaciones nacionales e internacionales con temas relacionados con el riego.

Jaime Macias Cervantes. Es ingeniero Agrónomo en suelos por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo Coah. (1980-1984), con Maestría en Ciencias por el Centro de Edafología en el Colegio de Postgraduados en Montecillos Edo. De México (1987-1989). Es Investigador en el Programa Sistemas Agrícolas de Producción en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (INIFAP) a partir de 1985, en las áreas de fertilidad, labranza, modelaje, agricultura de precisión y sistemas de siembra intensivos. Actualmente es responsable de dos proyectos de investigación en las áreas de siembra directa y empleo de sensores infrarrojos para la optimización del uso de fertilizantes nitrogenados. Recibió felicitación al trabajo de tesis de Maestría y fue candidato a Investigador Nacional por el Sistema Nacional de Investigadores (SIN). CONACYT de 1989 a 1993. Ha obtenido en dos ocasiones el Reconocimiento por parte de la Asociación de agricultores del Río Fuerte Sur, en Los Mochis, Sin., por haber resultado triunfador

en el concurso PREMIO TECNOAGRO en el año de 1999 y 2009. Ha sido asesor de dos tesis a nivel de licenciatura.

Rafael A. Salinas Pérez. Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad de Nuevo León, realizó sus estudios de maestría en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (Campus Monterrey). Ingreso al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) en 1975, actualmente INIFAP donde se ha desempeñado como investigador desarrollando sus actividades en el mejoramiento genético de Leguminosas Comestibles, desde sus inicios, laborando en los cultivos de frijol, garbanzo y soya principalmente, aunque también, ha realizado algunos trabajos de investigación en otras leguminosas como lenteja y haba. Ha desempeñado cargos como Coordinador Nacional de la Red de Investigación e Innovación de Tecnología e Investigación de Frijol y otras Leguminosas de Grano, también ha recibido diferentes nombramientos tales como: Líder del Grupo Interdisciplinario de frijol del CEVAF de 1980 a 1983, Coordinador de Investigación de Leguminosas Comestibles a nivel del CIAPAN de 1984 a 1987, Experto de Red de Leguminosas Comestibles a Nivel de Zona Norte de Sept. 1987 a febrero de 1992. Coordinador del Nodo de frijol y otras Leguminosas en el Noroeste (CIRNO) de Agosto a la 31 de diciembre de 2007.

José Guadalupe Quintana Quiroz. Es Ingeniero agrónomo por el Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui (2001-2005), con maestría de la Universidad de Sonora (2006-2008). Trabaja en el INIFAP, Campo Experimental Valle del Fuerte, desde octubre de 2008. Es investigador asociado "B" de la Red de Modelaje. Actualmente participa en activo como colaborador del proyecto Uso de sensores infrarrojos para incrementar la eficiencia de los fertilizantes en México, en colaboración con CIMMYT, proyecto financiado por Gobierno federal a través de la SAGARPA, así como en el proyecto de labranza de conservación financiado por el gobierno federal como parte del convenio INIFAP-INTA con el gobierno argentino.

Edgardo Cortez Mondaca. Es Ingeniero Agrónomo Parasitólogo por la Universidad Autónoma de Sinaloa, extensión Escuela Superior de agricultura del Valle del Fuerte (1978-1983); Maestro en Ciencias por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (1990-1992); Doctorado por el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas (1998-2001). Trabaja desde 1984 en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales agrícolas y Pecuarias (INIFAP), adscrito al Campo Experimental Valle del Fuerte. Es investigador titular "C" del programa de Entomología; actualmente es responsable de dos proyectos de investigación, financiados por Fundación Produce Sinaloa A.C., y por el INIFAP. Sus líneas de investigación han sido orientadas a definir el Manejo Integrado de Plagas en cultivos agrícolas como garbanzo, algodón, maíz, frijol, chile, tomate, mango y naranjo, entre otros, a través de estudios de ecología, control biológico y de requerimientos fisiológicos, de estudios de monitoreo de resistencia a insecticidas y de efectividad biológica de los mismos. Autor de 11 artículos científicos publicados en revistas indizadas. Ha sido asesor de 11 tesis a nivel Licenciatura, Maestría en Ciencias y Doctorado. Ponente en alrededor de 18 Congresos Nacionales y diez Internacionales, como Autor y Coautor de Diferentes Trabajos de Investigación. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel I.

Víctor Manuel González Calderón. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista (1999-2003) y Maestro en Ciencias en Horticultura (2005-2008) por la Universidad Autónoma Chapingo. Trabaja desde el 2008 en el Campo Experimental Valle del fuerte. Es

investigador asociado “C” de la red de cítricos y de la red de frutales tropicales, actualmente es co-responsable de dos proyectos de investigación, uno de ellos financiado por Fundación Produce Sinaloa A.C. y el otro por CONACyT-Gobierno del Estado de Sinaloa. Sus líneas de investigación son los recursos fitogenéticos (conservación y caracterización) y la anatomía vegetal. Ha sido asesor de dos tesis a nivel licenciatura.

Franklin G. Rodríguez Cota. Es Ingeniero Agrónomo egresado de la Universidad de Guadalajara, realizó sus estudios de maestría en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en la especialidad de Producción de Semillas. En los últimos años se ha desempeñado como investigador del INIFAP, Campo Experimental Valle del Fuerte como responsable de los programas de mejoramiento genético de frijol y soya y colaborador de otros programas relacionados. Ha desarrollado diferentes cargos como miembro del comité editorial y científico del CEVAF. Actualmente se desempeña como Jefe de Campo del CEVAF.

Rubén Darío García Pérez: obtuvo su licenciatura en agronomía en la Universidad Autónoma Chapingo (1979-1983), su maestría en Genética en el Colegio de Postgraduados (1993-1996) y su doctorado en Biotecnología en la Universidad de Gante, en Bélgica (1999-2003). Ingresó al INIFAP en 1984, al Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU), donde trabajó como mejorador de oleaginosas de 1984 a 1998. Actualmente es investigador titular “C”, encargado del Laboratorio de Biotecnología y de Diagnóstico Fitopatológico del CEVACU. Sus líneas de investigación son: identificar marcadores moleculares para tamaño y color de grano, resistencia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* y tallo erecto en garbanzo, y determinar la respuesta de variedades de maíz sembradas en Sinaloa al ataque de *Fusarium* y *Macrophomina*. Ha participado en la liberación de cinco variedades de cártamo y una de ajonjolí y ha publicado diversos documentos técnicos y científicos a nivel nacional e internacional.

Vladimir Ruiz Perez Egresado de la Escuela Superior de Agricultura del Valle del Fuerte de la Universidad Autónoma de Sinaloa, en la carrera de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con especialidad en Suelos e Irrigación, colaborador desde hace dos años a la actualidad de proyectos de investigación en el INIFAP en Campo Experimental del Valle del Fuerte (CEVAF) financiados por Fundación Produce y CONACyT gobierno del estado de Sinaloa.

Ada Ascencio Álvarez. Ingeniera Agrónoma Parasitóloga (1991-1995) con Maestría en Parasitología Agrícola (1998-2001) y Doctorado en Fitomejoramiento (2003-2006), en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo Coahuila. Realizó estudios de investigación en mejoramiento genético enfocado a resistencia genética y identificando fuentes de resistencia en tomate a *Fusarium oxysporum* fp. *lycopersici*, además del modo de herencia de esta enfermedad en el mismo cultivo. Asesora de productores de maíz y frijol en diferentes colonias de Venustiano Carranza, Chis (1998-2001). Encargada de la Jefatura de control Fitosanitario en la Compañía Floraplant en Tetecalita Morelos, enfocado principalmente a plagas y enfermedades en los cultivos de geranio, especies aromáticas y ornamentales de producción nacional, como noche buena. 3 años de experiencia en técnicas moleculares (PCR, RAPD's, RFLP's, AFLP's). Manejo del paquete Office (Word, powerpoint, Excel), Corel, Xara, Xara 3D. Experiencia en elaboración de proyectos productivos (PAPIR y FAPPA) y científicos (CONACY, Fundación Produce

Sinaloa). Actualmente es investigador titular C con tres años de experiencia en el CEVACU-INIFAP, realizando investigación en las diferentes hortalizas producidas en el estado como son tomate, chile, pepino, sandía y melón con enfoque a producción nacional y de exportación.

Luis Alberto Hernández Espinal. Es maestro en ciencias en biotecnología agropecuaria (2004-2006) y ingeniero agrónomo (1999-2004) por el Instituto Tecnológico El Llano, Aguascalientes. Realizó investigación en “Determinación de la diversidad genética en nopal (*Opuntia* spp.) mediante marcadores moleculares AFLP” (2006) y “Desarrollo de técnicas de biología molecular en *Colletotrichum lindemuthianum*” (2003-2004). Trabaja desde 2008 en INIFAP del Campo Experimental Valle de Culiacán, Sinaloa. Es investigador asociado “C” de la red nacional de biotecnología, actualmente es corresponsable en dos proyectos de investigación y validación tecnológica, financiados por fundación Produce Sinaloa A.C. Líneas de investigación son en Formación de variedades e híbridos para temporal y riego, así como validación tecnológica de Sorgo con un enfoque para la alimentación animal y en Calidad de la leche bovina (salud animal).

Joaquín Ureta Téllez. Es ingeniero agrónomo biotecnólogo egresado del Instituto Tecnológico de Sonora, realizó sus estudios de maestría en ciencias agropecuarias. Ha colaborado en diversos proyectos de investigación del área de fitopatología. Actualmente se desempeña como investigador en el Campo Experimental Valle de Culiacán del INIFAP en el programa de biotecnología.

Heidi Melania Medina Montenegro. Es ingeniero agrónomo por la Universidad Autónoma de Sinaloa (1999-2005), y M. C. en Ingeniería en Sistemas de Producción por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (2005-2007). Trabaja desde 2008 en el Campo Experimental Valle de Culiacán. Es investigador asociado “C” del programa de Frutales Tropicales, actualmente es corresponsable de 3 proyectos (dos a nivel nacional): Determinación de estándares nutrimentales para el manejo de la fertilización de los principales cultivares de mango en México. Fluctuación poblacional de *Diaphorina Citri* Kuwayama e insecticidas biorracionales para su control en cítricos, en Sinaloa. Manejo sostenible y competitivo del mango para exportación en el occidente de México, considerando la nutrición del árbol, su fisiología reproductiva y la influencia del cambio climático.

Jaime Valdez Amaya. Licenciado en administración de empresas y técnico agropecuario por el Instituto Tecnológico de Torreón (2000-2005). Ingresó al INIFAP en el año 2004 como asistente de investigación desempeñándose en las áreas de difusión, agricultura protegida y como responsable de la estación agrometeorológica en el INIFAP CENID-RASPA de Gómez Palacio, Dgo. A partir de 2008 se desempeña como investigador asistente “C” en la red nacional de Socioeconomía en donde está enfocado principalmente en cuestiones estadísticas del comportamiento de la producción y reordenamiento productivo, colaborando además con el área de transferencia de tecnología.

Juan Esteban Reyes Jiménez. Ingeniero agrónomo por la Universidad Autónoma de Nayarit (1972-1976). Trabaja desde 1980 en el Campo Experimental Sur de Sinaloa. Es investigador titular “C” del programa de forrajes, actualmente es responsable de dos proyectos de investigación y validación financiados por Fundación Produce Sinaloa A.C. Sus líneas de investigación son en producción y utilización de forrajes tropicales, utilización de leguminosas anuales con un enfoque integral (alimentación

bovinos y efecto residual en el suelo) y evaluación integral de sistemas de producción agosilvopastoril. Ha sido asesor de cinco tesis a nivel licenciatura.

Tomás Moreno Gallegos. Ingeniero agrónomo (Universidad Autónoma de Nayarit). Trabaja desde 1980 en el Campo Experimental Sur de Sinaloa. Es investigador titular "C" del programa de difusión técnica de este campo experimental. Fue responsable de las acciones de difusión, capacitación y transferencia de tecnología del Proyecto "Desarrollo Sostenible de los Agro ecosistemas del Sur de Sinaloa". Intereses profesionales: difusión, capacitación y transferencia de tecnología y sistemas de producción sostenible. Actualmente es responsable de dos proyectos de validación y transferencia financiados por Fundación Produce Sinaloa A.C

7.4 Colegio de Postgraduados

Juan Manuel Gonzalez Camacho. Ingeniero Agrónomo Especialista en Irrigación 1982, de la Universidad Autónoma Chapingo; Maestro en Ciencias en Computación y Estadística, 1986, Colegio de Postgraduados; Doctor en Ciencias en Hidrología. 1991, Universidad de Montpellier; Posdoctorado en Cambio Climático, 2002, Centro de Investigación Agrícola y Ambiental, Montpellier, Francia. Posdoctorado en Modelación la demanda de agua, 2007, CEMAGREF, Montpellier, Francia. Actualmente es Profesor Investigador Titular del Posgrado en Socioeconomía, Estadística e Informática del Colegio de Postgraduados e Investigador Nacional del Sistema Nacional de Investigadores. Líneas de investigación en modelación de los impactos del Cambio Climático en la agricultura y modelación estadística de eventos hidrológicos. Tiene alrededor de 40 publicaciones en revistas internacionales y nacionales; y 60 participaciones en conferencias internacionales y nacionales). Ha impartido alrededor de 80 cursos de posgrado de Matemáticas, Estadística y Computación en el COLPOS y graduado a 10 estudiantes de posgrado y licenciatura.

7.5 Tesistas

Regulo Nájera Solís. Técnico Superior Universitario en Agrobiotecnología (2004-2006) por la Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, Puebla. Ingeniero Agrónomo especialidad en Fitotecnia del Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. Colaboró como tesista con el tema de "Estimación del Impacto del cambio climático en sorgo de temporal y maíz de riego de Sinaloa".

Rosendo Abel Corral Vega Egresado de la Escuela Superior de Agricultura del Valle del Fuerte de la Universidad Autónoma de Sinaloa, en la carrera de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con especialidad en Suelos e Irrigación, coautor de artículos científicos como: " Manejo integral de tres técnicas parcelarias de riego por gravedad con tubería multicompuertas en el cultivo de maíz, en el Valle del Fuerte", "Fluctuación poblacional de la palomilla de la papa (*Phthorimaea operculella*), bajo condiciones de cambio climático en el norte de Sinaloa", "Acciones de adaptación al cambio al cambio climático del maíz de riego en el Valle del Fuerte". Actualmente colaborador en

proyectos de investigación en el INIFAP en Campo Experimental del Valle del Fuerte (CEVAF).

Mapo Mora Edgar Mauricio. Ing. Edgar Mauricio Mapo Mora. Egresado de la Escuela Superior de Agricultura del Valle del Fuerte de la Universidad Autónoma de Sinaloa, en la carrera de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con especialidad en Suelos e Irrigación, Actualmente colaborador como tesista en proyectos de investigación en el INIFAP en Campo Experimental del Valle del Fuerte (CEVAF).

7.6 Asistentes

Eduardo Celis Lais. Licenciado en Informática por el Instituto Tecnológico de Zacatepec (2000). Actualmente estudiando la Maestría en Tecnologías de información en la Universidad Politécnica del Estado de Morelos (UPEMOR). Experto en manejo de sistemas de información geográfica.

Cesar Ricardo Minauro Cervera. Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Cuautla (2008). Actualmente estudiando la Maestría en Tecnologías de información en la Universidad Politécnica del Estado de Morelos (UPEMOR). Programador desarrollador en Lenguaje JAVA con experiencia actual de 2 años. Experiencia en el manejo de base de datos climatológicas.

ANEXOS

CONTENIDO

ANEXO A

Cuadro 1. A1 Precipitación mensual promedio por municipio del Estado de Sinaloa (1950-2000).....	323
Cuadro 2 .A2 Temperatura mensual promedio por municipio del Estado de Sinaloa (1950-2000).....	324
Cuadro 3. A3 Temperatura máxima diaria mensual promedio por municipio del Estado de Sinaloa (1950-2000).....	325
Cuadro 4. A4 Temperatura mínima diaria mensual promedio por municipio del Estado de Sinaloa (1950-2000).....	326
Cuadro 5. Anomalía de la Precipitación anual en mm por municipio del Estado de Sinaloa para tres periodos de tiempo asumiendo escenario de emisiones A1B	328
Cuadro 6. Precipitación del mes más húmedo en mm por municipio del Estado de Sinaloa para tres periodos de tiempo asumiendo escenario de emisiones A1B	329

ANEXO B

Cuadro 7. B1 Anomalía de la Precipitación mensual en mm por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2011-2040)	330
Cuadro 8. B2 Anomalía de la Precipitación mensual en mm por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2041-2070)	331
Cuadro 9. B3 Anomalía de la Precipitación mensual en mm por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2071-2098)	333
Cuadro 10. Temperatura media anual municipal.....	334
Cuadro 11. B4 Anomalía de la temperatura media mensual en °C por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2011-2040)	335

Cuadro 12. B5 Anomalía de la temperatura media mensual en °C por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2041-2070)	336
Cuadro 13. B6 Anomalía de la temperatura media mensual en °C por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2071-2098)	338
Cuadro 14. Promedio de la Tmax media anual	339
Cuadro 15. Tmax del mes más caliente	340
Cuadro 16. Promedio de la Tmin mensuales	341
Cuadro 17. Tmin del mes más frío	343
Cuadro 18. Días Grado acumulado año (10 oC-30 oC)	344
Cuadro 19. Días Grado acumulado oct-marzo (10 oC-30 oC)	345
Cuadro 20. Días Grado acumulado oct-marzo (10 oC-30 oC)	347

ANEXO C

Tesis

Acciones de adaptación al cambio climático del maíz de riego en el valle del fuerte (Corral Vega-Rosendo Abel).....	315
Programación integral del riego en cultivos perennes (mango, caña de azúcar y alfalfa), bajo condiciones de cambio climático en el valle del fuerte (Mapo Mora Edgar Mauricio).....	327

ANEXOS A. CARACTERIZACION CLIMATICA HISTORICA

Cuadro 1. A1 Precipitación mensual promedio por municipio del Estado de Sinaloa (1950-2000)

Municipio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1 - AHOME	15.2	8.0	5.2	0.9	1.9	3.0	53.2	98.7	73.0	29.7	13.7	18.5	321.2
2 - ANGOSTURA	17.9	11.7	5.8	1.2	2.7	11.4	113.5	181.7	128.9	60.0	17.6	27.8	580.1
3 - BADIRAGUATO	48.5	30.3	17.9	10.4	15.4	80.7	252.3	234.0	160.5	68.0	35.1	55.5	1008.6
4 - CONCORDIA	29.8	18.6	17.8	8.6	9.3	85.8	260.6	228.2	221.1	84.8	32.6	56.6	1053.8
5 - COSALA	31.0	12.2	9.4	5.4	4.5	67.5	231.2	235.0	171.1	67.3	25.5	46.1	906.1
6 - CULIACAN	20.8	13.8	6.3	2.8	3.1	29.6	159.2	188.2	131.3	58.3	22.5	35.3	671.2
7 - CHOIX	41.1	22.1	16.0	6.4	7.2	57.1	220.2	216.4	118.8	55.6	22.4	45.5	828.7
8 - ELOTA	22.0	10.4	5.4	3.0	2.3	28.7	153.8	169.4	140.4	66.7	22.5	34.0	658.7
9 - ESCUINAPA	19.7	8.7	7.1	1.1	3.9	75.2	223.4	240.9	216.2	97.6	65.1	42.6	1001.7
10 - EL FUERTE	27.4	12.8	8.0	2.9	3.3	23.0	145.2	163.4	101.3	37.9	16.1	25.6	567.1
11 - GUASAVE	14.2	6.0	3.2	0.4	1.2	4.3	78.4	120.3	92.3	48.2	16.4	17.5	402.2
12 - MAZATLAN	28.4	11.8	12.5	5.3	4.8	45.3	198.7	202.9	203.8	83.3	26.4	40.0	863.0
13 - MOCORITO	24.5	16.6	8.8	4.0	4.6	31.4	197.8	225.9	145.9	56.1	24.5	33.4	773.7
14 - ROSARIO	27.7	14.3	11.0	4.7	7.8	83.0	254.1	241.8	223.8	74.2	42.5	49.1	1033.9

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

15 - SALVADOR ALVARADO	19.2	10.1	5.1	1.9	1.9	12.9	132.2	181.1	121.0	48.9	17.4	23.7	575.5
16 - SAN IGNACIO	31.0	14.8	11.3	5.8	8.6	78.3	240.3	219.8	185.2	81.7	30.0	57.6	964.4
17 - SINALOA DE LEYVA	29.6	20.3	12.0	5.6	6.1	44.4	207.8	218.7	133.6	52.0	24.8	38.7	793.7
18 - NAVOLATO	16.1	10.8	6.9	0.9	2.6	17.3	125.6	179.7	116.6	55.7	19.3	26.6	577.9
ESTATAL (PONDERADO)	27.1	15.3	9.9	4.4	5.6	44.4	183.3	196.7	144.6	60.5	25.6	38.5	755.8

Fuente: Elaboración propia con datos del CCA-UNAM del periodo (1950-2000)

Cuadro 2 .A2 Temperatura mensual promedio por municipio del Estado de Sinaloa (1950-2000)

Municipio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1 - AHOME	17.8	18.8	20.1	22.7	25.4	29.3	31.0	31.0	30.2	27.2	22.5	18.8	24.6
2 - ANGOSTURA	18.8	19.5	20.7	23.4	26.0	29.3	30.2	30.2	29.6	27.6	23.5	20.1	24.9
3 - BADIRAGUATO	16.2	17.1	18.9	22.2	24.6	27.3	25.8	25.8	25.3	23.6	20.3	17.2	22.0
4 - CONCORDIA	18.9	19.5	21.0	23.1	25.5	26.7	26.2	26.2	25.5	24.3	21.8	19.4	23.2
5 - COSALA	19.5	20.4	21.9	24.6	27.1	29.1	28.4	28.4	27.5	26.3	23.1	20.4	24.7
6 - CULIACAN	19.2	20.4	21.5	24.2	26.5	29.5	29.6	29.6	28.7	27.3	23.6	20.6	25.1
7 - CHOIX	16.7	17.7	19.5	22.9	26.1	29.2	28.2	28.2	27.3	24.9	20.7	17.5	23.2
8 - ELOTA	19.9	20.9	21.9	24.6	27.0	29.5	29.4	29.4	28.6	27.2	24.0	21.1	25.3
9 - ESCUINAPA	20.3	21.0	21.9	23.5	25.8	27.9	27.8	27.8	27.4	26.7	24.0	21.1	24.6
10 - EL FUERTE	17.4	18.5	20.2	23.2	26.2	29.8	30.3	30.3	29.2	26.6	21.8	18.4	24.3
11 - GUASAVE	18.6	19.5	20.7	23.3	26.0	29.6	30.5	30.5	29.7	27.8	23.4	19.8	25.0
12 - MAZATLAN	19.9	20.3	21.4	23.5	26.0	27.9	27.9	27.9	27.3	26.2	23.4	20.7	24.4
13 - MOCORITO	18.2	19.1	20.6	23.5	26.0	29.3	29.0	29.0	28.3	26.4	22.6	19.3	24.3
14 - ROSARIO	19.7	20.3	21.5	23.3	25.7	27.5	27.2	27.2	26.7	25.7	22.9	20.2	24.0
15 - SALVADOR ALVARADO	18.5	19.3	20.6	23.4	26.1	29.3	29.9	29.9	29.2	27.3	23.1	19.7	24.7

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

16 - SAN IGNACIO	18.3	19.1	20.6	23.2	25.6	27.0	26.3	26.3	25.5	24.3	21.7	19.0	23.1
17 - SINALOA DE LEYVA	17.2	18.3	20.0	23.2	26.1	29.1	28.5	28.5	27.5	25.5	21.5	18.3	23.6
18 - NAVOLATO	19.2	20.2	21.2	23.8	26.3	29.5	30.2	30.2	29.5	27.8	23.9	20.6	25.2
ESTATAL (PONDERADO)	18.3	19.2	20.6	23.3	25.9	28.7	28.6	28.6	27.8	26.0	22.4	19.3	24.1

Fuente: Elaboración propia con datos del CCA-UNAM del periodo (1950-2000)

Cuadro 3. A3 Temperatura máxima diaria mensual promedio por municipio del Estado de Sinaloa (1950-2000)

Municipio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1 - AHOME	26.5	28.2	30.0	32.7	35.2	36.9	37.3	36.7	36.4	34.8	31.3	27.4	32.8
2 - ANGOSTURA	27.4	28.9	30.4	33.2	35.2	36.2	36.1	35.2	35.3	34.8	32.2	28.6	32.8
3 - BADIRAGUATO	24.7	26.2	28.6	31.8	33.9	34.7	32.1	31.4	31.4	30.9	28.9	25.4	30.0
4 - CONCORDIA	25.2	26.2	28.2	30.1	31.9	31.7	30.6	30.3	29.8	29.4	27.8	25.3	28.9
5 - COSALA	27.5	29.2	31.4	34.2	36.0	35.7	33.7	32.8	32.4	32.6	31.1	28.1	32.0
6 - CULIACAN	27.6	29.4	31.1	33.9	35.5	36.2	35.3	34.4	34.0	34.0	31.9	28.6	32.7
7 - CHOIX	25.9	27.6	30.0	33.6	36.6	37.7	34.7	33.8	34.3	33.5	30.3	26.6	32.0
8 - ELOTA	27.9	29.4	31.1	33.7	35.4	35.6	34.5	33.5	33.2	33.3	31.6	28.6	32.3
9 - ESCUINAPA	26.4	27.5	28.6	30.2	31.8	32.6	32.2	32.3	31.7	31.6	29.7	26.9	30.1
10 - EL FUERTE	26.8	28.6	30.9	34.0	36.8	38.1	36.9	35.8	35.8	34.8	31.4	27.6	33.1

Evaluación del impacto del cambio climático

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

11 - GUASAVE	27.5	29.2	30.8	33.4	35.6	36.9	36.8	35.9	35.8	35.3	32.5	28.6	33.2
12 - MAZATLAN	26.2	27.0	28.5	30.5	32.3	32.7	32.2	31.8	31.4	31.1	29.4	26.6	30.0
13 - MOCORITO	26.9	28.5	30.5	33.5	35.4	36.5	35.1	34.1	34.2	33.7	31.4	27.7	32.3
14 - ROSARIO	25.7	26.7	28.3	30.0	31.7	32.2	31.5	31.5	31.0	30.6	28.7	25.9	29.5
15 - SALVADOR ALVARADO	27.4	28.9	30.6	33.6	35.5	36.4	36.0	35.0	35.1	34.6	32.1	28.5	32.8
16 - SAN IGNACIO	25.6	26.8	29.0	31.5	33.3	32.8	31.0	30.3	30.0	29.9	28.6	25.8	29.6
17 - SINALOA DE LEYVA	26.4	28.2	30.5	33.7	36.2	37.0	35.0	34.0	33.9	33.4	30.9	27.3	32.2
18 - NAVOLATO	27.5	29.1	30.6	33.3	35.1	36.1	35.9	35.0	34.9	34.5	32.1	28.6	32.7
ESTATAL (PONDERADO)	26.5	28.0	30.0	32.7	34.8	35.6	34.3	33.5	33.4	32.9	30.6	27.2	31.6

Fuente: Elaboración propia con datos del CCA-UNAM del periodo (1950-2000)

Cuadro 4. A4 Temperatura mínima diaria mensual promedio por municipio del Estado de Sinaloa (1950-2000)

Municipio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1 - AHOME	9.2	9.4	10.3	12.6	15.7	21.6	24.6	24.5	23.9	19.7	13.6	10.2	16.3
2 - ANGOSTURA	10.1	10.2	11.0	13.6	16.9	22.4	24.2	23.9	23.8	20.5	14.8	11.5	16.9
3 - BADIRAGUATO	7.7	8.0	9.2	12.5	15.4	19.8	19.6	19.4	19.2	16.3	11.7	9.0	14.0
4 - CONCORDIA	12.7	12.7	13.8	16.0	19.1	21.7	21.8	21.8	21.2	19.3	15.8	13.5	17.4

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

5 - COSALA	11.5	11.7	12.5	15.1	18.2	22.6	23.1	22.8	22.6	19.9	15.1	12.7	17.3
6 - CULIACAN	10.9	11.3	11.8	14.5	17.6	22.8	23.9	23.7	23.4	20.6	15.3	12.6	17.4
7 - CHOIX	7.6	7.8	9.0	12.3	15.6	20.6	21.6	21.0	20.2	16.3	11.0	8.4	14.3
8 - ELOTA	11.9	12.3	12.7	15.4	18.6	23.3	24.4	24.1	23.9	21.2	16.3	13.6	18.2
9 - ESCUINAPA	14.2	14.5	15.1	16.8	19.8	23.2	23.4	23.6	23.1	21.8	18.3	15.4	19.1
10 - EL FUERTE	8.1	8.3	9.5	12.3	15.6	21.5	23.7	23.2	22.5	18.4	12.2	9.2	15.4
11 - GUASAVE	9.6	9.9	10.7	13.1	16.4	22.2	24.3	24.1	23.7	20.3	14.4	11.0	16.6
12 - MAZATLAN	13.6	13.6	14.3	16.6	19.8	23.1	23.6	23.5	23.1	21.2	17.4	14.8	18.7
13 - MOCORITO	9.6	9.7	10.6	13.5	16.6	22.0	22.8	22.6	22.4	19.1	13.8	10.8	16.1
14 - ROSARIO	13.6	13.8	14.6	16.6	19.7	22.7	22.9	22.9	22.4	20.8	17.2	14.5	18.5
15 - SALVADOR ALVARADO	9.6	9.7	10.6	13.3	16.7	22.1	23.9	23.5	23.3	19.9	14.1	11.0	16.5
16 - SAN IGNACIO	11.1	11.3	12.2	14.8	17.9	21.3	21.6	21.4	21.1	18.6	14.7	12.3	16.5
17 - SINALOA DE LEYVA	8.1	8.4	9.6	12.7	16.0	21.1	22.0	21.7	21.0	17.5	12.1	9.3	15.0
18 - NAVOLATO	11.0	11.2	11.8	14.4	17.6	22.9	24.5	24.2	24.0	21.1	15.6	12.6	17.6
ESTATAL (PONDERADO)	10.1	10.4	11.2	13.9	17.1	21.8	22.9	22.6	22.2	19.2	14.2	11.4	16.4

Fuente: Elaboración propia con datos del CCA-UNAM del periodo (1950-2000)

ANEXOS B. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA PROYECTADA

Cuadro 5. Anomalía de la Precipitación anual en mm por municipio del Estado de Sinaloa para tres periodos de tiempo asumiendo escenario de emisiones A1B

Municipio	P0	P1	P2	P3
AHOME	321.2	254.3	245.6	205.8
ANGOSTURA	580.1	507.1	493.8	444.7
BADIRAGUATO	1,008.6	925.9	918.9	868.8
CONCORDIA	1,053.8	967.4	946.8	909.9
COSALA	906.1	823.2	803.0	763.2
CULIACAN	671.2	587.8	569.9	523.5
CHOIX	828.7	763.5	758.7	721.2
ELOTA	658.7	573.9	562.3	520.7
ESCUINAPA	1,001.7	916.9	894.2	870.1
EL FUERTE	567.1	501.3	496.5	453.8
GUASAVE	402.2	330.4	319.4	279.4
MAZATLAN	863.0	776.1	761.8	723.8
MOCORITO	773.7	697.0	685.5	633.8
ROSARIO	1,033.9	945.8	921.3	889.2
SALVADOR ALVARADO	575.5	503.7	497.8	448.8
SAN IGNACIO	964.4	876.2	854.0	812.4
SINALOA DE LEYVA	793.7	717.5	713.7	666.5
NAVOLATO	577.9	501.7	482.2	433.7
Estado	754.5	676.1	662.5	620.5

Cuadro 6. Precipitación del mes más húmedo en mm por municipio del estado de sinaloa para tres periodos de tiempo asumiendo escenario de emisiones a1b

Municipio	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
AHOME	98.7	90.1	90.4	80.5
ANGOSTURA	181.7	176.7	173.2	163.8
BADIRAGUA TO	252.3	245.0	237.1	227.7
CONCORDIA	260.6	252.1	239.5	229.2
COSALA	235.0	233.4	228.7	225.8
CULIACAN	188.2	184.8	181.4	175.6
CHOIX	220.2	219.0	216.6	210.3
ELOTA	169.4	164.0	160.2	156.9
ESCUINAPA	240.9	235.4	231.1	232.7
EL FUERTE	163.4	162.0	161.2	152.4
GUASAVE	120.3	109.1	106.4	95.4
MAZATLAN	203.8	199.8	210.2	208.0

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

MOCORITO	225.9	224.0	220.5	211.9
ROSARIO	254.1	245.8	232.7	231.7
SALVADOR ALVARADO	181.1	178.2	173.6	163.5
SAN IGNACIO	240.3	229.2	218.6	208.6
SINALOA DE LEYVA	218.7	217.3	215.0	207.5
NAVOLATO	179.7	174.2	170.8	162.7
Estado	197.0	193.1	190.0	184.6

Cuadro 7. B1 Anomalía de la Precipitación mensual en mm por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2011-2040)

Municipio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1 - AHOME	-8.9	-7.0	-4.6	-1.0	-0.8	-3.1	-7.6	-8.6	-3.6	-3.9	-6.1	-11.8	-67.0
2 - ANGOSTURA	-10.5	-8.1	-5.0	-1.4	-0.8	-5.8	-9.8	-5.0	-1.5	-6.7	-5.6	-13.0	-73.2
3 - BADIRAGUATO	-17.4	-11.2	-7.4	-3.6	-2.1	-6.6	-7.3	0.7	-0.5	-4.8	-5.7	-16.9	-82.7
4 - CONCORDIA	-12.1	-7.9	-5.3	-2.4	-2.1	-10.3	-8.5	-5.1	-4.3	-7.9	-7.4	-12.9	-86.3

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

5 - COSALA	-14.8	-9.0	-5.4	-2.2	-1.6	-8.9	-11.2	-1.6	-0.5	-6.3	-6.2	-15.1	-82.9
6 - CULIACAN	-14.0	-8.9	-5.3	-2.0	-1.5	-7.9	-11.8	-3.4	-0.4	-6.0	-6.8	-15.4	-83.4
7 - CHOIX	-14.6	-9.2	-6.2	-2.9	-2.2	-4.5	-4.4	2.6	0.8	-5.1	-6.2	-13.4	-65.2
8 - ELOTA	-12.6	-7.5	-5.1	-1.8	-1.9	-8.7	-10.9	-5.4	-2.5	-7.0	-7.6	-13.9	-84.8
9 - ESCUINAPA	-12.2	-7.2	-4.7	-2.0	-2.3	-10.7	-7.3	-5.5	-3.5	-8.8	-7.9	-13.7	-85.7
10 - EL FUERTE	-12.7	-8.5	-5.7	-1.6	-1.5	-4.1	-5.8	-1.4	0.5	-5.8	-6.5	-12.6	-65.7
11 - GUASAVE	-9.1	-6.6	-4.5	-1.0	-0.6	-4.4	-9.3	-11.1	-3.4	-6.1	-6.0	-12.5	-74.6
12 - MAZATLAN	-12.8	-7.6	-5.0	-2.1	-1.8	-9.3	-9.0	-5.1	-4.0	-8.7	-8.2	-13.3	-87.0
13 - MOCORITO	-14.5	-10.2	-5.9	-2.3	-1.5	-6.4	-8.8	-1.9	0.3	-5.8	-5.6	-14.2	-76.7
14 - ROSARIO	-12.5	-7.4	-5.1	-2.1	-2.2	-10.9	-8.3	-6.6	-3.1	-8.4	-7.6	-13.8	-88.0
15 - SALVADOR ALVARADO	-13.7	-9.9	-5.6	-2.1	-1.4	-5.9	-7.0	-2.9	0.1	-6.3	-5.3	-12.6	-72.6
16 - SAN IGNACIO	-14.1	-8.7	-5.4	-2.6	-2.1	-9.1	-11.1	-3.7	-3.0	-7.2	-7.0	-14.1	-88.1
17 - SINALOA DE LEYVA	-15.9	-10.4	-6.7	-3.0	-1.7	-5.2	-6.4	-1.4	0.0	-5.6	-5.5	-14.3	-76.2
18 - NAVOLATO	-10.5	-7.2	-4.7	-1.3	-0.7	-6.7	-11.1	-5.5	-1.9	-6.9	-6.3	-13.7	-76.5
ESTATAL (PONDERADO)	-13.3	-8.7	-5.6	-2.2	-1.6	-6.8	-8.6	-3.5	-1.5	-6.2	-6.4	-14.0	-78.5

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 8. B1 Anomalía de la Precipitación mensual en mm por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2041-2070)

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Municipio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1 - AHOME	-8.1	-8.9	-5.8	-1.2	-0.6	-1.9	-11.8	-8.3	-5.2	-3.9	-7.3	-14.3	-77.2
2 - ANGOSTURA	-11.2	-10.7	-6.6	-1.7	-0.6	-4.1	-15.5	-8.5	1.1	-7.1	-7.1	-15.8	-87.6
3 - BADIRAGUATO	-17.8	-13.5	-10.3	-4.4	-1.9	-2.7	-15.3	0.0	7.3	-4.3	-7.6	-19.2	-89.7
4 - CONCORDIA	-16.8	-11.3	-7.4	-3.3	-2.5	-10.7	-21.1	-8.1	6.3	-10.4	-7.0	-14.7	107.0
5 - COSALA	-17.3	-12.6	-7.7	-2.9	-1.8	-6.0	-21.2	-6.3	6.3	-7.3	-7.3	-19.4	103.6
6 - CULIACAN	-16.2	-12.0	-7.5	-2.4	-1.4	-5.4	-22.1	-6.9	5.2	-6.9	-7.8	-19.1	102.4
7 - CHOIX	-12.2	-11.1	-7.9	-3.7	-2.1	-1.8	-8.4	0.2	2.9	-3.3	-7.9	-14.9	-70.1
8 - ELOTA	-16.8	-11.0	-7.2	-2.3	-1.8	-6.8	-19.5	-9.2	8.7	-8.8	-6.7	-17.4	-98.8
9 - ESCUINAPA	-16.0	-9.4	-6.3	-2.9	-2.6	-13.3	-21.3	-9.8	6.0	-11.4	-6.5	-16.5	-110.0
10 - EL FUERTE	-10.5	-10.4	-7.0	-2.0	-1.4	-2.0	-8.5	-2.2	0.6	-4.6	-8.0	-14.7	-70.6
11 - GUASAVE	-9.0	-8.8	-6.2	-1.3	-0.4	-2.8	-14.0	-13.8	-4.6	-6.6	-6.9	-15.0	-89.5
12 - MAZATLAN	-17.7	-10.7	-6.9	-2.9	-2.0	-8.9	-19.8	-7.6	6.3	-10.5	-5.1	-15.3	101.2
13 - MOCORITO	-14.3	-12.6	-7.9	-2.8	-1.2	-3.4	-15.7	-5.4	5.3	-5.9	-7.2	-16.9	-88.2
14 - ROSARIO	-16.3	-10.2	-7.0	-3.0	-2.6	-12.8	-21.5	-10.2	4.9	-11.0	-6.9	-16.0	-112.6
15 - SALVADOR ALVARADO	-12.7	-12.2	-7.2	-2.7	-1.2	-3.0	-11.5	-7.5	3.6	-6.1	-7.1	-15.1	-82.7
16 - SAN IGNACIO	-18.2	-12.2	-7.7	-3.4	-2.3	-7.5	-21.7	-9.7	6.5	-9.4	-6.7	-18.1	-110.4
17 - SINALOA DE LEYVA	-14.1	-12.5	-8.7	-3.7	-1.6	-2.2	-9.7	-3.7	4.8	-5.0	-7.6	-16.1	-80.0
18 - NAVOLATO	-12.6	-10.3	-6.5	-1.5	-0.5	-5.5	-19.0	-9.0	1.0	-8.1	-7.3	-17.1	-96.2
ESTATAL (PONDERADO)	-14.4	-11.3	-7.5	-2.8	-1.6	-5.0	-16.1	-6.4	3.7	-6.8	-7.2	-16.7	-92.1

Fuente: Elaboración propia

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 9. B2 Anomalía de la Precipitación mensual en mm por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2071-2098)

Municipio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1 - AHOME	-11.7	-10.4	-6.1	-1.4	-0.9	-2.8	-21.7	-18.2	-10.6	-8.4	-8.5	-18.8	-119.6
2 - ANGOSTURA	-13.9	-12.5	-6.9	-2.1	-0.8	-6.8	-29.8	-17.9	-6.5	-10.9	-8.3	-22.0	-138.3
3 - BADIRAGUATO	-20.4	-17.1	-11.9	-5.4	-2.4	-6.6	-28.4	-6.3	1.9	-10.4	-8.4	-24.4	-139.8
4 - CONCORDIA	-20.2	-13.0	-7.6	-3.6	-2.8	-19.5	-31.4	-7.4	4.3	-12.1	-9.2	-21.4	-143.9
5 - COSALA	-20.8	-14.8	-8.2	-3.4	-2.1	-13.0	-32.6	-9.2	3.0	-11.5	-9.3	-23.7	-145.5
6 - CULIACAN	-18.9	-14.3	-8.0	-3.0	-1.8	-10.7	-34.1	-12.6	-1.4	-11.3	-9.6	-24.3	-150.1
7 - CHOIX	-15.3	-13.7	-8.8	-4.3	-2.5	-3.4	-19.8	-6.1	1.8	-8.2	-7.8	-19.5	-107.6
8 - ELOTA	-19.5	-13.0	-7.6	-2.6	-2.2	-13.6	-29.7	-12.5	2.6	-12.2	-9.9	-22.5	-142.8
9 - ESCUINAPA	-17.4	-10.9	-6.6	-3.1	-3.1	-21.5	-26.6	-8.2	6.1	-12.7	-9.8	-21.9	-135.7
10 - EL FUERTE	-14.1	-12.2	-7.7	-2.4	-1.7	-3.4	-21.1	-11.1	-3.0	-9.2	-8.2	-19.4	-113.3
11 - GUASAVE	-12.1	-10.7	-6.6	-1.6	-0.6	-4.7	-24.3	-24.9	-11.6	-9.5	-8.5	-20.3	-135.4
12 - MAZATLAN	-20.6	-12.7	-7.0	-3.1	-2.4	-16.7	-29.2	-8.2	4.2	-12.6	-9.8	-22.0	-140.1
13 - MOCORITO	-17.4	-15.1	-8.7	-3.4	-1.6	-7.0	-29.6	-14.0	-1.5	-10.8	-8.1	-22.7	-139.9
14 - ROSARIO	-18.2	-11.8	-7.2	-3.2	-3.1	-20.7	-30.1	-10.1	3.3	-12.4	-9.5	-21.8	-144.7
15 - SALVADOR ALVARADO	-15.9	-14.4	-7.9	-3.2	-1.5	-6.0	-26.2	-17.6	-2.7	-10.5	-7.7	-21.4	-135.1
16 - SAN IGNACIO	-21.6	-14.5	-8.1	-3.7	-2.8	-16.3	-31.7	-11.4	3.1	-12.1	-9.7	-23.1	-152.0
17 - SINALOA DE LEYVA	-17.2	-15.3	-10.1	-4.4	-2.0	-4.2	-24.0	-11.2	-0.1	-9.4	-7.6	-21.6	-127.2
18 - NAVOLATO	-14.7	-12.0	-6.7	-1.9	-0.7	-8.9	-32.7	-17.0	-8.2	-11.4	-9.0	-23.1	-146.4
ESTATAL (PONDERADO)	-17.4	-13.6	-8.2	-3.3	-2.0	-9.4	-27.8	-12.1	-1.0	-10.6	-8.8	-22.0	-136.0

Fuente: Elaboración propia

Evaluación del impacto del cambio climático
 FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 10. Temperatura media anual municipal

Municipio	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
AHOME	24.6	25.6	26.6	27.5
ANGOSTURA	24.9	26.0	27.1	27.9
BADIRAGUA TO	22.0	23.2	24.4	25.3
CONCORDIA	23.2	24.4	25.4	26.4
COSALA	24.7	25.9	27.0	28.0
CULIACAN	25.1	26.2	27.3	28.2
CHOIX	23.2	24.4	25.6	26.6
ELOTA	25.3	26.4	27.5	28.4
ESCUINAPA	24.6	25.7	26.8	27.7
EL FUERTE	24.3	25.5	26.6	27.5
GUASAVE	25.0	26.0	27.0	27.9
MAZATLAN	24.4	25.5	26.5	27.4
MOCORITO	24.3	25.4	26.5	27.4
ROSARIO	24.0	25.1	26.2	27.1
SALVADOR ALVARADO	24.7	25.8	26.9	27.8
SAN IGNACIO	23.1	24.2	25.3	26.2
SINALOA DE LEYVA	23.6	24.8	25.9	26.8

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

NAVOLATO	25.2	26.3	27.3	28.2
ESTADO	24.2	25.4	26.4	27.3

Cuadro 11. B3 Anomalía de la temperatura media mensual en °C por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2011-2040)

Municipio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1 - AHOME	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0
2 - ANGOSTURA	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.0	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.0	1.1
3 - BADIRAGUATO	1.0	1.1	1.3	1.3	1.4	1.3	1.1	1.1	1.2	1.3	1.2	1.0	1.2
4 - CONCORDIA	1.0	1.1	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.0	1.2
5 - COSALA	1.0	1.1	1.1	1.3	1.3	1.1	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.2
6 - CULIACAN	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.1
7 - CHOIX	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.0	1.2
8 - ELOTA	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.1	1.2	1.0	1.1
9 - ESCUINAPA	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

10 - EL FUERTE	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.0	1.1
11 - GUASAVE	0.9	1.0	1.1	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.9	1.0
12 - MAZATLAN	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	0.9	1.1
13 - MOCORITO	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.0	1.1
14 - ROSARIO	0.9	1.0	1.3	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1
15 - SALVADOR ALVARADO	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.0	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	0.9	1.1
16 - SAN IGNACIO	1.0	1.0	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.0	1.2
17 - SINALOA DE LEYVA	0.9	1.0	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.2
18 - NAVOLATO	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1
ESTATAL (PONDERADO)	1.0	1.0	1.2	1.2	1.3	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.1

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12. B4 Anomalía de la temperatura media mensual en °C por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2041-2070)

Municipio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1 - AHOME	1.9	1.8	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.0	2.1
2 - ANGOSTURA	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.0	2.2	2.2	2.1	2.3	2.2	2.0	2.2
3 - BADIRAGUATO	2.2	2.2	2.4	2.6	2.6	2.5	2.2	2.2	2.3	2.5	2.4	2.2	2.3
4 - CONCORDIA	2.1	2.1	2.6	2.7	2.5	2.2	2.2	2.1	2.0	2.2	2.2	2.1	2.2

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

5 - COSALA	2.1	2.3	2.3	2.5	2.5	2.2	2.4	2.3	2.1	2.4	2.3	2.1	2.3
6 - CULIACAN	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.1	2.3	2.2	2.2	2.3	2.2	2.0	2.2
7 - CHOIX	2.1	2.1	2.4	2.5	2.7	2.5	2.4	2.5	2.4	2.6	2.4	2.1	2.4
8 - ELOTA	2.0	2.2	2.2	2.3	2.2	2.2	2.3	2.1	2.1	2.2	2.2	1.9	2.2
9 - ESCUINAPA	2.0	2.1	2.4	2.6	2.5	2.1	2.1	2.1	2.0	2.1	2.2	2.0	2.2
10 - EL FUERTE	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.2	2.4	2.3	2.4	2.5	2.2	2.0	2.3
11 - GUASAVE	1.9	2.1	2.1	2.1	2.2	2.0	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	1.9	2.1
12 - MAZATLAN	2.0	2.0	2.3	2.3	2.3	2.1	2.2	2.0	1.9	2.1	2.1	1.9	2.1
13 - MOCORITO	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.1	2.3	2.2	2.2	2.4	2.3	2.0	2.2
14 - ROSARIO	1.9	2.1	2.4	2.6	2.5	2.1	2.1	2.1	2.0	2.1	2.2	2.0	2.2
15 - SALVADOR ALVARADO	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.0	2.3	2.2	2.2	2.3	2.3	1.9	2.2
16 - SAN IGNACIO	2.0	2.1	2.5	2.6	2.5	2.2	2.2	2.1	2.0	2.2	2.2	2.0	2.2
17 - SINALOA DE LEYVA	2.0	2.1	2.3	2.4	2.5	2.3	2.4	2.3	2.2	2.4	2.3	2.1	2.3
18 - NAVOLATO	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.0	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.0	2.1
ESTATAL (PONDERADO)	2.0	2.1	2.3	2.4	2.4	2.2	2.3	2.2	2.2	2.3	2.2	2.0	2.2

Fuente: Elaboración propia

Evaluación del impacto del cambio climático

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 13. B5 Anomalía de la temperatura media mensual en °C por municipio del Estado de Sinaloa para escenario de emisiones A1B (periodo 2071-2098)

Municipio	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
1 - AHOME	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	3.1	3.3	3.1	3.1	2.9	2.7	2.9
2 - ANGOSTURA	2.8	3.0	2.9	3.0	3.2	2.9	3.3	3.2	3.0	3.2	3.1	2.8	3.0
3 - BADIRAGUATO	3.0	3.0	3.4	3.6	3.6	3.5	3.1	3.1	3.2	3.5	3.4	3.0	3.3
4 - CONCORDIA	2.9	3.0	3.6	3.8	3.5	3.2	3.2	3.0	3.0	3.1	3.1	2.9	3.2
5 - COSALA	2.9	3.1	3.1	3.4	3.4	3.2	3.6	3.3	3.1	3.4	3.2	2.9	3.2
6 - CULIACAN	2.9	3.1	3.1	3.2	3.3	3.1	3.4	3.2	3.2	3.3	3.1	2.8	3.1
7 - CHOIX	3.0	3.0	3.4	3.5	3.7	3.5	3.5	3.5	3.4	3.7	3.4	2.9	3.4
8 - ELOTA	2.8	3.0	3.1	3.2	3.2	3.1	3.4	3.1	3.1	3.2	3.2	2.8	3.1
9 - ESCUINAPA	2.9	3.0	3.2	3.5	3.4	3.1	3.2	3.0	2.9	3.0	3.0	2.8	3.1
10 - EL FUERTE	2.9	2.9	3.1	3.2	3.3	3.1	3.4	3.4	3.3	3.5	3.1	2.8	3.2
11 - GUASAVE	2.6	2.9	2.8	2.9	3.0	2.8	3.1	3.2	3.0	3.0	3.0	2.7	2.9
12 - MAZATLAN	2.7	2.9	3.2	3.3	3.3	3.0	3.1	2.9	2.8	2.9	3.0	2.7	3.0
13 - MOCORITO	2.8	3.0	3.0	3.2	3.3	3.1	3.3	3.2	3.2	3.4	3.2	2.8	3.1
14 - ROSARIO	2.8	3.0	3.3	3.6	3.4	3.1	3.1	3.0	2.9	3.0	3.0	2.8	3.1
15 - SALVADOR ALVARADO	2.8	3.1	3.0	3.1	3.3	2.9	3.3	3.3	3.1	3.4	3.1	2.7	3.1
16 - SAN IGNACIO	2.9	2.9	3.5	3.6	3.4	3.2	3.2	3.0	2.9	3.2	3.2	2.8	3.2
17 - SINALOA DE LEYVA	2.8	2.9	3.2	3.4	3.4	3.3	3.4	3.3	3.2	3.3	3.2	2.9	3.2
18 - NAVOLATO	2.8	3.0	2.9	3.0	3.1	2.9	3.2	3.2	3.1	3.2	3.0	2.8	3.0
ESTATAL (PONDERADO)	2.8	3.0	3.2	3.3	3.3	3.1	3.3	3.2	3.1	3.3	3.1	2.8	3.1

Cuadro 14. Promedio de la Tmax media anual

Municipio	Perio do 1	Perio do 2	Perio do 3	Perio do 4
AHOME	32.8	34.1	35.2	36.2
ANGOSTURA	32.8	34.2	35.3	36.4
BADIRAGUA TO	30.0	30.4	31.7	32.7
CONCORDIA	28.9	27.3	28.4	29.5
COSALA	32.0	32.9	34.1	35.2
CULIACAN	32.7	32.3	33.5	34.6
CHOIX	32.0	32.7	34.0	35.0
ELOTA	32.3	33.8	34.9	36.0
ESCUINAPA	30.1	30.5	31.7	32.9
EL FUERTE	33.1	34.5	35.7	36.7
GUASAVE	33.2	34.2	35.4	36.4
MAZATLAN	30.0	30.1	31.2	32.3
MOCORITO	32.3	33.4	34.6	35.6
ROSARIO	29.5	27.8	28.9	30.0
SALVADOR ALVARADO	32.8	34.2	35.3	36.4
SAN IGNACIO	29.6	30.1	31.3	32.4
SINALOA DE LEYVA	32.2	33.6	34.8	35.8
NAVOLATO	32.7	34.0	35.1	36.1
ESTADO	31.6	32.2	33.4	34.5

Cuadro 15. Tmax del mes más caliente

Municipio	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
AHOME	37.3	38.4	39.8	41.1
ANGOSTURA	36.2	38.0	39.1	40.5
BADIRAGUATO	34.7	34.8	36.1	37.1
CONCORDIA	31.9	31.1	32.2	33.4
COSALA	36.0	36.5	37.8	38.8
CULIACAN	36.2	36.2	37.5	38.6
CHOIX	37.7	38.5	39.7	40.6
ELOTA	35.6	37.1	38.3	39.4
ESCUINAPA	32.6	33.1	34.4	35.5
EL FUERTE	38.1	39.3	40.3	41.3
GUASAVE	36.9	38.2	39.5	40.9
MAZATLAN	32.7	33.3	34.4	35.5

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

MOCORITO	36.5	37.8	39.0	39.9
ROSARIO	32.2	30.9	32.1	33.2
SALVADOR ALVARADO	36.4	38.0	39.1	40.5
SAN IGNACIO	33.3	33.6	34.6	35.7
SINALOA DE LEYVA	37.0	38.3	39.4	40.2
NAVOLATO	36.1	37.7	38.8	39.9
ESTADO	35.4	36.1	37.3	38.2

Cuadro 16. Promedio de la Tmin mensuales

Municipio	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
AHOME	16.3	17.1	18.0	18.7

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

ANGOSTURA	16.9	17.9	18.9	19.7
BADIRAGUA TO	14.0	14.3	15.4	16.2
CONCORDIA	17.4	14.9	15.9	16.7
COSALA	17.3	18.3	19.3	20.2
CULIACAN	17.4	17.0	18.0	18.9
CHOIX	14.3	15.0	16.1	17.0
ELOTA	18.2	19.1	20.2	21.0
ESCUINAPA	19.1	18.9	19.9	20.8
EL FUERTE	15.4	16.7	17.8	18.5
GUASAVE	16.6	17.3	18.3	19.0
MAZATLAN	18.7	18.0	19.0	19.8
MOCORITO	16.1	16.9	18.0	18.8
ROSARIO	18.5	15.7	16.7	17.5
SALVADOR ALVARADO	16.5	17.9	18.9	19.7
SAN IGNACIO	16.5	17.1	18.1	18.9
SINALOA DE LEYVA	15.0	16.3	17.4	18.2
NAVOLATO	17.6	18.4	19.5	20.3
ESTADO	16.8	17.0	18.1	18.9

Cuadro 17. Tmin del mes más frío

Municipio	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
AHOME	9.2	10.1	11.2	12.0
ANGOSTURA	10.1	11.0	12.2	13.0
BADIRAGUATO	7.7	8.0	9.2	10.1
CONCORDIA	12.7	10.1	11.1	12.0
COSALA	11.5	12.2	13.4	14.1
CULIACAN	10.9	10.7	11.8	12.6
CHOIX	7.6	8.1	9.5	10.5
ELOTA	11.9	12.8	14.0	14.6
ESCUINAPA	14.2	13.9	15.0	15.6
EL FUERTE	8.1	9.5	10.7	11.5
GUASAVE	9.6	10.3	11.5	12.3
MAZATLAN	13.6	12.9	14.0	14.9
MOCORITO	9.6	10.2	11.4	12.3
ROSARIO	13.6	10.9	12.0	12.7
SALVADOR ALVARADO	9.6	11.0	12.2	13.0
SAN IGNACIO	11.1	11.6	12.8	13.5
SINALOA DE LEYVA	8.1	9.4	10.6	11.6
NAVOLATO	11.0	11.7	12.8	13.4

Evaluación del impacto del cambio climático
 FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

ESTADO	10.6	10.8	12.0	12.8
--------	------	------	------	------

Cuadro 18. Días Grado acumulado año (10 oC-30 oC)

Municipio	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
AHOME	5,262.2	5,525.8	5,773.3	5,952.1
ANGOSTURA	5,437.7	5,735.7	5,997.7	6,175.3
BADIRAGUATO	4,397.6	4,832.3	5,249.8	5,571.6
CONCORDIA	4,815.1	5,244.7	5,632.2	5,977.5
COSALA	5,387.6	5,809.2	6,129.4	6,343.2
CULIACAN	5,504.8	5,853.0	6,122.4	6,318.0
CHOIX	4,837.4	5,266.9	5,622.0	5,864.2
ELOTA	5,589.8	5,945.7	6,210.8	6,408.0
ESCUINAPA	5,337.8	5,750.4	6,133.4	6,371.8
EL FUERTE	5,218.1	5,517.2	5,786.7	5,998.8
GUASAVE	5,435.3	5,708.0	5,962.0	6,129.1
MAZATLAN	5,251.2	5,649.4	6,020.4	6,256.2
MOCORITO	5,212.3	5,604.7	5,891.5	6,102.9
ROSARIO	5,110.6	5,524.1	5,907.4	6,202.7
SALVADOR	5,376.0	5,691.7	5,959.2	6,147.4

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

ALVARADO				
SAN IGNACIO	4,780.3	5,205.8	5,591.8	5,924.1
SINALOA DE LEYVA	4,989.7	5,403.0	5,723.5	5,949.2
NAVOLATO	5,544.0	5,834.8	6,091.5	6,267.1
ESTADO	5,142.5	5,556.9	5,873.6	6,089.2

Cuadro 19. Días Grado acumulado oct-marzo (10 oC-30 oC)

Municipio	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
AHOME	1,984.9	2,162.9	2,347.7	2,480.3
ANGOSTURA	2,133.9	2,329.1	2,523.7	2,648.1
BADIRAGUATO	1,620.6	1,829.1	2,039.6	2,203.8
CONCORDIA	1,971.5	2,180.9	2,373.3	2,535.2
COSALA	2,176.8	2,381.3	2,580.2	2,743.0

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

CULIACAN	2,205.4	2,405.2	2,601.4	2,742.1
CHOIX	1,731.3	1,937.5	2,146.8	2,317.6
ELOTA	2,280.7	2,479.9	2,668.6	2,815.7
ESCUINAPA	2,279.0	2,477.1	2,668.4	2,824.3
EL FUERTE	1,911.3	2,107.4	2,306.4	2,463.2
GUASAVE	2,122.1	2,308.4	2,497.4	2,614.0
MAZATLAN	2,183.5	2,375.0	2,559.9	2,712.7
MOCORITO	2,008.7	2,205.7	2,406.5	2,563.3
ROSARIO	2,133.5	2,331.2	2,519.8	2,673.8
SALVADOR ALVARADO	2,083.3	2,277.5	2,475.8	2,611.2
SAN IGNACIO	1,912.9	2,121.1	2,311.0	2,476.6
SINALOA DE LEYVA	1,850.2	2,047.9	2,246.4	2,405.3
NAVOLATO	2,214.4	2,407.2	2,597.9	2,720.4
ESTADO	2,000.6	2,198.9	2,394.5	2,552.2

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Cuadro 20. Días Grado acumulado oct-marzo (10 oC-30 oC)

Municipio	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
AHOME	2,952.9	3,008.7	3,042.5	3,060.0
ANGOSTURA	2,952.8	3,022.0	3,057.0	3,060.0
BADIRAGUATO	2,380.4	2,564.5	2,733.9	2,861.0
CONCORDIA	2,415.1	2,588.0	2,739.5	2,887.7
COSALA	2,746.7	2,922.1	3,007.7	3,050.5
CULIACAN	2,897.3	3,007.6	3,046.8	3,060.0
CHOIX	2,679.9	2,860.5	2,971.3	3,014.8
ELOTA	2,879.3	3,001.5	3,042.8	3,060.0
ESCUINAPA	2,681.9	2,851.2	2,998.8	3,050.8
EL FUERTE	2,923.6	2,991.3	3,030.6	3,060.0
GUASAVE	2,969.9	3,025.6	3,059.2	3,060.0
MAZATLAN	2,665.4	2,832.0	2,979.3	3,031.8
MOCORITO	2,810.8	2,968.4	3,020.9	3,053.0
ROSARIO	2,576.4	2,746.3	2,897.3	3,005.7
SALVADOR ALVARADO	2,925.9	3,010.4	3,047.7	3,060.0
SAN IGNACIO	2,430.8	2,604.6	2,759.7	2,895.5
SINALOA DE LEYVA	2,723.8	2,900.0	2,984.7	3,023.2
NAVOLATO	2,960.2	3,025.6	3,059.3	3,060.0
ESTADO	2,744.7	2,922.0	3,007.3	3,038.7

ACCIONES DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL MAÍZ DE RIEGO EN EL VALLE DEL FUERTE

Corral Vega-Rosendo Abel, Sifuentes Ibarra-Ernesto, Ojeda Bustamante-Waldo y Macías Cervantes-Jaime

INTRODUCCIÓN

Existen evidencias que el calentamiento global del planeta observado a partir de la revolución industrial ha sido muy probablemente causado por el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (IPCC, 2001). Los pronósticos de cambio climático indican un incremento global consistente, con una variabilidad espacial y temporal regional, tanto de la temperatura como de la concentración del bióxido de carbono. Aunque globalmente la precipitación se espera se incremente, se pronostica una disminución de esta variable en la mayor parte de México adicionalmente, se pronostica un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como sequías, ciclones y lluvias torrenciales.

También hay evidencias que el problema del cambio climático está afectando a la agricultura mundial, ya que cultivos que se adaptaban y desarrollaban perfectamente en zonas que contaban con los factores climáticos requeridos por dichos cultivos ya no lo están haciendo, lo que provoca que no estén desarrollando su máximo potencial productivo, ocasionando una baja en la producción agrícola. Ante este panorama, el impacto del cambio climático en la agricultura puede ser catastrófico ya que muchas zonas agrícolas del país ya se encuentran en su nivel máximo de tolerancia. (Seager, 2007).

El Valle del Fuerte ubicado en el norte de Sinaloa, reconocido por su producción de maíz a nivel nacional ya que anualmente se establecen más de 216,000 ha de este cultivo, generando una derrama económica superior a los 5600 millones de pesos, y debido a las proyecciones climáticas de escases de

Evaluación del impacto del cambio climático

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

precipitaciones y el incremento de temperatura que existen para este Valle y considerando que esta región depende completamente del almacenamiento de las presas L. D. Colosio, Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz para el establecimiento de los cultivos en el mismo, y que cada vez es menos funcional el manejo del riego de la manera tradicional, es decir, sin considerar el desarrollo fenológico cuantificado en Días Grado Crecimiento (DGC) o Grados Día Acumulados ($^{\circ}$ DA), los riegos basados en el déficit hídrico del suelo aplicando solo la lamina requerida por el cultivo y la variabilidad climática, ya existente, la cual ocasiona errores al tomar decisiones sobre el cultivo, al considerar como parámetro solo Días Después de Siembra (DDS); es de gran importancia establecer los parámetros para un manejo integral del riego del cultivo y proyectar los escenarios futuros del comportamiento fenológico del mismo como consecuencia del cambio climático, y generar las acciones de adaptación para seguir manteniendo la gran relevancia que significa el cultivo de maíz en el Valle del Fuerte.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Programación integral del riego en tiempo real.

El objetivo de la programación integral del riego es generar automáticamente y en tiempo real programas de riego de acuerdo a la fenología del cultivo y balance hídrico, usando el concepto días grado crecimiento. Ojeda, *et al.*, (2006) generaron en el Valle del Fuerte para el cultivo de maíz, los parámetros de programación integral: coeficiente de cultivo (K_c), Profundidad dinámica de la raíz (R_d) y factor de abatimiento (F), para ello utilizaron una parcela comercial de 40 ha donde se instaló una estación meteorológica para estimar la evapotranspiración real (ET_r) mediante el método de balance de energía de Bowen (Bowen, 1926). La evapotranspiración de referencia (ET_0), se calculó con la información de una estación agrometeorológica estándar, localizada en la misma parcela, usando la ecuación de Penman-Monteith (Campbell, 1977; Monteith y Unsworth, 1990).

Escenarios de cambio climático para Sinaloa.

Para conocer el impacto del cambio climático en la agricultura es necesario primeramente contar con los escenarios climáticos esperados a mediano y largo plazo de los cambios en los patrones climáticos de importancia para el desarrollo y productividad de los cultivos.

Con respecto a los escenarios climáticos para México Montero y Pérez, (2008) estimaron incrementos de la temperatura y disminuciones para la precipitación durante el siglo XXI. Dichos escenarios son generados de acuerdo a proyecciones esperadas de las emisiones de gases de efecto invernadero asumiendo diferente grado de desarrollo de la sociedad y estrategias de mitigación de estos gases.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

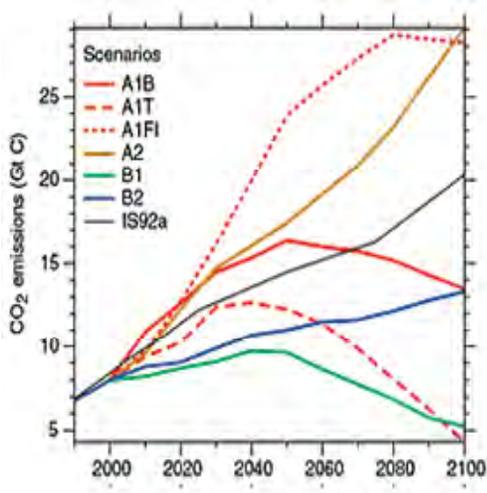
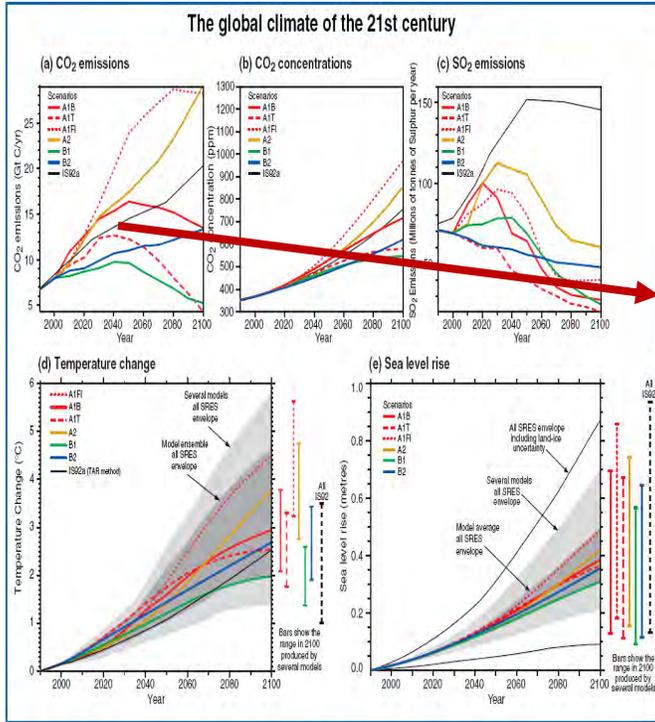


Figura 1. Distintos escenarios climáticos según el IPCC

Las proyecciones climáticas futuras asumiendo un escenario A1B indican un incremento en las concentraciones hasta el año 2050, disminuyendo levemente hasta alcanzar una concentración de CO₂ del orden de 720 ppm a finales del año 2100, según el Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC, 2001).

Evaluación del impacto del cambio climático

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Utilizando el escenario climático A1B, Ojeda, (2009) proyecta un incremento de temperatura para el estado de Sinaloa, para los años 2020 (P1), 2050 (P2) y 2080 (P3) comparados con las condiciones actuales (Po) como se observa en el Cuadro 1.

En lo que respecta a la precipitación se proyecta una reducción en esta a pesar que las temperaturas serán más elevadas, ver Cuadro 2.

Cuadro 1. Temperaturas proyectadas para el estado de Sinaloa.

Variable	Alcance	P0	P1	P2	P3
Temperatura media	Anual	24.1	25.2	26.3	27.2
	Jun-oct	27.9	29.1	30.2	31.1
	Oct-Marzo	21.0	22.1	23.1	24.0
Temperatura máxima	Anual	31.6	32.2	33.4	34.5
	Jun-oct	33.9	34.4	35.7	36.8
	Oct-Marzo	29.2	29.8	31.0	32.0
	Mes mas caliente	35.6	36.1	37.3	38.2
Temperatura mínima	Anual	16.8	17.0	18.1	18.9
	Jun-oct	21.7	22.2	23.2	24.0
	Oct-Marzo	12.7	13.4	14.5	15.3
	Mes más frio	10.1	10.8	12.0	12.8

Variable	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃
Precipitación anual	755.8	677.2	663.7	619.8
Precipitación oct-mar	176.9	122.6	113.0	96.4
Precip jun-oct	629.5	602.8	598.9	568.6
Precip mes mas lluvioso	196.7	193.2	190.3	184.6

Diseño de riego por gravedad (RIGRAV).

El diseño del riego por gravedad tiene por objetivo generar la longitud, el ancho de la melga o el esparcimiento del surco y la pendiente longitudinal, así como la dirección y el gasto de riego, que permita distribuir uniformemente la lámina de riego previamente calculada. Algunos autores han propuesto simplificaciones a las ecuaciones de Barré de Saint-Venant y de Richard, una de esas consiste en presentar de manera integral la ecuación de conservación de la masa, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q_r t = \int_0^s A_h(x, t) dx + \int_0^s A_l(x, \tau) dx$$

Donde S es la posición del frente de avance en el tiempo t, x es la distancia a lo largo de la melga o del surco medida a partir de la cabecera aguas arriba, A_h es el área hidráulica de la sección transversal del escurrimiento superficial y A_l es el área de la sección transversal del escurrimiento subterráneo. El

tiempo de infiltración τ , se define como $\tau = t-t_x$, siendo el tiempo que tarda el frente de avance en llegar al punto situado a la distancia x .

Rendón *et al.*, (1990) desarrollaron un programa de cómputo (RIGRAV) que resuelve numéricamente la ecuación anterior con algunas modificaciones.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolló en el INIFAP-CIRNO-Campo Experimental del Valle del Fuerte ubicado en la parte norte del estado de Sinaloa en la parte central del distrito de riego 075, Río Fuerte colindando con los distritos 063 Guasave y 076 Valle del Carrizo.

Se trabajó en una superficie de 3.5 ha, con textura arcillosa, pendiente plana, con 0.81% de materia orgánica, pH ligeramente alcalino y sin problema de sales, terreno característico del Valle. En esta sección se establecieron los tratamientos surco alterno (MCSA), surco continuo (MCSC), riego intermitente (MCR1) y testigo (T). El cultivo estudiado fue maíz (Asgrow-Cebú), sembrado en seco el 21 de noviembre de 2008 en surcos de 0.75 m de separación con una densidad de siembra de 7 semillas por metro lineal (93,300 semillas/ha), aplicando un riego de germinación al inicio en todos los tratamientos.

El manejo de los riegos se realizó en forma integral en cada tratamiento a excepción del testigo, el cual se manejó en forma convencional. Para el manejo integral se calibró el modelo de programación integral reportado por Ojeda, *et al.* (2006) y el programa RIGRAV (Rendón, 1995).

La programación integral del riego se hizo en una hoja de cálculo en el programa excell utilizando macros programadas en visual Basic. En esta hoja se capturaron las variables y parámetros requeridos por el modelo, como lo son: suelo (textura), constantes hídricas del suelo (capacidad de campo, punto de marchitez permanente y humedad aprovechable), clima (temperatura media y evapotranspiración de referencia), cultivo (temperaturas umbrales, $K_{m\acute{a}x}$, K_{co} , $XK_{m\acute{a}x}$, Pro , $Pr_{m\acute{a}x}$ y los parámetros de regresión α_0 , α_1 , α_2 , α_3 , y α_4 . Al inicio del ciclo del cultivo, los parámetros usados fueron los propuestos por Ojeda *et al.* (2006), los cuales fueron modificados de acuerdo al desarrollo del cultivo y a observaciones del comportamiento de la humedad del suelo.

Para la calibración del programa RIGRAV se realizaron pruebas de riego usando de inicio los parámetros propuestos por Ramos (2007) para suelos de características similares al de la parcela experimental, los cuales fueron: humedad a saturación (θ_s) con un valor de $0.49 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, conductividad hidráulica a saturación (K_s) con valor 0.004 cm/h y función de infiltración (Hf) con valor de 158 cm. En dichas pruebas se midieron las fases de avance y recesión del riego con gasto unitario conocido en varios surcos. Los datos obtenidos se compararon con los generados con el RIGRAV para ajustar los parámetros de diseño mencionados. Con los modelos calibrados, se determinó el momento, la lámina, los gastos unitarios y tiempos de riego en cada riego aplicado a los tratamientos.

Se generaron, para la región del Valle del Fuerte, escenarios climáticos actuales (P_0) y futuros para los años 2020 (P_1), 2050 (P_2) y 2080 (P_3) estos últimos sustentados en el escenario climático A1B propuesto por el Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC) y ajustado a las bases climáticas de México y Sinaloa (zona norte) por parte de investigadores del IMTA (Montero y Pérez, 2008).

Evaluación del impacto del cambio climático

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Los parámetros de temperatura media y ETo (evapotranspiración de referencia) dados por este escenario se llevaron a la hoja cálculo (del programa excell utilizando macros programadas en visual Basic), la cual al correr las macros, nos da el comportamiento del cultivo en lo que se refiere a su desarrollo fenológico y requerimiento hídrico y así poder compararlo con el comportamiento actual.

RESULTADOS

Se presentan en el Cuadro 3 los valores de los parámetros de los modelos de programación integral usados en la evaluación y se comparan con los propuestos por Ojeda *et al.*, (2006). Se demuestra la aplicabilidad de estos modelos, ya que solo fue necesario ajustar los parámetros α_0 , α_2 y α_3 , los primeros dos asociados a la duración del ciclo fenológico (se trabajó con diferente híbrido) y el tercero al sistema de riego (multicompuertas).

Cuadro 3. Valores obtenidos de parámetros de los modelos

Parámetro	Símbolo	Valor (Ojeda, <i>et al.</i> , 2006)	Valor calibrado
Coefficiente máximo del cultivo	K_{max}	1.25	1.25
Coefficiente inicial del cultivo	Kc_0	0.2	0.2
°DA a K_{max}	XK_{max}	0.59	0.59
Profundidad radicular inicial	Rd_0	0.07 m	0.07 m
Profundidad radicular máxima	Rd_{max}	1.00 m	1.00 m
Parámetros de regresión (Kc)	$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$	1641 °D, 0.45, 527 °D	1900 °D, 0.45, 550 °D
Parámetros de regresión (F)	α_3	0.8 (gravedad), 0.6 (aspersión)	0.7 (multicompuertas)

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Parámetros de regresión (Rd)	α_4	0.1	0.1
------------------------------	------------	-----	-----

La Figura 2 muestra la variación de la humedad del suelo modelada y el comportamiento del factor de abatimiento (F), en función de los días grado crecimiento acumulados (°DA) que determinan el desarrollo del cultivo. A mayor acumulación de estos por efecto de la temperatura del aire, los ciclos se acortan y los modelos se ajustan en forma elástica, evitando discrepancias en la programación del riego.

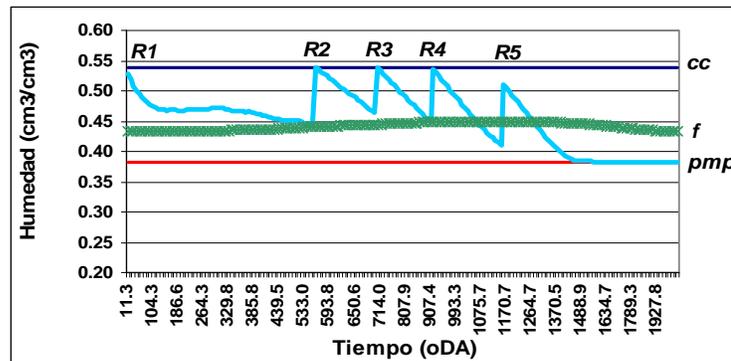


Figura 2. Comportamiento de la humedad del suelo y factor de abatimiento modelados en el tratamiento I (MCSA).

En lo referente a los valores de los parámetros de diseño de riego por gravedad del programa RIGRAV (Rendón, 2005), calibrados durante el primer y segundo riego del tratamiento MCSA, los parámetros gasto unitario, humedad inicial y lámina neta, fueron los que variaron en cada riego, debido a la variación de la humedad del suelo y requerimiento del cultivo. Los parámetros humedad a saturación y conductividad hidráulica a saturación fueron diferentes a los manejados por Ramos (2007).

Como resultado del manejo integral del riego, la productividad del agua se incrementó, siendo la mayor la generada por el tratamiento MCSA (2.75 Kg/m^3), seguida por el MCRI (2.7 Kg/m^3) y MCSC (2.5 Kg/m^3). La productividad del testigo fue de 2.0 mayor a la media regional (1.7 Kg/m^3) debido a que los criterios empíricos usados hicieron coincidir los riegos en etapas críticas. El modelo de programación integral generó cinco riegos mientras el testigo cuatro, sin embargo la lámina total aplicada fue menor en los tres tratamientos evaluados. No hubo diferencia significativa en rendimientos, el cual fue de 12 a 13 t/ha.

En el cuadro 4, se aprecia que se podría reducir hasta en un 30 por ciento ($365.1 \text{ millones de m}^3$), el volumen de agua a utilizar en el DR075, solo para regar el cultivo del maíz, manejando los programas integrales del riego en tiempo real.

Cuadro 4. Volumen de agua a utilizar (en Hm^3), en el cultivo de maíz, considerando los tratamientos evaluados.

Evaluación del impacto del cambio climático
FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

TRATAMIENTO	Lamina (cm)	Millones de m ³ (Hm ³)				
		Vol. en Parcela	Vol. en Toma	Vol. en Modulo	Vol. en Distrito	Vol. en Presa
MCSA	44.2	538.5	598.4	704.0	782.2	823.4
MCSC	47.1	573.9	637.6	750.2	833.5	877.4
MCRI	51.2	623.8	693.2	815.5	906.1	953.8
T	63.8	777.4	863.7	1016.2	1129.1	1188.5

Como resultado de las proyecciones climáticas al 2020 (P1), 2050 (P2) y 2080 (P3) con el escenario de cambio climático A1B siendo comparados con las condiciones actuales (Po), se aprecia el comportamiento del coeficiente del cultivo (Kc), la evapotranspiración de referencia (ETo), la evapotranspiración real (ETr) y el desarrollo fenológico del cultivo.

Para el caso de la siembra del mes de noviembre, se observa que el comportamiento del Kc del cultivo, es afectado considerablemente por las condiciones del cambio climático proyectado, comparado con las condiciones actuales, por ejemplo existe una reducción del 12%, 22%, y 29% en días, en que la planta llega a su máximo valor de Kc, entre el periodo actual (Po) y las proyecciones P1, P2 y P3 respectivamente, modificándose con esto el periodo donde se presenta el máximo requerimiento hídrico del cultivo, como consecuencia de la reducción del ciclo fenológico, debido al incremento de la ETo. Ver Figura 3.

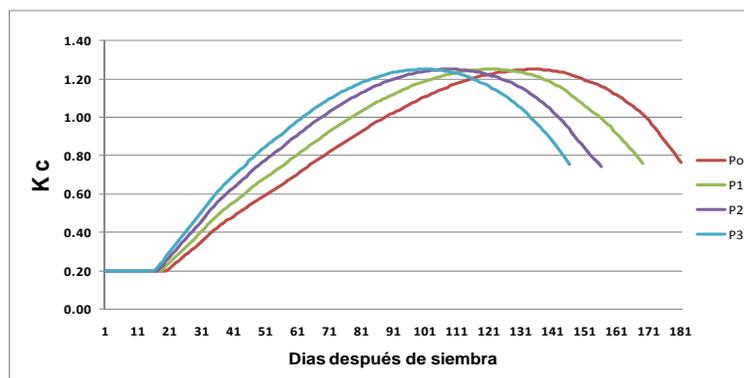


Figura 3. Comportamiento del Kc en distintos escenarios climáticos A1B (siembra en noviembre).

El comportamiento de la evapotranspiración real del cultivo (ETr) en los diferentes escenarios climáticos (A1B) futuros (P1, P2, P3) muestra un incremento desde los primeros días después de siembra (DDS), así como también un adelanto en su rango máximo, pero una disminución de este parámetro en dichos escenarios (P1, P2, P3), comparado con las condiciones actuales (Po). Este fenómeno se debe a que en los escenarios climáticos futuros cuando llega la máxima demanda hídrica del cultivo (máximo Kc), la ETo es menor a la del escenario actual, es decir, este periodo fenológico de la planta cae en días con temperaturas medias más bajas aun bajo condiciones de cambio climático, debido a la reducción del su ciclo a madurez fisiológica. Ver Figura 4.

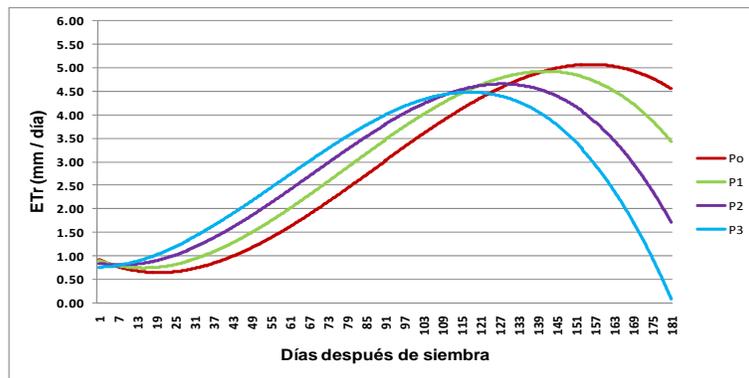
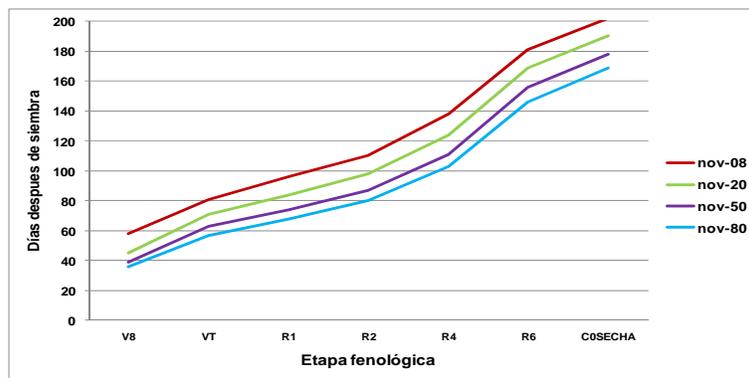


Figura 4. Comportamiento de la ETr en los distintos escenarios climáticos A1B (siembra en noviembre)

Al observar el desarrollo fenológico del cultivo en los distintos escenarios de cambio climáticos (A1B), es muy visible que su ciclo a madurez fisiológica (R6) se va acortando, esto debido a que en los escenarios futuros (20', 50', 80') acumularía mas °DA en menos días y sus etapas de desarrollo se irán reduciendo en días. Ver Figura 5.



Evaluación del impacto del cambio climático

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Figura 5. Fenología del maíz basada en °DA (Grados Día Acumulados) en los diferentes escenarios climáticos A1B (siembra en noviembre)

En la Figura 6, se observa la disminución del rendimiento en porcentaje (teniendo como base de producción 12 t/ha) conforme se reduce el ciclo fenológico en las diferentes fechas de siembra, considerando como fecha óptima el mes de noviembre, tanto en condiciones climáticas actuales (Po), como en los escenarios de cambio climático A1B para el año 2020 (P1), 2050 (P2) y 2080 (P3).

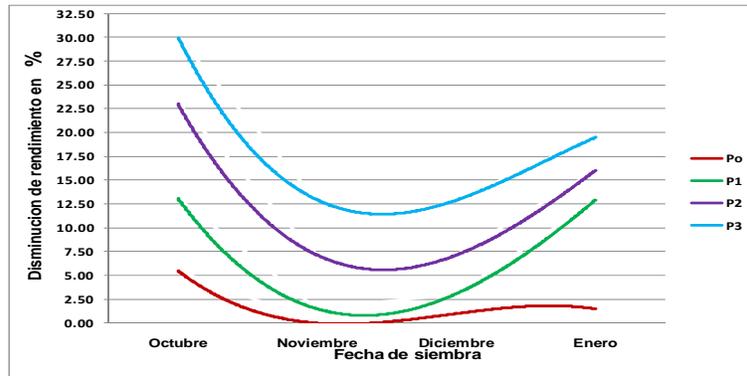


Figura 6. Disminución del rendimiento en porcentaje, en distintas fechas de siembra.

CONCLUSIONES

El cambio climático impactará al cultivo del maíz, desde el punto de vista de su requerimiento hídrico, y que con la proyección de los escenarios de clima futuros (A1B), utilizados en este estudio, es posible visualizar dichos impactos en el cultivo, y mediante técnicas o modelos que permiten cuantificar los mismos.

Se identificó, mediante la proyección de los escenarios climáticos futuros, la reducción del ciclo fenológico del cultivo de maíz, por el incremento de la temperatura proyectado y como consecuencia la disminución del su potencial productivo, de hasta más de un 12 por ciento, solo para fecha de siembra del mes de noviembre, lo que da un punto de partida para generar nuevos híbridos que requieran mayor cantidad de Grados Día Acumulados (°DA), para llegar a su madurez fisiológica, y así poder equilibrar nuevamente fenología-rendimiento.

Con fundamento en los resultados obtenidos en el presente estudio, es urgente diseñar e implementar acciones de adaptación, tales como:

- Reajuste a las épocas de siembra, ya que en los meses de octubre y enero no sería rentable el establecimiento del cultivo por la disminución del rendimiento hasta de un 30 por ciento;
- Uso de modelos de Programación Integral del Riego, para determinar el cuándo y cuánto regar, adaptados a variabilidad y cambio climático;
- Manejo de técnicas de conservación del agua como, riego en surco alterno, riego intermitente, mediante el diseño de riego por gravedad; y

Evaluación del impacto del cambio climático

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

- Es necesario involucrar a las instituciones que toman decisiones, en las acciones de adaptación sugeridas, con el propósito de preservar la importancia de la actividad agrícola en el Valle del Fuerte, así como de las demás zonas de riego.

LITERATURA CITADA

Bowen, I.S., 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface, *Physics Review*, vol. 27

Green, W.A. y Ampt, G.A. 1911. Studies on soil physics. The flow of air and water through soils. 1-24 pp

IPCC. Tercer informe de evaluación. La base científica. Grupo 1 del Tercer Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático. Cambridge University. Cambridge, Reino Unido. 2001

Montero, M.J., y J.L., Pérez. (2008). Regionalización de proyecciones climáticas en México de precipitación y temperatura en superficie usando el método REA para el siglo XXI. En Efectos del cambio climático en los recursos Hídricos de México. P. Martínez y A. Aguilar (eds). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor.

Ojeda, B.W., Sifuentes, I.E. y Unland, W.H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. *Agrociencias* 40: 13-25. Montecillos, Edo. México.

Ramos, G.C. 2007. Evaluación de tres técnicas de conservación del agua en riego por superficie a nivel parcelario. Tesis de licenciatura. UAS-ESAVF. Juan José Ríos, Sinaloa. 81 pp

Rendón, P.L., Fuentes, R.C. y Magaña, S.G. 1997. Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. IMTA. Jiutepec, Morelos.

Seager, R., R. Burgman, Y. Kushnir, A. C. Clement, E. R. Cook, N. Naik and J. Miller, 2007: Tropical Pacific forcing of North American Medieval megadroughts; Testing the concept with an atmosphere model forced by coral-reconstructed SSTs *J. Climate*, submitted.

Ojeda, W., P. Martínez, y L. Hernández. 2008. Repercusiones del cambio climático en la agricultura de riego. Capítulo 6 del libro "Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México". Vol. II. Eds. A. Aguilar y P. Martínez. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Pp 73-83 Ojeda-Bustamante Waldo, Sifuentes-Ibarra Ernesto, e Iñiguez Covarrubias Mauro. 2009. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA DE RIEGO. Artículo ANEI 046. XV Congreso Nacional de Irrigación. Puerto Vallarta, Jalisco. 21-23 octubre de 2009

PROGRAMACIÓN INTEGRAL DEL RIEGO EN CULTIVOS PERENNES (MANGO, CAÑA DE AZÚCAR Y ALFALFA), BAJO CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL VALLE DEL FUERTE

Mapo Mora-Edgar Mauricio, Sifuentes Ibarra-Ernesto, Ojeda Bustamante-Waldo y Víctor ManuMacías Cervantes-
Jaimeel Gonzalez Calderon

INTRODUCCION

En el ciclo 2007/2008 en Sinaloa se sembraron 798,814 ha de riego, de las cuales se cosecharon 791,427 ha con una producción de 11,139.76 toneladas; de éstas se sembraron en el norte de Sinaloa 24,017 ha de cultivos perennes, donde 2,492 ha fueron de alfalfa, 14,925 ha de caña de azúcar y 3,719 ha de mango (CONAGUA, 2009). La programación del riego en grandes zonas agrícolas como el DR075 requiere de métodos de fácil implantación tal como es el caso de los basados en el balance hídrico donde el seguimiento de la fenología se realiza a través del concepto de grados día.

La variabilidad climática interanual e interestacional afecta grandemente la sustentabilidad de las zonas de riego, principalmente de las zonas de alta vulnerabilidad climática localizadas en las regiones áridas y semiáridas del país. Varias zonas productivas del país han experimentado con mayor recurrencia y severidad la presencia de eventos climatológicos extremos, que han puesto a prueba su sustentabilidad (Ojeda *et al.*, 2008).

Las principales modificaciones ambientales reportadas por Hulme (1996) por efecto del cambio climático son las cuatro siguientes: 1. Cambios en los regímenes de temperatura y precipitación, 2. Incremento en la concentración de dióxido de carbono, 3. Cambio en la disponibilidad de agua (o escurrimiento), y 4. Cambio en la variabilidad climática con un incremento en la frecuencia de los eventos extremos.

Los escenarios climáticos para México (Montero y Pérez, 2008) estiman incrementos de la temperatura y disminuciones para la precipitación durante el siglo XXI.

La programación integral del riego propuesta por Ojeda *et al.* (2004) para cultivos anuales como maíz y papa en el norte de Sinaloa, ha demostrado ser una excelente herramienta para afrontar situaciones de variabilidad climática y que puede ser usada bajo condiciones de cambio climático.

La ventaja de este método es que se puede lograr una estimación más precisa de los requerimientos hídricos de los cultivos ya que estos se ajustan automáticamente a las variaciones climáticas que se pueden presentar y en base al desarrollo de la planta.

En este trabajo se calibraron los modelos de programación integral del riego que utilizó Ojeda *et al.* (2004). Se usaron los parámetros del coeficiente del cultivo, profundidad radical y factor de abatimiento en función de los grados día crecimiento para los cultivos de mango, caña de azúcar y alfalfa, con estos valores se estimaron los requerimientos hídricos de cada cultivo para las condiciones actuales y de cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto de tesis “Programación integral del riego en cultivos perennes (mango, caña de azúcar y alfalfa) bajo condiciones de cambio climático en el Valle del Fuerte” se realizó en tres lotes de productores cooperantes, ubicados en el distrito de riego 075 “Río Fuerte”; el cual se encuentra ubicado al norte del estado Sinaloa, a una latitud de 25° 48' 53" N y una longitud de 109° 1' 32" O, con una altura promedio de 20 msnm, entre los distritos de riego 074 “El Carrizo” y 063 “Guasave”

Se seleccionaron tres parcelas para cada cultivo (mango, caña y alfalfa), la de mango ‘Kent’ de 0.5 ha la cual se encontraba ubicada en el modulo de riego cahuinahua, las otras dos parcelas de 2 ha cada una para los cultivos de alfalfa y caña de azúcar que estaban ubicadas en el modulo “Santa Rosa”.

En estos cultivos se observó el comportamiento fenológico y se realizaron moniteros semanales a cada una de las parcelas seleccionadas para llevar el registro de cada etapa fenológica de acuerdo a las condiciones del clima que se presentaron. Se determinaron las características hidráulicas del suelo capacidad de campo (cc) y punto de marchitez permanente (pmp).

Se estimaron los grados día y para ello se utilizaron las temperaturas cardinales, para mango de 4-42 °C, para caña de 10-40 °C y para alfalfa de 3-38 °C.

Se utilizaron los modelos usados en la programación integral del riego (Ojeda, *et al.*, 2006) para calibrar los parámetros de los cultivos (mango, caña y alfalfa).

Los parámetros usados para calendarizar el riego en función de los grados día crecimiento fueron: el coeficiente de cultivo, profundidad radical y factor de abatimiento hídrico. En el presente estudio se utilizó una macro con lenguaje Visual Basic desarrollada en Excel en la cual los valores utilizados son necesarios para calcular las necesidades hídricas del cultivo.

Los valores utilizados fueron el valor máximo del coeficiente de cultivo (K_{max}) y el valor inicial (K_{C_0}), estos valores se tomaron de acuerdo con lo que dice Palacios Velez *et al.* (1981). El valor adimensional normalizado x cuando se presenta el valor máximo ($X_{K_{max}}$), el valor acumulado de los grados día hasta la cosecha (α_0) y el α_1 parámetro de regresión constante, así como también el umbral de temperatura de los cultivos estudiados, en la profundidad radical se utilizó el valor de la profundidad inicial del cultivo (Rd_0), profundidad máxima (Rd_{max}) y el α_2 que es el valor aproximado a 2/3 del valor de los grados día acumulados donde alcanza la máxima profundidad de la raíz del cultivo y en el factor de abatimiento se utilizaron el α_3 y α_4 que son constantes de regresión de acuerdo al criterio de riego utilizado.

Se utilizó el escenario climático A1B en el que se encuentran datos climáticos actuales (P0) y futuros para los años 2020 (P1), 2050 (P2) y 2080 (P3) propuestos por Montero y Pérez (2008). Estas proyecciones se basan en las condiciones medias futuras esperadas.

La información climática utilizada fue extraída de dos estaciones meteorológicas del Valle del Fuerte más cercanas a las parcelas establecidas de las cuales se tomó la evapotranspiración de referencia (ET_0) y la temperatura media (T_{med}) para calcular los grados día con los datos actuales, para sacar las

Evaluación del impacto del cambio climático

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

proyecciones futuras se tomaron los parámetros establecidos por el escenario utilizado (A1B) y se capturaron en la hoja de calculo para comparar los datos obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se lograron identificar las etapas fenológicas de los cultivos perennes estudiados (mango, caña y alfalfa), así como cuantificar los Grados Día Acumulados (GDA) que presentaban en cada una de las etapas.

Para el cultivo de mango las etapas monitoreadas para el cultivar Kent, uno de los más importantes en el norte de Sinaloa, Se encontró que desde el inicio del monitoreo se acumularon 1033.01 GDA para que se presente la floración, el final de esta etapa fue a los 1782.09, el amarre de frutos a los 1989.93, y el final del desarrollo de los frutos a los 1285.97, la maduración (1/4 parte del fruto se torna chapeteada) inició a los 4390.45. A partir de este momento inicia la cosecha para exportación.

Núñez-Elisea *et al.*, (1996).dice que la iniciación floral de las yemas, está precedida por la acumulación de una sustancia inductora de la floración no identificada, que se sintetiza en las hojas maduras, la cual es traslocada por el floema en condiciones de estrés producido por las temperaturas bajas, cuyo período mínimo para que se suceda el proceso debe ser de 21 a 30 días

Se observó una influencia importante de la temperatura media diaria para el inicio de la floración, a partir del inicio del monitoreo (7/11/09) la temperatura promedio fue de 20-25 °C, y fueron descendiendo hasta llegar a una media de 16 °C en el mes de diciembre y continuaron durante el mes de enero que fue cuando inició la floración, como se muestra en la Figura 1.

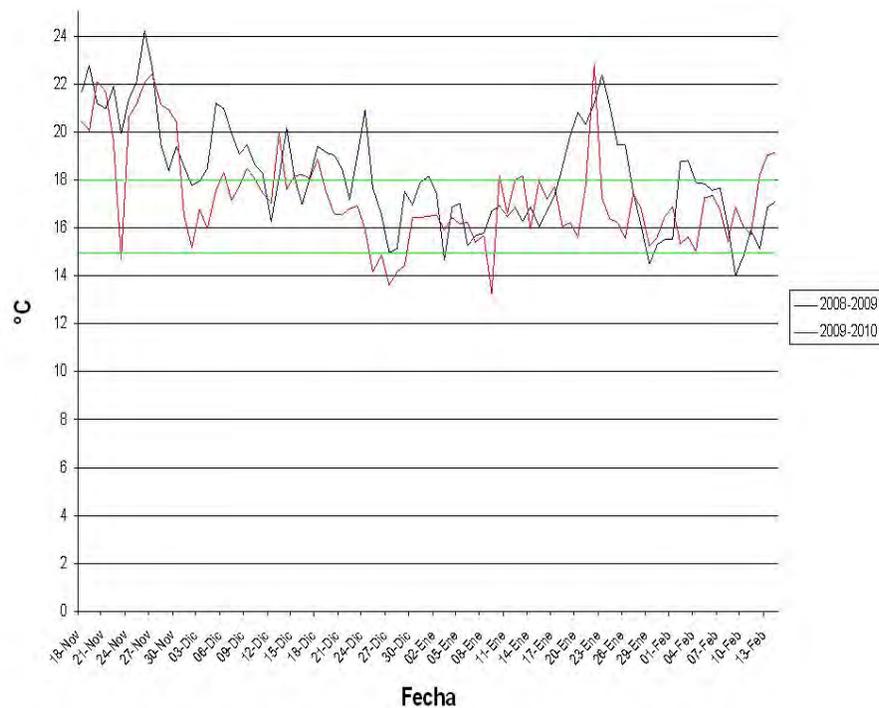


FIGURA 1. TEMPERATURAS.

Estos resultados se relacionan directamente con la fenología del cultivo y podemos tomar en cuenta estas temperaturas para el desarrollo del mismo y para dar los riegos en tiempo y forma principalmente en el Valle del Fuerte ya que a ciertas temperaturas el cultivo tiene reacciones diferentes.

El mango puede desarrollarse en climas donde la media del mes más frío sea mayor a 15 °C y el crecimiento se detiene entre los 4 y 6 °C (Mata y Mosqueda, 1998). Ireta y Guzmán (2002) mencionan que cuando las temperaturas bajan de los 8 a 10 °C o suben más de los 42 °C el crecimiento cesa y como se puede observar en el valle del fuerte existen las temperaturas óptimas para este cultivo.

En el cultivo se pudo observar que a los 265 días presentó 2,864 GDA con mayor índice de área foliar de 10.72 lo que indica que en esa fecha alcanzó el máximo coeficiente de cultivo (K_c) y a los 307 días después de siembra el cultivo alcanzó alrededor de los 3,738 GDA y un número de entrenudos de 13.25.

En las etapas monitoreadas para el cultivo de alfalfa de la variedad "Cuf" en el Valle del Fuerte con una fecha de siembra del 18 de Noviembre, el cultivo de alfalfa empezó a emerger a los 12 días después de siembra (DDS) con 238 GDA y el primer corte se le dio al inicio de la floración con 735.95 GDA.

Los parámetros calibrados para la calendarización del riego en cultivos perennes (mango, caña de azúcar y alfalfa) del Valle del Fuerte para la programación integral del riego fueron coeficiente de cultivo (K_c), profundidad dinámica de la raíz (P_r) y el factor de abatimiento (F), cada uno de estos a su vez cuenta con parámetros de regresión que varían de acuerdo a las características y manejo del cultivo. Para el K_c se utiliza el coeficiente de cultivo máximo (K_{max}) y mínimo (K_{c0}), el $X_{k_{max}}$, el α_0 y α_1 . Para los valores P_r se utiliza la profundidad inicial (P_0), la profundidad máxima ($P_{r_{máx}}$) y el α_2 . El F utiliza α_3 y α_4 . En los Cuadros 1, 2 y 3 se muestran los valores calibrados para cada uno de los cultivos estudiados.

Cuadro 1. Parámetros calibrados para la calendarización del riego del cultivo de mango.

Variable	Parámetros	Valor
Coeficiente de cultivo	K_{max}	1.12
	$X_{k_{max}}$	0.4
	α_0	4674
	α_1	0.45

Variable	Parámetros	Valor
	Kc_0	0.6
	Rd_0	1.5
Profundidad radicular	Rd_{max}	2.0
	α_2	688
Factor de abatimiento	α_3	Gravedad (0.8)
	α_4	0.1

Cuadro 2. Parámetros calibrados para la calendarización del riego del cultivo de caña de azúcar.

Variable	Parámetros	Valor
	$Kmax$	1.02
	$Xkmax$	0.6
Coefficiente de cultivo	α_0	5599
	α_1	0.45
	Kc_0	0.2
	Rd_0	0.15
Profundidad radical	Rd_{max}	1.2
	α_2	1909

Evaluación del impacto del cambio climático
 FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

	α_3	Gravedad (0.8)
Factor de abatimiento	α_4	0.1

Cuadro 3. Parámetros calibrados para la calendarización del riego del cultivo de alfalfa.

Variable	Parámetros	Valor
	K_{max}	1.13
	X_{kmax}	1
Coeficiente de cultivo	α_0	735
	α_1	0.45
	Kc_0	0.6
	Rd_0	0.05
Profundidad radical	Rd_{max}	1.5
	α_2	490
Factor de abatimiento	α_3	Gravedad (0.8)
	α_4	0.1

Se utilizó el escenario de cambio climático A1B, con datos climáticos actuales 2009 (P0) y las proyecciones utilizadas 2020 (P1), 2050 (P2) y 2080 (P3) para estimar el comportamiento de los cultivos perennes (mango, caña y alfalfa). Estos mostraron una disminución en la duración del su ciclo y esto indica que se pueden presentar perdidas en la producción debido a que completará en menos tiempo los grados día acumulados.

Cuadro 4. Variación estimada de los requerimientos de riego para el cultivo de mango de acuerdo al escenario A1B.

Días Después de Brotación	Escenario Climático (A1B)	Duración del ciclo (Días)	ET ₀ (mm)	ET _r (mm)	Numero de Riegos
07/11/09	P0	267	1111	812	5
07/11/20	P1	248	1059	776	4
07/11/50	P2	239	1028	751	4
07/11/80	P3	204	840	596	3

ET₀ = Evapotranspiración de referencia, ET_r = Evapotranspiración real del cultivo

Cuadro 5. Variación estimada de los requerimientos de riego para el cultivo de caña de acuerdo al escenario A1B.

Fecha de Siembra	Escenario climático (A1B)	Duración del ciclo (Días)	ET ₀ (mm)	ET _r (mm)	Numero de Riegos
24-Sep-09	P0	407	1727	949	11
24-Sep-20	P1	370	1655	970	10
24-Sep-50	P2	353	1626	961	10
24-Sep-80	P3	340	1610	957	10

ET₀ = Evapotranspiración de referencia, ET_r = Evapotranspiración real del cultivo

Cuadro 6. Variación estimada de los requerimientos de riego del cultivo de alfalfa de cuerdo al escenario A1B.

Fecha de Siembra	Escenario climático (A1B)	Duración del ciclo (Días)	ET ₀ (mm)	ET _r (mm)	Numero de Riegos
18-Nov-09	P0	49	122.5	82.7	1
18-Nov-20	P1	45	117.9	78.1	1
18-Nov-50	P2	42	120	80.4	1
18-Nov-80	P3	40	120	80.7	1

ET₀ = Evapotranspiración de referencia, ET_r = Evapotranspiración real del cultivo

CONCLUSIONES

El determinar el desarrollo fenológico de los cultivos perennes basado en Grados día (GD), y la estimación de los parámetros del cultivo requeridos por el modelo de Programación Integral del Riego, permite obtener los requerimientos hídricos adecuados para la planta, así como definir el momento oportuno del riego, es decir, el manejo integral del riego.

Con las proyecciones del escenario de clima, bajo condiciones de cambio climático dados por el modelo de emisiones A1B, se determinaron las posibles afectaciones en el desarrollo fenológico de los cultivos perennes en estudio, así como la modificación en los requerimientos hídricos de los mismos.

De acuerdo con lo realizado para este tipo de investigación, es necesario hacer mayor referencia ya que son de gran importancia y se recomienda dar seguimiento para obtener resultados más concretos en este tipo de cultivos.

LITERATURA CITADA

- Adams, R. M., B. H. Hurd, S. Lenhart, y N. Leary. 1998. Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Clim. Res.* 11:19-30.
- Benacchio S. S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP–Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cria. Maracay, Venezuela. 202 p.
- Castillo, P.G.G., Aburto, M.S. 1982. Cultivo de la alfalfa En: Robles, S.R. 1982. Producción de granos y Forrajes. Tercera Edición. Editorial Limusa México.
- Chaikiattiyos, S., C. Menzel and T. Rasmussen. 1994. Floral induction in tropical fruit trees: Effects of temperature and water supply. *Journal of Horticultural Science* 69(3):397-415.
- CIRNO-CESSI. 2004. Guía para la asistencia técnica agropecuaria para el área de influencia del campo experimental sur de Sinaloa. Agenda técnica, segunda edición. Mazatlán Sinaloa México. 93-114 p.
- Comisión Nacional del Agua. 2009. Estadísticas Agrícolas de los distritos de riego año agrícola 2007-2008. Edición 2009. Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo, Coyoacán, México, D.F.
- Cortes, N.J., Lopez, L.F. y Guzmán, R.S.D. 2003. Guía para cultivar alfalfa en los valles de Mexicali, B.C. y San Luis Río Colorado, Sonora.
- Curt, F. De La M.M.D. 1999. El agua y la planta. En: Enciclopedia practica de la agricultura y la ganadería. Océano grupo editorial. P.448.
- De Souza, M.M. y Da gloria, V.M. 1999. Cultivos forrajeros y pasícolas. En: enciclopedia practica de la agricultura y la ganadería. Océano grupo editorial. P.448.
- Doorenbos, J. y A. H. Kassam. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y drenaje No. 33 FAO. Roma. 212 p.
- Exebio, G.A., Palacios, V.E., Mejía, S.E. y Carmona, V.R. 2005. Metodología para estimar pérdidas por infiltración en canales de tierra. SMCS. Terra Latinoamericana (23)2:213-223. México, D.F.
- Flores, G.H. 2007. Validación de un modelo basado en el concepto grados día (°D) para el pronostico de riego en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el norte de Sinaloa. Tesis de licenciatura. UAS-ESAVF. Juan José Ríos Sinaloa.

Evaluación del impacto del cambio climático

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

- Growing, D.P. and N. Baniaboassi. 1978. Observations of cane ripening in the Iranian winter. Proc. International Society Sugar Cane Technology pp: 169-175.
- Ireta, O.A. y Guzman, E.C. 2002. Guía técnica para la producción de mango en Sinaloa Folleto técnico Num. 22 INIFAP-CIRNO-CEVACU. Culiacán Sinaloa México. 152 p.
- Infoagro, 2009. El cultivo de alfalfa. <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm> accesado el 20 d diciembre de 2009.
- Infoagro, 2009. Frutas tropicales, el cultivo del mango. http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/mango.
- Mata, B.I. y Mosqueda, V.R. 1995. La producción de mango en México. Editorial Limusa. México. 159 p.
- Miranda, S.M.A. 2005. Principales plagas del mango. Memoria jornada de transferencia de tecnología de mango. Fundación Produce Sinaloa. Culiacán Sinaloa México. 59-72 p.
- Montero, M.J., y J.L., Pérez. (2008). Regionalización de proyecciones climáticas en México de precipitación y temperatura en superficie usando el método REA para el siglo XXI. En Efectos del cambio climático en los recursos Hídricos de México. P. Martines y A. Aguilar (eds). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor.
- Morton, J. 1987. Mango. Fruit of warm climates. University of Florida. Miami, FL. http://hort.purdue.edu/newcrop/morton/mango_ars.htm1#Harvesting
- Munro, O.D., Prieto, M.J.J., Covarrubias, A.J.E., Romero, C.A. y Figueroa, V.J.J. 2005. Paquete tecnológico para el cultivo de mango en el estado de Colima num. 003 secretaria de desarrollo Rural del estado de colima.
- Núñez-Elisea, R., T. Davenport and M. Caldeira. 1996. Control of bud morphogenesis in mango (*Mangifera indica* L.) by girdling, defoliation and temperature modification. Journal of Horticultural Science 71(1): 25-39.
- Ojeda, B.W., Sifuentes, I.E. y Unland, W.H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa. Agrociencias 40: 13-25. Montecillos, Edo. México.
- Ojeda, W., P. Martínez, y L. Hernández. 2008. Repercusiones del cambio climático en la agricultura de riego. Capítulo 6 del libro "Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México". Vol. II. Eds. A. Aguilar y P. Martínez. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Ortiz, E.J.E., Cortez J.J.M., Félix, V.P., Valdez G.B. y Morales, C.A. 2007. El cultivo de la alfalfa bajo riego por goteo, en el valle del yaqui, Sonora. Folleto técnico Num.56 Campo Experimental Valle del Yaqui-CIRNO-INIFAP. Ciudad Obregón, Sonora, México. 104 p.
- Ramos, G.J.L., Baez, G.A., Medina, G.G., Ruiz, C.J.A., Osuna C.E.S. 2009. Caracterización Climática y edáfica del área de abastecimiento del ingenio "el dorado", Culiacán Sinaloa. Publicación Especial Num. 36 Campo Experimental Pabellón-CIRNO-INIFAP. Pabellón de Arteaga Aguascalientes. 53 p.
- Romero, F.J.M.O., Reyes, J.J.E., Loaiza, M.A. y Moreno, G.T. 2004. Guía para producir alfalfa en Sinaloa. INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Valle de Culiacán.
- Sergent, E. 1999. El cultivo del mango (*Mangifera indica* L.). Botánica, manejo y comercialización. Consejo de desarrollo Científico y humanístico, Universidad central de Venezuela.

Evaluación del impacto del cambio climático

FOMIX-CONACYT SIN-2008-C01-98981

Sifuentes, et al., 2004. Manejo del agua en módulos de riego bajo condiciones de escasez.

Villapudua J.R. y Sáinz R.R.A. 2005. Memoria. Jornada de transferencia de tecnología de mango. Enfermedades del mango. Fundación produce Sinaloa. Culiacán, Sinaloa. P. 85-101

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DESARROLLO Y REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE LOS CULTIVOS

CLIMATE CHANGE IMPACT ON CROP DEVELOPMENT AND WATER REQUIREMENTS

Waldo Ojeda-Bustamante^{1*}, Ernesto Sifuentes-Ibarra², Mauro Íñiguez-Covarrubias¹, Martín J. Montero-Martínez¹

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 62550. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso. Jiutepec, Morelos, México. (wojeda@tlaloc.imta.mx). ²INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Valle del Fuerte. Km. 1609. Carretera Internacional México-Nogales. Juan José Ríos, Sinaloa, México.

RESUMEN

Debido al impacto del cambio climático la modificación de los componentes del ciclo hidrológico, principalmente la evapotranspiración y la precipitación, tendrá un efecto radical en las demandas de riego y en la gestión de los sistemas de riego. Las proyecciones del cambio climático indican un incremento de la temperatura ambiental, con variabilidad en el espacio y en el tiempo. En este trabajo se analizó el impacto esperado del cambio climático en las demandas hídricas y en el desarrollo de los cultivos usando proyecciones de cambio climático para el escenario de emisiones medio moderado (A1B), para las condiciones del Distrito de Riego 075, Río Fuerte, Sinaloa, México. Se estimó que para finales de siglo el aumento anual de la evapotranspiración de referencia será 10 % respecto a los valores actuales. La demanda hídrica de los cultivos se reducirá 13 % para el ciclo otoño-invierno, 6 % para el ciclo primavera-verano e incrementará 7 % en el ciclo de perennes para fines de siglo. Lo anterior se atribuye a que a pesar de que la evapotranspiración de referencia se incrementará, el mayor impacto por incremento de la temperatura será en la reducción del ciclo fenológico de los cultivos anuales. Por tanto es necesario implantar acciones de adaptación: en primer lugar el uso de híbridos o variedades de ciclo más largo que las actuales, con resistencia al estrés térmico, y en segundo lugar, la compactación del periodo de siembra hacia los meses más fríos.

Palabras clave: evapotranspiración, requerimientos hídricos, adaptación, distrito de riego.

ABSTRACT

Due to the impact of climate change, the modification of water cycle processes, mainly evapotranspiration and precipitation, will have a radical effect on irrigation water demands and management of irrigation systems. Climate change projections indicate an increase in air temperature, with spatial and temporal variability. In this study, we analyzed the expected impact of climate change on water demands and crop development, by using climate change projections for the moderate-medium emissions scenario (A1B), for the conditions of Irrigation District 075, Río Fuerte, Sinaloa, México. It was estimated that by the end of the century, the annual increase of reference evapotranspiration will be 10 % compared to current values. Water demand for crops will be reduced by 13 % for the Autumn-Winter season and 6 % for the Spring-Summer season, and it will increase by 7 % for the Perennial season by the end of the century. This can be attributed to the fact that although reference evapotranspiration will increase, the greatest impact from a temperature increase will be in shortening the growing season of annual crops. Therefore, it is necessary to implement adaptation actions: in the first place, using longer season cultivars than those cultivated today, with resistance to thermal stress; and in the second place, compacting the planting season toward the colder months.

Key words: evapotranspiration, water requirements, adaptation, irrigation district.

INTRODUCTION

As part of the climate change projected, thermal and dynamic fluxes in the atmosphere will be modified due to an increase in the atmospheric accumulation of several anthropogenic gases that produce the greenhouse effect (IPCC,

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Julio, 2010. Aprobado: Noviembre, 2010.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 1-11. 2011.

INTRODUCCIÓN

Como parte del cambio climático proyectado, los flujos térmicos y dinámicos de la atmósfera se modificarán debido a un incremento en la acumulación atmosférica de varios gases que intervienen en el efecto invernadero, cuyo origen es antrópico (Panel Intergubernamental de Cambio Climático; IPCC, por sus siglas en inglés, 2007). Así, las proyecciones de los Modelos de Circulación General Acoplados (MCGA) indican un incremento global significativo de la temperatura y del bióxido de carbono (CO₂) durante el presente siglo. Respecto a México, dichos modelos proyectan un decremento de la precipitación en la mayor parte de su territorio (Montero y Pérez, 2008).

La temperatura actúa en el desarrollo de los cultivos y el incremento de la temperatura ambiental puede afectar su tasa de crecimiento, limitar su actividad fotosintética y aumentar su respiración (Ellis *et al.*, 1990; Lawlor, 2005). El acortamiento del ciclo fenológico puede reducir el rendimiento potencial de los cultivos, al disminuir el periodo de intercepción de la radiación, que es uno de los principales determinantes de la acumulación de materia seca y rendimiento (Monteith, 1981).

Se ha reportado un incremento de las demandas hídricas de los cultivos por efecto del cambio climático (Rodríguez *et al.*, 2007) sin considerar el efecto de la temperatura en la duración del ciclo fenológico. Allen *et al.* (1991) muestran que estos cambios en los requerimientos de riego se derivan del efecto de la disminución de la precipitación, del impacto del incremento de la temperatura en la evapotranspiración de referencia (ET₀) y del acortamiento del ciclo fenológico.

Para las grandes planicies de Estados Unidos, Allen *et al.* (1991) indican una reducción del ciclo fenológico del maíz de hasta 80 d, y de 36 a 48 d en el trigo, y para la alfalfa señalan una iniciación temprana de su crecimiento y retraso de su latencia, lo cual resulta en un mayor número de cortes, mayor tasa de crecimiento y un mayor consumo de agua por año agrícola.

Los cambios en los patrones climáticos actuales afectarán el desarrollo y los procesos fisiológicos de los cultivos. Se espera un impacto diferencial en las demandas hídricas de los cultivos por efecto del cambio climático. Aunque existe la metodología general para estudiar dichos impactos con resultados para

2007). Thus, projections on the Coupled General Circulation Model (CGCM) indicate a significant global increase in temperature and carbon dioxide (CO₂) during this century. With regards to México, these models project a decrease in precipitation for most of the country (Montero and Pérez, 2008).

Temperature acts in crop development and the increase in air temperature can affect their growth rate, limit its photosynthetic activity and increase its respiration (Ellis *et al.*, 1990; Lawlor, 2005). Decreases in length of growing season can reduce the potential yield of crops, by shortening the period of radiation interception, which is one of the primary determinants of dry matter accumulation and yield (Monteith, 1981).

An increase in crop water demands has been reported, due to the effect of climate change (Rodríguez *et al.*, 2007), without taking into account the effect of temperature on the duration of growing season. Allen *et al.* (1991) show that these changes in irrigation requirements are derived from the effect of the decrease in precipitation, the impact of the rise in temperature on reference evapotranspiration (ET₀), and the shortening of growing season.

For the Great Plains region in the United States, Allen *et al.* (1991) indicate a reduction in the corn growing season of up to 80 d, from 36 to 48 d in wheat, and for alfalfa, they mention an earlier growth initiation and a later frost-induced dormancy, which results in increased number of hay cuttings per growing season, higher growth rate and more water requirement per agricultural year.

Changes in the current climate patterns will affect the development and phenological processes of crops. A differential impact is expected on crops' water demands because of the climate change effect. Although there is a general methodology to study these impacts with results for many agricultural areas, there is a need to analyze them locally with information validated on the field, given the spatial and temporal variability related to climate change projections (Rosenzweig and Daniel, 1989; Goyal, 2004). Faced with the lack of studies that quantify for México the possible changes in water demands and in crop development because of climate change, the objective of this study was to quantify these impacts and possible adaptation actions, for the conditions found in Irrigation District 075, Río Fuerte, Sinaloa, México.

varias zonas agrícolas, se requiere analizarlos localmente con información validada en campo, dada la variabilidad espacial y temporal en las proyecciones de cambio climático esperadas (Rosenzweig y Daniel, 1989; Goyal, 2004). Ante la falta de estudios que cuantifiquen para México los posibles cambios en las demandas hídricas y en el desarrollo de los cultivos por efecto del cambio climático, el objetivo del presente trabajo fue cuantificar dichos impactos y las posibles acciones de adaptación, para las condiciones del Distrito de Riego 075, Río Fuerte, Sinaloa, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en el Distrito de Riego 075 (DR-075), en el Valle del Fuerte, al norte del estado de Sinaloa, México; 25.4-26.1° N, 108.4-109.4° O, y altitud promedio de 20 m.

El DR-075 cuenta con una base de datos con información parcelaria de los últimos 10 años agrícolas, que ha sido generada con el sistema de pronóstico de riego en tiempo real (Spriter) (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2007). Dicha base se usó para obtener el plan de cultivos de un año agrícola típico. Un año agrícola se consideró del 1 de octubre (día juliano 274) al 31 de septiembre del año siguiente.

El plan de cultivos típico del DR-075 indica que 11.7 % de la superficie tiene cultivos perennes (PER) y 88.3 % cultivos anuales, de estos 80 % es de ciclo otoño-invierno (OI) y 20 % de segundos cultivos de ciclo primavera-verano (PV). El porcentaje de la superficie sembrada por cultivo y por ciclo es 65.9 % *Zea mays* (maíz), 19.5 % *Phaseolus vulgaris* (frijol), 6.7 % *Solanum tuberosum* (papa), 4.1 % *Solanum lycopersicum* (jitomate) y 3.9 % con otros cultivos en el OI. En el ciclo PV, hay segundos cultivos de superficie sembrada en OI: *Sorghum bicolor* (sorgo, 64.6 %), maíz (33.8 %) y otros cultivos (1.6 %). Los cultivos perennes son *Saccharum officinarum* L. (caña de azúcar) con 62.3 %, forrajes (principalmente *Medicago sativa*, alfalfa) con 19.8 %, y frutales (principalmente *Mangifera indica*, mango) con 17.9 %.

Los datos climáticos del periodo de 1961 a 1990 fueron obtenidos de la estación "Los Mochis" (25.82° N, 109.0° O, y altitud de 14 m). La temperatura media anual es de 24.6° C y la precipitación acumulada de 340 mm, concentrada de julio a octubre, que corresponden a los meses más calientes del año. La ET_0 tiene un valor medio anual de 4.2 mm d⁻¹, con intervalo de 2.3 a 6 mm d⁻¹.

Actualmente las herramientas mejores para estimar proyecciones de cambio climático son los MGCA (IPCC, 2007). Sin embargo, debido a diferencias en su conceptualización y

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out in Irrigation District 075 (ID-075), in Valle del Fuerte, in the north of the state of Sinaloa, México; 25.4-26.1° N, and 108.4-109.4° W, and an average altitude of 20 m.

The ID-075 has a database with information about farms for the last 10 agricultural years, which has been generated with the real-time irrigation forecast system (Spriter) (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2007). This database was used to obtain the crop plan for a typical agricultural year. An agricultural year is understood as being from October 1 (Julian day 274) until September 31 the next year.

The typical cropping plan for ID-075 indicates that perennial crops (PER) account for 11.7 % of the cropping area and annual crops 88.3 %, out of which 80 % belong to the Fall-Winter season (FW) and 20 % are secondary Spring-Summer season (SS) crops. The area percentage planted by crop and by season is 65.9 % with *Zea mays* (corn), 19.5 % with *Phaseolus vulgaris* (common beans), 6.7 % with *Solanum tuberosum* (potato), 4.1 % with *Solanum lycopersicum* (tomato) and 3.9 % with other crops in the FW cycle. During the SS season, there are second crops planted during FW: *Sorghum bicolor* (sorghum, 64.6 %), corn (33.8 %) and other crops (1.6 %). The perennial crops are *Saccharum officinarum* L. (sugarcane) with 62.3 %, fodder (mainly *Medicago sativa*, alfalfa) with 19.8 %, and orchards (mainly *Mangifera indica*, mango) with 17.9 %.

The climate data for the 1961 to 1990 period were obtained from "Los Mochis" meteorological station (25.82° N, 109.0° W, and 14 m altitude). The average annual temperature is 24.6° C and the accumulated precipitation is 340 mm, concentrated in July to October, which are the warmest months in the year. The ET_0 has a mean annual value of 4.2 mm d⁻¹, with an interval of 2.3 to 6 mm d⁻¹.

Currently, the best tools to estimate climate change projections are CGCM (IPCC, 2007). However, due to differences in their conceptualization and parameterization of physics and dynamics of atmosphere, these models present an uncertainty in the projected evolution of climate. The IPCC in its Fourth Assessment Report considers 23 CGCMs, which include some of the six different scenarios for Greenhouse Effect Gases (GHG) emissions known as SRES: B1, B2, A1T, A1B, A1F1, and A2 (IPCC, 2007). In this study, the medium moderate A1B emissions scenario was used, the one most frequently used in climate change studies, which considers that society will use all renewable and limited energy sources in a balanced manner, including fossil fuels (IPCC, 2007).

parametrización de la física y la dinámica de la atmósfera, estos modelos presentan una incertidumbre en la evolución proyectada del clima. El IPCC en su Cuarto Reporte de Evaluación considera 23 MGCA que incluyen algunos de los seis diferentes escenarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) conocidos como SRES: B1, B2, A1T, A1B, A1FI, y A2 (IPCC, 2007). En este trabajo se utilizó el escenario de emisiones medio moderado A1B, el escenario más utilizado en estudios de cambio climático, que considera que la sociedad usará en forma balanceada todas las fuentes energéticas renovables y agotables, e incluyen las de origen fósil (IPCC, 2007).

En el presente estudio se utilizaron proyecciones mensuales para el periodo 2011-2098 con una malla regular de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ($\sim 50 \times 50$ km) obtenida por técnicas estadísticas de reducción de escala a partir de datos de modelos MCGA. La base de datos de precipitación y temperatura de superficie (media, máxima y mínima) fue obtenida a través de promedios ponderados de las proyecciones de los 23 MCGA, disponible en del centro de distribución de datos del IPCC (www.ipcc-data.org), según la metodología usada por Montero y Pérez (2008).

Con el objeto de estudiar el impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos de importancia del DR-075, se generaron valores promedio de las variables climáticas temperatura y precipitación, para cuatro periodos de tiempo: P_0 , P_1 , P_2 y P_3 . El primero, P_0 , se relaciona con el pasado reciente y corresponde al promedio de las variables climáticas para el periodo base de 1961 a 1990. Los escenarios P_1 , P_2 y P_3 definen el promedio de valores mensuales de los periodos entre 2011 y 2040, 2041 y 2070 y 2071 y 2098, respectivamente.

Se usó el concepto de días grado de desarrollo ($^\circ\text{D}$) para predecir la duración de las etapas fenológicas de los cultivos de la zona de estudio, el cual requiere del conocimiento de la temperatura media ambiental diaria (T_a). Aunque existen varias alternativas para calcular los $^\circ\text{D}$ (McMaster y Wilhelm, 1997), en este trabajo se siguió la utilizada por Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) debido a que había sido calibrada para la zona de estudio. Se usaron datos experimentales de Mendoza *et al.* (2003) para estimar el efecto actual de la fecha de siembra y duración del ciclo fenológico en el rendimiento del maíz.

Los requerimientos hídricos de los cultivos se calcularon de acuerdo con la metodología de la FAO (Allen *et al.*, 2006) en la forma de $ET_c = K_c ET_o$, donde K_c es el coeficiente de cultivo expresado en función de los $^\circ\text{D}$ de acuerdo a las ecuaciones propuestas por Ojeda-Bustamante *et al.* (2006). Los cálculos de ET_c de los cultivos, para los tres ciclos de un año agrícola típico del DR-075, se realizaron mediante un programa computacional equivalente al CropWat (Clarke *et al.*, 1998). El uso de este programa facilitó la estimación de la duración de las fases fenológicas de los cultivos en función de la temperatura en el

For this study, monthly projections for the 2011-2098 period were used, with a regular grid of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ($\sim 50 \times 50$ km) obtained through statistical techniques for downscaling from CGCM model data. The precipitation and air temperature (medium, maximum and minimum) database was obtained through weighted averages of the 23 CGCM projections, available at the IPCC data distribution center (www.ipcc-data.org), according to the methodology used by Montero and Pérez (2008).

With the objective of studying the climate change impact on development and water requirements of important crops in ID-075, average values were generated for the climate variables of temperature and precipitation, for four time periods: P_0 , P_1 , P_2 , and P_3 . The first, P_0 , is related to the recent past and corresponds to the average of climate variables for the 1961 to 1990 base period. The P_1 , P_2 , and P_3 scenarios define the average of monthly values for periods between 2011 and 2040, 2041 and 2070, and 2071 and 2098.

The concept of growing degree days ($^\circ\text{D}$) was used to predict the duration of crops growing season in the study area, which requires the knowledge of average air temperature (T_a). Although there are many alternatives for calculating $^\circ\text{D}$ (McMaster and Wilhelm, 1997), in this study we followed the method proposed by Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) because it had been calibrated for the study area. Experimental data from Mendoza *et al.* (2003) were used to estimate the actual effect of the planting date and duration of growing season in corn yield.

Crop water requirements were calculated according to the FAO methodology (Allen *et al.*, 2006) in the form of $ET_c = K_c ET_o$, where K_c is the crop coefficient expressed in function of the $^\circ\text{D}$ based on the equations proposed by Ojeda-Bustamante *et al.* (2006). Calculations for crops' ET_c , for the three seasons in a typical ID-075 agricultural year, were carried out through a computer program equivalent to CropWat (Clarke *et al.*, 1998). The use of this program eased the calculation of the duration of the crops' phenological stages in function of the temperature in the crop season, by having an implicit crop-development model based on $^\circ\text{D}$, and their parameters were locally calibrated as reported by Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) for corn.

The ETO was calculated with the Penman-Monteith equation, using monthly daily averages as the CropWat program does. With the crops' surface percentages established per agricultural season, the crops' water demand curves were obtained for the three agricultural seasons in a typical agricultural year for the ID-075 during the four periods studied.

The possible beneficial effect of the increase in carbon dioxide on the reduction of crop transpiration was not studied (Kimball, 1983), because we lacked information regarding this

ciclo fenológico, al tenerse implícito un modelo de desarrollo de los cultivos basado en °D, y sus parámetros fueron calibrados para los cultivos de la zona como lo hizo Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) para el cultivo de maíz.

La ET_0 fue calculada con la ecuación de Penman-Monteith con los promedios diarios mensuales como lo realiza el programa CropWat. Con los porcentajes de la superficie de los cultivos establecidos por ciclo agrícola se obtuvieron las curvas de las demandas hídricas de los cultivos de los tres ciclos agrícolas de un año agrícola típico para el DR-075 de los cuatro periodos estudiados.

No se consideró el efecto benéfico posible del incremento del dióxido de carbono en la reducción de transpiración de los cultivos (Kimball, 1983), por carecer de la información de dicho incremento en condiciones de estrés hídrico y térmico de esos cultivos (Lawlor, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Proyecciones de cambio climático

La línea de tendencia promedio proyectada por los modelos MCGA indica un incremento anual en la temperatura media de 0.03 °C por año en el periodo de 2010 a 2098 para el DR-075, en el escenario de emisiones A1B. La temperatura media diaria mensual, respecto al periodo P_0 , se incrementará en promedio 1.0, 2.2 y 3.0 °C durante los periodos P_1 , P_2 , y P_3 , respectivamente. La variación anual de la precipitación disminuirá menos de 30 % para finales del siglo, respecto al valor promedio de P_0 . La lluvia anual disminuirá en promedio 62, 70 y 110 mm durante los periodos P_1 , P_2 , y P_3 .

Se calculó un valor anual acumulado de la ET_0 de 1554 mm para el periodo base P_0 . Al introducir las proyecciones en los valores de las variables meteorológicas para el escenario de emisiones A1B, con respecto a P_0 se estimó un incremento en la ET_0 anual del 3, 6 y 10 % en los periodos P_1 , P_2 , y P_3 .

Requerimientos hídricos actuales de los cultivos

En el DR-075 existe un periodo amplio de siembra de los cultivos de un año agrícola típico. La mayor superficie establecida con los cuatro principales cultivos del ciclo otoño-invierno (OI) se presenta en el periodo juliano del día 280 al día 15 del siguiente año (inicios de octubre y hasta mediados de enero)

increase in drought and thermal stress conditions in these crops (Lawlor, 2005).

RESULTS AND DISCUSSION

Climate change projections

The average trendline projected by CGCM models indicates an annual increase in average temperature of 0.03 °C per year in the 2010-2098 period for ID-075, in the A1B emissions scenario. The average monthly daily temperature, compared to P_0 , will increase in average 1.0, 2.2 and 3.0 °C during periods P_1 , P_2 and P_3 , respectively. The annual variation of precipitation will decrease less than 30 % by the end of the century, as compared to the average P_0 value. Annual rain will decrease in average 62, 70 and 110 mm during the P_1 , P_2 and P_3 periods.

An annual accumulated ET_0 value of 1554 mm was estimated for the base period P_0 . When introducing projections into the meteorological variables for the A1B emissions scenario, an increase in annual ET_0 was estimated, as compared to P_0 , of 3, 6 and 10 % in the P_1 , P_2 and P_3 periods.

Actual crop water requirements

In the ID-075 there is a broad planting period for crops during a typical agricultural year. The greatest surface established with the four main crops in the Fall-Winter (FW) season takes place during the period from Julian day 280 to the 15th the following year (beginning of October to mid-January) (Figure 1A). With the exception of tomato, which has a broad sowing period, the harvesting period for FW crops is concentrated in the period from Julian day 1 to day 140 (from the beginning of January to mid-May).

Crops' water requirements depend primarily on the species, variety, phenological stage, planting date and environmental conditions during the growing season (Allen *et al.*, 2006). The crops' peak water demands do not occur themselves in the same period (Figure 1B), due to the variability in each crop's sowing period, environmental conditions at the ID-075, and differences in water consumption which are intrinsic to crops, given by their KC and the duration of phenological phases.

(Figura 1A). Con excepción del jitomate, que tiene periodo de siembra amplio, el periodo de cosecha de los cultivos de OI se concentra en el periodo del día juliano 1 al día 140 (de inicios de enero a mediados de mayo).

Los requerimientos hídricos de los cultivos dependen principalmente de la especie, variedad, etapa fenológica, fecha de siembra y condiciones ambientales del ciclo fenológico (Allen *et al.*, 2006). Las demandas hídricas máxima de los cultivos no se presentan en el mismo periodo (Figura 1B), debido a la variabilidad del periodo de siembra de cada cultivo, condiciones ambientales del DR-075 y diferencias en el consumo de agua, intrínsecas a los cultivos, dadas por su K_c y duración de las fases fenológicas.

La Figura 2 presenta las curvas de los tres ciclos agrícolas del periodo base P_0 , obtenidas al integrar la aportación ponderada de las demandas hídricas de los cultivos por ciclo. Las demandas hídricas máxima del ciclo PV es mayor que las del ciclo OI, debido a su temporada de siembra y cosecha más corta y a que su ciclo fenológico coincide con el periodo más caliente del año. El ciclo de perennes (PER) es el ciclo con mayor demanda hídrica diaria: acumulada y máxima por lo que su superficie es restringida en el DR-075. Lo anterior presenta la misma tendencia que la observada por Allen *et al.* (1991) con el incremento de las demandas hídricas de los cultivos perennes y el decremento de los cultivos anuales con respecto al periodo base.

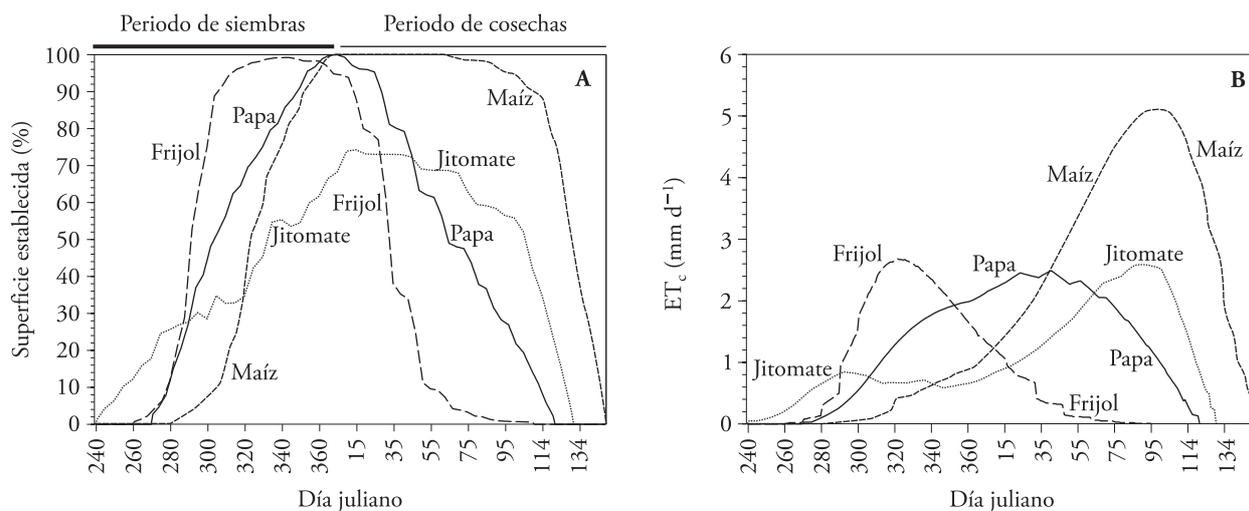


Figura 1. A. Distribución de la superficie establecida. B. Evapotranspiración de los cultivos (ET_c) de un plan de siembras típico del ciclo otoño-invierno en el distrito de riego 075 en Sinaloa, México, para el periodo base P_0 .
Figure 1. A. Distribution of the crop surface established. B. Crops' evapotranspiration (ET_c) in a typical planting plan for the Fall-Winter season in irrigation district 075, in Sinaloa, México, for the base period, P_0 .

Figure 2 presents curves for the three agricultural seasons in the base period P_0 , obtained when integrating the adjusted contribution of crops' water demands per season. The peak water demands for the SS cycle are greater than those for the AW cycle, because of its shorter season for sowing and harvesting, and because its growing season coincides with the warmest period of the year. The Perennials season (PER) is the cycle with greatest daily water demand: accumulated and peak, this is the reason why these crops are restricted in the ID-075. These results show the same tendency as reported by Allen *et al.* (1991) with an increase in water demands for perennial crops and a decrease in annual crops compared with the base period.

Impact of climate change on corn development

Currently, corn in the ID-075 presents the longest growing season in FW cycle (Julian day 330 to 335). The duration of growing season of 16, 30 and 42 days for periods P_1 , P_2 and P_3 shows a decrease compared with the duration of the FW season for the P_0 period, where variation is not significant (Figure 3A).

Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) pointed out a current variation in the corn growing season in the ID-075 of up to 15 days in the broad planting date interval (from Julian day 274 to 350). The reduction in crop growing season will translate into lower yield, because of the reduction in nutrient absorption

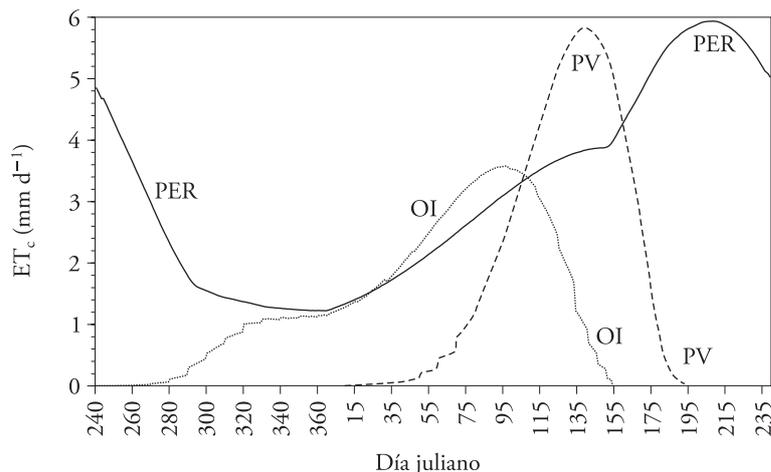


Figura 2. Variación de la evapotranspiración integrada de los cultivos (ET_c) para los ciclos agrícolas otoño-invierno (OI), primavera-verano (PV) y perennes (PER) para el plan de cultivos típico del distrito de riego 075 en Sinaloa, México, considerando el escenario climático actual (P_0).

Figure 2. Variation in integrated crops' evapotranspiration (ET_c) for the agricultural Fall-Winter (FW), Spring-Summer (SS) and Perennial (PER) seasons for a typical cropping plan for irrigation district 075 in Sinaloa, México, for the base climate scenario (P_0).

Impacto del cambio climático en el desarrollo del maíz

Actualmente el maíz en el DR-075 presenta la mayor duración del ciclo fenológico en OI, específicamente para siembras de la segunda quincena de noviembre (juliano 330 a 335). La duración del ciclo fenológico de 16, 30 y 42 días para los periodos P_1 , P_2 y P_3 , respectivamente, muestra un decremento comparado con la duración del ciclo para el periodo P_0 , en el que la variación no es significativa (Figura 3A).

Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) señalaron una variación actual en el DR-075 de la duración del ciclo de maíz de hasta 15 días en el intervalo amplio de fechas de siembra (de día juliano 274 al 350). La reducción del ciclo fenológico de los cultivos se traducirá

periods, solar energy interception, and metabolic activity (Monteith, 1981). To counteract the effect of the reduction in corn growing season, there will be a need to use varieties with greater heat requirements (longer cycle) to maintain equivalent periods in crop development. Increases of 200, 340 and 440 °D were estimated, for the new corn varieties that will be demanded for P_1 , P_2 and P_3 , implying an increase in accumulated days-degrees of 13, 21 and 28 % with regards to the intermediate-maturity corn varieties currently used in the ID-075.

Air temperatures higher than optimum can decrease the photosynthetic rate, increase the respiratory rate, accelerate crop development and growth, and shorten the duration of the growing season (Lawlor, 2005). The results show (Figure

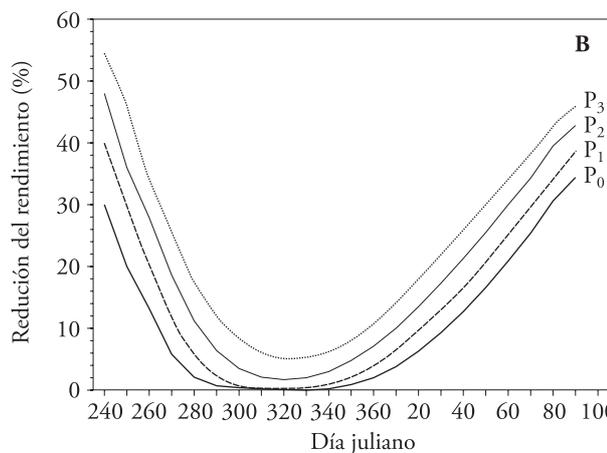
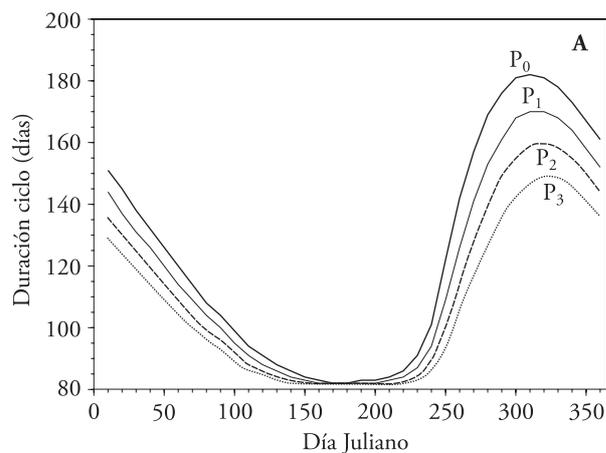


Figura 3. A. Variación del ciclo fenológico. B. Reducción del rendimiento potencial del maíz otoño-invierno en función de la fecha de siembra, bajo el escenario de cambio climático A1B para cuatro periodos.

Figure 3. A. Variation of phenological season. B. Reduction of Fall-Winter corn potential yield as a function of the sowing date, under the A1B climate change scenario for four periods.

en reducción del rendimiento, al reducirse los periodos de absorción de nutrientes, de intercepción de energía solar y de actividad metabólica (Monteith, 1981). Para contrarrestar el efecto de reducción del ciclo del maíz, será necesario usar variedades con mayores requerimientos de calor (ciclo más largo) para mantener periodos equivalentes en el desarrollo de los cultivos. Se estimaron incrementos de 200, 340 y 440 °D en las nuevas variedades de maíz que serán demandadas para los periodos P_1 , P_2 y P_3 , lo que implica el incremento en días-grado acumulados del 13, 21 y 28 % respecto a las variedades intermedias de maíz usadas actualmente en el DR-075.

Temperaturas ambientales superiores a las óptimas pueden disminuir la tasa fotosintética, incrementar la tasa respiratoria, acelerar el desarrollo y crecimiento de los cultivos y acortar la duración del ciclo fenológico (Lawlor, 2005). Los resultados muestran (Figura 3B) que los rendimientos del maíz se reducirán a medida que se incremente la temperatura y acortarán su ciclo fenológico por cambio climático (Figura 3A), tal como lo reportaron Rosenzweig y Daniel (1989). Para mantener en 10 % la reducción máxima de los rendimientos futuros, la temporada de siembra debería reducirse 6, 21 y 38 % para los periodos P_1 , P_2 y P_3 , respectivamente, respecto a la temporada actual del periodo base (P_0), entre el día 258 juliano al 15 (mediados de septiembre a mediados de enero).

Durante el ciclo PV, principalmente del día juliano 121 al 243, entre mayo y agosto, se presentarán con mayor frecuencia, durante el día, temperaturas ambientales superiores a la óptima de los cultivos. Esto puede disminuir el rendimiento del maíz, debido a problemas en la polinización, incremento de la respiración y disminución de la fotosíntesis (Lawlor, 2005). El incremento en la temperatura acortará el ciclo fenológico de todos los cultivos, lo que genera su desfase (adelanto) tanto en los cultivos del ciclo OI como en los de PV, menor en los últimos.

Impacto proyectado del cambio climático en los requerimientos hídricos de los cultivos

Se anticipa una disminución en los valores de la ET_c diaria: máxima y acumulada del año agrícola para la zona de riego (ET_{c-ZR}) para los cuatro periodos analizados. El periodo más caliente (P_3 , Figura 4) presenta la mayor reducción de ET_c , respecto al

3B) that corn yields will decrease as temperature increases, and the phenological season will be shortened because of climate change (Figure 3A), as was reported by Rosenzweig and Daniel (1989). To maintain the maximum reduction of future yields at 10 %, the planting season should be reduced in 6, 21 and 38 % for periods P_1 , P_2 and P_3 , with regards to the current season of the base period (P_0), between Julian day 258 and the 15th (mid-September to mid-January).

During the SS season, mainly from Julian day 121 to 243, between May and August, more frequently, there are air temperatures during the day that are higher than the crops' optimum. This can decrease the corn yield, due to problems with pollination, an increase in respiration, and a decrease in photosynthesis (Lawlor, 2005). The increase in temperature will shorten the growing season of all crops, generating to shift (ahead of time) both in the AW cycle and in the SS, although shorter in the latter.

Projected impact of climate change in crops' water requirements

A decrease in the daily: peak and accumulated ET_c for the agricultural year is anticipated, for the irrigation zone (ET_{c-ZR}) during the four periods analyzed. The warmest period (P_3 , Figure 4) presents the greatest reduction in ET_c , with regards to the current period (P_0). This is due to the larger surface sown with FW crops in ID-075, to the future growing season reduction in annual crops and to the greater crop development rate, compared to the current period, nullifying the expected increase in ET_o . The days where peak ET_{c-ZR} currently occur (P_0) are warm (Julian period 100-110, April); however, as the climate change intensifies, these peak values will occur in the colder months (Figure 4), which will nullify the effect of an increase in ET_o due to the increase in temperature.

Similar trends to those reported by Allen *et al.* (1991) were obtained for changes in ET_c because of the impact of climate change, the decrease in ET_c for annual crops and its increase for perennial crops. The changes in ET_c for FW crops are reduced almost in double of the estimated values for the SS cycle, with regards to the current values (P_0) in the three periods projected (Table 1). Only the perennial crops show

Figura 4. Variación diaria de la evapotranspiración (ET_c) del distrito de riego 075 en Sinaloa, México, para un año agrícola típico en cuatro periodos.

Figure 4. Daily variation of evapotranspiration (ET_c) for irrigation district 075 in Sinaloa, México, for a typical agricultural year in four periods.



periodo actual (P_0). Lo anterior se debe a la mayor superficie sembrada con cultivos del ciclo OI en el DR-075, al acortamiento futuro de los ciclos anuales y a la tasa mayor de su desarrollo, respecto al periodo actual, que anula el incremento esperado de la ET_o . Los días en los que se presenta la máxima ET_{c-ZR} actualmente (P_0) son cálidos (periodo juliano 100-110, abril); sin embargo, a medida que el cambio climático se manifieste con mayor intensidad, esos valores máximos se presentarán en los meses más fríos (Figura 4), lo que anulará el efecto del incremento en ET_o debido al incremento de la temperatura.

Se obtuvieron tendencias similares a las reportadas por Allen *et al.* (1991) para cambios de ET_c por impacto del cambio climático, disminución de ET_c para cultivos anuales y su incremento para cultivos perennes. Los cambios de la ET_c de los cultivos OI se reducen casi al doble que los valores estimados para el ciclo PV, con respecto a los valores actuales (P_0) en los tres periodos proyectados (Cuadro 1). Sólo el ciclo de perennes muestra incremento de ET_c en el

an increase in ET_c during this century, compared to the base period P_0 (Table 1). The ET_{c-ZR} for the agricultural year decreases evapotranspiration in the irrigation district by 2, 6 and 8 % during periods P_1 , P_2 and P_3 , as compared to the current period, P_0 . The previous analysis was carried out assuming that crops and varieties used currently will be kept, and weighed average climate projections were also considered for several climate simulation models in the A1B emission scenario. Changes in water demands for crops could be greater if other emissions scenarios or climate projections for other CGCM models are used.

The use of longer-season varieties that are resistant to thermal stress, as well as shortening the planting season to counteract the effects of climate change in crop yield can increase the water demands above the values shown in Table 1. Also, a projected increase in CO_2 concentrations can cause an increase in crops' net productivity and a decrease in their transpiration rates by inducing a partial closure of stomata because of carbon enrichment (Allen *et al.*, 1991).

Cuadro 1. Evapotranspiración de referencia (ET_o) y de los cultivos (ET_c) en mm, en el distrito de riego 075 en Sinaloa, México y porcentaje de reducción (entre paréntesis) con respecto al periodo base P_0 , por ciclo y año agrícola.

Table 1. Reference evapotranspiration (ET_o) and crops' (ET_c) in mm, in irrigation district 075, Sinaloa, México, and reduction percentage (in parenthesis) compared to the base period, P_0 , per season and agricultural year.

Ciclo	P_0	P_1	P_2	P_3
ET_o anual	1554	1597 (+2.8 %)	1646 (+5.9)	1701 (+9.5 %)
ET_c Maíz OI	505	483 (-4 %)	449 (-11 %)	425 (-16 %)
ET_c OI	414	399 (-4 %)	375 (-9 %)	358 (-13 %)
ET_c PV	403	396 (-2 %)	387 (-4 %)	378 (-6 %)
ET_c PER	1136	1173 (+3 %)	1191 (+5 %)	1214 (+7 %)
ET_{c-ZR} año agrícola	570	560 (-2 %)	538 (-6 %)	525 (-8 %)

transcurso del presente siglo, respecto al periodo base P_0 (Cuadro 1). La ET_{c-ZR} del año agrícola disminuye 2, 6 y 8 % la evapotranspiración de la zona de riego en los periodos P_1 , P_2 y P_3 , respectivamente, respecto al periodo actual P_0 . El análisis anterior se realizó asumiendo que los cultivos y variedades usadas actualmente se mantendrán, se consideraron también proyecciones climáticas promedio ponderadas de varios modelos de simulación climática en el escenario de emisiones A1B. Los cambios de las demandas hídricas de los cultivos podrían ser mayores si se usan otros escenarios de emisiones o proyecciones climáticas de otros modelos MCGA.

El uso de variedades de ciclo largo y resistente al estrés térmico, así como la compactación del periodo de siembra, para contrarrestar los efectos del cambio climático en el rendimiento de los cultivos, pueden incrementar las demandas hídricas por arriba de los valores mostrados en el Cuadro 1. Además, un incremento proyectado en las concentraciones de CO_2 , puede causar un incremento en la productividad neta de los cultivos y una disminución de sus tasas de transpiración al inducir un cierre parcial de los estomas por enriquecimiento carbónico (Allen *et al.*, 1991).

CONCLUSIONES

Los cambios en los patrones actuales de la temperatura podrían ocasionar grandes efectos en la demanda hídrica de los cultivos, en el manejo de los cultivos y en la planeación de los recursos hídricos de las zonas de riego. Potencialmente, el incremento de la temperatura ambiental, por efecto del cambio climático, provocará reducción de las demandas hídricas acumuladas por acortamiento del ciclo fenológico de los cultivos del ciclo OI, y en menor grado para los cultivos del ciclo PV, mismo que anulará el incremento de la ET_c . Sin embargo, en los cultivos perennes se presentará un efecto opuesto, las demandas hídricas se incrementarán.

Las posibles acciones de adaptación al cambio climático para contrarrestar la reducción en el ciclo fenológico de los cultivos anuales, y en consecuencia de su rendimiento, son: restringir el periodo de siembra a los periodos fríos para que generen mayor duración del ciclo de cultivo, y usar variedades de ciclo largo resistentes al estrés térmico e hídrico, y soporten temperaturas mayores a las que se presentan actualmente.

CONCLUSIONS

Changes in current temperature patterns could cause in irrigation zones great effects on crops' water demands, in crops' management and in water resources planning. Potentially, the increase in air temperature, because of the effect of climate change, will cause a reduction in accumulated water demands because of the reduction of the growing season in Fall-Winter crops, and to a lesser degree for Spring-Summer crops, which will nullify the increase in ET_c . However, for perennial crops, the opposite effect is expected, where water demands will increase.

The possible actions for climate change adaptation, to counteract the growing season reduction in annual crops, and a decrease of their yield, are: restricting the planting period to cold periods to create a longer growing season, and using longer-season varieties that are tolerant to thermal and drought stress, and which can endure higher temperatures than those present today.

—End of the English version—



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo formó parte del proyecto "Evaluación del impacto del cambio climático en la productividad de la agricultura de riego y temporal del Estado de Sinaloa"; FOMIX CONACYT-Sinaloa, con clave SIN-2008-C01.

LITERATURA CITADA

- Allen, R. G., F. N. Gichuki, and C. Resenzweig. 1991. CO_2 -Induced climatic changes and irrigation-water requirements. *J. Water Resources Planning and Manage.* 117: 157-178.
- Allen, G. R., G. R., L. S. Pereira, D. Raes, y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Estudio FAO de Riego y Drenaje No. 56. FAO. Roma. 298 p.
- Clarke, D., M. Smith, and K. El-Askaru. 1998. Cropwat for Windows v4.2: user guide. FAO. Roma. 43 p.
- Ellis, R. H., P. Hadley, E. H. Roberts, and R. J. Summerfield. 1990. Quantitative relations between temperature and crop development and growth. *In*: Jackson, M. T., B. V. Ford-Lloyd, and M. L. Parry (eds). *Climatic Change and Plant Genetics Resources*. Belhaven Press, London. pp: 85-115.
- Goyal, R. K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case of study of arid zone of Rajasthan (India). *Agric. Water Manage.* 69: 1-11.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. *In*: Pachauri, R.K., and A. Reisinger (eds). Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del IPCC. Ginebra. pp: 104.
- Kimball, B. A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yields: an assemblage and analyses of 430 prior observations. *Agron. J.* 75: 779-788.
- Lawlor, D. W. 2005. Plant responses to climate change: impacts and adaptation. *In*: Omasa, I. Nouchi, and L. J. De Kok. (eds). *Plant Responses to Air Pollution and Global Change*. K. Springer-Verlag. Tokio. pp: 81-88.
- McMaster, G. S., and W. W. Wilhelm. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. and For. Meteorol.* 87: 291-300.
- Mendoza, R. J. L., J. Macías, y E. Cortez. 2003. Tecnología para mejorar la productividad del maíz en el norte de Sinaloa y su impacto económico. Folleto Técnico No. 21. Fundación Produce Sinaloa. 37 p.
- Monteith, J. L. 1981. Climatic variation and the growth of crops. *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.* 107: 749-774.
- Montero, M. J., y J. L., Pérez. 2008. Regionalización de proyecciones climáticas en México de precipitación y temperatura en superficie usando el método REA para el siglo XXI. *In*: P. Martínez, y A. Aguilar (eds). *Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor. pp: 11-21.
- Ojeda-Bustamante, W., E. Sifuentes-Ibarra, y H. Unland. 2006. Programación integral del riego en maíz. *Agrociencia* 40: 13-25.
- Ojeda-Bustamante, W., J. M. González-Camacho, E. Sifuentes-Ibarra, E. Isidro, and L. Rendón-Pimentel. 2007. Using spatial information systems to improve water management in Mexico. *Agric. Water Manage.* 89: 81-88.
- Rodríguez, J. A., E. K. Weatherhead, J. W. Knox, and E. Camacho. 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. *Regional Environ. Change* 7: 149-159.
- Rosenzweig, C., and M. M. Daniel. 1989. Agriculture. *In*: Smith J. B., and D. A. Tirpak. (eds). *The Potential Effects of Global Change on the United States*. Chapter 6. EPA (Environmental Protection Agency). EPA-230-05-89-050. Washington, USA. pp: 89-117.