

# **Estudio del cambio climático y su efecto en la producción de granos básicos**

Tesis presentada como requisito parcial  
para optar al título de Ingeniero Agrónomo  
en el grado académico de Licenciatura

Presentado por:

**Rubén Gigena Pazos**

Zamorano, Honduras  
Octubre 2004

El autor concede a Zamorano permiso  
para reproducir y distribuir copias de este  
trabajo para fines educativos. Para otras personas  
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

---

Rubén Gigena Pazos

Zamorano, Honduras  
Octubre 2004

# **Estudio del cambio climático y su efecto en la producción de granos básicos**

presentado por:

Rubén Gigena Pazos

Aprobada:

---

Carlos Hernández, Dr. Ing. Agr. Sc  
Asesor Principal

---

Mayra Falck, M. Sc.  
Coordinadora de la Carrera  
Desarrollo Socioeconómico  
y Ambiente

---

Jorge Iván Restrepo, M.P.A.  
Asesor

---

Aurelio Revilla, M.S.A.  
Decano Académico Interino

---

George Pilz, Ph.D.  
Asesor

---

Kenneth Hoadley, D.B.A.  
Director

## DEDICATORIA

Al campesino latinoamericano, por tomar de la tierra solo lo que necesita y dejar en ella solo su sudor y sus huellas.

A la Madre Naturaleza por darnos vida, comida y techo.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que estuvieron involucradas en la elaboración de este estudio, sin su ayuda no hubiera sido posible.

A Carlos Hernández, guía principal, por toda su, ayuda , dedicación y paciencia.

A José Linares y George Pilz por su simpatía y sencillez que hicieron cada día de trabajo en el herbario un día de alegrías.

A Jorge Restrepo por su inigualable amistad y sus consejos siempre oportunos.

A mis amigos zamoranos por su apoyo.

## RESUMEN

Gigena, Rubén 2004. Estudio del cambio climático y su efecto en la producción de granos básicos por productores de subsistencia. Proyecto de graduación de la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Zamorano, Honduras. 70p.

El cambio climático ha venido tomando importancia en los últimos años porque se han empezado a notar diferencias en el clima y sus efectos empiezan a afectar la agricultura. En Honduras y en general en todo Centroamérica mucha de la población vive bajo sistemas de agricultura de subsistencia en donde la producción es destinada al consumo y si existen excedentes se comercializan. Estas familias viven bajo la línea de pobreza y su acceso a tecnología es reducido. Existen pocos estudios para Honduras con relación al efecto que podría tener el cambio climático en estos tipos de sistemas agrícolas. Son muchas las variables que influyen en el cambio climático por lo que se recurre a las líneas evolutivas planteadas por el IPCC (Intergubernamental Panel for Climate Change) y la formulación de escenarios de cambio climático a partir de modelos globales de clima. Utilizando modelos de simulación para el crecimiento de cultivos y con la ayuda de generadores de clima se plantean diferentes escenarios de cambio climático que empleando las mismas condiciones edáficas y las mismas variedades de cultivos se puede aislar el efecto de los nuevos climas bajo las líneas evolutivas planteadas. Se toman las principales zonas agrícolas del país para la elaboración del estudio por su peso en la economía de un país netamente agrícola. Las principales variaciones se dan en la fenología de los cultivos a utilizar, las altas concentraciones de dióxido de carbono aceleran los procesos dentro de la planta, así como mayores temperaturas y mayor precipitación. Las épocas de cultivos también son afectadas por los fenómenos climáticos adelantándose las fechas de siembra o inclusive cambiando el orden de la rotación tradicional maíz-frijol. La información para poder realizar este tipo de estudios debe ser de alta calidad y de rangos amplios de tiempo por eso se enfatiza la importancia de llevar registros tanto climáticos como de producción.

**Palabras claves:** Cambio climático, simuladores de cultivos, generadores de clima, GEI<sup>s</sup>, IPCC, modelos globales de clima.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas .....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen.....	vi
Contenido.....	vii
Índice de cuadros.....	viii
Índice de figuras.....	ix
Índice de anexos.....	x
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2 LIMITANTES.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 FACTORES SOCIALES Y ECONÓMICOS.....	5
2.2 AGRICULTURA DE SUBSITENCIA.....	5
2.3 CAMBIO CLIMÁTICO.....	6
2.3.1 Evolución y cambios en el clima.....	6
2.3.2 Gases de efecto invernadero.....	7
2.3.2.1 Efectos del CO <sup>2</sup> .....	9
2.3.3 Escenarios de cambio climático.....	9
2.3.3.1 Principales causantes de las emisiones de GEI en los escenarios.....	11
2.4 MODELOS DE SIMULACIÓN.....	11
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PEQUEÑO PRODUCTOR TIPO.....	12
3.2 DATOS DE CLIMA.....	12
3.3 GENERADORES DE CLIMA (CLIMGEN) CLIMA FUTURO Y ACTUAL.....	12
3.4 SUELOS.....	13
3.5 PREDICCIONES GENERALES DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	13
3.6 ESCENARIOS FUTUROS.....	14
3.7 MODELOS DE CLIMA GLOBAL(GCM <sup>S</sup> ).....	14
3.8 GENERADORES DE ESCENARIOS FUTUROS.....	14
3.9 DELTA CLIMÁTICO FUTURO.....	14
3.10 VARIEDADES DE CULTIVOS.....	15
3.11 MODELO DE SIMULACIÓN DE CULTIVOS (CROPSYST).....	16
3.12 LOCALIDAD.....	16
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
4.1 CLIMA ACTUAL VERSUS FUTURO.....	17
4.1.1 Temperatura.....	25
4.1.2 Precipitación.....	26
4.2 FRIJOL.....	27
4.2.1 Fenología actual y futura.....	27
4.3 MAÍZ.....	28

4.3.1	Fenología actual y futura.....	28
4.3.2	Rendimiento actual y futuro.....	29
4.3.2.1	Maíz.....	29
4.3.2.2	Frijol.....	30
4.3.3	Eficiencia en el uso del nitrógeno.....	32
<b>5.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
5.1	TEMPERATURA.....	34
5.1.1	Zamorano.....	34
5.1.2	La Esperanza.....	34
5.1.3	Valle de Sula.....	34
5.1.4	Comayagua.....	34
5.1.5	La Lima.....	35
5.2	PRECIPITACIÓN.....	35
5.2.1	Zamorano.....	35
5.2.2	La Esperanza.....	35
5.2.3	Valle Sula.....	35
5.2.4	Comayagua.....	35
5.2.5	La Lima.....	36
5.3	FENOLOGÍA MAÍZ.....	36
5.3.1	Zamorano.....	36
5.3.2	La Esperanza.....	36
5.3.3	Valle de Sula.....	37
5.3.4	Comayagua.....	37
5.3.5	La Lima.....	37
5.4	FENOLOGÍA DEL FRIJOL.....	37
5.4.1	Zamorano.....	38
5.4.2	La Esperanza.....	38
5.4.3	Valle de Sula.....	38
5.4.4	Comayagua.....	39
5.4.5	La Lima.....	39
5.5	RENDIMIENTO MAÍZ.....	39
5.5.1	Zamorano.....	39
5.5.2	La Esperanza.....	40
5.5.3	Valle de Sula.....	40
5.5.4	Comayagua.....	40
5.5.5	La Lima.....	40
5.6	RENDIMIENTO FRIJOL.....	40
5.6.1	Zamorano.....	41
5.6.2	La Esperanza.....	41
5.6.3	Valle de Sula.....	41
5.6.4	Comayagua.....	41
5.6.5	La Lima.....	41
5.7	EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO.....	42
5.7.1	Zamorano.....	42
5.7.2	La Esperanza.....	42
5.7.3	Valle de Sula.....	43
5.7.4	Comayagua.....	43
5.7.5	La Lima.....	43
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>44</b>
6.1	PRÁCTICAS DE MANEJO.....	44

6.2	OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIEDADES POR FENOLOGÍA.....	44
6.3	FECHAS ÓPTIMAS DE PRODUCCIÓN.....	44
6.4	REGISTROS DE CLIMA Y PRODUCCIÓN.....	45
6.5	ENSEÑANZA EN ZAMORANO.....	45
7.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	46
8.	<b>ANEXOS</b> .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

### Tabla

1.	Delta climático por cada modelo global de clima.....	17
2.	Registros en los cambios de la composición atmosférica.....	19
3.	Temperaturas máximas promedio.....	25
4.	Delta climático de temperaturas máximas.....	25
5.	Temperaturas mínimas promedio.....	25
6.	Delta climático de temperaturas mínimas.....	25
7.	Precipitación media anual.....	26
8.	Delta climático de precipitación.....	26
9.	Fenología actual y futura para el frijol.....	27
10.	Fenología actual y futura para el maíz.....	28
11.	Resultados de rendimiento en maíz, Zamorano.....	29
12.	Resultados de rendimiento en maíz, Comayagua.....	29
13.	Resultados de rendimiento en maíz, Valle de Sula.....	29
14.	Resultados de rendimiento en maíz, La Esperanza (10°C).....	29
15.	Resultados de rendimiento en maíz, La Esperanza (20° C).....	30
16.	Resultados de rendimiento en maíz, La Lima.....	30
17.	Resultados de rendimiento en frijol, Zamorano.....	30
18.	Resultados de rendimiento en frijol, Comayagua.....	30
19.	Resultados de rendimiento en frijol, Valle de Sula.....	31
20.	Resultados de rendimiento en frijol, La Esperanza (10° C).....	31
21.	Resultados de rendimiento en frijol, La Esperanza (20° C).....	31
22.	Resultados de rendimiento en frijol, La Lima.....	31
23.	Eficiencia en el uso del nitrógeno.....	32
24.	Distribución en el uso del nitrógeno.....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Figura

1.	Cambio en la temperatura mundial.....	7
2.	Registros de los cambios de la composición atmosférica.....	8
3.	Procedimiento para elaboración del clima futuro.....	15
4.	Climogramas para Zamorano.....	20
5.	Climogramas para el Valle de Sula.....	21
6.	Climogramas para La Esperanza.....	22
7.	Climogramas para La Lima.....	23
8.	Climogramas para Comayagua.....	24

## ÍNDICE DE ANEXOS

### Anexo

1.	Precipitación mensual para Zamorano.....	49
2.	Temperatura máxima para Zamorano.....	49
3.	Temperatura mínima para Zamorano.....	49
4.	Precipitación promedio para media hora en Zamorano.....	49
5.	Días con precipitación en Zamorano.....	49
6.	Precipitación máxima diaria.....	49
7.	Precipitación máxima estación Guaruma.....	50
8.	Temperatura media mensual estación Guaruma.....	50
9.	Precipitación media mensual estación Tela RR.....	51
10.	Temperatura media mensual estación Tela RR.....	51
11.	Precipitación media mensual, Valle de Sula.....	52
12.	Temperatura media mensual, Valle de Sula.....	52
13.	Precipitación media mensual estación T.Torres.....	53
14.	Precipitación media mensual, Comayagua.....	53
15.	Temperatura media mensual, Comayagua.....	54
16.	Temperatura media mensual y precipitación media mensual para la estación Guanacaste.....	54
17.	Precipitación media mensual, La Esperanza.....	55
18.	Temperatura media mensual, La Esperanza.....	55
19.	Precipitación media mensual, Santa Elena.....	56
20.	Cambio en precipitación .....	57
21.	Cambio en temperatura.....	58
22.	Tabla fenología de los ideotipos.....	58
23.	Calendario juliano.....	59

## 1. INTRODUCCIÓN

El clima de una región puede presentar cambios que influyen en la producción y deseada en cierta época del año para un cultivo dado. Definitivamente se están experimentando cambios en las temperaturas y la precipitación a escala mundial, sumados a los fenómenos naturales, la explosión demográfica y la presión sobre los recursos naturales que esto representa y la contaminación crean un ambiente de producción difícil de predecir.

En América Central y en Honduras específicamente, los productores de subsistencia o pequeños productores utilizan sistemas tradicionales de agricultura para la producción de granos básicos, como el maíz y el frijol, que son la base de sus dietas. Muy pocas veces logran excedentes para la comercialización que les permitan percibir un ingreso por la producción, ésta se efectúa en dos épocas de siembra la “primera” y la “postrera”. Debido a sus escasos recursos e insumos, la falta de acceso al crédito, las malas condiciones de trabajo, la inesperada distribución de las lluvias y los factores ambientales extremos, pocas veces logran asegurar una cosecha con rendimientos aceptables que garanticen el abastecimiento del productor; además no cuentan con la tecnología apropiada para hacer frente a estaciones de sequía o épocas lluviosas que pueden afectar la producción. Tampoco existen recomendaciones técnicas para ellos, referentes a cómo poder contrarrestar el efecto negativo de los cambios climáticos, como pueden ser prácticas agrícolas diferentes.

Son numerosos los estudios que predicen cambios climáticos para el futuro asociados a los niveles de emisión de CO<sup>2</sup>, de aerosoles y las concentraciones de éstos y otros gases en la atmósfera. Según el IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change, 1992) habrá una duplicación efectiva de la concentración de CO<sup>2</sup> atmosférico entre los años 2025 y 2050, este incremento en la concentración se manifestará en un aumento consiguiente de la temperatura media mundial de 1.5 a 4.5°C. Por otro lado se tiene que el nivel de tala de los bosques y el uso de la tierra influyen en la forma e intensidad con que estas emisiones sean captadas y procesadas por el ambiente, afectando indirectamente la calidad del aire. Son varios los escenarios que se plantean para el clima del futuro, unos más catastróficos que otros, pero todos muestran una variación de las condiciones climáticas que conocemos tanto en cantidad como en épocas de distribución debido a las emisiones de los GEI<sup>s</sup> (Gases Efecto Invernadero). Pronostican aumentos y descensos en las temperaturas y las precipitaciones, alargándose las épocas secas o lluviosas e intensificando las temperaturas extremas según las condiciones naturales y la ubicación de cada zona. Se dice que el ciclo hidrológico en las zonas áridas podría ser el más afectado por su poca capacidad de retención y almacenamiento de agua, esto se vería reflejado en la distribución, intensidad y duración de las lluvias que afectaría no sólo a la agricultura sino también a las reservas de agua para consumo, para la industria y a la producción de energía hidroeléctrica. Las zonas más sensibles serán aquellas donde las especies se encuentren próximas a sus límites biológicos de temperatura y humedad, como las zonas semiáridas. Algunos tipos de efectos que se esperan influyan sobre el sector agrario serían cambios en la localización de las zonas óptimas de producción de ciertos cultivos, variaciones en los rendimientos, cambios en el tipo, ubicación e intensidad de plagas y enfermedades. Como respuesta a estos efectos se espera

enfrentar cambios en las rotaciones de cultivos, el tipo de sistema agrícola, el uso de la tierra en áreas rurales, la producción, los ingresos de las unidades productivas y en el empleo rural, cambios en el ingreso en las zonas rurales, su contribución al crecimiento económico de los países y a las divisas generadas por algunos productos de exportación. En algunos lugares donde ya de por sí la variabilidad climática de un año al otro es un factor determinante de los rendimientos, existe un reto adicional para poder predecir los efectos del cambio climático en el patrón de los cultivos

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

En Honduras no existen estudios recientes sobre cómo estos cambios en el clima podrían afectar a los productores de subsistencia, mucho menos un estimado de lo que éstos significarían para la economía del país, más bien las predicciones de los futuros rendimientos promedio para 2004 a escala nacional son bastante optimistas, 1460 kg de maíz por hectárea y 687 kg de frijol por hectárea (Jiménez, 2003) y no toman en cuenta la posibilidad de algún fenómeno natural ni plantean un plan para actuar en caso de presentarse alguno. Existen estudios en Centroamérica, realizados por la FAO, respecto a los bosques y la mitigación del efecto del cambio climático por medio de la implementación de mecanismos de desarrollo limpio y planes forestales para la captura de carbono (Proyecto Bosques y Cambio Climático en América Central). Sin embargo éstos no toman en cuenta las comunidades insertas en áreas forestales como es el caso de las encontradas en Honduras. La implementación de un sistema de modelación de climas tiene una gran importancia para los pequeños productores ya que puede ayudar a disminuir la variabilidad entre cosechas, a fomentar también la seguridad alimentaria de las familias rurales con una producción estable y una dieta más variada. Además, en un país como Honduras donde la actividad agrícola tiene tanto peso en la economía, tanto internamente en los mercados nacionales como en los mercados de exportación, sería ilógico no aprovechar estas nuevas tecnologías que permiten simular diferentes condiciones climáticas y de campo en un tiempo corto y de forma precisa; estas técnicas ayudarían a incrementar la eficiencia en el uso de los recursos y su conservación. Inclusive podría llegar a ser una herramienta más para la toma de decisiones de políticas agrarias.

Para Zamorano, el uso de nuevas tecnologías como la de modelación de cultivos, que se encuentra entre las tecnologías de punta, debería ser algo más que sólo la participación de pocos estudiantes y profesores en programas de intercambio. Podría convertirse en una nueva forma de enseñanza que permita representar en pocos días u horas un ciclo entero de cultivo que en el campo tomaría meses. Permitiría analizar diferentes condiciones de campo o situaciones impredecibles que podrían presentarse en el futuro para que los estudiantes aprendan a enfrentar cambios repentinos y darles soluciones viables. Además, siendo Zamorano un motor de desarrollo en la zona, debería hacer uso de estas tecnologías en sus programas y proyectos para reducir la necesidad de experimentos de campo para sitios específicos y de larga duración, interpretar los registros de clima en términos de la productividad potencial y las limitaciones climáticas, evaluar prácticas de manejo de cultivos y asesorar en los riesgos asociados a éstas y por último comunicar con mayor facilidad los resultados entre diferentes localidades. Se debe priorizar en las zonas de más importancia para el

país en cuanto a la producción agrícola se refiere, a la vez se debe priorizar en las principales actividades agrícolas del país como lo son aquellas actividades que involucran o de las que dependen la mayoría de la población rural, tipo de agricultura en la que se desarrolla la mayoría del territorio, cultivos de los cuales depende la mayor parte de la contribución de la agricultura al PIB y las que contribuyen en mayor medida a las exportaciones.

## **1.2 LIMITANTES**

Uno de los principales limitantes para el uso de estos modelos es la falta de información histórica de alta calidad que es indispensable para alimentar los programas y correr los modelos de simulación de cultivos. En Honduras no existe una red de estaciones meteorológicas que tenga datos de todas las diferentes zonas del país, con registros históricos confiables, tampoco existe una descripción específica de los suelos, sólo se cuenta con un mapa general del país que no permite diferenciar la gran variación que se encuentra en todo el territorio nacional. Esto se suma a la incertidumbre que acarrearán las predicciones climáticas basadas en modelos de clima globales y regionales, que no pueden ser del todo precisas debido a la espontaneidad de los sucesos climáticos que muchas veces resultan imposibles de predecir. La información nacional tampoco describe peculiaridades geográficas ni las interacciones locales entre la atmósfera y la superficie terrestre, no toma en cuenta que las variaciones locales a veces son mucho mayores que las de un continente y se deja de lado el cambio en el uso de la tierra; éstas representan las principales debilidades y limitantes del modelo. Debido a las restricciones de tiempo y presupuesto, es casi imposible poder analizar todas las actividades agrícolas de un país o región o analizar todas las regiones de un mismo país por lo que se escogieron aquellos cultivos de mayor importancia para la economía nacional y las áreas más cosechadas.

### 1.3 OBJETIVOS

- Establecer una aproximación a las condiciones climáticas futuras para algunas regiones de importancia agrícola en Honduras.
  - Crear una base de datos confiable para la zona de trabajo.
  - Establecer un clima base.
  - Estimar un clima futuro con diferentes escenarios.
- Estimar el efecto del cambio climático en los rendimientos en granos básicos de los productores de subsistencia de la región.
  - Analizar los rendimientos actuales para granos básicos por productores de subsistencia.
  - Simular condiciones futuras de producción
  - Comparar rendimientos actuales con posibles rendimientos futuros.
- Formular recomendaciones en cuanto a prácticas y sistemas agrícolas para enfrentar los cambios climáticos.
  - Brindar información de confianza para el pequeño productor.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. FACTORES SOCIALES Y ECONÓMICOS**

La República de Honduras se localiza en el istmo centroamericano, tiene como límites a Guatemala y El Salvador al oeste, Nicaragua al este, el mar Caribe al norte y el océano Pacífico al sur. Cuenta con un relieve sinuoso, principalmente montañoso, más del 30% de su territorio es de aptitud forestal. Aproximadamente un 82% de todo su territorio es considerado zona de ladera, estas son regiones en las que el manejo de la tierra se ve fuertemente influido por la presencia de pendientes moderadas entre 28 y 30% y empinados, mayores a 30%, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 1999). Aún con las condiciones que presenta, es la actividad agraria la principal fuente de divisas para el país, principalmente los cultivos de exportación como banano, café, caña, tabaco, melón y camarón. El sector agrario genera alrededor de la cuarta parte del producto interno bruto, el 65% de las exportaciones y emplea del orden del 70% de la población económicamente activa (Hernández, 2002). Honduras es uno de los países más pobres, con mayor endeudamiento y al que se le está reconociendo parcialmente el alivio de la deuda externa. El ingreso nacional promedio es de US\$ 711, es decir, menos de US\$2 por persona por día, un 75% de la población rural, incluyendo a los pobladores de las zonas de laderas vive en la pobreza en tanto que un 66% de la población total del país vive debajo de la línea de pobreza (Indicadores de desarrollo mundial, 2002). La cantidad de granos básicos producidos por habitante ha venido descendiendo desde la década de los años 70, mientras que la población ha venido creciendo desde de la misma época a una tasa tal que cada 18 años se duplica (FAOSTAT, 2001).

### **2.2 AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA**

La dieta del campesino se basa en maíz y frijol como fuentes de carbohidratos y proteínas, como complementos se tiene plátanos, frutas y raras veces productos lácteos, la baja diversidad de alimentos crea comúnmente un desequilibrio nutricional donde el consumo de calorías apenas alcanza las 2000 kcal/día lo que representa un 66% de la dieta diaria requerida. Cerca de un 40% de los niños hondureños de menos de cinco años sufre desnutrición (Indicadores de desarrollo mundial, 2002). La producción de granos básicos está enmarcada en dos épocas principales debido a la distribución de las lluvias, la de “primera” la cual abarca desde abril hasta agosto, en la cual se siembra maíz y la de “postrera” que va desde septiembre hasta enero y se aprovecha para producir granos de ciclo más corto como el frijol. Los pequeños productores cuentan con sistemas agrícolas básicos donde predomina el sistema de tala rasa y quema, a ésta práctica en especial se le atribuye más del 80% de la destrucción de los bosque en Honduras. Estos sistemas cuentan con tecnologías tradicionales como el arado con bueyes y la siembra manual, tienen niveles de fertilización bajos que ni se acerca a las dosis recomendadas esto sumado a que no cuentan con semillas de calidad les afecta enormemente en su producción. El control de malezas, plagas y

enfermedades se realiza en escasas ocasiones, la limpieza siempre se hace manual con el azadón, para las plagas se utilizan agroquímicos cuando se cuenta con el capital para invertir en ellos desafortunadamente no siempre se cuenta con él.

Las estimaciones de los rendimientos para el 2004 son de 22.5 qq/ha para el maíz y de 10.6 qq/ha para el frijol (Jiménez, 2003). Los cultivos de exportación sustentan la economía por lo que no se pueden tocar, la frontera agrícola ya ha llegado a su límite por lo que no se puede aumentar la producción a costa del incremento de la superficie agrícola por roturación del bosque, por estas razones solo se puede pensar en incrementar la producción vía el mejoramiento de los sistemas de producción para obtener mejores rendimientos es decir conseguir una producción más sostenible, en tanto que se logre un incremento de los rendimientos, se reduzca la inseguridad alimentaria y la variabilidad entre cosechas. Como seguridad alimentaria se entiende la capacidad de mantener una dieta variada que proporcione los requerimientos mínimos diarios a lo largo del año, este aspecto es de suma importancia dentro de las estrategias de crecimiento del país, además la diversificación de la producción tiene un doble efecto, en la dieta básica y en la sostenibilidad de los sistemas agrarios.

## **2.3 CAMBIO CLIMÁTICO**

### **2.3.1 Evolución y cambios en el clima**

Durante toda la historia de la humanidad el clima ha influenciado el estilo de vida y sus actividades. En la actualidad, las actividades agrícolas e industriales que se realizan han convertido las acciones humanas en un factor climático. Estas actividades han influido indirectamente en el clima a escala global, al modificar las propiedades de la superficie terrestre y la composición química de la atmósfera (Budyko, 1982; Bolyn *et al* .,1986; Sadourny ,1992). El cambio climático y la variabilidad del mismo nos afecta a todos. La temperatura media mundial de la superficie de la tierra, tanto tierra como mar ha aumentado desde 1861. Durante el siglo XX el aumento ha sido de  $0.6 \pm 0.2^\circ \text{C}$  (IPCC, 2001). La mayor parte del calentamiento que se produjo a lo largo de este siglo se dió en dos períodos: de 1910 a 1945 y de 1976 a 2000. La variabilidad climática se define como la alternación entre el clima normal y uno diferente pero recurrente con un conjunto de condiciones en una región determinada. Dentro de los sistemas agrícolas el poder predecir de cierta manera estos cambios puede marcar la diferencia entre una buena preparación y una catástrofe en la producción. Las variaciones en el clima se dan en escalas grandes de tiempo de forma natural, siendo imposible que alguna persona note los cambios. Sin embargo, desde el inicio de la época industrial, el incremento en la concentración de ciertos gases en la atmósfera ha favorecido el calentamiento global y por ende las variaciones en todas las otras variables del clima. En ciertos países donde existen registros meteorológicos rigurosos del clima, se han investigado las tendencias de cambio climático. En el istmo centroamericano se ha encontrado un cambio en la precipitación que podría afectar dentro de otras cosas la producción de energía hidroeléctrica, estos fenómenos de cambio se relacionan directamente con el fenómeno de El Niño y el “Southern Oscillation Index.” Los impactos del cambio climático en los estilos de vida de las personas serán mayores en los trópicos y subtropicos, principalmente porque muchos pequeños productores dependen de la agricultura y tienen pocas alternativas.

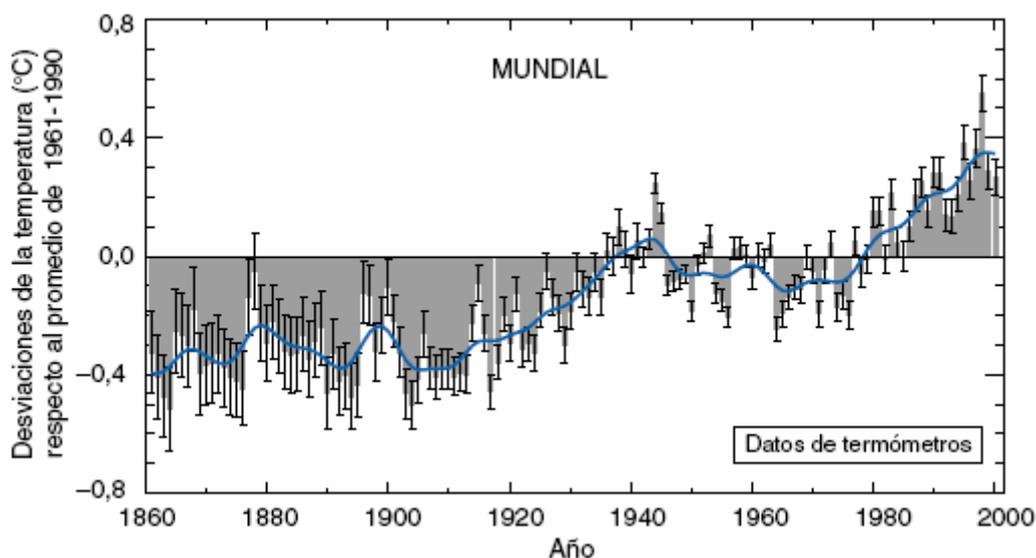


Figura 1. Cambio en la temperatura media mundial en los últimos 140 años.

La temperatura de la superficie de la Tierra se expone anualmente (barras grises) y aproximadamente por decenio (línea azul, curva anual filtrada que suprime las fluctuaciones por debajo de las escalas temporales próximas). Hay incertidumbres en los datos anuales (las barras negras muy finas representan el intervalo de confianza del 95 %) debido a las lagunas de datos, a las incertidumbres y errores instrumentales aleatorios, a las incertidumbres en las correcciones de distorsiones en los datos de la temperatura de la superficie del océano y también en los ajustes por la urbanización.

### 2.3.2 Gases de efecto invernadero

Además de las variaciones y cambios ocurridos en el pasado en el clima de la tierra, también las observaciones han documentado los cambios producidos en los agentes que pueden provocar el cambio climático. Los más notables han sido los aumentos en las concentraciones atmosféricas de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) y de aerosoles (partículas o gotitas microscópicas en suspensión en el aire) y las variaciones en la actividad solar, que pueden ambas alterar el balance de radiación de la Tierra y por lo tanto el clima. Esos registros de observaciones de los agentes de forzamiento del clima forman parte de la información necesaria para comprender los cambios climáticos en el pasado. La supervisión directa constante de las concentraciones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en la atmósfera comenzó a mediados del siglo XX y se extendió en los últimos años a otros gases bien mezclados muy persistentes, como el metano. Los datos paleoatmosféricos a partir de muestras de hielo revelan los cambios en la concentración de algunos GEIs producidos en milenios anteriores. En cambio, las mediciones temporales de los agentes de forzamiento que tienen tiempos de residencia relativamente breves en la atmósfera (p.ej., los aerosoles) son más recientes y mucho menos completas, porque son más difíciles de medir y especialmente heterogéneas.

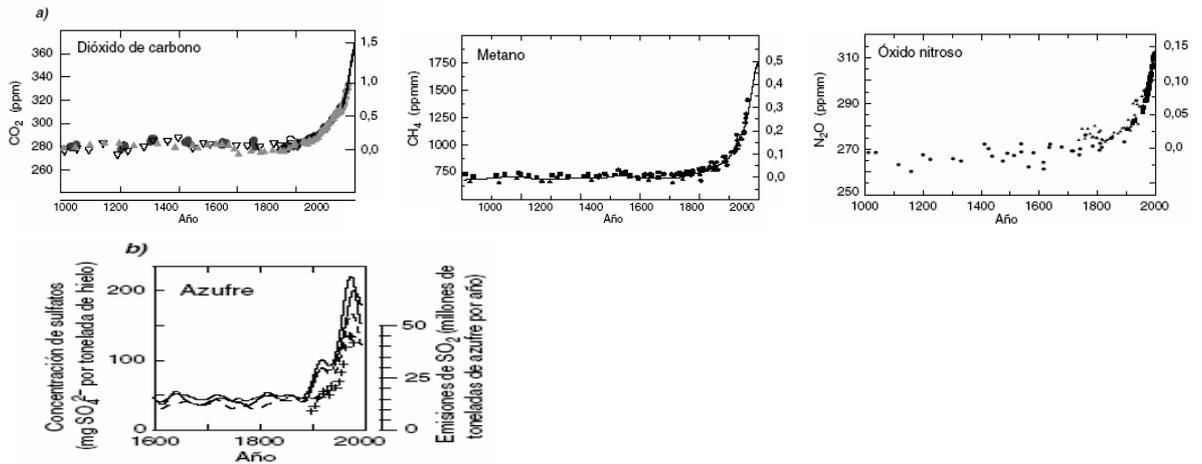


Figura 2. Registros de los cambios en la composición de la atmósfera.

- A) Concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en los últimos 1000 años. Los datos de las muestras de hielo en varios emplazamientos en la Antártida y Groenlandia (indicados con signos diferentes) se complementan con los datos de muestras atmosféricas directas en los últimos decenios. El forzamiento radiativo estimado de esos gases se muestra en la escala a la derecha.
- B) Concentraciones de sulfatos en varias muestras de hielo de Groenlandia, después de eliminar los efectos episódicos de las erupciones volcánicas (líneas) y emisiones totales de SO<sub>2</sub> procedentes de fuentes en los Estados Unidos y Europa.

Aunque el metano es mucho menos abundante que el dióxido de carbono en la atmósfera de la Tierra, el efecto total del calentamiento por metano es considerable cerca de la mitad del efecto del CO<sub>2</sub>. Y cuando el metano se incrementa causa también una elevación en los niveles de ozono troposférico. El ozono troposférico es un ingrediente principal del "smog", que es perjudicial para la salud humana y reduce la productividad agrícola. La palabra "smog" es una combinación de "smoke" y "fog" y es causado por las emisiones de combustibles fósiles, bajo ciertas condiciones climáticas puede permanecer sobre una ciudad durante un tiempo indefinido. La tasa de incremento del metano ha disminuido durante la última década, y puede que sea posible detener completamente su crecimiento hasta eventualmente reducir su cantidad en la atmósfera, como lo sugieren Hansen y Soto (2002). La reducción de las emisiones de metano y hollín podrían llevar a un gran éxito a corto plazo, en la batalla contra el calentamiento global, dando tiempo, por consiguiente, para trabajar en el desarrollo de tecnologías que permitan reducir las emisiones futuras de dióxido de carbono. Actualmente, otras tecnologías están cercanas a lograr la reducción de contaminantes globales del aire, como el metano, de una manera más barata y más rápida que la reducción del CO<sub>2</sub>. Aunque es importante reducir estos agentes forzadores de cambios en el clima, los científicos advierten que aún será necesario limitar el CO<sub>2</sub> con el fin de reducir lentamente los cambios de clima durante los próximos 50 años.

Hansen y Soto(2002) destaca que las emisiones de CO<sub>2</sub> representan el forzador climático más importante, y advierte que es necesario que éstas disminuyan pronto y que eventualmente sean restringidas con mayor severidad para estabilizar las condiciones atmosféricas y detener el calentamiento global.

Durante las próximas décadas, dice Hansen, es importante que se limiten las emisiones de agentes forzadores diferentes del CO<sub>2</sub>, y de esta manera ganar tiempo hasta que las emisiones de CO<sub>2</sub> puedan ser mejor controladas.

**2.3.2.1 Efecto del CO<sup>2</sup>.** Cuando hablamos de cambio climático global y sus consecuencias negativas para nuestro planeta se tiene en cuenta que es un tema de gran importancia; tal fenómeno es provocado por la intensificación del efecto invernadero, producto del constante incremento de diversos gases en la atmósfera, de los cuales el más conocido es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), responsable de cerca de 55 % del efecto (Masera, 1991; Lorente y Redaño, 1992; Jaramillo, 1994). Actualmente la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico se está incrementando entre 0.5 y 2.0 % anualmente (aproximadamente 1.0 mmol mol<sup>-1</sup> por año), y este incremento puede afectar la productividad de la vegetación (Enoch, 1988; Taiz y Zeiger, 1991). Generalmente el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico conduce a un incremento en la tasa de fotosíntesis, principalmente en las especies que presentan un metabolismo del tipo C<sub>3</sub> (Stitt, 1991; Bazzaz y Fajer, 1992). El posible incremento en la productividad de las plantas ha generado controversias entre los investigadores, quienes se han dado a la tarea de estudiar la respuesta de diferentes especies de plantas a concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera por arriba de la actual (360 mmol mol<sup>-1</sup>) (Kimball, 1983; Rogers *et al.*, 1983; Cure y Acock, 1986). Los resultados son de tal relevancia que desde hace varios años se está investigando este fenómeno, simulando las condiciones a las que hipotéticamente se enfrentará la vegetación en un futuro cercano. En un estudio realizado en México por Sánchez y Larqué (1999) se sacaron las siguientes conclusiones, como respuesta al incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico (600 mmol mol<sup>-1</sup>), en el caso de frijol, el área foliar de las plantas aumenta, y la densidad estomática disminuye; en contraste, en el caso de maíz, ni el área foliar ni la densidad estomática son afectadas. La elevada concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico promueve el crecimiento del frijol en todo su ciclo de desarrollo, lo cual se refleja en el incremento de la acumulación de biomasa y en el rendimiento; estos incrementos se deben al desarrollo de un mayor número de estructuras pero no al incremento en peso o tamaño de éstas. En maíz, la alta concentración de CO<sub>2</sub> estimula la acumulación de biomasa sólo durante las primeras etapas de desarrollo, y en mayor grado el crecimiento de la raíz que de la parte aérea de la planta. Asimismo, la tasa de fotosíntesis tanto de maíz como de frijol se incrementó ante el enriquecimiento de CO<sub>2</sub>.

### 2.3.3 Escenarios de cambio climático

Las emisiones futuras de los gases de efecto invernadero dependen de varios fenómenos naturales y antropogénicos como son: el crecimiento demográfico a nivel mundial, el desarrollo socioeconómico y el cambio en tecnología. Su evolución y comportamiento futuro es altamente desconocido. Los escenarios de cambio climático son una forma de interpretar como se desarrollará el futuro de estas emisiones y como los otros aspectos que influyen en el cambio climático pueden afectarlas. Sirven también para asistir en el análisis de cambio climático, incluyendo la modelación de climas, asesoramiento en impacto, adaptación y mitigación. En 1996 el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) desarrolló un nuevo grupo de familias de escenarios basados en sus primeros escenarios hechos en 1992 y en todas las modificaciones que gracias al avance en la investigación del clima se le pudieron hacer a los escenarios antiguos. Los escenarios están basados en una revisión extensiva de las fuerzas que actúan en el cambio climático y la literatura existente de escenarios, fueron desarrollados para representar las posibilidades dentro del rango de emisiones y fuerzas motrices de estos efectos existentes en estudios previos y en la literatura, solamente se excluyeron escenarios sorpresa o desastrosos que se encontraron en la literatura.

Se desarrollaron cuatro tipos diferentes de familias para poder discutir ampliamente las interrelaciones entre las causas u orígenes de los gases de efecto invernadero y su evolución. Cada familia representa desarrollos diferentes del crecimiento demográfico, el desarrollo económico, social, tecnológico y ambiental; estos pueden ser vistos positivamente por algunas personas y negativamente por otras. Los escenarios toman un rango amplio de las fuerzas generadoras de gases de efecto invernadero y las emisiones de sulfuro. Incluidos están las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC's), perfluorocarbonos (PFC's), hexafloruro sulfato (SF<sub>6</sub>), hidroclorofluorocarbonos (HCFC's), clorofluorocarbonos (CFC's), el precursor del aerosol, monóxido de carbono (CO) óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y compuestos orgánicos volátiles de no metano. En los nuevos escenarios no se asume el efecto retroalimentador del cambio climático futuro en las emisiones de la biósfera y la energía. Se utilizaron cuatro descripciones cualitativas para construir los cuatro grupos de escenarios llamados familias que son A1, A2, B1 y B2.

**2.3.3.1 Principales causantes de las emisiones de GEI en los escenarios.** Con la creación de estos escenarios se refuerza la idea de que las principales fuerzas que determinaran las emisiones futuras de gases de efecto invernadero serán el cambio demográfico, el desarrollo social y económico así como la tasa y dirección del cambio tecnológico.

Se utilizaron tres trayectorias diferentes en cuanto al crecimiento poblacional, la familia A1 y B1 utilizan la proyección más baja hecha por el IIASA "International Institute for Applied Systems Analysis" en el año 1996, con un incremento final de 8.7 billones para el año 2050 y disminuyendo a 7 billones para el 2100, este combina baja fertilidad con baja mortalidad. La familia B se basa en el nivel medio de las

proyecciones a largo plazo hechas por las Naciones Unidas en 1998, con un pico de 10.4 billones para el 2100. La familia A2 se basa en una alta proyección del crecimiento poblacional con un total de 15 billones de habitantes para el 2100, asume una caída en la fertilidad para la mayoría de las regiones y la estabilización del crecimiento por encima de la tasa de reemplazo. Se encuentra por debajo de la proyección alta de las Naciones Unidas de 18 billones de habitantes para el 2100.

Todos los escenarios describen futuros mucho más afluentes que el presente llegando a tener para el año 2100 un producto mundial bruto 10 veces mayor que el actual en el peor de los casos y 26 veces mayor en el escenario más alto. La tecnología es al menos igual de importante que el crecimiento demográfico y el desarrollo económico en cuanto a influenciar el cambio climático se refiere. En la mayoría de los escenarios el área forestal mundial continúa disminuyendo durante algunas décadas, principalmente por el crecimiento de la población y el ingreso, sin embargo en el escenario B2 se considera un aumento del área forestal para el año 2100. Todos los aspectos que se han mencionado afectan directamente las emisiones de dióxido de carbono pero también las emisiones de algunos otros gases de efecto invernadero.

## **2.4 MODELOS DE SIMULACIÓN**

Debido a la naturaleza del estudio es muy difícil o casi imposible realizar una experimentación directa, que sería lo utilizado normalmente para comprobar casos de la ciencia física. Es imposible diseñar un sistema para simular el clima mundial y poco rentable simular la interacción entre el clima y las actividades humanas. Hasta el momento la mayoría de experimentos de campo se han realizado para observar la respuesta de los cultivos a climas controlados y/o condiciones atmosféricas controladas. Principalmente se han hecho estudios sobre las concentraciones de diferentes gases de efecto invernadero y sobre el efecto de las temperaturas y el agua, controlando estas variables para medir posibles cambios climáticos. Se han utilizado para los estudios, plantas de importancia en la agricultura mundial, perennes y anuales. A la vez se han analizado los efectos de plagas y enfermedades. Existen varios tipos de modelos que se pueden utilizar, los cuales serán descritos a continuación

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la realización de este estudio se siguieron varios pasos en orden cronológico para poder recopilar la información necesaria, analizarla, interpretarla y obtener resultados que permitieron dar algún tipo de recomendaciones.

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL PEQUEÑO PRODUCTOR TIPO**

Se utilizó un productor tipo para poder establecer un manejo homogéneo al cual serán sometidos los cultivos. Se consideró que el productor vive bajo la línea de pobreza, tiene una dieta basada en granos como maíz y frijol. Realizó dos ciclos de siembra al año uno en la época que va desde abril hasta agosto en el cual se siembra principalmente el maíz y se denomina primera y un segundo ciclo que se lleva acabo de septiembre hasta enero en este se siembra normalmente frijol y se denomina la época de postrera. La fertilización empleada por el productor tipo se basó en dos aplicaciones durante todo el ciclo, la primera al momento de la siembra en la cual se aplicó la mitad del nitrógeno total que se aplicará en todo el ciclo y el total de la fórmula, en la segunda fertilización se realizó a los 20 ó 30 días después de emergencia se aplicó el restante del nitrógeno. Los suelos se prepararon con bueyes mediante un pase de arada y una o dos de cruzadas y surcado. La mayoría de las veces se realizan quemas controladas antes de preparar el terreno para limpiarlo de malezas. La semilla se sembró a mano, con un chuzo, depositando dos o tres semillas por postura espaciadas cada 30 centímetros entre sí y con 90 centímetros de distancia entre surcos.

#### **3.2 DATOS DE CLIMA**

La recopilación de la información climática es crucial en el estudio ya que se espera poder establecer el efecto de su variación sobre la producción. Existen pocos registros confiables y de series de tiempo largas para Honduras. La mayoría de los datos accesibles son datos mensuales de precipitación y temperatura que pueden ser utilizados para crear un clima sintético con un generador de clima. Se utilizaron bases de datos de clima recopilados por la FHIA ( Fundación Hondureña de Investigación Agrícola) en diferentes estaciones meteorológicas, ubicadas en Comayagua, Valle de Sula, La Lima y La Paz. Además se contaban con los datos recopilados por la Escuela Agrícola Panamericana para el Valle de Zamorano durante los últimos sesenta años. La información básica que se necesita para el estudio es la temperatura mínima y máxima diaria, precipitación diaria, humedad relativa, radiación solar y viento.

### **3.3 GENERADORES DE CLIMA (CLIMGEN). CLIMA FUTURO Y ACTUAL.**

El programa Climgen es una extensión de simulador de crecimiento de cultivos Cropsyst. Su principal uso es formular datos de clima diarios a partir de una serie de datos mensuales para poder ser utilizados en las simulaciones. Para utilizarlo se creó una base de datos en Excel para cada una de las diferentes localidades que se desea trabajar, en la cual se debe contar con los datos de precipitación mensual, temperaturas mínima, máxima y media por mes. Se obtuvo la desviación estándar de estos datos para luego compararla con la desviación estándar del clima generado, de la misma manera se calculó el porcentaje de días lluviosos por mes y la probabilidad de un día lluvioso después de un día seco y de un día lluvioso después de un día lluvioso con el mismo propósito. Se creó un archivo con la extensión .loc, este es el formato que se utilizó en el “Cropsyst”, en este archivo se describió el clima de la localidad y las coordenadas geográficas para calcular la cantidad de radiación solar que recibe. Se procesó una primer vez con el Climgen utilizando las diferentes coordenadas para cada una de las 5 localidades para estimar los primeros datos, a partir de estos se creó el archivo .loc que se usó en definitiva para generar los climas diarios. Se formularon climogramas para cada una de las estaciones de las cuales se obtuvieron los datos climáticos, estos servirán para comparar los datos actuales de clima con los futuros. Una vez que se definió el delta climático futuro (apartado 3.9) se realizó el mismo procedimiento para generar el clima futuro.

### **3.4 SUELOS**

Se necesita un archivo que describa las condiciones edáficas en las cuales se realizan las simulaciones, este archivo se denomina .sil y se formuló uno para cada localidad. En el caso de los suelos de Zamorano se cuenta con un gran número de análisis de suelos para diferentes lugares de la escuela, diferentes años y diferentes cultivos; por esta razón se decidió crear un suelo tipo que sea representativo de la mayoría de los terrenos excluyendo solo aquellos de cualidades extremas. Para el resto de los lugares se recurrió a un extenso estudio edáfico realizado en el 2003 por tesis de la escuela con asesoría del Dr. Carlos Gauggel. Por ser áreas tan extensas estos estudios también hablan de un suelo tipo para cada región donde se excluyen suelos extremos no representativos de la mayoría del área.

### **3.5 PREDICCIONES GENERALES DE CAMBIO CLIMÁTICO**

El principal organismo internacional que estudia el cambio climático es el IPCC (Intergubernamental Panel for Climate Change). Las predicciones de cambio climático están basadas principalmente en las emisiones de gases de efecto invernadero y dentro de ellos del CO<sup>2</sup>, además, se toma el crecimiento poblacional por la relación directa que existe entre este y la presión ejercida sobre los recursos naturales. Para la región latinoamericana también se debe tomar en cuenta fenómenos como El Niño y el Índice de Oscilación Sureña, ya que estos afectan directamente el clima en un relativo corto plazo. Entre los cambios que se pronostican para el futuro se habla de variaciones en la cantidad de precipitación, su distribución espacial, la intensidad y el tiempo de

duración. Así mismo se habla de descensos o aumentos en las temperaturas mínimas y máximas de una región, este fenómeno afectaría principalmente aquellas especies que se encuentra en el límite de su zona de vida.

### **3.6 ESCENARIOS FUTUROS**

Los escenarios futuros son imágenes alternativas de cómo se podría desenvolver el futuro y son una herramienta apropiada para analizar como pueden influenciar algunos agentes en las emisiones futuras de gases de efecto invernadero. El crecimiento demográfico, desarrollo socioeconómico y el cambio tecnológico son algunas de las fuerzas que definen las futuras emisiones. Existe un conjunto de escenarios que cubre el rango de emisiones y fuerzas motrices del cambio climático que existe en la literatura, solamente se excluyen aquellos escenarios de desastres o sorpresa citados en la literatura. Se desarrollaron cuatro líneas evolutivas para describir de una manera consistente las relaciones entre las fuerzas que mueven las emisiones y su evolución. Cada línea representa diferentes desarrollos demográficos, sociales, económicos, tecnológicos y ambientales. De la misma manera para cada una de las líneas se desarrollaron varios escenarios diferentes usando diferentes acercamientos de modelación para examinar todo el rango de posibles resultados que pueden desarrollar todo un rango de modelos que utilizan presunciones similares sobre las emisiones futuras.

### **3.7. MODELOS DE CLIMA GLOBAL (GCM)**

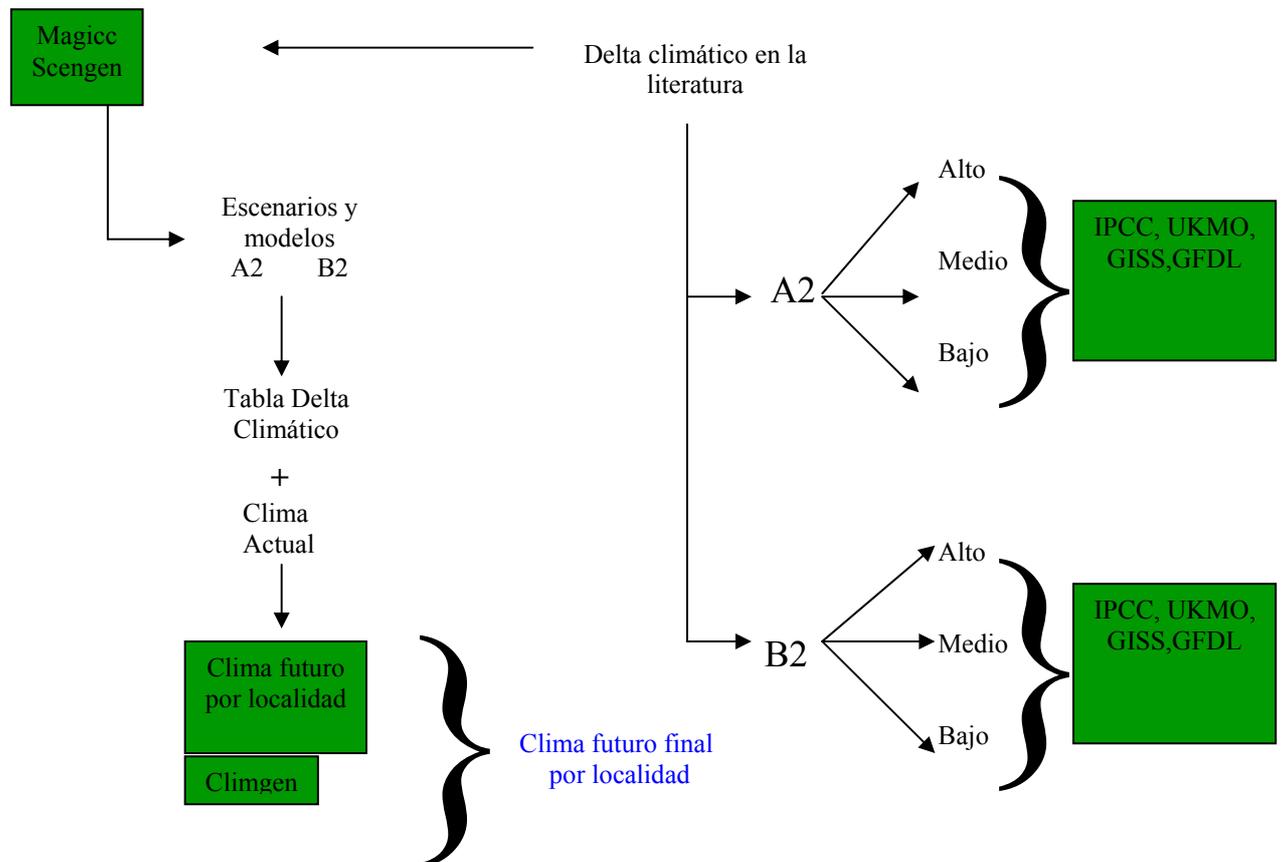
Se utilizaron tres modelos globales de clima para formular el clima futuro. El GFDL ( Geophysical Fluids Dynamics Lab), el GISS (Goddard Institute for Space Studies) y el UKMO ( United Kingdom Meteorological Office), en este ultimo caso se emplearon los resultados de dos de sus versiones denominadas HAD 295 y HAD 300. Los GCM son la única herramienta accesible para predecir el cambio climático y proveer información para alimentar los simuladores (Bazzaz y Sombrock, 1996). Incluyen cuatro componentes, atmosférico, tierra, océano y nivel del mar. A menudo los GCM fallan en simular el clima actual en otros aspectos como sistemas de alto o baja presión atmosférica, circulaciones monzónicas, transporte del calor marino, etc (Parry et al, 2004). Se utilizó como base el cambio formulado por la combinación de estos tres GCM para crear el gradiente de cambio que se le aplicó al clima actual para obtener el clima futuro.

### **3.8 GENERADORES DE ESCENARIOS FUTUROS**

El programa Maggic Scengen crea escenarios climáticos basado en diferentes modelos globales de clima. Como se mencionó anteriormente se utilizaron tres principales modelos, UKMO, GISS, GFDL y además se tomó en cuenta los parámetros propuestos por el IPCC. Se tomaron los modelos que cubrían todo el rango de probabilidades dentro de todas la familias de escenarios, sin embargo la probabilidad de que ocurra uno exactamente como está propuesto es baja.

### 3.9 DELTA CLIMÁTICO FUTURO

Utilizando los resultados obtenidos por medio de los diferentes modelos globales de clima y el rango de escenarios se creó una diferencia climática que se aplicó al clima actual para conseguir los diferentes escenarios planteados. A esta diferencia la llamamos delta climático futuro. Se utilizó un rango que cubre los valores extremos de cambio en todos los escenarios, sin embargo la posibilidad de que se presente uno de ellos exactamente es muy baja. Se presenta el siguiente esquema con la metodología para la formulación y aplicación del delta climático futuro.



Fuente: El autor.

Figura 3. Procedimiento para la generación del clima futuro a partir de un clima actual previamente generado y las predicciones de cambio climático de diferentes modelos globales de clima.

### **3.10 VARIEDADES DE CULTIVOS**

El modelo se calibró y ajustó a la zona, para esto se utilizaron datos de ensayos de campo algunas variedades de uso común en Honduras fueron utilizadas para calibrar el modelo, pero se decidió utilizar un ideotipo que se asemeje a las variedades utilizadas comúnmente y cubra todo el rango de características. Los parámetros de crecimiento, morfología, fenología, cosecha, residuos y nitrógeno del ideotipo se presentan en los anexos, número 22.

### **3.11 MODELO DE SIMULACIÓN DE CULTIVOS (CROPSYST)**

Simulación es el proceso de usar un modelo o modelos dinámicamente para seguir los cambios en un sistema a lo largo del tiempo (Peart, 1998). El modelo empleado Cropsyst, acrónimo de Cropping Systems Simulation Model, se utiliza con casi cualquier cultivo que se haya calibrado y parametrizado previamente (Hernández, 2003). Se necesita un gran número de parámetros e información para correr el modelo, se prepararon diferentes ficheros o archivos que contienen esta información. Archivo .CRP, este contiene los parámetros que caracterizan al cultivo entre los más importantes están: tiempo térmico, índice de cosecha, temperatura base, eficiencia en el uso de la radiación, etc. Archivo .LOC, se refiere a la localidad donde se realizan los experimentos, por medio de él se accede a los datos climáticos diarios e incluye: día del año, lluvia, temperatura máxima, mínima, radiación solar, humedad relativa máxima y mínima y velocidad del viento. Se utilizó para el cálculo de la evapotranspiración el método de Penman-Monteith. Archivo .SIL, contiene las características del suelo donde se realizó el ensayo presenta características de cada perfil del suelo, como ser: espesor, porcentaje de arcilla, limo y arena, porcentaje de materia orgánica, pH, etc. Archivo .MGT, archivo de manejo de la rotación, contiene la fertilización, nitrogenada únicamente, los riegos si es que los hay y las labores del suelo. Archivo .ROT, incluye tres archivos diferentes el .ROT que contiene las fechas de siembra, el .CRP referente al cultivo y el .MGT sobre el manejo del mismo. El último archivo es el .SIM, este recoge la información de las fechas de inicio y sucesión de cultivos, fechas de siembra y se especifican los archivos anteriores que se emplearon en la simulación.

### **3.12 LOCALIDAD**

Se definieron localidades o zonas de trabajo para la realización del estudio, éstas fueron escogidas utilizando tres parámetros, primero su importancia nivel nacional como zonas agrícolas, segundo la disponibilidad de datos climáticos de calidad para formular la base de datos climáticos y por último la existencia de estudios edáficos de las zonas productivas. Debido a la alta variabilidad que existen en los suelos de una zona se debió crear un suelo tipo para cada localidad, que sea representativo de todos los tipos y características edáficas pero que excluye aquellos tipos de suelos con características extremas como texturas diferentes, problemas de salinidad o pH extremo. Las zonas escogidas son: Zamorano, que incluye toda la región del Valle del Yeguaré y es de gran importancia porque es donde se encuentra la Escuela Agrícola Panamericana, cuenta con excelentes registros climáticos y un extenso análisis de sus suelos; Comayagua, Valle de Sula, La Lima, y La Paz, Intibuca. Para estas últimas

zonas se cuenta con registros climáticos de la FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola) y estudios de suelos realizados por el Dr. Carlos Gauggel.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 CLIMA ACUTAL VERSUS FUTURO

Se presenta el clima para los diferentes escenarios planteados anteriormente. La tabla 1 muestra las variaciones para temperatura y precipitación en relación con los diferentes modelos globales de clima utilizados. Éstas son las variaciones que se utilizaron para la creación del clima futuro. De todos los modelos se tomaron como pauta los valores extremos para cubrir todo el rango de posibilidades, que fueron, para la familia A2 el valor alto de temperatura fue el HAD300, y el bajo el GFDL90. Para la familia B2 el valor alto de temperatura fue el HAD295 y el valor bajo el GFDL90. En el caso de la precipitación se utiliza el HAD300 para el caso de mayor cambio en la familia A2 y el GISS95 para el nivel da cambio bajo. De la misma manera se utilizó el HAD300 para el caso alto de la familia B2 y el HAD295 para el caso bajo.

Tabla 1. Delta climático planteado por cada modelo global de clima.

Escenarios	A2			B2		
	Temperatura °C			Temperatura °C		
GCM's	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
GFDL90	2.3	1.5	0.9	2.1	1.4	0.8
GISS95	2.9	2.0	1.2	2.6	1.7	1.0
HAD295	2.7	2.1	1.3	2.7	1.7	1.1
HAD300	3.3	2.3	1.4	3.0	1.9	0.8
Media	2.8	1.98	1.2	2.6	1.68	0.93
Desv.Est	0.42	0.34	0.22	0.37	0.21	0.15
	Precipitación mm			Precipitación mm		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
GFDL90	9.9	8.8	7.0	10.5	9.0	6.9
GISS95	-4.2	-1.2	0.7	-1.2	1.3	4.0
HAD295	-2.9	-0.3	1.2	-0.2	2.2	2.9
HAD300	-43.2	-28.9	-16.8	-33.5	-19.7	-10.4
Media	-10.1	-5.4	-1.98	-6.10	-1.80	0.85
Desv.Est	22.97	16.30	10.29	19.02	12.42	7.69

Nota: En los tres niveles utilizados. La temperatura está expresada como cambio en grados Celsius en la temperatura media y la precipitación como el cambio porcentual con relación a la precipitación total anual.

Una vez establecidos los valores límites se procedió a formular los escenarios para el clima futuro. Se presenta una serie de climogramas para cada localidad, se puede comparar entre escenarios para resaltar los cambios, se escogieron los escenarios A2 alto y B2 bajo para cada localidad ya que representan sus valores extremos. Existe un mosaico climático representado en las diferentes localidades que se tomaron para el estudio, que se expresa como diferentes tipos de vegetación. Zamorano tiene un clima seco tropical, con una estación seca muy marcada y una distribución inadecuada de la precipitación anual la cual por lo general se presenta en unos pocos meses. El Valle de Sula y La Lima presentan un clima tropical húmedo y caliente muy similar entre sí, en el cual las lluvias fuertes son frecuentes. Comayagua presenta un clima seco tropical, con precipitaciones anuales bajas y de distribución no uniforme. La Paz se encuentra inmersa en las montañas centrales del país, tiene un clima considerado templado en los trópicos y con la precipitación más alta de todas las localidades.

Al procesar los datos de clima presente con el programa Magice Scengen y utilizando las variaciones planteadas, se obtuvo el porcentaje de cambio en precipitación y el cambio en temperatura medido en grados Celsius en que va a variar el clima mensualmente. Se presentan los resultados en la Tabla 2.

Tabla 2. Delta climático en precipitación y temperatura mensual para cada nivel de escenario planteado de las dos familias A2 y B2.

Escenarios	A2			B2			
	temperatura			temperatura			
Delta mensual temperatura	Alto	Medio	Bajo		Alto	Medio	Bajo
Enero	2.6	1.8	1.1		2.5	1.6	1
Febrero	2.9	1.8	1.1		2.4	1.6	1
Marzo	2.7	2	1.3		2.6	1.7	1.1
Abril	3	2.1	1.3		2.6	1.7	1
Mayo	3.4	2.3	1.4		2.9	1.9	1.1
Junio	3.3	2.3	1.4		2.8	1.8	1.1
Julio	3	2.3	1.4		2.4	1.9	1.1
Agosto	3	2.1	1.3		2.7	1.8	1.1
Setiembre	2.8	1.9	1.1		2.6	1.7	1
Octubre	2.7	1.9	1.1		2.5	1.7	0.9
Noviembre	2.5	1.7	1		2.2	1.4	0.9
Diciembre	2.4	1.5	0.9		2.2	1.5	0.9
Media	2.9	2.0	1.2		2.5	1.7	1.0
Delta mensual precipitación	A2			B2			
	Alto	Medio	Bajo		Alto	Medio	Bajo
Enero	46.6	46.7	39.3		9.7	8.9	7
Febrero	33.5	34.7	30.1		14	14	11.8
Marzo	27	25.2	20.4		6	4.1	2.6
Abril	5.9	13.4	7.2		13.1	13.6	11.7
Mayo	-5.9	-0.2	3		-3.4	1.5	3.5
Junio	-6.7	-4.2	-1.9		-1.2	5.1	5.3
Julil	-19.5	-5.3	-9.1		-13.5	-8.3	-4.6
Agosto	-23.6	-15.3	-8.5		-19.1	-11.1	-5.8
Setiembre	-19.8	-9.9	-3.2		-21.5	-5.6	-6.1
Octubre	-10	-8.7	-6.7		-7.7	-6.1	-4.5
Noviembre	29.6	23.5	16.8		8.4	20.5	14.3
Diciembre	-14.5	-8.9	-4.2		-0.7	4	3.8

Figura 4. Climogramas para Zamorano

a) Clima actual, b) Escenario A2 alto, c) Escenario B2 bajo.

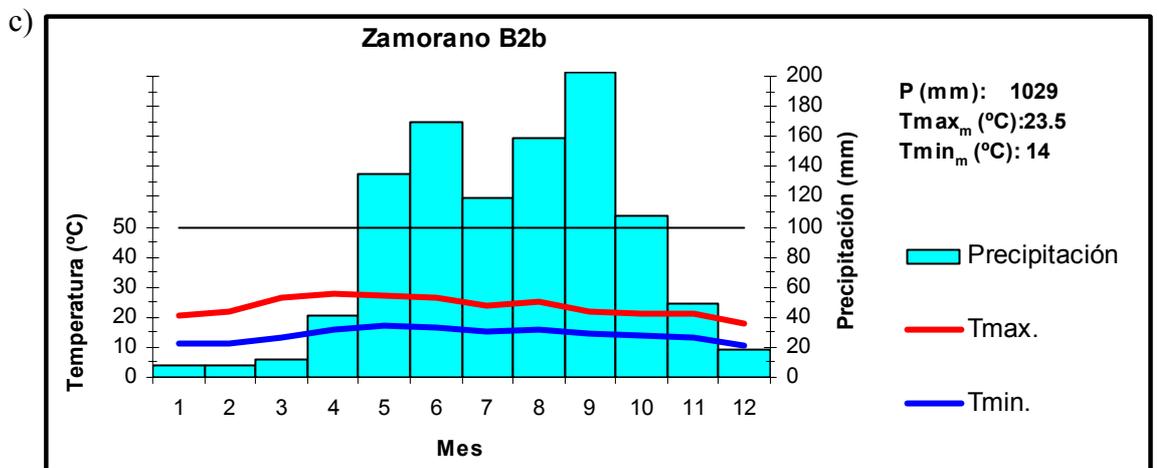
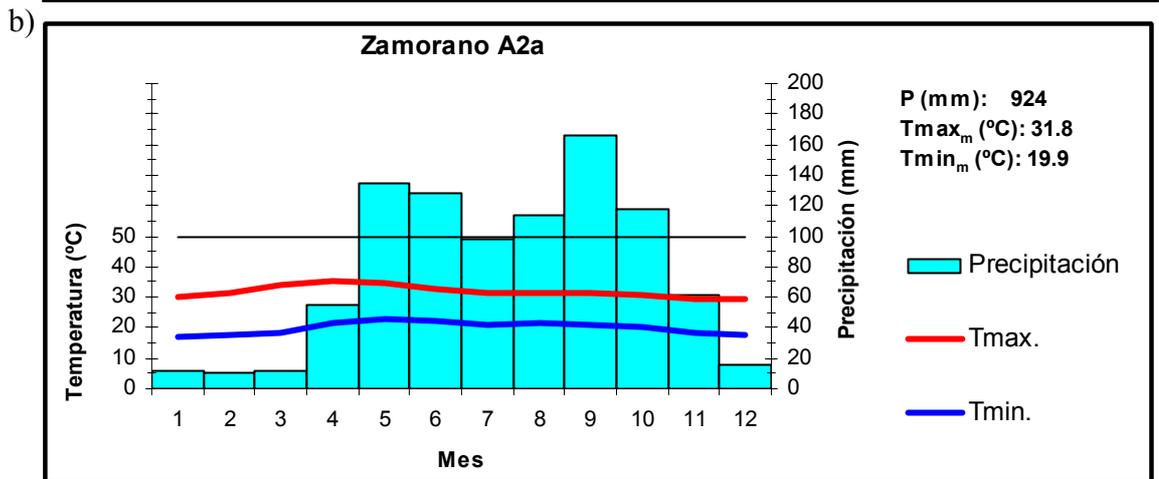
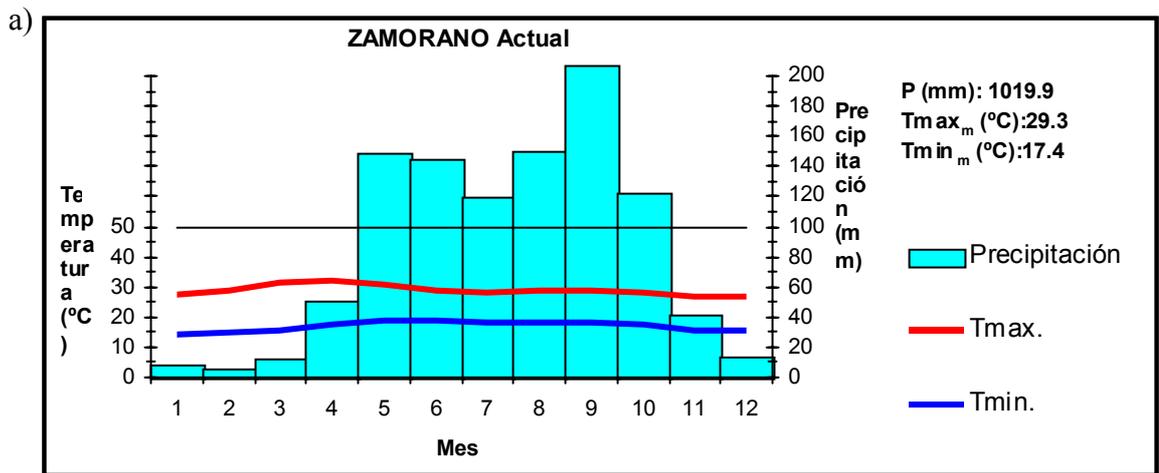


Figura 5. Climogramas para Valle de Sula  
 a) Clima actual, b) Escenario A2 alto, c) Escenario B2 bajo.

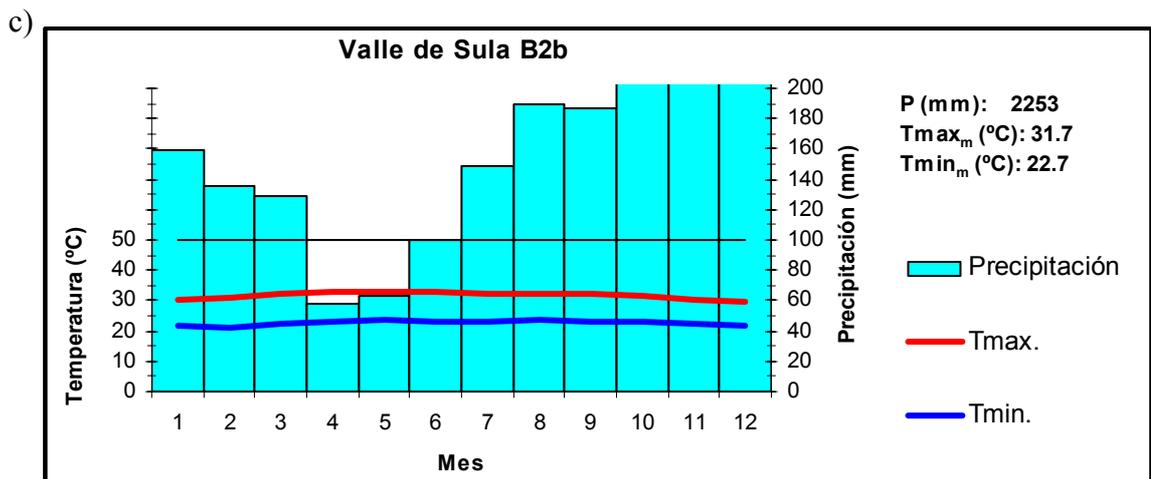
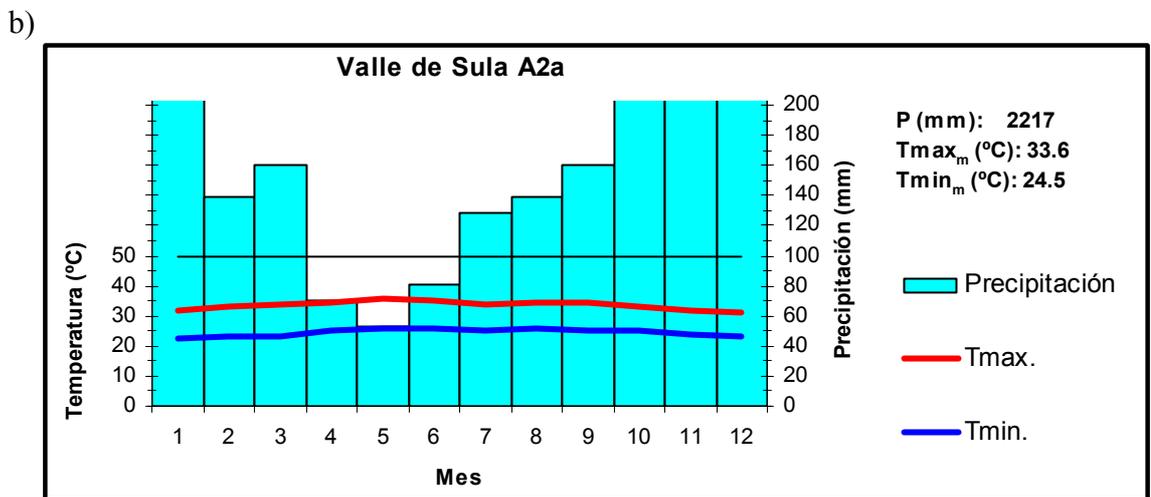
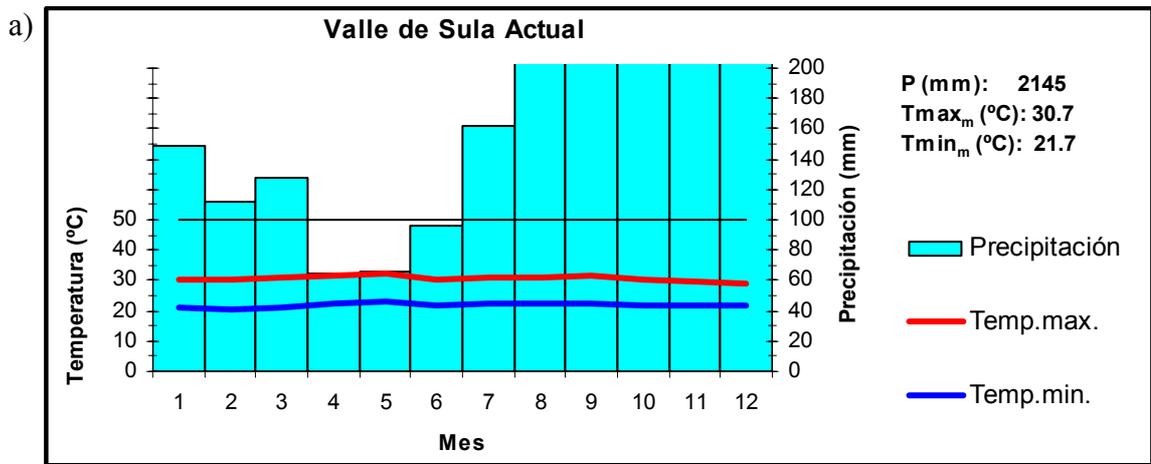


Figura 6. Climogramas para La Esperanza  
 a) Clima actual, b) Escenario A2 alto, c) Escenario B2 bajo.

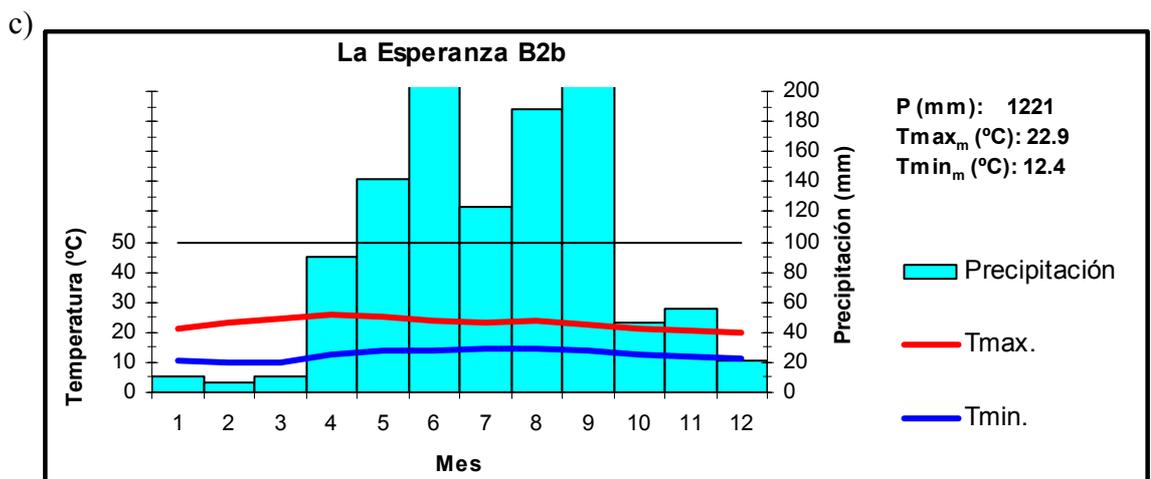
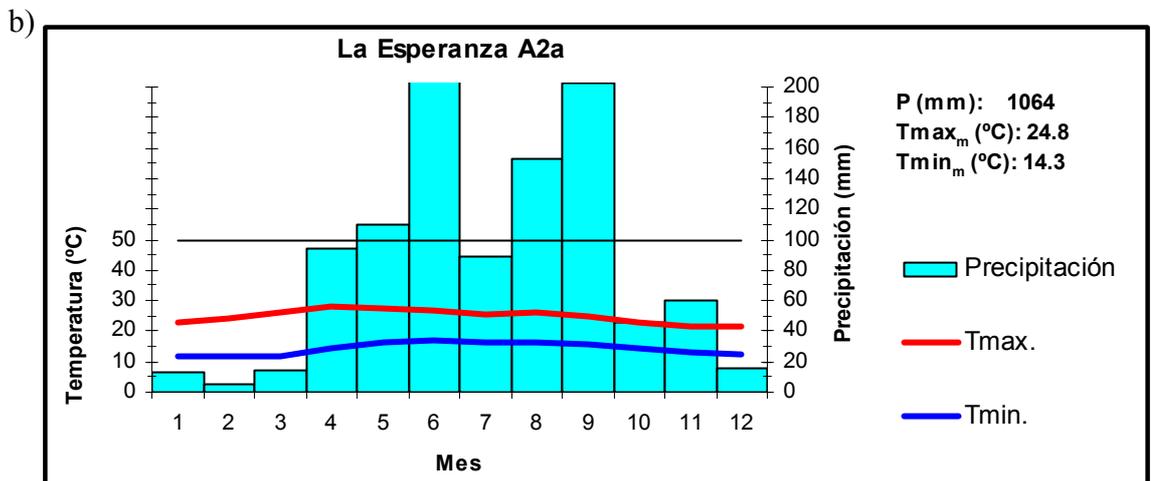
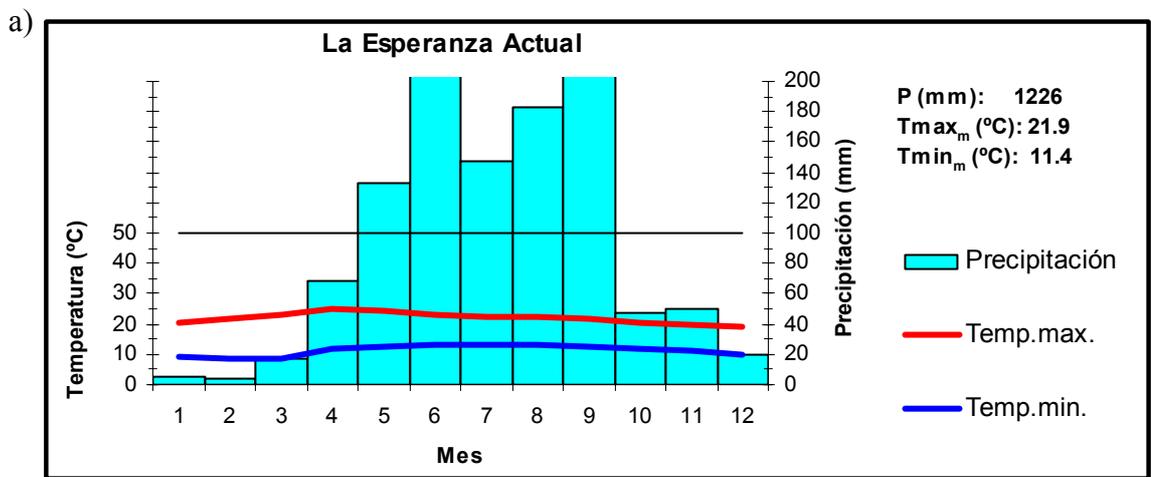


Figura 7. Climogramas para La Lima

a) Clima actual, b) Escenario A2 alto, c) Escenario B2 bajo.

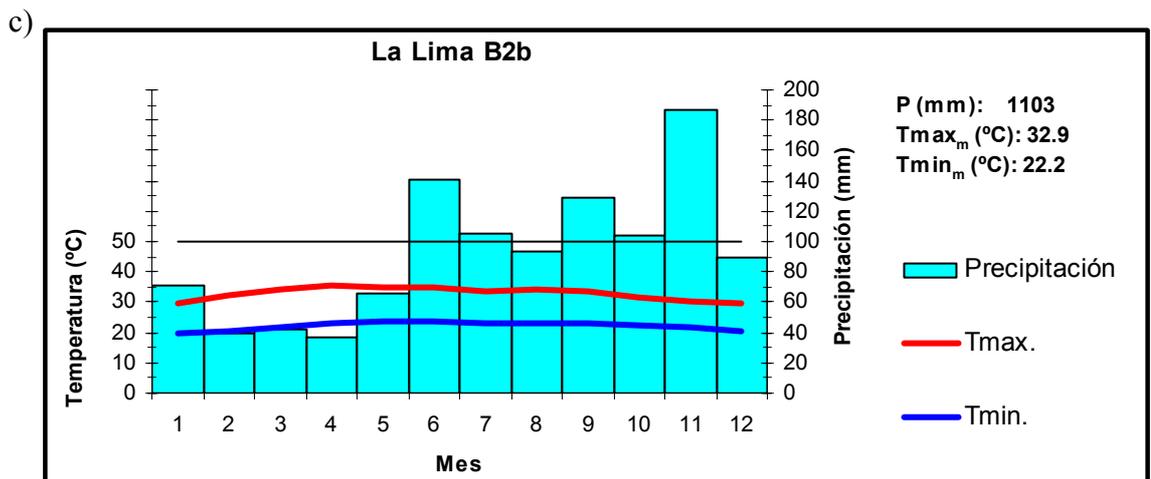
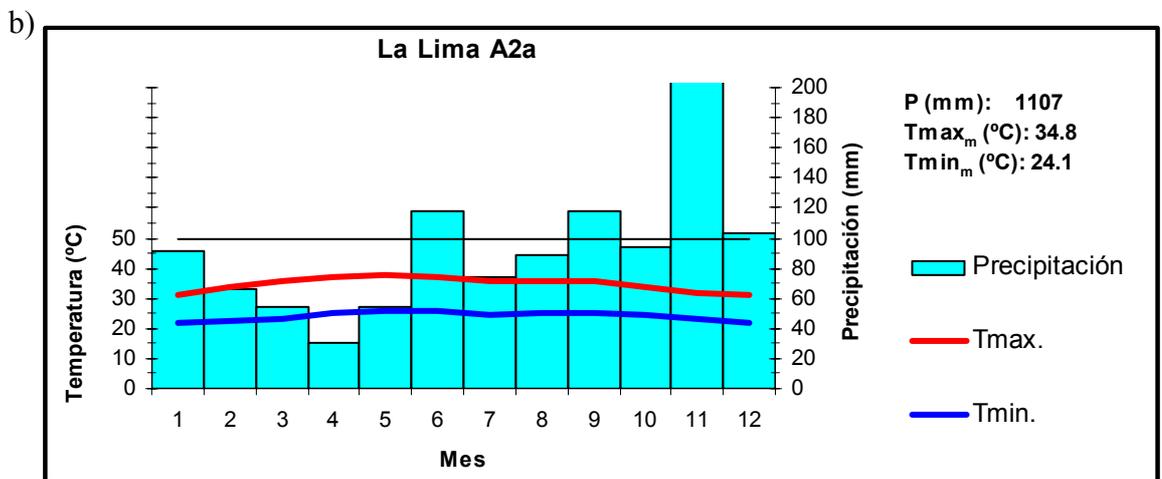
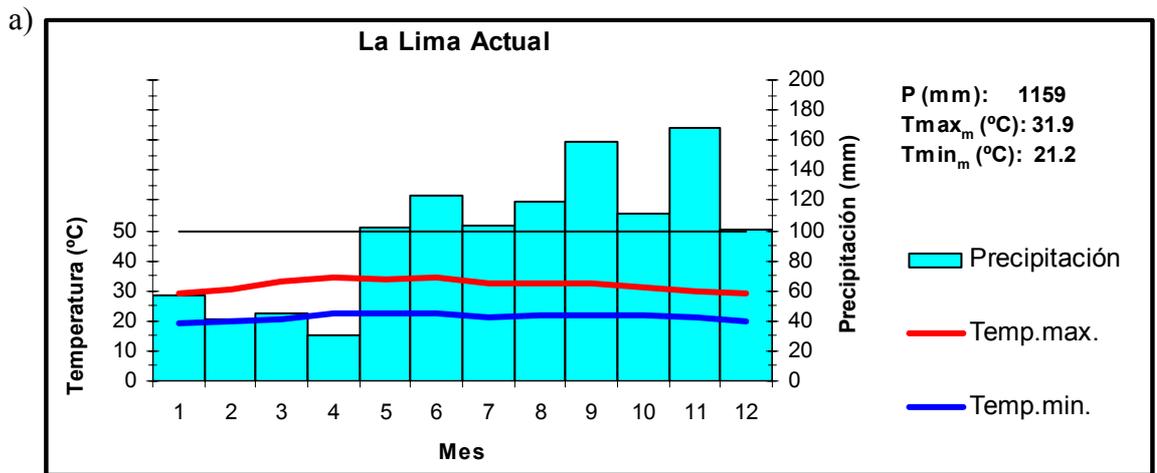
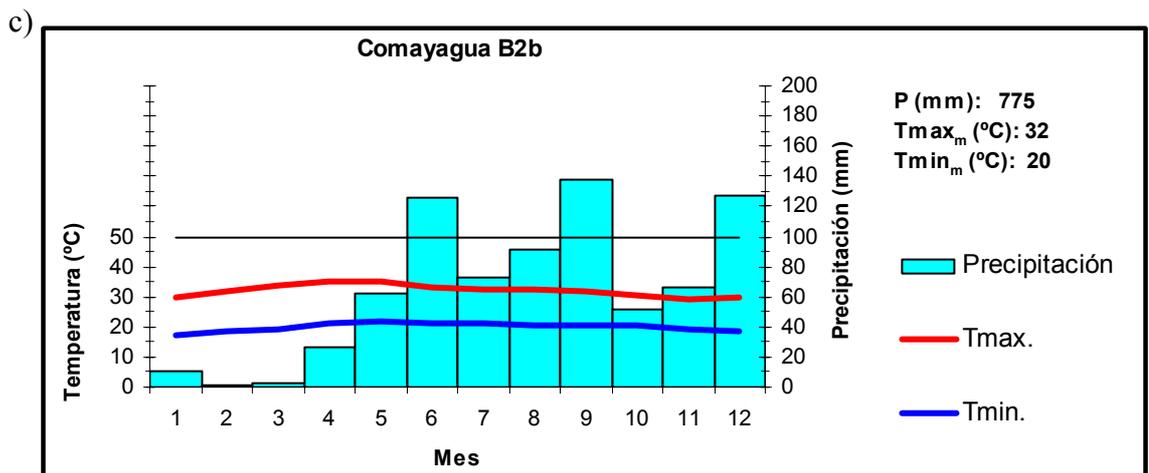
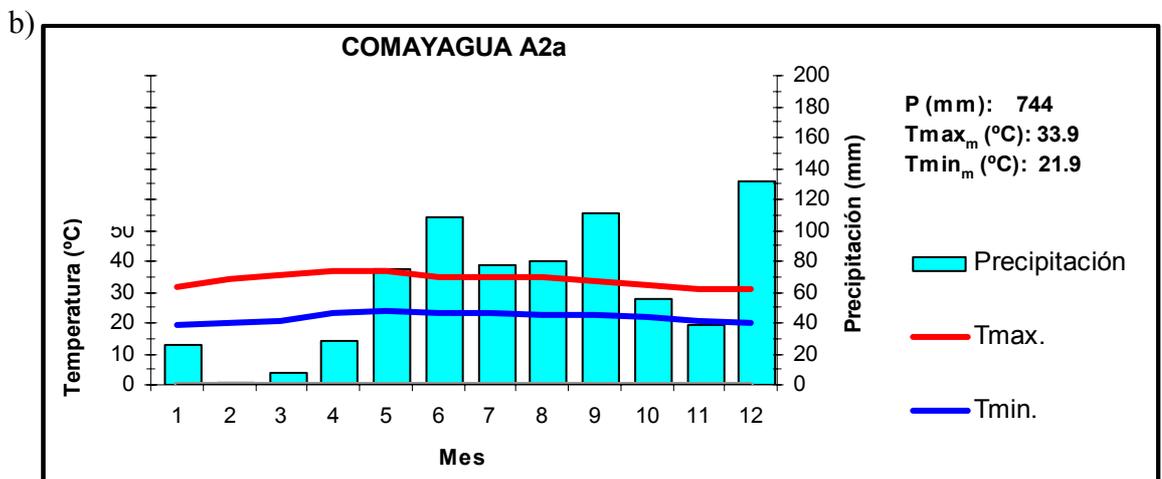
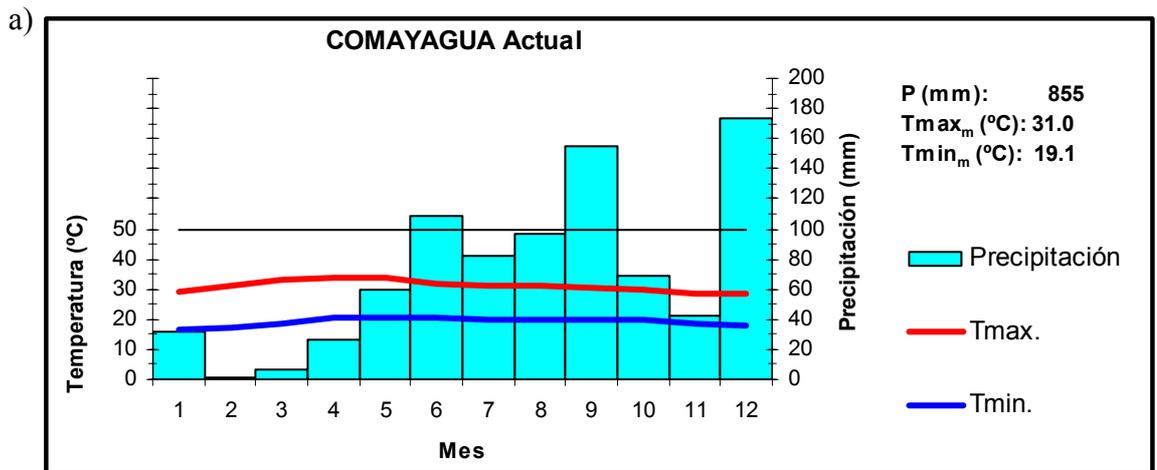


Figura 8. Climogramas para Comayagua  
 a) Clima actual, b) Escenario A2 alto, c) Escenario B2 bajo.



#### 4.1.1 Temperatura

Para la temperatura se presentan los cambios en la temperatura media mensual, así como las temperaturas máximas y mínimas y su variabilidad. Para cada ciclo se calculó el número de grados-día para cada cultivo. Los resultados se presentan en las tablas 3, 4, 5 y 6.

Tabla 3. Temperaturas máximas promedio para cada una de las localidades y para cada uno de los escenarios de cambio climático, se presentan los datos en grados Celsius.

Temperatura Maxima media	Actual	A2a	A2m	A2b	B2a	B2m	B2a
Zamorano	23.6	31.8	30.9	30.2	31.5	30.6	23.5
La Esperanza	21.9	24.8	23.1	23.1	24.5	23.6	22.9
Valle de Sula	30.7	33.6	32.6	31.9	33.3	32.5	31.7
Comayagua	31.0	33.9	33.0	32.2	31.3	32.7	32.0
La Lima	31.9	34.8	33.8	33.0	34.5	33.6	32.9

Tabla 4. Delta climático, variación entre el escenario actual y los escenarios futuros en la temperatura máxima promedio para cada localidad.

Delta climatico							
Temperatura maxima media	A2a	A2m	A2b	B2a	B2m	B2b	
Zamorano	8.2	7.3	6.6	7.9	7.0	-0.1	
La Esperanza	2.9	1.2	1.2	2.6	1.7	1.0	
Valle de Sula	2.9	1.9	1.2	2.6	1.8	1.0	
Comayagua	2.9	2.0	1.2	0.3	1.7	1.0	
La Lima	2.9	1.9	1.1	2.6	1.7	1.0	

Tabla 5. Temperaturas mínimas promedio para cada una de las localidades y para cada uno de los escenarios de cambio climático.

Temperatura mínima media	Actual	A2a	A2m	A2b	B2a	B2m	B2b
Zamorano	14.0	19.9	19.0	17.2	19.6	18.7	14.0
La Esperanza	11.4	14.3	13.4	12.7	14.0	13.1	12.4
Valle de Sula	21.7	24.5	23.6	22.9	24.3	23.4	22.7
Comayagua	19.0	21.9	21.0	20.2	21.6	20.7	20.0
La Lima	21.2	24.1	23.1	22.3	23.8	22.9	22.2

Tabla 6. Delta climático, variación entre el escenario actual y los escenarios futuros en la temperatura mínima promedio, expresada en grados Celsius con relación a la media.

Delta climatico							
Temperatura minima media	A2h	A2m	A2l	B2h	B2m	B2l	
Zamorano	5.9	5.0	3.2	5.6	4.7	0.0	
La Esperanza	2.9	2.0	1.3	2.6	1.7	1.0	
Valle de Sula	2.8	1.9	1.2	2.6	1.7	1.0	
Comayagua	2.9	2.0	1.2	2.6	1.7	1.0	
La Lima	2.9	1.9	1.1	2.6	1.7	1.0	

#### 4.1.2 Precipitación

En el caso de la precipitación se presenta el total de lluvia, medido en milímetros, anualmente en promedio para los 30 años de simulaciones para cada uno de los escenarios.

Tabla 7. Precipitación media anual para cada escenario, expresada en milímetros.

<b>Precipitación media anual</b>	<b>Actual</b>	<b>A2a</b>	<b>A2m</b>	<b>A2b</b>	<b>B2a</b>	<b>B2m</b>	<b>B2b</b>
Zamorano	1012	924	1008	970	907	1021	1029
La Esperanza	1226	1064	1129	1171	1076	1187	1221
Valle de Sula	2145	2217	2283	2237	2130	2116	2253
Comayagua	855	744	788	744	747	792	775
La Lima	1159	1107	1153	1148	1025	1139	1103

Tabla 8. Delta climático, variación en la precipitación, expresada en milímetros de diferencia del total de lluvia anual.

<b>Delta climático</b>						
<b>Precipitación</b>	<b>A2a</b>	<b>A2m</b>	<b>A2b</b>	<b>B2a</b>	<b>B2m</b>	<b>B2b</b>
Zamorano	-88	-4	-42	-105	9	17
La Esperanza	-162	-97	-55	-150	-39	-5
Valle de Sula	72	138	92	-15	-29	108
Comayagua	-111	-67	-111	-108	-63	-80
La Lima	-52	-6	-11	-134	-20	-56



<b>Esperanza</b>	Actu				
	al				
	B2a				
	B2m				
	B2b	259	7	54	60

DS: día de siembra en el calendario juliano(ver anexo X), DAE: Días a emergencia, DAM: días a madurez., Ciclo: duración del ciclo del cultivo desde el día de emergencia hasta la madurez.

## 4.3 MAÍZ

### 4.3.1 Fenología (actual y futura)

Para el análisis del comportamiento de la fenología del maíz se calcularon ciertos parámetros para calcular la variación que puede existir para el mismo ideotipo de cultivo que se utiliza en las simulaciones. Los días a emergencia, días a madurez y la duración total del ciclo se presentan en la tabla 10. Luego, estos datos pueden ser utilizados para las recomendaciones.

Tabla 10. Fenología actual y futura para el maíz.

		DS	DAE	DAM	Ciclo		DS	DAE	DAM	Ciclo	
<b>Zamorano</b>	A2a	134	6	91	96	<b>Comayagua</b>	A2a	144	6	82	87
	A2m	133	6	97	103		A2m	182	7	73	80
	A2b	130	7	101	107		A2b	145	6	86	92
	Actual	137	7	106	113		Actual	141	6	91	98
	B2a	133	6	95	101		B2a	143	6	84	90
	B2m	133	6	99	105		B2m	139	6	86	92
	B2b	47	4	42	45		B2b	141	6	89	95
<b>La Lima</b>		DS	DAE	DAM	Ciclo	<b>Valle de Sula</b>		DS	DAE	DAM	Ciclo
	A2a	123	5	80	85		A2a	121	5	80	85
	A2m	125	6	81	86		A2m	122	6	83	88
	A2b	123	5	84	90		A2b	121	6	85	91
	Actual	127	6	87	93		Actual	122	6	95	101
	B2a	124	6	81	86		B2a	122	6	81	87
	B2m	125	5	82	88		B2m	122	6	84	89
B2b	125	5	85	90	B2b	122	6	87	93		
<b>La Esperanza</b>		DS	DAE	DAM	Ciclo		DS	DAE	DAM	Ciclo	
	A2a	131	9	113	123						
	A2m	127	10	116	126						
	A2b	128	12	114	125						
	Actual	129	14	111	124						
	B2a	130	10	114	124						
	B2m	129	11	114	125						
B2b	122	6	87	93							

DS: día de siembra en el calendario juliano(ver anexo12), DAE: Días a emergencia, DAM: días a madurez., Ciclo: duración del ciclo del cultivo desde el día de emergencia hasta la madurez.

#### 4.3.2 Rendimiento (actual y futuro)

Como resultado de las diferentes simulaciones se obtuvieron resultados de rendimiento en kilogramos por hectárea para cada escenario, a la vez se estimó la producción de biomasa en promedio para cada escenario porque se considera como un buen indicador además del rendimiento para analizar la diferencia productiva de cada caso.

##### 4.3.2.1 Maíz

Tabla.11. Resultados de rendimientos para las simulaciones de maíz en Zamorano.

Localidad	Escenario	Rendimiento kg/ha	Biomasa kg/ha	Precipitación mm	ETA/PREC
<b>ZAMORANO</b>	Actual	3898	9344	596	0.64
	A2a	2025	4733	473	0.74
	A2m	2851	6648	562	0.62
	A2b	3302	7685	533	0.64
	B2a	2228	5219	498	0.73
	B2m	2949	6864	573	0.63
	B2b	4170	10326	609	0.68

Tabla.12. Resultados de rendimientos para las simulaciones de maíz en Comayagua.

Localidad	Escenario	Rendimiento kg/ha	Biomasa kg/ha	Precipitación mm	ETA/PREC
<b>COMAYAGUA</b>	Actual	1318	3154	338	0.86
	A2a	698	1696	330	0.82
	A2m	861	2035	281	0.85
	A2b	1093	2895	336	0.84
	B2a	1366	3254	337	0.81
	B2m	1092	2598	376	0.81
	B2b	1215	2891	353	0.82

Tabla.13. Resultados de rendimientos para las simulaciones de maíz en Valle de Sula.

Localidad	Escenario	Rendimiento kg/ha	Biomasa kg/ha	Precipitación mm	ETA/PREC
<b>VALLE DE SULA</b>	Actual	2092	4864	613	0.5
	A2a	825	1920	564	0.55
	A2m	1635	3802	543	0.58
	A2b	1886	4387	537	0.57
	B2a	1384	3218	507	0.65
	B2m	1700	3954	527	0.62

B2b	2151	5003	551	0.57
-----	------	------	-----	------

Tabla.14. Resultados de rendimientos para las simulaciones de maíz en La Esperanza.

Localidad	Escenario	Rendimiento kg/ha	Biomasa kg/ha	Precipitación mm	ETA/PREC
<b>LA ESPERANZA (10°C)</b>	Actual	714	9174	808	0.49
	A2a	4315	11320	658	0.49
	A2m	3997	11452	744	0.45
	A2b	2823	11083	776	0.44
	B2a	4080	11156	674	0.52
	B2m	3484	11179	782	0.45
	B2b	1782	10922	802	0.45

Tabla.15. Resultados de rendimientos para las simulaciones de maíz en La Esperanza.

Localidad	Escenario	Rendimiento kg/ha	Biomasa kg/ha	Precipitación mm	ETA/PREC
<b>LA ESPERANZA (20°C)</b>	Actual	No simula, el condicionante es demasiado restrictivo			
	A2a	3185	7656	374	0.75
	A2m	2697	7245	373	0.66
	A2b	2510	10775	781	0.41
	B2a	2796	7228	361	0.73
	B2m	3416	8537	535	0.6
	B2b	3591	9220	610	0.57

Tabla.16. Resultados de rendimientos para las simulaciones de maíz en La Lima.

Localidad	Escenario	Rendimiento kg/ha	Biomasa kg/ha	Precipitación mm	ETA/PREC
<b>LA LIMA</b>	Actual	1577	3669	487	0.77
	A2a	936	2177	373	0.85
	A2m	1102	2638	403	0.81
	A2b	1405	3268	468	0.74
	B2a	907	2111	370	0.85
	B2m	1199	2789	428	0.81
	B2b	1354	3152	437	0.78

**4.3.2.2 Frijol.** Al igual que en el caso del maíz se calculó el rendimiento y la biomasa producida en cada escenario.

Tabla 17. Resultados en rendimientos para las simulaciones de frijol en Zamorano.

Localidad	Escenario	Rendimiento kg/ha	Biomasa kg/ha	Precipitación mm	ETA/PREC
<b>ZAMORANO</b>	Actual	2692	5456	264	1.07
	A2a	2288	4600	250	0.97
	A2m	2967	5969	257	1.00
	A2b	3444	6924	262	1.06
	B2a	1830	3722	197	1.14
	B2m	2968	5962	257	1.05
	B2b	3028	6207	172	0.93

Tabla 18. Resultados en rendimientos para las simulaciones de frijol en Comayagua.

Localidad	Escenario	Rendimiento	Biomasa	Precipitación	ETA/PREC
		kg/ha	kg/ha	mm	
<b>COMAYAGUA</b>	Actual	879	1867	178	0.85
	A2a	690	1431	100	1.11
	A2m	864	2010	171	1.02
	A2b	919	1929	126	1.06
	B2a	927	1927	115	1.05
	B2m	710	1490	119	1.14
	B2b	804	1703	134	0.97

Tabla 19. Resultados en rendimientos para las simulaciones de frijol en Valle de Sula.

Localidad	Escenario	Rendimiento	Biomasa	Precipitación	ETA/PREC
		kg/ha	kg/ha	mm	
<b>VALLE DE SULA</b>	Actual	1762	3524	693	0.32
	A2a	988	1977	547	0.30
	A2m	2015	4031	578	0.34
	A2b	2335	4670	658	0.31
	B2a	1722	3443	551	0.31
	B2m	1956	3913	537	0.37
	B2b	2243	4486	712	0.3

Tabla 20. Resultados en rendimientos para las simulaciones de frijol en La Esperanza. Nótese que en el caso de La Esperanza se realizaron dos simulaciones, una con un condicionante de 10°C y otra con 20°C.

Localidad	Escenario	Rendimiento	Biomasa	Precipitación	ETA/PREC
		kg/ha	kg/ha	mm	
<b>LA ESPERANZA (10°C)</b>	Actual	1136	2535	237	1.1
	A2a	2495	5176	211	1.2
	A2m	2530	5279	220	1.23
	A2b	2269	4792	225	1.22
	B2a	1811	3694	210	1.16
	B2m	2369	4917	216	1.29
	B2b	2065	4390	239	1.18

Tabla 21. Resultados en rendimientos para las simulaciones de frijol en La Esperanza.

Localidad	Escenario	Rendimiento	Biomasa	Precipitación	ETA/PREC
		kg/ha	kg/ha	mm	
<b>LA ESPERANZA (20°C)</b>	Actual				
	A2a	3367	8270	447	0.61
	A2m	3176	7227	377	0.6
	A2b	2522	7037	442	0.5
	B2a	2719	6806	426	0.63
	B2m	3081	7646	372	0.79
	B2b	3371	7741	418	0.73

Tabla 22. Resultados en rendimientos para las simulaciones de frijol en La Lima.

Localidad	Escenario	Rendimiento	Biomasa	Precipitación	ETA/PREC
		kg/ha	kg/ha	mm	
<b>LA</b>	Actual	1883	3769	296	0.76
	A2a	1328	2656	230	0.76
	A2m	1528	3057	282	0.69

<b>LIMA</b>	A2b	1858	3718	255	0.77
	B2a	1264	2530	219	0.82
	B2m	1388	2776	273	0.79
	B2b	1780	3560	280	0.74

#### 4.3.3. Eficiencia en el uso del nitrógeno

En el simulador Cropsyst sólo se puede manipular la fertilización nitrogenada. Se tomó como fertilizante principal urea (47% de nitrógeno). Debido a la importancia que tiene este macronutriente en el desarrollo de los cultivos, se presentan los resultados en cuanto a la eficiencia en el uso del nitrógeno en los diferentes escenarios.

Tabla 23. Eficiencia en el uso del nitrógeno, tanto el aplicado como el que se encontraba en el suelo previo al cultivo.

<b>Maiz</b>	Escenario	<b>Eficiencia de uso</b>
		<b>rendimiento/kgN</b>
		<b>kg/kg N</b>
Zamorano	A2a	30.95
	A2m	30.99
	A2b	31.58
	ACTUAL	33.01
	B2a	30.62
	B2m	30.85
	B2b	36.63
Valle de Sula	A2a	31.54
	A2m	31.33
	A2b	31.34
	ACTUAL	31.26
	B2a	31.34
	B2m	31.47
	B2b	31.36
Comayagua	A2a	28.97
	A2m	24.59
	A2b	27.29
	ACTUAL	27.42
	B2a	28.24
	B2m	29.50
	B2b	29.09
La Lima	A2a	31.56
	A2m	30.52
	A2b	31.38
	ACTUAL	30.83
	B2a	31.37
	B2m	31.35
	B2b	31.23
La Esperanza (20°)	A2a	23.27
	A2m	19.96
	A2b	20.95
	ACTUAL	25.15

	A2a	35.71
	A2m	33.34
La	A2b	24.14
Esperanza (10°)	ACTUAL	6.75
	B2a	34.62
	B2m	29.61
	B2b	15.61

Tabla. 24. Distribución del uso del nitrógeno para la rotación maíz-frijol.

		Nitrógeno Lixiviado (kgN/ha)	Nitrógeno Absorbido (kgN/ha)	Nitrógeno Fijado (kgN/ha)	Nitrógeno Rotacion	Eficiencia
	A2a	11.55	188.98	65.93	0.78	0.33
	A2m	17.97	209.82	105.43	0.86	0.46
ZAMO	A2b	1.03	189.32	123.72	1.13	0.65
	ACTUAL	1.08	181.59	107.41	1.08	0.59
	B2a	35.74	185.58	55.57	0.66	0.25
	B2m	2.46	187.09	111.54	1.07	0.59
	B2b	6.67	169.26	68.18	0.82	0.39
	A2a	0.00	92.13	10.32	1.09	0.11
	A2m	0.00	114.28	20.05	0.96	0.18
COMA	A2b	0.00	127.19	26.87	0.92	0.21
	ACTUAL	0.04	133.88	28.80	0.91	0.22
	B2a	0.01	134.89	21.48	0.83	0.16
	B2m	0.00	116.12	14.46	0.90	0.12
	B2b	0.00	128.33	16.86	0.84	0.13
	A2a	15.45	102.45	5.70	0.82	0.05
	A2m	106.87	136.62	75.39	0.68	0.31
VALLE	A2b	75.43	145.61	98.20	0.85	0.44
	ACTUAL	97.95	150.72	78.57	0.69	0.32
	B2a	109.47	130.15	53.18	0.60	0.22
	B2m	100.99	141.51	70.28	0.66	0.29
	B2b	93.67	152.01	91.78	0.74	0.37
	A2a	80.76	116.26	16.58	0.54	0.08
	A2m	79.33	126.88	29.39	0.58	0.14
LALI	A2b	64.22	145.10	46.32	0.65	0.22
	ACTUAL	53.70	155.42	56.15	0.71	0.27
	B2a	55.67	116.91	11.17	0.59	0.06
	B2m	78.57	125.80	25.84	0.57	0.13
	B2b	60.31	146.18	39.30	0.63	0.19
	A2a	0.63	181.87	82.83	0.95	0.45
	A2m	3.30	181.50	104.84	1.01	0.57
LAES (20°)	A2b	5.74	183.92	125.53	1.08	0.66
	ACTUAL					
	B2a	0.77	176.13	52.17	0.79	0.29
	B2m	2.70	180.79	92.74	0.95	0.51
	B2b	7.29	177.24	111.34	1.01	0.60

		Nitrógeno Lixiviado (kgN/ha)	Nitrógeno Absorbido (kgN/ha)	Nitrógeno Fijado (kgN/ha)	Nitrógeno Rotación	Eficiencia
	A2a	0.63	181.85	87.59	0.98	0.48
	A2m	1.05	180.83	100.38	1.05	0.55
LAES	A2b	1.24	177.52	87.81	1.00	0.49
(10°)	ACTUAL	0.81	171.53	36.50	0.75	0.21
	B2a	0.55	177.35	65.03	0.87	0.37
	B2m	1.26	178.64	96.96	1.04	0.54
	B2b	1.24	175.89	81.97	0.97	0.46

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Temperatura

Se comparó el clima actual con los climas futuros para definir los principales cambios y las diferencias entre ambos. Para el caso de la temperatura se utilizaron dos parámetros básicos que son la temperatura máxima y la mínima para cada escenario. La localidad en la cual hubo una mayor variación de la temperatura fue Zamorano, con tendencia hacia el aumento de la temperatura máxima, no así en la temperatura mínima en la cual más bien hubo un cambio sumamente pequeño.

#### 5.1.1 Zamorano

Para esta localidad el escenario que presentó mayor variación en la temperatura máxima media fue el A2 alto, con 8.2°C más de diferencia. El escenario B2 bajo dio un cambio negativo, con -0.1°C con respecto al clima actual. Los demás escenarios se encuentran en un rango que va de los 6.6°C a los 7.9°C.

#### 5.1.2 La Esperanza

Igual que para Zamorano el escenario de mayor impacto en la temperatura máxima media fue el A2 alto, con un cambio de 2.9°C con respecto al actual y el de menor impacto fue el B2 bajo con 1°C. Los demás escenarios caen en un rango entre 2.6 a 1.2°C.

#### 5.1.3 Valle de Sula

Como es de esperarse en esta localidad los escenarios con mayor y menor cambio en la temperatura máxima media son el A2 alto y el B2 bajo respectivamente, con variaciones de 2.9 y 1°C para cada uno. El rango de los demás escenario es de 2.6 a 1.2°C. Estos resultados son iguales a los obtenidos en la localidad de La Esperanza, esto se debe a que se encuentra dentro de la misma celda de los modelos globales de clima.

#### **5.1.4 Comayagua**

Para esta localidad el mayor cambio en la temperatura máxima media lo presentó el escenario A2 alto con 2.9°C de variación y el escenario con menor variación fue el B2 alto con apenas 0.2°C de cambio. Otros escenarios se encuentran entre 2 y 1.2°C.

#### **5.1.5 La Lima**

En el caso de La Lima, nuevamente el escenario A2 alto presentó un cambio de 2.9°C en la temperatura máxima media y el menor cambio lo produjo el escenario B2 bajo con 1°C. El rango en el cual se encuentran los demás escenarios va de 2.6 a 1.1°C.

### **5.2 PRECIPITACIÓN**

Para el caso de la precipitación, se calculó el total de lluvia caída a lo largo de un año, en todas las simulaciones realizadas a lo largo de treinta años. Se midió en milímetros y se calculó el promedio. Se pueden extraer dos tipos de resultados, aquellos en los que la precipitación total anual aumentó y aquellos en los que disminuyó.

#### **5.2.1 Zamorano**

En la localidad del Zamorano el escenario que presentó el mayor aumento de la precipitación fue el B2 bajo donde hubo 17 milímetros más. Sin embargo, 4 de los otros escenarios presentaron descensos de la precipitación con un máximo de hasta 10 milímetros menos en el escenario B2 alto.

#### **5.2.2 La Esperanza**

La Esperanza presentó cambios negativos en todos sus escenarios, o sea, una disminución neta de su precipitación de hasta 16 milímetros en el escenario A2 alto y un mínimo de 5 milímetros en el escenario B2 bajo.

#### **5.2.3 Valle de Sula**

La precipitación de el Valle de Sula presentó en su mayoría cambios positivos en la precipitación, 4 de los 6 escenarios dieron como resultado aumentos de la precipitación media anual de hasta 138 milímetros en el escenario A2 medio, solamente los escenarios B2 alto y B2 medio presentaron cambios negativos con menos 15 y menos 29 milímetros respectivamente.

### **5.2.4 Comayagua**

Para el caso de Comayagua también se dio una disminución de la precipitación en todos los escenarios planteados. La reducción máxima fue de 111 milímetros y se presentó en dos escenarios el A2 alto y el A2 bajo. La menor diferencia la presentó el escenario B2 medio con 63 milímetros menos de precipitación con respecto a la media anual.

### **5.2.5 La Lima**

En esta localidad también se dio una disminución general de las precipitaciones anuales con una máxima reducción de 134 milímetros para el escenario B2 alto. El menor cambio se dio en las simulaciones corridas con el escenario A2 medio, en el cual las lluvias solo disminuyen en 6 milímetros anuales.

## **5.3 FENOLOGÍA MAÍZ**

Se definieron como cambios significativos en la fenología aquellos ciclos en los cuales exista una variabilidad mayor al diez por ciento del número normal en el cual se lleva a cabo el ciclo. Se considera que los parámetros más importantes son el día de siembra representado por un número del calendario juliano el cual representa un día del año, días a emergencia, días a madurez y la duración del ciclo desde emergencia hasta madurez. Estos datos son dados por el simulador de crecimiento de cultivos y se basa en parámetros establecidos previamente en los cuales se establecen las condiciones que deben existir para realizar la siembra. Cambios en el día de siembra de hasta una semana, no se consideran significativos ya que inclusive dentro de Honduras las épocas de siembra varían hasta dos semanas de una región a otra.

### **5.3.1 Zamorano**

En Zamorano no hubo diferencia en el día de siembra en ningún escenario salvo el B2 bajo, en el cual se adelantó la fecha de siembra al día 47 del calendario juliano que representa el 16 de febrero. Para todos los escenarios se adelanta un día la emergencia del cultivo, en el escenario B2 bajo se adelanta 3 días al emergencia. Normalmente la madurez del cultivo es alcanzada a los 106 días después de emergencia según las simulaciones realizadas, los escenarios A2 medio, A2 bajo y el B2 medio caen dentro de un rango de diferencia no significativo. En los dos escenarios altos, el A2 y el B2 se redujo en 15 y 11 días respectivamente. Para el escenario B2 bajo el cambio fue mucho mayor reduciéndose a 46 días para la madurez.

### **5.3.2 La Esperanza**

En la localidad de La Esperanza se obtuvieron resultados para el día de siembra que van desde dos días después del promedio actual en el caso del escenario A2 alto hasta una semana antes en el caso del escenario B2 bajo. Para los días a emergencia todos los escenarios planteados demuestran un adelanto, hasta un máximo de 8 días antes del promedio actual en el escenario B2 bajo. En los días a madurez se dio un cambio de dos días más en promedio para el escenario A2 alto y de un máximo de hasta 34 días menos en el escenario B2 bajo. La duración del ciclo en esta localidad fluctúa en un rango de un día menos y dos días más para todos los escenarios menos para el B2 bajo donde la duración del ciclo se redujo en 31 días.

### **5.3.3 Valle de Sula**

En este valle las simulaciones arrojaron datos bastante homogéneos y parecidos al escenario actual. Para el día de siembra prácticamente no hubo cambios, el máximo fue un día antes de lo normal lo cual no se considera significativo. Los días que le tomó al cultivo para emerger se mantienen en 6 ó 5 en el caso del A2 alto. En los días a madurez, se aceleró el proceso hasta un máximo de 15 días en el escenario A2 alto, lo mismo que en la duración total del ciclo la cual se redujo en 16 días en el mismo escenario.

### **5.3.4 Comayagua**

Los resultados de las simulaciones en Comayagua demuestran que el día de siembra no cambia significativamente con respecto al promedio del escenario actual salvo en el escenario A2 medio en el cual se atrasa la siembra hasta el día 182 del calendario juliano. Los días a emergencia permanecen igual en todos los escenarios salvo nuevamente el escenario A2 medio en el cual se aumenta un día, esta diferencia tampoco es considerada significativa. La madurez del cultivo se alcanza en menor tiempo para todos los escenarios hasta un máximo de 18 días antes del promedio actual en el escenario A2 medio. La duración total del ciclo se redujo en 18 días en el escenario A2 medio.

### **5.3.4 La Lima**

En esta localidad la familia A2 y en particular el escenario A2 alto fue el que demostró mayores cambios. El día de siembra se reduce en 4 días. Los días a emergencia quedan cerca del promedio hasta un mínimo de 5 días en el escenario antes mencionado. Los días a madurez se llegaron a reducir hasta en 7 días para el mismo escenario. La duración del ciclo se redujo también, en este caso en 8 días.

## **5.4 FENOLOGÍA FRIJOL**

Al igual que en las simulaciones realizadas con maíz, se establecieron previamente parámetros necesarios para que se pueda efectuar la siembra. Las demás características

fenológicas dependen de la interacción de muchas variables que afectan directa e indirectamente el cultivo. Se toman nuevamente el día de siembra, los días que le toma al cultivo emerger, los días a madurez y la duración total del ciclo, como los parámetros que se utilizan para comparar entre los diferentes escenarios. Los cambios en la duración del ciclo, muchas veces llegan a extremos de hasta 20 días, la razón principal de este cambio es la duplicación efectiva de la concentración de CO<sup>2</sup>, existen estudios que demuestran el aceleramiento de los ciclos de producción por esta variable. La biomasa en frijol se puede incrementar entre 18 y 25% y el rendimiento un 20 % debiéndose este incremento al mayor número de vainas por planta y no al mayor peso o tamaño de las semillas, ( Sánchez *et al*, 2000).

#### **5.4.1 Zamorano**

En la localidad de Zamorano, se dieron cambios pequeños en general, sin embargo el día de siembra se vio afectado en el escenario B2 bajo para el cual se adelantó la fecha de siembra al día 144 del calendario juliano. Los días a emergencia permanecen dentro de un rango homogéneo en todos los escenarios salvo el B2 bajo en el cual tomó 18 días para emerger. En los días a madurez se observaron cambios en todos los escenarios, en un rango que va desde 14 días antes del promedio actual en el escenario B2 alto hasta 1 día después del promedio para el escenario B2 bajo. Para esta simulación la duración del ciclo se ve afectada en reducciones y aumentos, en el caso del escenario B2 bajo el ciclo se completo 4 días después del promedio y un máximo de 12 días antes en el escenario A2 medio.

#### **5.4.2 La Esperanza**

La Esperanza es un caso particular. Debido a su clima, relativamente frío en comparación con las otras localidades se debieron hacer algunas adaptaciones para poder llevar a cabo las simulaciones. Se había tomado como parámetro para la siembra un mínimo de 10 grados Celsius, que en algunos escenarios era demasiado restrictivo y nunca se presentaban las condiciones básicas para la siembra. Esto significa que si se llegaran a presentar las condiciones exactas planteadas, lo cual tiene una probabilidad muy baja, probablemente la siembra en postrera desaparecería, debido principalmente a la inadecuada distribución de las lluvias y el alargamiento de la época de primera. El escenario B2 bajo fue el único con el cual se pudo trabajar, o sea, el único escenario donde los cambios planteados permiten seguir produciendo en las épocas que se acostumbra. Para este escenario los resultados fueron, siembra en el día 259 del calendario juliano, equivalente a fechas actuales, los días a emergencia se mantienen en 7, los días a madurez se reducen a 54, comparados con la fenología del mismo ideotipo en otras localidades y la duración se reduce a 60 días, de igual manera comparado contra otras localidades.

#### **5.4.3 Valle de Sula**

En esta localidad el día de siembra permanece cercano al promedio actual en todos los escenarios menos el A2 alto en el cual se atrasa 6 días, no es una diferencia relevante pero se resalta por ser el único escenario en el cual cambia. Los días a emergencia no varían entre escenarios, quedando todos en 6 ó 7 días. Los días a madurez si varían en todos los escenarios, ambos extremos bajos se acercan al promedio actual con 53 y 53 para el A2 y el B2 respectivamente. El escenario A2 alto cambia en 19 días menos que la media actual, la duración del ciclo para este escenario también se reduce en 20 días. Para tres otros escenarios se reduce en promedio una semana.

#### **5.4.4 Comayagua**

En Comayagua el día de siembra queda dentro de un rango homogéneo para todos los escenarios salvo el A2 medio en el cual se adelanta la fecha al día 211 del calendario juliano. Le tomó entre 6 y 8 días para emerger representado en todos los escenarios. Los días a madurez si cambiaron de manera drástica en el escenario A2 alto (21 días menos), el escenario B2 alto (17 días menos) y el escenario B2 bajo (15 días menos) todos en comparación con el promedio actual. La duración de ciclo en esta localidad se redujo en todos los casos, con un máximo de 23 días para el escenario A2 alto y un mínimo de 18 días en el escenario B2 alto. Los demás escenarios quedan dentro del rango de variación aceptable.

#### **5.4.5 La Lima**

Para las simulaciones efectuadas en La Lima se tiene que el día de siembra permanece similar en todos los casos con diferencia de 1 ó 3 días como máximo, lo mismo pasa en los días a emergencia, todos los escenarios presentan 6 días para la emergencia. En los días a madurez no hay cambios significativos sino en el escenario B2 bajo, en el cual se reduce en 14 días. La duración del ciclo permanece dentro del 10 por ciento aceptable en todos los escenarios menos en el B2 bajo donde nuevamente se reduce en 14 días.

### **5.5 RENDIMIENTO MAÍZ**

Para analizar la variación entre escenarios en cuanto a rendimiento se toma como variable principal la producción de biomasa en kilogramos por hectárea. En la sección de resultados se presenta una tabla con los datos de rendimientos para cada localidad. Los resultados de rendimiento del cultivo resultan de aplicar un índice de cosecha a la cantidad de biomasa producida. A la vez se muestra la relación entre evapotranspiración y este es un indicativo de la oferta de agua, es decir con la precipitación que cae durante el ciclo de cultivo se cubren las necesidades, mientras que la eficiencia en el uso del agua es la relación entre rendimiento y la evapotranspiración actual, esta es el agua que ha consumido el cultivo. En todos los casos se presenta por lo menos un escenario en el cual la producción de biomasa es más alta que en el escenario actual, salvo en el caso de La Lima.

### **5.5.1 Zamorano**

El escenario actual presenta una producción de 9,344 kilogramos por hectárea, el escenario B2 alto presentó un incremento en los rendimientos de producción hasta los 10,326 kilogramos, esto es un 110% de los rendimientos actuales. El escenario A2 alto fue el de menor producción con 4,733 kilogramos por hectárea que representa un 50.6% del rendimiento actual.

### **5.5.2 La Esperanza**

La Esperanza es una localidad especial, en ella se debieron hacer dos simulaciones, una de ellas fue con un condicionante de 10 grados Celsius como temperatura mínima para poder cultivar, en este caso el escenario actual presentó una producción de biomasa de 9,174 kg/ha, el caso de mayor producción fue el escenario A2 alto con un promedio de 11,452 kg/ha (124.8%) y el escenario B2 bajo fue el de menor producción con un total de 10,922 kg/ha (119%), en esta localidad, todos los escenarios dieron resultados de producción mayores a los alcanzados en la actualidad. En el segundo caso donde se tomó como condicionante un mínimo de 20 grados Celsius, no hubo simulaciones para el clima actual ya que el condicionante era demasiado restrictivo, sin embargo, en el escenario A2 bajo se obtuvieron los máximos rendimientos de 10,775 kg/ha (117.4%) de biomasa producida y el de menor producción fue el B2 alto con 7,228 kg/ha (78%). Nótese que en este segundo caso los rendimientos fueron menores que en el primer caso.

### **5.5.3 Valle de Sula**

En el Valle de Sula el escenario actual obtuvo 4,864 kg/ha como resultado promedio. Por encima de estos rendimientos se encuentra únicamente el escenario B2 bajo en el cual se obtuvo 5,003 kg/ha, este representa un 102.8% en aumento con comparación de la actualidad muy por debajo de este resultado está el escenario A2 alto con 1,920 kg/ha. Esto representa un 39.4% de los rendimientos actuales.

### **5.5.4 Comayagua**

El escenario actual presentó una producción de 3,154 kg/ha. Apenas superando este rendimiento en 100 kilogramos se encuentra el escenario B2 alto con 3,254 kg/ha (103.1% ), el escenario de menor producción fue el A2 medio con 2,035 kg/ha, o sea un 64.5% de los rendimientos actuales.

### **5.5.5 La Lima**

Para esta localidad ninguno de los escenarios futuros logró superar los rendimientos actuales, o sea existe un descenso general en los rendimientos. El escenario actual dio 3669 Kg/ha, seguido por el escenario A2 bajo con 3268 Kg/ha (89 %) y el de menor rendimiento fue el A2 medio con 2035 Kg/ha (55.4 %).

## **5.6 RENDIMIENTO FRIJOL**

Al igual que en el caso del maíz se utilizó la producción de biomasa expresada en kilogramos por hectárea para hacer las comparaciones entre escenarios. Las tablas con los rendimientos de todos los escenarios se encuentran en la sección de resultados, únicamente se toma el escenario actual y los dos casos, extremos, aquel que supere la producción actual o mayor rendimiento excluyendo el escenario actual y aquel de menor producción de biomasa. No se encontró relación entre los escenarios que afectaron al maíz con los del frijol, aquel escenario que pudo ser el de mayor producción para el maíz puede ser el de menor producción en frijol.

### **5.6.1 Zamorano**

Comparando los rendimientos en esta localidad se encontró que hubo producciones arriba del promedio actual de 2,692 kg/ha como es el caso del escenario A2 bajo con 3,444 kg/ha, o sea, un 127.9% con respecto del valor actual. Por debajo del promedio actual como en el escenario B2 alto que fue el de menor rendimiento con 1,830 kg/ha, que representa un 67.9% de los rendimientos actuales (Idem que el maíz).

### **5.6.2 La Esperanza**

Nuevamente se formularon dos casos para esta localidad, al igual que en el maíz se tomó 10 grados Celsius como mínimo para realizar el cultivo en uno caso y 20 grados en otro. Para el caso de 10°C todos los escenarios se encuentran por encima del promedio actual de 2,535 kg/ha, el máximo rendimiento se dio en el escenario A2 medio con 5,279 kg/ha (208.2%) y el mínimo fue de 3,694 kg/ha (145.7%) en el escenario B2 bajo. Para el segundo caso de 20°C, la restricción fue demasiado severa en el escenario actual por lo cual no hubo siembra del cultivo, sin embargo para otros escenarios como el A2 alto se obtuvo 8,270 kg/ha (326.2%), éste fue el rendimiento máximo, y 3,694 kg/ha (145.7%) como rendimiento mínimo en el escenario B2 alto.

### **5.6.3 Comayagua**

Para esta localidad se presentaron rendimientos por encima del promedio actual de 1,867 kg/ha y por debajo del mismo. El rendimiento máximo se presentó en el escenario A2 medio con 2,010 kg/ha (107.6%) y el mínimo fue de 1,490 kg/ha (79.8%) en el escenario B2 medio.

### **5.6.4 Valle de Sula**

Los rendimientos en el Valle de Sula aumentaron en todos los casos, sobrepasando el promedio actual que tenía de 3,524 kg/ha, el escenario que presentó la mayor producción de biomasa fue el A2 Bajo con 4,670 kg/ha, (132.5%), el único escenario que no alcanzó los rendimientos actuales fue el A2 con 1,977 kg/ha (56.1%) de rendimiento.

### **5.6.5 La Lima**

En La Lima si existe una relación con las simulaciones del maíz, ningún escenario futuro logró superar los rendimientos dados en el escenario actual que en promedio fue de 3,769 kg/ha. En segundo lugar se encuentra el escenario B2 bajo con 3,560 kg/ha, (94.4%), el escenario que presentó los menores rendimientos fue el B2 alto con 2,530 kg/ha, (67.1%).

## **5.7 EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO**

El Nitrógeno es el macronutriente más importante en el desarrollo de las plantas y el único que puede ser simulado utilizando Cropsyst. Se tomó la eficiencia en el uso del nitrógeno como un parámetro indispensable para la diferenciación entre escenarios de cambio climático. Por el tipo de manejo que se utiliza, el de los pequeños agricultores o agricultores de subsistencia también es importante simularlo ya que es la única forma de fertilización que ellos manejan. Cabe destacar que no existe relación entre la producción de biomasa y la eficiencia en el uso del nitrógeno, en la mayoría de los casos, aquellos escenarios que presentaron una mayor producción de biomasa no son los más eficientes utilizando nitrógeno y viceversa.

### **5.7.1 Zamorano**

En el escenario actual Zamorano presenta una eficiencia de 33.01 kg de rendimientos por cada kilogramo de nitrógeno aplicado. El escenario más eficiente fue el B2 bajo el cual produce 36.63 kg, (110.9% con respecto a la eficiencia actual), de cultivo por cada Kg de nitrógeno. El menos eficiente fue el B2 alto con 30.66 kg/kg de nitrógeno, lo cual representa un 92.8% de la eficiencia actual. En los rendimientos de biomasa el escenario menos productivo fue el A2 alto, sin embargo este escenario fue relativamente eficiente en el uso del nitrógeno con 30.95 kg/kg de nitrógeno, (93.7%).

### **5.7.2 La Esperanza**

Como se explicó anteriormente esta es una localidad diferente a las demás por su clima relativamente más frío. En el caso que se utiliza 10°C como condicionante de siembra se tiene que el rendimiento actual fue de apenas 6.75 kg/kg de nitrógeno, mientras que el más eficiente presentó 35.71 kg/kg de nitrógeno, (529%), éste fue el A2 alto. Todos los escenarios presentan eficiencia superiores a la actual, la menor de todas fue la del escenario B2 bajo con 15.61 kg/kg de nitrógeno, (231.2%). Para el

caso en el que se utilizó 20° C como condicionante para la siembra no se obtuvieron resultados para la simulación actual ya que el condicionante era demasiado restrictivo, sin embargo para el escenario B2 medio se obtuvo una eficiencia de 25.98 kg/kg de nitrógeno, (384.8%), siendo éste el más alto de todos en esta familia. El escenario de menor eficiencia fue el A2 bajo con 20.95 kg/kg de nitrógeno, (310.3% ).

### **5.7.3 Comayagua**

Comayagua presentó una eficiencia para la actualidad de 27.42 kg/kg de nitrógeno. Supera ésta eficiencia el escenario B2 medio con 29.5 kg/kg de nitrógeno, (107.5%), siendo éste el más alto de todos los escenarios. El escenario menos eficiente fue el A2 medio con 24.59 kg/kg de nitrógeno, (89.6%).

### **5.7.4 Valle de Sula**

En el Valle de Sula se mantuvo cierta homogeneidad en los resultados de eficiencia del uso del nitrógeno, todos los escenarios se encuentran alrededor de los 31 kg/kg de nitrógeno. El escenario actual fue el más bajo de todos, o sea que cualquiera de los escenarios que se puede presentar sería más eficiente que el actual. El más alto de todos fue el A2 alto que a la vez fue el que presentó menor producción de biomasa en el análisis de rendimiento.

### **5.7.5 La Lima**

Esta localidad también presenta resultados similares en cuanto a la eficiencia de uso del nitrógeno entre los 30 y casi 32 kg/kg de nitrógeno. El más eficiente fue el escenario A2 alto con 31.56 kg/kg de nitrógeno, (105.2%) y el menos eficiente fue el actual con 30.83 kg /kg de nitrógeno, (102.7%).

## **6. RECOMENDACIONES**

Uno de los objetivos de este estudio es la formulación de recomendaciones para la realización de estudios semejantes ya que el trabajo es uno de los primeros en esta área. Además se proponen adaptaciones factibles para los pequeños agricultores para que puedan al menos mantener sus rendimientos en aquellos escenarios donde descienden.

### **6.1 PRÁCTICAS DE MANEJO**

La situación del pequeño productor compromete el uso de nuevas tecnologías por falta de acceso a ellas. Aunque, el tema cultural no debe dejarse de lado, durante años los agricultores tradicionales han producido de la misma manera y un cambio de las prácticas actuales no es fácil de implementar. Por ende se hacen recomendaciones de fácil aplicación. La primera es la incorporación de los residuos de la producción al terreno, se comprobó que la cantidad de biomasa producida será mayor en casi todos los escenarios, con el uso de materia orgánica, el contenido en los suelos estudiados es sumamente bajo, esta práctica traería beneficios en los rendimientos.

### **6.2 OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIEDADES POR FENOLOGÍA**

Debido al cambio que se percibió en la duración de los ciclos de producción se pueden sustituir las variedades utilizadas por algunas otras que se ajusten al tiempo de duración estimado para el clima futuro en sus diferentes escenarios. En el caso del frijol todas las localidades presentan reducción en la duración del ciclo de producción, la razón primordial de este fenómeno es el aumento de la temperatura y de la concentración de CO<sup>2</sup> en la atmósfera, además se le suman variables como el aumento de las temperaturas y la distribución óptima de la precipitación en algunos casos. Por estas razones se recomienda experimentar con variedades de ciclos más cortos y más largos para poder definir cual podría aumentar la eficiencia en la producción, inclusive con el manejo apropiado y los insumos requeridos se podrían producir más de un ciclo al año. Para el caso del maíz se presentan las mismas condiciones, no tan marcadas como en el frijol pero definitivamente existe una reducción en la duración del ciclo de cultivo por lo cual se recomienda de igual manera utilizar variedades de ciclo más corto.

### **6.3 FECHAS ÓPTIMAS DE PRODUCCIÓN**

En algunos escenarios las fechas de siembra cambiaron debido a que no se presentaban las condiciones planteadas para poder efectuarla. Los casos son particulares y las recomendaciones serían aplicables si se presentaran exactamente las condiciones que presenta el escenario. En el caso del escenario B2 bajo en Zamorano, ambos ciclos, el del maíz y el del frijol se adelantan, la siembra del maíz debería comenzar en el día 47 del calendario juliano y la del frijol en el día 144. El otro escenario que presenta cambios en las fechas de producción es el A2 medio para la localidad de Comayagua, en él los cultivos cambian su orden, primero se sembraría frijol alrededor del día 210, con una variedad de ciclo corto, para poder luego sembrar maíz a partir del día 280. Los demás escenarios no dieron resultados para los cuales se deba adaptar la época de producción.

#### **6.4 REGISTROS DE CLIMA Y PRODUCCIÓN**

Uno de los principales obstáculos para la realización de este estudio fue la falta de registros climáticos fidedignos para la formulación de los escenarios futuros. A la vez, no existe tampoco una serie de datos de producción para las diferentes áreas en estudio, por lo menos para Zamorano debería ser una actividad indispensable en sus registros. Tener una base de datos con las características de sus actividades como análisis edáficos, prácticas agrícolas, información del cultivo y sus rendimientos, es de suprema importancia. La falta de esta información de clima y producción pudo disminuir la exactitud del estudio de forma significativa.

En la actualidad Zamorano cuenta con registros climáticos de excelente calidad desde el año 1998, para las otras localidades no existe acceso a este tipo de información si es que los registros son recolectados por alguna organización. Ayudaría mucho a la producción agrícola del país que los datos de clima para estas regiones que son de tanta importancia en la producción nacional, estuvieran al alcance de todos los productores grandes o pequeños.

En cuanto a la información sobre producción se recomienda que Zamorano mantenga un registro de sus ciclos productivos, al menos en cultivos de tanta importancia económica para Honduras como el maíz y el frijol. Estos registros deberían contar por lo menos con los siguientes datos: lugar de producción con una localización exacta del lote, análisis edáfico del lugar donde se midan los niveles de fertilidad y las características estructurales y texturales del lugar, tipo de variedades utilizadas con sus principales características fenológicas, registros de los rendimientos del cultivo, si es posible de producción de biomasa, sino, al menos el rendimiento a granel de la producción.

#### **6.5 Enseñanza en Zamorano**

El uso de herramientas de última tecnología como los simuladores de crecimiento de cultivos o los generadores de datos climáticos debería estar incluido en el pensum académico de Zamorano para la formación de sus estudiantes. Este tipo de programas permiten realizar ciclos enteros de cultivos que tomarían meses en el campo en tan solo minutos, los estudiantes podrían evaluar diferentes prácticas de manejo como ser

tipos de labranza, riego o fertilización nitrogenada, de esta manera conocer los cambios que podrían significar a nivel de campo la toma de decisiones de este tipo. A la vez permiten realizar análisis de erosión, de tanta importancia en el manejo de cuenca hidrográficas; ataque de plagas o desastres naturales como tormentas pueden ser simulados también. Crearían un ambiente propicio para formular ejercicios de decisión los cuales como se menciona anteriormente, tomarían meses en el campo, y sus costo sería simplemente incomparable entre simulaciones y prácticas reales.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

BARRETO, H.; HARTKAMP, A. 1999 Analysis of maize production in Honduras: Linking census data to environmental variables through GIS. México, CIMMYT. 22 p.

BAZZAZ, F. A.; FAJER, E. D. 1992. Plant life in a CO<sub>2</sub> rich world. Scientific Am. 266: 18-24.

BAZZAZ, F.; SOMBROCK, W. 1996. Global climate change and agricultural production. New York, Wiley. 284 p.

BOOTE, K. 1994. Physiology and determination of crop yields. Washington, American Society of Agronomy. 273 p.

BOLYN, B., DOOOS, B. R.; JAGER, J.; WARRICK, R.A. 1986. SCOPE 29. The greenhouse effect climatic change and ecosystems. John Wiley & Sons. UK. 541 p.

BUDYKO, M. I. 1982. The earth climate: past and future. Academic press. N. Y. USA. 308 p.

CARBONE, G.; MEARN, L. 2003. Agronomy Journal. Evaluating Cropgro, soybean performance for use in climate impact studies, no. 95(3): 537.

Climate Network Europe. 1994. Todo lo que siempre quiso saber sobre el cambio climático. 2 ed. UK, Castle Cary Press. 65 p.

CURE, J. D.; ACOCK, B. 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. Agric. For. Meteorol. 38: 127-145.

DICTA consultado en: 22/02/04 (en línea) Guía del cultivo del Frijol. Honduras. Disponible en: [http://www.dicta.hn/Paginas/guia\\_frijol.htm](http://www.dicta.hn/Paginas/guia_frijol.htm)

DICTA consultado en: 22/02/04 (en línea) Guía del cultivo del Maíz. Honduras. Disponible en: [http://www.dicta.hn/Paginas/guia\\_cultivo\\_maiz.htm](http://www.dicta.hn/Paginas/guia_cultivo_maiz.htm)

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) consultado en : 10/3/04 (en línea) FAOSTAT: FAO Statistical Database. Disponible en: <http://www.apss.fao.org>

- HANSEN, J.; SOTO, A. 2002. El cambio global: interacciones de la biota y la atmósfera. *Ciencia* 35: 4-14.
- HERNANDEZ, C. ; GONZALEZ, D. 2000. Inseguridad alimentaria, el caso de Honduras. 9 p.
- HERNANDEZ, C. Análisis de la sostenibilidad en sistemas agrícolas. España, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de producción vegetal: Fitotecnia 23 p.
- IICA consultado en:14/03/04 (en línea) Manual de conservación de suelos. Honduras. Disponible en:  
<http://www.iica.ac.cr/manuales/suelos>
- Intergubernamental Panel for Climate Change-IPCC. 1992. Cambio Climático, Evaluación de impactos del IPCC. Madrid, Gráficas Jumayar, 299 p.
- Indicadores de desarrollo consultado en: 25/2/04 (en línea) Indices generales por país, Honduras. Disponible en:  
<http://www.undp.org/hdr2001/español>
- JARAMILLO, V. J. 1994. Estudio preliminar del efecto de niveles elevados de dióxido de carbono atmosférico en algunos parámetros de crecimiento en *Lepidium sativum* L. Tesis de Licenciatura.UNAM. 69 p.
- JIMENEZ, M. Pronosticos de producción de granos básicos. Consultado en: 6/3/04 SAG, Servicios, Infoagro.Honduras. Disponible en:  
<http://www.sag.gob.hn/servicios/infoagro.html>
- JONES, P. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change* 13: 51-59.
- KARAS, J. 1997. Greenpeace, Climate Change. New York, United Press. 249 p.
- KIMBALL, B. A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agron. J.* 75: 779-788.
- LARQUÉ, F. 1999. Applications of crop simulation in agricultural extension and research in Kenya. *Agricultural Systems* 49: 399-412.
- LORENTE, J.; REDAÑO, A. 1992. Calentamiento global y ciclo hidrológico. *Mundo Científico* 12(126): 158-164.
- MANNION, A. 1995. Agriculture and environmental change. UK, Wiley. 271p.
- MASERA, O. 1991. México y el cambio climático global. *Ciencia y Desarrollo* 17(100): 52-67.

- MATA, J. 1998. Datos climatológicos registrados en las estaciones de la FHIA 1986-1998. Tegucigalpa, Multiprint. 104 p.
- MAUDER, J. 1990. El impacto humano sobre el clima. Mexico, Editores Arias Montano. 316 p.
- NAKICENOVIC, N *et al.* 1998. Summary for policymakers, Special report on emission scenarios. Special Report of Working group III. IPCC. 23 p.
- PARRY *et al.* 2001. On the assessment of heat flux and evaporation using large scale parameters. Mon. Weath. Rev. 100: 81-92.
- PEART, R. 1998. Agricultural systems modelling and simulation. NY, Marcel Dekker Inc. 287 p.
- ROGERS, H. H.; BINGHAM, G.; CURE, D.; SMITH, J. M., and SURANO, K. A. 1983. Responses of selected plants species to elevated carbon dioxide in the field. J. Environ. Qual. 12: 569-574.
- SADOURNY, R. 1992. El hombre ¿modifica el clima? Mundo Científico 12(126): 616-625.
- SÁNCHEZ, A. *et al.* 2000. Respuesta de plantas de maíz y frijol al enriquecimiento de dióxido de carbono. Agrociencia 34: 311-320.
- SMITH, J. B. 1997. Regional Climate Change Scenarios for vulnerability and adaptation assessments. Climate Change 36: 36-21.
- STITT, M. 1991. Rising CO<sub>2</sub> levels and their potential significance for carbon flow in photosynthetic cells. Plant Cell and Environ. 14: 741-762.
- VALLEJOS, M. 2003. Honduras frente al cambio climático. Tegucigalpa, Honduras Editoriales. 148 p.

## 8. ANEXOS

Se muestra en anexos alguna información utilizada en la elaboración de este estudio que se considera de mucha importancia y utilidad para futuros trabajos. Las tablas de clima fueron elaboradas por el autor, estas incluye todos los anexos desde el 1 hasta el 19. Para el clima de Zamorano se utilizó información histórica de la estación meteorológica de Zamorano. Para las demás tablas de clima se utilizó información proveniente de la FHIA.

Anexo 1. Precipitación mensual en milímetros para Zamorano 1973-2002.

<b>Precipitación mensual en milímetros para Zamorano 1973-2002</b>												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<b>Suma</b>	202	182,8	312,2	1089	3743	4057	3363	4153	5041,2	2875,2	1073,7	364,2
<b>Media</b>	6,74	6,09	10,41	36,31	124,7	135,2	112,0	138,44	168,04	95,84	35,79	12,14
<b>Des,Est</b>	6,64	6,35	21,76	49,81	86,12	86,87	53,90	91,45	63,29	68,72	46,45	11,58

Anexo 2. Temperatura máxima para Zamorano 1973-2002.

<b>Temperatura Máxima Zamorano 1973-2002</b>												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<b>Suma</b>	640	669,1	788,3	838	813,2	826	745,5	781,2	671,6	655,2	662,1	545,3
<b>Media</b>	21,33	22,30	26,28	27,93	27,11	27,53	24,85	26,04	22,39	21,84	22,07	18,18
<b>Des,Est</b>	0,78	1,15	1,12	1,09	0,95	0,86	0,64	1,40	0,78	0,64	0,85	0,94

Anexo 3. Temperatura mínima para Zamorano 1973-2002.

<b>Temperatura Mínima Zamorano 1973-2002</b>												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<b>Suma</b>	351	362,4	415,8	475	503,8	523,9	485,7	502,9	462,1	426,4	408,9	329,7
<b>Media</b>	11,71	12,08	13,86	15,82	16,79	17,46	16,19	16,76	15,40	14,21	13,63	10,99
<b>Des,Est</b>	1,49	2,07	1,59	1,50	0,97	1,63	1,44	1,05	1,09	1,16	1,28	1,00

Anexo 4. Precipitación media para media hora en Zamorano.

<b>Precipitación media para media hora</b>												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<b>Media</b>	1,8	3,4	8,0	14,9	23,9	18,5	14,7	19,2	18,7	15,9	15,1	4,8
<b>Maxima</b>	2,5	7,1	19,8	25,2	35,8	35,7	25,9	29,9	38,7	38,8	50,0	10,6

Anexo 5. Días de precipitación en Zamorano.

<b>Días de precipitación</b>											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
7	5	4	4	12	18	21	20	21	17	11	10

Anexo 6. Precipitación máxima diaria en Zamorano.

<b>Precipitación Máxima diaria</b>												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
<b>Media</b>	3,6	3,2	8,8	26,1	47,5	35,8	31,9	34,3	48,3	32,6	21,0	7,9
<b>Maxima</b>	19,2	14,4	69,6	121,0	102,7	81,2	87,7	82,3	89,0	64,0	108,4	29,0

Anexo 7. Precipitación mensual en milímetros en la estación Guaruma, La Lima.

## La Lima, Cortés

**Estación: Ubicación:** 15°25'36"N **Elevación:** 30msnm

Guaruma 1                      87°56'07'O

<b>Precipitación Mensual en milímetros</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
<b>Días Lluv/ Mes</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	
1987										78,5	189	147	414,3
1988	116,4	75,6	59,6	22	4,4	103,1	188	48,8			35,9	203	856,9
1989	100	35,9	9,6	0	46,7	101,6	41,3	86,2	209,4	136	126	101	993,7
1990	42,2	38,4	58	45,6	88,2	97,7	71,6	122	79,9	43,5	357,6	61	1105,3
1991	34	23,2	53,1	0	38,7	133,2	27,7	86,3	86,3	29,1	106,7	73,8	692,1
1992	32,2	13,3	17,7	51,7	14,9	131,1	145	117	89,7	49,4	41,7	177	880,5
1993	24	56,6	108,3	61	107,2	301,4	91,5	146	293,3	114	141,3	73	1517,8
1994	43,2	27,9	44,6	14,2	61	62,1	25,9	116	306,3	66,4	95,9	62,6	926,3
1995	49,7	52,4	72,9	74,4	12,3	159	198	200	194,3	160	134	96,2	1403,2
1996	66,2	33,5	24,7	90,4	104,1	105,1	75,5	87,2	27,6	276	433,5	36,6	1360,5
1997	90,5	62,1	2,1	9,5	46,7	191,5	120	152	97,4	131	146,9	6,6	1055
1998	46,6	2,3	52,1	17,4	129,4	94,2	99,4	83,2	111,8				636,4
<b>Media</b>	58,6	38,3	45,7	35,1	59,4	134,5	98,5	113	149,6	108	164,4	94,3	986,8
<b>Maxima</b>	116,4	75,6	108,3	90,4	129,4	301,4	198	200	306,3	276	433,5	203	1517,8
<b>Minima</b>	24	2,3	2,1	0	4,4	62,1	25,9	48,8	27,6	291	35,9	6,6	414,3
<b>Desv,Est</b>	30,59	21,86	30,87	31,1	42,41	65,48	59,4	41,7	95,61	73,6	123,8	59,5	327,9359

Anexo 8. Temperatura media mensual, estación Guaruma , La Lima.

<b>Temperatura Media Mensual</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Media</b>
1987						28	25,7	26	26,8	23,7	23,2	23,2	25,2
1988	22,3	23,4	24,2	26,5	26,7	27	25,3	25,6	25,2	22,9	24	20,6	24,5
1989	20,6	20,5	22	24,2	25,1	24,8	24,4	24,4	23,6	22,8	23,5	19,7	23
1990	20,7										24,1	24,2	23
1991	25,1	25,2	26,8	27,4	28	28,4	27,8	28,2	27,1	26,4	24	24,4	26,6
1992	24,9	25,7	27,6	27,9	25,3	24,2	23,3	23,5	23,5	22,5	22	23	24,5
1993	25,4	26,4	26,8	26,8	24,6	24,2	27	25,8	26,2	27,2	25,3	24,1	25,8
1994	24,7	24,7	25,5	27,1	27,9	27,7	27	27,3	26,8	27,3	24,8	24,2	26,3
1995	25,4	24,1	27,2	27,8	28,6	28,4	27,4	26,7	26,6	27	25,6	25,2	26,7
1996	24,1	25,9	26,9	29,9	29,8	30,2	29,8	29,3	30,5	28,8	27,5	25,4	28,2

1997	22,5	23,4	25,9	27,4	27,5	25,5	26,3	29,1	26,2	24,9	24,6	23,4	25,6
1998	24,1	25,6	25	26,5	27,5	29,1	26,7	27,5	28,2	26,9			26,7
<b>Media</b>	23,6	24,5	25,8	27,2	27,1	27	26,4	26,7	26,4	25,5	24,4	23,4	25
<b>Maxima</b>	25,4	26,4	27,6	29,9	29,8	29,1	29,8	29,3	30,5	28,8	27,5	25,4	28,2
<b>Minima</b>	20,6	20,5	22	24,2	24,6	24,2	23,3	23,5	23,5	22,5	22	19,7	23

Anexo 9. Precipitación mensual en milímetros, estación Tela RR.

<b>Ubicación:</b> 15°25'31"N		<b>Elevación:</b>											
G1 Tela RR		87°36'35'O 32msnm											
<b>Precipitación Mensual,mm</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1986						85,5	160	95,6	130,5	137	47,6	81,5	737,1
1987	38,3	4,1	66,9	2,8	0	52,8	199	112	56,4	62	187,4	207	988,3
1988	130,7	317,4	4,3	21,2	3,9	151	162	184	152,4	332	44,7	256	1802,8
1989	100,5	63	11,5	2,3	50,3	80,2	50,3	112	154,8	54,8	114,2	38,7	833,4
1990	39,6	39,7	55,8	33,6	79,2	59,7		101	70,1	54,9	371,4	48,5	953,4
1991	33,6	15,6	54,1	1,8	37,9	24,7	37	95,3	69,2	46,8	116,8	52,9	809,7
1992	35,9	16,9	16,7	39,7	39,1	121,1	117	109	83,6	90,3	37,2	138	844,8
1993	15,4	40	47,1	32,1	94,8	262,8	93,3	144	456,3	137	153,8	56,4	1532,8
1994	69,1	20,8	42,2	14	85,9	68,6	29,8	129	290,6	62	103,2	6,1	980,9
1995	51,1	50,9	73,1	80,6	10,2	156,6	222	219	193,3	180	151,8	93	1481
1996	67,8	35,8	25	92,3	115,2	134,1	90,2	80,9	30,2	254	342,7	56,5	1324,4
1997	80,2	44,2	0,2	10,5									135,1
<b>Media</b>	60,2	58,8	40,1	30,1	51,7	129,2	116	126	153,4	128	151,9	99,4	1035,3
<b>Maxima</b>	130,7	317,4	73,1	92,3	115,2	262,8	222	219	456,3	332	371,4	256	1802,8
<b>Minima</b>	15,4	4,1	0,2	1,8	0	52,8	29,8	80,9	30,2	46,8	37,2	3,7	135,1

Anexo 10. Temperatura media mensual en estación Tela RR.

<b>Temperatura Media Mensual</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1986						84,7	82,9	85	85,4	80,7	80	78,5	82,5
1987	74,5	78,8	81,8	79	84,1	88,4	84,6	83	84,9	79,5	79,3	78,8	81,4
1988	76	77,2	79,4	83	83,7	85,9	83,9	84,6	83,9	78,8	80,4	74,7	81
1989	77,1	77	79,9	83,3	85,6	85,5	85,6	84,2	83,4	80,4	81,5	76,8	81,7
1990	77,1	79,4	80,1	84,6	87,2	85,5	84,7	84,9	84,9	84,6	80,3	80,6	82,8
1991	81,2	79,6	84,4	87,5	88,1	87	85,6	85,1	85,5	84,1	80,4	79,7	84
1992	79,8	80,2	83,1	85,2	83,8	86,9	84,2	85,5	86,2	84,3	82,7	80	83,5
1993	80,3	80,4	81,5	85,2	85,5	86,1	84,2	83,4	85	84,5	79,7	78,8	82,9

1994	78,8	80,7	83,3	86,1	87	86,2	85,8	86,1	84,8	85,3	80,8	78,1	83,6
1995	79,2	78,3	81,7	85,3	89,2	87,3	84,8	86,8	86	84,9	81,2	80,4	83,8
1996	76,4	78,6	80	85,4	86,1	87,1	85,8	85	87	83,9	78,7	79,3	82,8
1997	78,7	80,7	83,2	86,9									82,4
<b>Media</b>	78,1	79,2	81,7	84,7	86	86,4	84,7	84,9	85,2	82,8	80,5	78,7	82,7
<b>Maxima</b>	81,2	80,7	84,4	87,5	89,2	88,4	85,8	86,8	87	85,3	82,7	80,6	84
<b>Minima</b>	74,5	77	79,4	79	83,7	84,7	82,9	83	83,4	78,8	78,7	74,7	81

Anexo 11. Precipitación mensual en milímetros para el Valle de Sula.

<b>Valle de Sula</b>													
<b>Estación</b>	<b>Ubicación:</b>	15°44" 11'N		<b>Elevación:</b>									
Calán		87°49" 15'O		10msnm									
<b>Prec,Mens,mm</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1986						137	132	225,4	143,6	489,2	178,1	157,5	1462,8
1987	244,3	58,6	145,5	47,4	64,2	21,4	147	240	179,7	186,3	532,8	313,8	2180,9
1988	362,4	172,2	60,4	50,6	10,5	81,5	169,9	167,1	132,9	739,8	102,4	423,4	2473,1
1989	277,4	164,5	39,7	41,8	26,2	52,6	147,5	158,4	116,2	188,1	491,8	314,3	2018,5
1990	115,1	146,2	201,1	86,6	81,7	134	203,8	258,3	247,9	184,5	726,7	195,5	2581,3
1991	126,7	49,4	67,2	10,5	42,7	62,2	122	1463,3	217,9	226,3	633,8	209,2	1931,2
1992	147,8	53,8	92	233,8	119,4	49	156	102,4	183,8	226,4	233	279	1876,4
1993	59	81,4	370,6	32,6	103,6	79,8	118,8	314,4	405,8	490,9	373,9	232,3	2663,1
1994	85,2	71,2	80,6	27,7	31,3	31,5	112,3	211,6	404	44,5	279,5	95,3	1474,7
1995	92,6	168,2	34,9	15,6	23,9	170	188,9	174,4	206,1	237,1	274,9	254,5	1841,1
1996	146,8	115,9	171,7	118	80,7	161	133,1	201,6	24,3	529,2	930,4	94,2	2707,2
1997	191,6	206,1	29,6	9,6	23,4	143	279,9	271,4	251,2	89,7	268,2	93,2	1856,8
1998	101,3	29,1	148,4	40,6	12,4	42,1	191,2	123,4	12,2				812,7
<b>Media</b>	162,5	109,7	120,1	59,6	61	89,6	161,7	200,9	194,3	302,7	418,8	221,9	1990,8
<b>Maxima</b>	362,4	206,1	370,6	233,8	124,4	170	279,9	314,4	405,8	739,8	930,4	423,4	2707,2
<b>Minima</b>	59	29,1	29,6	9,6	10,5	21,4	112,3	102,4	12,2	89,7	102,4	93,2	612,7

Anexo 12. Temperatura media mensual para el Valle de Sula.

<b>Temperatura Media Mensual</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1986						27,7	27,7	28,2	28,1	27,1	27,1	25,9	27,4
1987	23,9	25,2	27,5	26,5	28,5	30,1	27,9	28,4	29,1	26	25,1	25,4	27
1988	24	24,9	25,9	27,9	27,2	27,7	27	27,2	27,3	25,1	24,3	21,4	25,8
1989	22,2	21,8	22,6	24,7	25,9	26	25,6	25,4	25	23,2	23,3	20,6	23,9

1990	23,7	25,6	26	26,2	27,6	26,9	25,9	25,1	24,5	25,1	23,3	23,8	25,3
1991	24,1	25,1	27	28,2	29	28,9	27,9	27,7	26,9	26,2	24,8	23,6	26,6
1992	24,8	25,2	25,5	25,9	24,7	29,3				27	26,7	24,5	26
1993	24,2	23,6	23,4	25,7	26	27,2	27,2	26,3	26,5	26,3	24,8	25,7	25,6
1994	26,1	26	26,3	26	26,3	25,9	26,3	25,9	25,7	26,6	25,2	25,2	26
1995	26,7	25,4	27,3	26,5	27,9	25,3	26	26,4	26,3	25,8	26,1	25,8	26,3
1996	27	26,7	27,3	26,7	26,1	25,9	26,3	26,8	27	25,8	24,3	25,9	26,3
1997	25,1	26,8	26,2	28	27,2	26,4	25,9	26,1	26,2	25,7	26	25,4	26,3
1998	25,7	25,3	26,6	27	27	27,1	26,8	26,8	27,6	27,9	25,6		26,7
<b>Media</b>	24,8	25,1	26	26,6	27,3	26,7	26,7	26,8	26,7	25,8	25,1	24,4	26,1
<b>Maxima</b>	27	26,8	28,2	28,2	30,1	27,9	27,9	28,4	29,1	27,1	27,2	25,9	27,4
<b>Minima</b>	22,2	21,8	24,7	24,7	25,3	25,6	25,6	25,1	2,5	23,2	23,3	20,6	23,9

### Anexo 13. Precipitación mensual en milímetros para estación T.Torres

<b>Estación</b>	<b>Ubicación:</b>	15°40"21'N	<b>Elevación:</b>										
:													
T, Tores		87°49"52'O	10msnm										
<b>Precipitación Mensual</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1988		95,4	101,9	52,9	7,8	86,3	97,3	171,1	104,9	606,6	43,4	362	1729,6
1989	207,4	95,3	23,6	27,9	47,2	92,5	124,3	139,2	124,6	166,9	431,2	284,4	1764,5
1990	106,8	94	194,6	89,8	36,5	86,8	158,1	227,8	196,6	169,2	667,3	216,8	2244,3
1991	131,8	99,4	71	4	58	64,3	103,6	163,1	118,8	225,5	544,4	176,9	1760,8
1992	106	36,8	44	139,2	117	63	147,2	75	136,4	159	191,8	229	1444,4
1993	49,2	65	208,4	28	56,4	59,4	114,2	121,6	464,4	482,3	256,8	149,5	2055,2
1994	123,6	34,4	59,8	37,2	52	83,4	74,4	163	361,6	52	214	111,2	1366,6
1995	90,4	130	42	9	4	91,4	176	194	222,4	179	258	126	1522,2
1996	138	65	134	87	162	81	162	221,6	16	468,6	776	53	2364,2
1997	139	79	34	0	11	80	262	116,3					721,4
<b>Media</b>	121,4	79,4	91,3	47,5	55,2	78,8	141,9	159,3	194	278,8	375,9	189,9	1697,3
<b>Maxima</b>	207,4	130	208,4	139,2	162	92,5	262	227,8	464,4	606,6	776	362	2364,2
<b>Minima</b>	49,2	34,4	23,6	0	4	59,4	74,4	75	16	52	43,4	53	721,4

### Anexo 14. Precipitación mensual en milímetros para Comayagua

<b>Comaya</b>	<b>Ubicación:</b>	14°24"18'	<b>Elevación</b>										
<b>gua</b>		N	:										
Las		87°39"40'	579msnm										
Liconas		O											
<b>Precipitación Mensual</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1986										4	96,4	3,6	104
1987	9	1	3,6	12,9	67,9	206	109	86,1	161	12,2	30,8	11,4	710
1988	11,4	5,8	3,2	33,4	48,6	289	288	199	310	93		26,7	1308,1
1989	26,6	0	0	0	59,1	100	80	221	182	8	39,2	24	740,1
1990	2,2	0	12	99,8	208	101	55	55,4	78,9	45,7	65,5	0,6	723,5
1991	17,4	0	1	0	86,2	63,5	28	25,9	66,4	74	11	9,4	382,4

1992	0	0,8	0	13,8	13,2	94,6	65			12,8	35,4	38,8	274,8
1993	4,2	0,6	19	25,4	80,8	47,4	17	56,4	111	77,6	4,2	6,8	450,6
1994	0	0	1,6	2	96,2	49,6	29	74,6	169	157	20,7	13,2	613,8
1995	4,2	0	0	26	19,3	56,4							105,9
<b>Media</b>	8,3	0,9	4,5	23,7	75,4	112	84	103	154	53,9	37,9	135	541,3
<b>Maxima</b>	26,6	5,8	19	99,8	208	189	288	221	310		96,4	38,8	1308,1
<b>Minima</b>	0	0	0	0	13,2	47,4	17	25,9	66,4	157	4,2	0,6	104

Anexo 15. Temperatura media mensual para Comayagua.

<b>Temperatura Mensual</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1986										23,7	23,9	23	23,5
1987	21,4	23,6	26	25,5	26,3	25,9	25	24,8	25,1	23,2	22,7	22,6	24,4
1988	22,1	22,7	24	26,7	26,8	24,5	24	23,5	23,2	22,4	22,9	20,7	23,6
1989	21,4	21,4	23	24,7	24,8	24,3	24	24,4	23,9	23,1	23,5	20,2	23,2
1990	22,2	24,1	26	27,1	27	26,5	27	26,5	26,1	26	21,3	21,7	25,1
1991	23,5	24,2	26	28,2	26,9	26,3	26	26,6	24,6	25,1	23,7	24,1	25,5
1992	24,3	25,6		28,1	27,8	26,9	26			24,1	23,7	22,4	25,4
1993	22,5	24,1	23	25,2	24,6	22,9	24	23,8	23,7	25	23,8	24,1	23,9
1994	24,4	27	29	28,3	27,4	26,8	26	25,7	24,5	24,7	22,7	21,3	25,7
1995	21,9	22,7	25	26,2	25,6	24							24,2
<b>Media</b>	22,6	23,9	25	26,7	26,4	25,3	25	25	24,4	24,2	23,1	22,2	20,8
<b>Maxima</b>	24,4	27	29	28,3	27,8	26,9	27	26,6	26,1	26	23,9	24,1	25,7
<b>Minima</b>	21,4	21,4	23	24,7	24,6	22,9	24	23,5	23,2	22,4	21,3	20,2	23,2

Anexo 16. Precipitación mensual en milímetros y temperatura mensual para estación Guancaste.

<b>Estación: Ubicación: 14°26'40' Elevación</b>													
				N		:							
Guancaste				87°48'26'		560msnm							
				O									
<b>Precipitación Mensual</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1995							106	391	245	45,3	26,9	21,4	835,8
1996	1	4,4	1	99,1	127	47,5	117	189	69,7	118	17,3	8,2	799,2
1997	19,8	28,7	40	40,9	5,8	250	124	37,2	234	76,8	67,4	2,5	927,6
1998	6,6	0	4,6	17,8	77,8	81,8	91	175	76,8	371	44,5	11,7	957,7
<b>Media</b>	9,1	11	15	52,6	70,3	126	109	198	157	153	39	11	880,1
<b>Maxima</b>	19,8	28,7	40	99,1	127	250	124	391	245	371	15601	43,8	957,7
<b>Minima</b>	1	0	1	17,8	5,8	47,5	91	175	69,7	45,3	17,3	2,5	799,2
<b>Temperatura Mensual</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Media</b>
1995							23	23,2		22	20,8	20,4	21,9
1996	18,8	19,9	22	24,6	23,3	24,3	22	22	22,9	22,6	20,4	21,9	22
1997	20,9	21,3		24,1	24,3	21,8	22	22,9	22	21,2	21,6	22,8	22,3

1998	21,3	22,7	23	25,7	23,8	20,9	21	19,8	24,8	21,1	20,6	19,8	22
<b>Media</b>	20,3	21,3	22	24,8	23,8	22,3	22	22	23,2	21,7	20,9	21,2	22,1
<b>Maxima</b>	21,3	22,7	23	25,7	24,3	24,3	23	23,2	24,8	22,6	21,6	22,8	22,3
<b>Minima</b>	18,8	19,9	22	24,1	23,3	20,9	21	19,8	22	21,1	20,4	19,8	21,9

Anexo 17. Precipitación media mensual en milímetros para La Esperanza.

<b>La Esperanza, Intibucá</b>													
<b>Estación: Ubicación:</b> 14°18" Elevación:													
45'N													
La Esperanza 88°8"1 1680 msnm													
7'O													
<b>Precipitación Mensual</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1986	0	3	0	2	23,5	8,5	21	26,5	145	88,5	38	3,5	359,5
1987	31,5	0	8	24	97,5	493,8	188	120,5	142	15,5	15,5	27,5	1163,3
1988	3	8	0	43,5	65	502	245	23	215	8,5	8,5	59,5	1345,5
1989	6	4,5	1,5	212	175,5	393,5	110	401	343	54	54	12	1838,5
1990	0,5	9	8	48	179,5	288	184	13	296	114,9	114,9	6,5	1222,4
1991	1	14,5		18,5	162	248,5	50	243,5	139	78,5	78,5	23	1209,5
1992	4	2	0	120,5	70,5	373,5	245,5	125,5		44,5	44,5	4,9	1127,5
1993	0	0	8	88	131,9	223	32,9	216,5	242	7,3	7,3	3,2	1077,9
1994	8	3	13,6	24,5	209,2	224,3	68,2	242,1	195	25,6	25,6	10,3	1279,1
1995	404	8,6	23,8	217,8	213,8	192,9	171,7	428,2	467	12,5	12,5	47,3	1950,6
1996	20,3	4	16,4	88,8	190,9	198,2	131,4	252,7	338	83,7	83,7	1,8	1450,3
1997	4	10,2	22	18	42,4	342,8	50	139,1	327	47,3	47,3	10,1	1135,4
1998	5,6	2,6	44,1	84,2	253,5	225,6	185,1	156,5	178	65,9	65,9	19,8	1705,8
<b>Media</b>	6,8	5,3	12,1	76,1	139,6	285,7	129,4	183,7	252	45,9	45,9	17,6	1297,3
<b>Maxima</b>	31,5	14,5	44,1	217,8	253,5	502	245,5	428,2	467	114,9	114,9	59,5	1950,6
<b>Minima</b>	0	0	0	2	23,5	8,5	21	13	139	7,3	7,3	1,8	359,5

Anexo 18. Temperatura media mensual para La Esperanza.

<b>Temperatura Mensual</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1986	14,3	15,2	14,7	16,9	18	18	17,4	17,7	17,8	17,2	16,7	15,2	16,6
1987	13,6	14,7	17,4	17,2	18,1	18,7	17,9	18,4	18,3	15,7	15,9	16,5	16,9
1988	15,3	16	16,7	18,2	19	18,2	18,1	17,9	17	16,2	14,3	13,1	16,7
1989	13,7	13,1	13,3	15,9	16	16,4	16,3	16,3	16,6	15,3	15,7	12,9	15,1
1990	14,2	13,7	15,5	17,2	17,3	17,1	16,8	16,8	16,9	15	14,6	13,9	15,8
1991	14	14,3	15,3	17,7	17,7	17,4	17,9	17,9	17,5	17	15,9	14,6	16,4
1992	15,1	16,3	16,6	18,3	18,1	19,4	18,2	17,8	17,8	17,3	16	15,2	17,2

1993	14,7	15,7	16,1	18,6	18,4	20,5	17,8	17,1	16,8	16,4	15,3	14,4	16,8
1994	13,9	14,1	14,4	16,9	17,6	16,9	16,7	15,3	13,4	14,7	14,3	12,9	15,1
1995	12,9	14,9	15,1	17,7	17,9	17,8	18,1	17,8	17,8	17,1	15,7	14,9	16,5
1996	13,2	13,9	14,8	17,3	17	17,3	16,6	17	17,1	16,6	15,1	14,6	15,9
1997	14,3	14,2	15,4	16,3	17,6	16,9	17,5	17,3	16	15,1	14,1	13,3	15,7
1998	15,4	14,8	16	17,9	17,4	17,9	16,9	17,4	16	16,2	16,5	14,9	16,4
<b>Media</b>	14,2	14,7	15,5	17,4	17,7	17,9	17,4	17,3	16,8	16,1	15,4	14,3	16,2
<b>Maxima</b>	15,4	16,3	16,3	17,9	19	20,5	18,2	17,9	18,3	17,3	16,7	16,5	17,2
<b>Minima</b>	12,9	13,1	13,1	13,3	16	16,4	16,3	15,3	13,4	14,7	14,1	12,9	15,1

Anexo 19. Precipitación media mensual para la estación Santa Elena, Yoro.

<b>Yoro, Progreso</b>													
<b>Estación Ubicación:</b>		<b>Elevación:</b>											
:		"15'N											
Sta,Elena		87°43 14msnm											
		"53'O											
<b>Prec, Men</b>													
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
1988											99,4	520	619
1989	75,8	27	2,8	2,3	15,1	91,4	69	151	210	259	198	376	1476,4
1990	74,8	157	154	28	45,7	133	134	205	182	105	648	228	2094,9
1991	61,9	30,9	68,8	5,2	3,7	123	68	138	117	225	418	149	1407,4
1992	97,4	75,8	19,6	84,8	68,5	129	204	152	139	124	143	272	1510,4
1993	61,6	112	131	12,6	53,2	462	131	180	410	442	248	158	2102,3
1994	181	63	134	41,6	72	54	62,2	125	236	18,6	414	171	1572,8
1995	101	62,2	38	15,6	11,8	135	143	195	262	138	175	281	1556,7
1996	120	207	126	142,2	178	147	172	152	126	256	880	39,8	2545,5
1997	243	232	1,8	14,4	18,8	184	235	230	113	87,4	210	69,4	1638,2
1998	108	12,4	117	154,6	192	92,4	141	152	101	1003	142	230	2444,9
<b>Media</b>	112	97,9	79,3	50,1	65,9	125	136	168	190	266	325	227	1724,4
<b>Maxima</b>	243	232	154	154,6	192	184	235	230	410	1003	880	520	2545,5
<b>Minima</b>	61,6	27	1,8	2,3	3,7	54	62,2	125	101	18,6	99,4	39,8	619

## 8.1 DESCRIPCIÓN POR FAMILIA DE ESCENARIO

Esta breve descripción sobre las familias de escenarios es la utilizada por el IPCC en sus reportes sobre escenarios y emisiones. Esta caracterización corresponde a la última versión de este documento.

### 8.1.1 Familia A1

La línea evolutiva A1 y la familia de escenarios representa un mundo futuro con un crecimiento económico muy rápido, una población mundial que alcanza su pico de

crecimiento a mediados del siglo y decrece después, una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes, Las regiones mundiales convergen en los temas de mayor interés, incremento entre las interacciones culturales y sociales con una reducción sustancial de las diferencias regionales en el ingreso per cápita, La familia de escenario A1 se desarrolla en tres grupos que describen direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía, Los tres grupos A1 se distinguen por su énfasis tecnológico : uso intensivo de combustibles fósiles (A1F1), fuentes de energía no fósiles (A1T) y un balance entre todas las fuentes de energía (A1B), Este balance está definido cuando no se depende fuertemente en una fuente de energía en particular,

### **8.1.2 Familia A2**

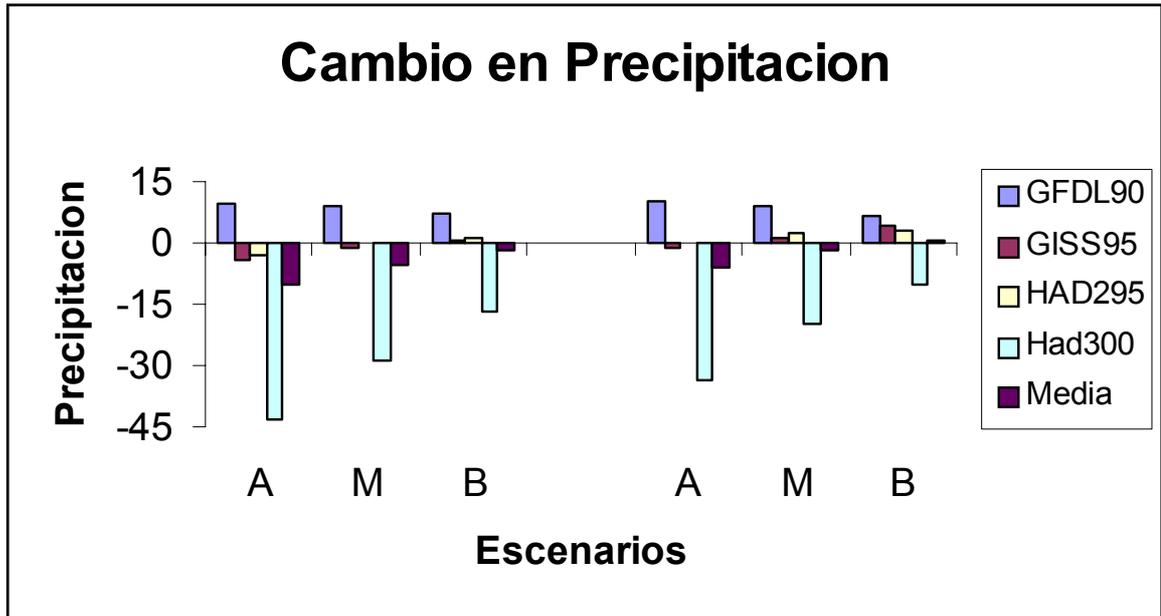
La línea evolutiva A2 y la familia de escenarios representa un mundo heterogéneo, El tema principal es la auto dependencia y la preservación de la identidad local, Los patrones de fertilidad entre regiones convergen lentamente, esto da como resultado un crecimiento poblacional en incremento continuo, El desarrollo económico esta basado principalmente en el desarrollo regional y el crecimiento económico per capita así como el cambio tecnológico están más fragmentados y lentos que en las otras familias,

### **8.1.3 Familia B1**

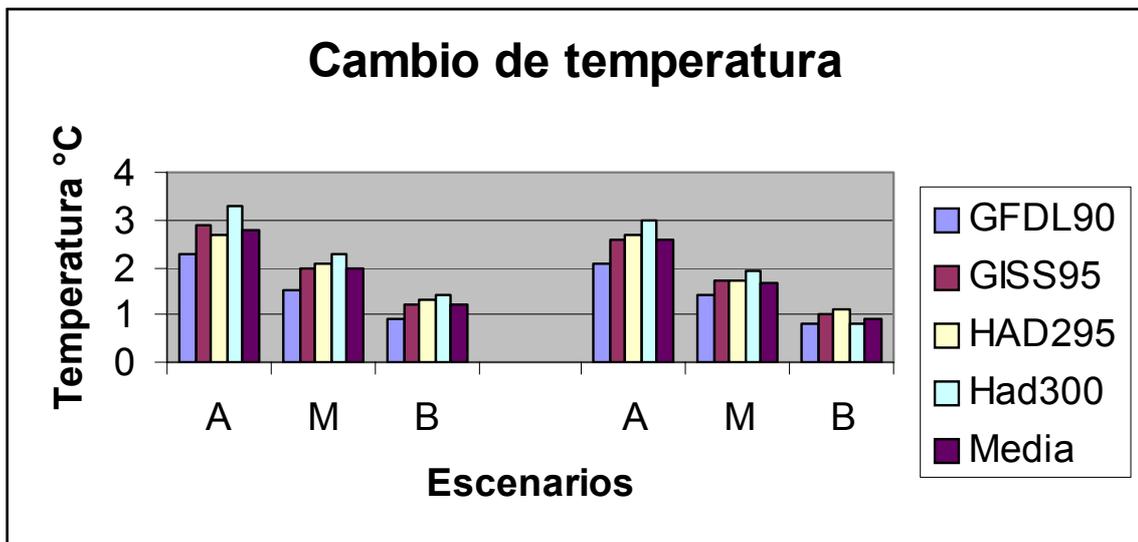
La línea evolutiva B1 y la familia de escenarios representan un mundo convergente con una población mundial que alcanza su pico de crecimiento a mediados de siglo y decrece después al igual que en la A1, pero con cambios rápidos en la estructura económica hacia una economía de servicios e información, con una reducción en la intensidad de material y la introducción de tecnologías limpias y eficientes, El énfasis se da en soluciones globales a la sostenibilidad social, económica y ambiental incluyendo un incremento en la equidad, pero sin iniciativas adicionales con respecto al clima,

### **8.1.4 Familia B2**

La línea evolutiva B2 y la familia de escenarios representa un mundo en el cual el énfasis se da en las soluciones locales a la sostenibilidad social, económica y ambiental, Es un mundo con un crecimiento poblacional continuo a una tasa menor que la de la familia A2, niveles intermedios de desarrollo económico y un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que el de la familia B1 y A1, Aunque esta familia de escenarios también está orientada hacia la protección ambiental y la equidad social, se enfoca a nivel regional y local,



Anexo 20. Cambio en precipitación según el modelo global de clima y los niveles de cada escenario. A: alto, M: medio, B: bajo.



Anexo 21. Cambio en temperatura según cada modelo global de clima y los niveles de cada escenario. A: alto, M: medio, B: bajo.

Anexo 22. Fenología del ideotipo de maíz y frijol.

Clasificación	Maíz Planta de grano pequeño, Fotosíntesis C4	Frijol Leguminosa de semilla cerrada, C3
Temperatura media óptima	25°C	25°C

Máxima ingesta de agua diaria	14 mm	9 mm
Máxima profundidad de raíz	80 cm	70 cm
LAI inicial	0,011 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0,105 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Area foliar específica	22 m <sup>2</sup> /kg	26 m <sup>2</sup> /kg
Duración de la hoja	600 grados/día	600 grados/día
Emergencia	117 grados/día	126 grados/día
Floración	898 grados/día	553 grados/día
Madurez Fisiológica	1669 grados/día	1033 grados/día
Temperatura base	10°C	10°C
Índice de cosecha	0,43 (0-1)	0,5 (0-1)
Constante de descomposición	60 días	30 días

### Anexo 23. Calendario Juliano

01/01/2003	1	08/03/2003	67	13/05/2003	133	18/07/2003	199	22/09/2003	265	27/11/2003	331
02/01/2003	2	09/03/2003	68	14/05/2003	134	19/07/2003	200	23/09/2003	266	28/11/2003	332
03/01/2003	3	10/03/2003	69	15/05/2003	135	20/07/2003	201	24/09/2003	267	29/11/2003	333
04/01/2003	4	11/03/2003	70	16/05/2003	136	21/07/2003	202	25/09/2003	268	30/11/2003	334
05/01/2003	5	12/03/2003	71	17/05/2003	137	22/07/2003	203	26/09/2003	269	01/12/2003	335
06/01/2003	6	13/03/2003	72	18/05/2003	138	23/07/2003	204	27/09/2003	270	02/12/2003	336
07/01/2003	7	14/03/2003	73	19/05/2003	139	24/07/2003	205	28/09/2003	271	03/12/2003	337
08/01/2003	8	15/03/2003	74	20/05/2003	140	25/07/2003	206	29/09/2003	272	04/12/2003	338
09/01/2003	9	16/03/2003	75	21/05/2003	141	26/07/2003	207	30/09/2003	273	05/12/2003	339
10/01/2003	10	17/03/2003	76	22/05/2003	142	27/07/2003	208	01/10/2003	274	06/12/2003	340
11/01/2003	11	18/03/2003	77	23/05/2003	143	28/07/2003	209	02/10/2003	275	07/12/2003	341
12/01/2003	12	19/03/2003	78	24/05/2003	144	29/07/2003	210	03/10/2003	276	08/12/2003	342
13/01/2003	13	20/03/2003	79	25/05/2003	145	30/07/2003	211	04/10/2003	277	09/12/2003	343
14/01/2003	14	21/03/2003	80	26/05/2003	146	31/07/2003	212	05/10/2003	278	10/12/2003	344
15/01/2003	15	22/03/2003	81	27/05/2003	147	01/08/2003	213	06/10/2003	279	11/12/2003	345
16/01/2003	16	23/03/2003	82	28/05/2003	148	02/08/2003	214	07/10/2003	280	12/12/2003	346
17/01/2003	17	24/03/2003	83	29/05/2003	149	03/08/2003	215	08/10/2003	281	13/12/2003	347
18/01/2003	18	25/03/2003	84	30/05/2003	150	04/08/2003	216	09/10/2003	282	14/12/2003	348
19/01/2003	19	26/03/2003	85	31/05/2003	151	05/08/2003	217	10/10/2003	283	15/12/2003	349
20/01/2003	20	27/03/2003	86	01/06/2003	152	06/08/2003	218	11/10/2003	284	16/12/2003	350
21/01/2003	21	28/03/2003	87	02/06/2003	153	07/08/2003	219	12/10/2003	285	17/12/2003	351
22/01/2003	22	29/03/2003	88	03/06/2003	154	08/08/2003	220	13/10/2003	286	18/12/2003	352
23/01/2003	23	30/03/2003	89	04/06/2003	155	09/08/2003	221	14/10/2003	287	19/12/2003	353
24/01/2003	24	31/03/2003	90	05/06/2003	156	10/08/2003	222	15/10/2003	288	20/12/2003	354
25/01/2003	25	01/04/2003	91	06/06/2003	157	11/08/2003	223	16/10/2003	289	21/12/2003	355
26/01/2003	26	02/04/2003	92	07/06/2003	158	12/08/2003	224	17/10/2003	290	22/12/2003	356

27/01/2003	27	03/04/2003	93	08/06/2003	159	13/08/2003	225	18/10/2003	291	23/12/2003	357
28/01/2003	28	04/04/2003	94	09/06/2003	160	14/08/2003	226	19/10/2003	292	24/12/2003	358
29/01/2003	29	05/04/2003	95	10/06/2003	161	15/08/2003	227	20/10/2003	293	25/12/2003	359
30/01/2003	30	06/04/2003	96	11/06/2003	162	16/08/2003	228	21/10/2003	294	26/12/2003	360
31/01/2003	31	07/04/2003	97	12/06/2003	163	17/08/2003	229	22/10/2003	295	27/12/2003	361
01/02/2003	32	08/04/2003	98	13/06/2003	164	18/08/2003	230	23/10/2003	296	28/12/2003	362
02/02/2003	33	09/04/2003	99	14/06/2003	165	19/08/2003	231	24/10/2003	297	29/12/2003	363
03/02/2003	34	10/04/2003	100	15/06/2003	166	20/08/2003	232	25/10/2003	298	30/12/2003	364
04/02/2003	35	11/04/2003	101	16/06/2003	167	21/08/2003	233	26/10/2003	299	31/12/2003	365
05/02/2003	36	12/04/2003	102	17/06/2003	168	22/08/2003	234	27/10/2003	300		
06/02/2003	37	13/04/2003	103	18/06/2003	169	23/08/2003	235	28/10/2003	301		
07/02/2003	38	14/04/2003	104	19/06/2003	170	24/08/2003	236	29/10/2003	302		
08/02/2003	39	15/04/2003	105	20/06/2003	171	25/08/2003	237	30/10/2003	303		
09/02/2003	40	16/04/2003	106	21/06/2003	172	26/08/2003	238	31/10/2003	304		
10/02/2003	41	17/04/2003	107	22/06/2003	173	27/08/2003	239	01/11/2003	305		
11/02/2003	42	18/04/2003	108	23/06/2003	174	28/08/2003	240	02/11/2003	306		
12/02/2003	43	19/04/2003	109	24/06/2003	175	29/08/2003	241	03/11/2003	307		
13/02/2003	44	20/04/2003	110	25/06/2003	176	30/08/2003	242	04/11/2003	308		
14/02/2003	45	21/04/2003	111	26/06/2003	177	31/08/2003	243	05/11/2003	309		
15/02/2003	46	22/04/2003	112	27/06/2003	178	01/09/2003	244	06/11/2003	310		
16/02/2003	47	23/04/2003	113	28/06/2003	179	02/09/2003	245	07/11/2003	311		
17/02/2003	48	24/04/2003	114	29/06/2003	180	03/09/2003	246	08/11/2003	312		
18/02/2003	49	25/04/2003	115	30/06/2003	181	04/09/2003	247	09/11/2003	313		
19/02/2003	50	26/04/2003	116	01/07/2003	182	05/09/2003	248	10/11/2003	314		
20/02/2003	51	27/04/2003	117	02/07/2003	183	06/09/2003	249	11/11/2003	315		
21/02/2003	52	28/04/2003	118	03/07/2003	184	07/09/2003	250	12/11/2003	316		
22/02/2003	53	29/04/2003	119	04/07/2003	185	08/09/2003	251	13/11/2003	317		
23/02/2003	54	30/04/2003	120	05/07/2003	186	09/09/2003	252	14/11/2003	318		
24/02/2003	55	01/05/2003	121	06/07/2003	187	10/09/2003	253	15/11/2003	319		
25/02/2003	56	02/05/2003	122	07/07/2003	188	11/09/2003	254	16/11/2003	320		
26/02/2003	57	03/05/2003	123	08/07/2003	189	12/09/2003	255	17/11/2003	321		
27/02/2003	58	04/05/2003	124	09/07/2003	190	13/09/2003	256	18/11/2003	322		
28/02/2003	59	05/05/2003	125	10/07/2003	191	14/09/2003	257	19/11/2003	323		
01/03/2003	60	06/05/2003	126	11/07/2003	192	15/09/2003	258	20/11/2003	324		
02/03/2003	61	07/05/2003	127	12/07/2003	193	16/09/2003	259	21/11/2003	325		
03/03/2003	62	08/05/2003	128	13/07/2003	194	17/09/2003	260	22/11/2003	326		
04/03/2003	63	09/05/2003	129	14/07/2003	195	18/09/2003	261	23/11/2003	327		
05/03/2003	64	10/05/2003	130	15/07/2003	196	19/09/2003	262	24/11/2003	328		
06/03/2003	65	11/05/2003	131	16/07/2003	197	20/09/2003	263	25/11/2003	329		
07/03/2003	66	12/05/2003	132	17/07/2003	198	21/09/2003	264	26/11/2003	330		

