

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (U.N.A.)

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE (FARENA)



TRABAJO DE DIPLOMA

**EVALUACION DEL POSIBLE CAMBIO CLIMATICO
SOBRE EL RENDIMIENTO POTENCIAL DEL CULTIVO
DEL MAIZ (Zea mays L.) EN LA REGION CENTRAL DE
NICARAGUA**

Autor : Br. Carlos Iván Rivas Suazo.

Asesores: PhD. Bruno Rapidel.

Ing. Edmundo Umaña.

Managua, Nicaragua. NOVIEMBRE de 2000.

DEDICATORIA

Al Creador.

A mi querida y adorada madre, Petronila Suazo por muchas cosas que no cabrían mencionarlal en esta página ni en todo el documento.

A mi estimado y respetado padre Carlos Rivas Sandino por sus oportunos consejos y su incondicional apoyo en todos los momentos en que se necesitaban.

A mis hermanos.

A mis amigos.

Al team mankind.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente los siempre útiles consejos, las certeras sugerencias y las minuciosas correcciones de mis asesores al Ing. Edmundo Umaña y al Doctor Bruno Rapidel.

Mi más sincero aprecio para la Ing. Matilde Somarriba Chang por su indudable apoyo, ánimo, sus *expectations* en este trabajo y su amistad.

También agradezco a las personas que con sus conocimientos y experiencia enriquecieron el contenido científico de este trabajo. Al Ing. Nicolás Arróliga, Ing. Alvaro Benavidez, al Ing. Jorge Rodríguez y al Ing. Ramón Rivas.

Mi especial agradecimiento a mis compañeros de tesis; Isaac, Martín, Sergio y Marcos con quienes compartí y trabajé hombro a hombro en los momentos más difíciles de este trabajo.

A la Mariela.

A las señoritas de INETER.

Y demás personas que de alguna manera aportaron algo en este trabajo.

RESUMEN

El clima es el factor más importante que determina tanto el crecimiento de una planta como su productividad. Es ampliamente aceptado que las temperaturas globales han aumentado aproximadamente 0.5 °C desde la era industrial debido a la acumulación de gases de efecto invernadero, GEI (CO₂, CH₄, NO₂ y otros). Ya que ha aumentado la concentración de estos gases desde esa época. Esto ha provocado un cambio climático global.

El objetivo de este estudio es conocer cómo los cambios climáticos afectarían los rendimientos potenciales del cultivo del maíz en diferentes sitios de la Región Central, bajo varios escenarios climáticos, ya que este es uno de los cultivos más importantes en nuestro país.

Con este fin se utilizó como herramienta de investigación el modelo de simulación CERES-Maize integrado en Sistema de Apoyo en la Toma de Decisiones para la Transferencia de Agrotecnología (DSSAT v3.5) el cual ha sido desarrollado por investigadores de la Red de Sitios Indicadores Internacionales para la Transferencia de la Agrotecnología (IBSNAT).

En el modelo se introdujo toda la información climática, edáfica y del manejo del cultivo, requeridas por el modelo, para poder proyectar los rendimientos en siete localidades de la Región Central del país, en tres escenarios de Cambio Climático futuro con tres horizontes de tiempo: 2010, 2030 y 2100 (Campos, M. 1998).

Los resultados indican que los sitios de mayor vulnerabilidad al Cambio Climático en cuanto a los rendimientos proyectados son los sitios de Estelí, Tipitapa y San Juan de Limay. En tanto los sitios que serán menos afectados por los cambios climáticos son los sitios de Jalapa y Pantasma. San Isidro, Ocotal y Tipitapa tienen muchos rendimientos que no cubren los costos de producción en todos los escenarios y horizontes de tiempo, de acuerdo al punto de equilibrio económico para un manejo semi - tecnificado.

Para poder disminuir el impacto de los cambios climáticos sobre el rendimiento del cultivo del maíz se necesita enfocar los esfuerzos en cuanto al manejo del cultivo e investigación de medidas de mitigación.

ABSTRACT

Climate is the most important factor that determines both the growth and productivity of the plants. It is well known that global temperatures have risen 0.5 °C since industrial period due to the concentration of some Green House gases (CO₂, CH₄, NO₂ and others). Because these gases have increased their concentration since then (IPCC, 1995). The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has elaborated a serie of Green House gases emission scenarios for the future and these has been incorporated and adapted to Nicaraguan conditions.

The main objective of this study is to know how do the climate changes would affect the potential yield of maize in several sites of the Central Region of Nicaragua. Maize was chosen because is one of the most important crops in the country.

In order to project the expected yields was used a Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT v3.5), which contains the CERES-maize crop model, developed by the International Benchmark sites Network for Agrotechnology Transfer (IBSNAT).

All the climatic, soil and crop management data required for the model was introduced in order to simulate the potential yield of maize on seven sites of the Central Region of Nicaragua. The simulation was held on three scenarios and three time series, 2010, 2030 and 2100.

Three sites presented high vulnerability to Climate Changes; Esteli, Tipitapa and San Juan de Limay. However potential simulated yield of maize in Jalapa and Pantasma are not vulnerable to climate change. Moreover potential simulated yield in San Isidro, Ocotal y Tipitapa is not economically satisfactory according to a frequency analysis on a intermediate technology management.

In order to reduce climate changes that affect corn potential yield it is necessary to improve some agricultural practices, such as fertilization and planting dates. Moreover an agroecological plotting is needed. Finally is necessary a well understanding of these models and develop a better information system so that increasing the fidelity of the results.

INDICE

<i>capítulo</i>	<i>página</i>
RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INDICE.....	iii
I.- INTRODUCCION.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Justificación.....	2
II.- OBJETIVOS.....	5
III.- HIPOTESIS.....	5
IV.- REVISION DE LITERATURA.....	6
4.1 Cambio Climático.....	6
4.2 Escenarios Climáticos.....	6
4.3 Influencia del Clima en las Plantas.....	9
4.4 El Cultivo del Maíz.....	10
4.4.1 Períodos de crecimiento y desarrollo.....	10
4.4.2 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de maíz.....	12
4.5 Modelos de Simulación de Cultivos.....	13
4.6 Sistema de Apoyo en la Toma de Decisiones para la Transferencia de Agrotecnología (DSSAT v3.5).....	15
4.6.1 Modelo de Simulación CERES-maize.....	16
V.-MATERIALES Y METODOS.....	18
5.1 Caracterización General de la Zona.....	18
5.2 Recopilación de la Información.....	20
5.2.1 Datos Climáticos.....	20
5.2.2 Datos Edáficos.....	20
5.2.3 Datos del Manejo del Cultivo.....	21
5.3 Zonificación de las Areas de Estudio.....	21
5.4 Procesamiento de la Información.....	23
5.4.1 Generación de datos.....	23
5.4.2 Aplicación de escenarios.....	24
5.4.3 Creación de Archivos.....	24
5.4.4 Corrida del modelo.....	25
VI.- RESULTADOS.....	26
6.1 Rendimientos Simulados.....	26
6.2 Efecto en la Fenología.....	27

6.3 Análisis de los Rendimientos Simulados.....	29
6.4 Reducciones Porcentuales.....	33
6.5 Análisis de Riesgo Económico de Producción.....	36
6.5.1 Escenario Optimista.....	36
6.5.2 Escenario Moderado.....	37
6.5.3 Escenario Pesimista.....	38
VII.- CONCLUSIONES	40
VIII.- RECOMENDACIONES	43
IX.- BIBLIOGRAFIA.....	44
X.- ANEXOS.....	46

LISTA DE TABLAS

contenido	página
Tabla 1. Variación media anual de la Temperatura y Precipitación para el próximo siglo, con respecto al período de referencia 1961-1990.....	8
Tabla 2. Requerimientos edáficos del cultivo del maíz (<i>Zea mays</i> L.) (Somarriba, 1997).....	12
Tabla 3. Requerimientos climáticos del cultivo del maíz (<i>Zea mays</i> L.) (Somarriba, 1997).....	13
Tabla 4: Perfiles de suelos ubicados de acuerdo a su Altitud.....	22
Tabla 5: Rendimientos Promedios simulados (kg/ha) para el Cultivo del Maíz en la Región Central en tres Escenarios de Cambio Climático y cuatro Horizontes de tiempo.....	26
Tabla 6: Duración del Ciclo Promedio (Días) del Cultivo de Maíz e Incremento de la Temperatura Promedio Anual para el <i>Escenario Optimista</i>	27
Tabla 7: Diferencias de rendimientos (kg/ha) entre Escenarios.....	29
Tabla 8: Diferencias de rendimientos (kg/ha) entre Horizontes.....	30
Tabla 9: Diferencias de rendimientos simulados (kg/ha) entre las interacciones (Esc x Hor) para Estelí.....	31
Tabla 10: Reducciones Porcentuales de los rendimientos simulados con respecto al período de referencia.....	33

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

ANEXO 2: DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA REAL Y GENERADA

ANEXO 3: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS DE ALGUNOS PERFILES DE SUELO DE LA REGIÓN CENTRAL DE NICARAGUA.

ANEXO 4: COEFICIENTES GENÉTICOS DEL CULTIVAR MEDIO DE MAÍZ. MODELO CERES-MAIZE.

ANEXO 5: FORMULAS Y RAZONES DE CONVERSION.

ANEXO 6: MASCARILLA DE FORMULAS.

ANEXO 7: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS ESTADÍSTICOS USADOS PARA EL ANÁLISIS DE SEPARACIÓN DE MEDIAS.

ANEXO 8: ANDEVA (BCA) Y SEPARACION DE MEDIAS POR TUKEY (Tukey's Studentized Range -HSD- Test) PARA LOS RENDIMIENTOS PROMEDIOS PROYECTADOS EN LOS ESCENARIOS Y HORIZONTES.

ANEXO 9: SEPARACION DE MEDIAS DE INTERACCION ESC*HOR (Tukey's Studentized Range -HSD- Test).

ANEXO 10: FRECUENCIAS DE AÑOS POR DEBAJO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO DE PRODUCCIÓN, 2,582 kg/ha (40 qq/mz) DEFINIDO PARA UN MANEJO TECNIFICADO CON BUEYES (MAG, 1997).

ANEXO 11: MAPA DE ALTITUDES DE NICARAGUA. (MAGFOR 1997).

ANEXO 12: MAPA DE ZONAS DE LLUVIA DE NICARAGUA. (MAGFOR 1997).

ANEXO 13: DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS ARCHIVOS DEL DSSAT v3.5

ANEXO 14: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES CON EL MODELO CERES-maize.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.

Figura 2: ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.

Figura 3: DURACIÓN PROMEDIO DE LA ANTESIS EN MAÍZ (DDS) EN TODOS LOS SITIOS.

Figura 4: EVAPOTRANSPIRACIÓN ACUMULADA (MM) EN EL CICLO DEL CULTIVO PARA TODOS LOS SITIOS.

Figura 5: COMPORTAMIENTO PORCENTUAL DE LOS RENDIMIENTOS PROMEDIOS SIMULADOS.

Figura 6: FRECUENCIAS DE RENDIMIENTOS SIMULADOS (%) POR DEBAJO DE 2,582 KG./HA ESCENARIO OPTIMISTA.

Figura 7: FRECUENCIAS DE RENDIMIENTOS SIMULADOS POR DEBAJO DE 2,582 kg/ha ESCENARIO MODERADO.

Figura 8: FRECUENCIAS DE RENDIMIENTOS SIMULADOS POR DEBAJO DE 2,582 kg/ha ESCENARIO PESIMISTA.

I. *INTRODUCCION*

Las actividades humanas (como la quema de combustible fósil, cambio de uso de la tierra y la agricultura) aumentan las concentraciones en la atmósfera de los gases de efecto invernadero (GEI) que calientan la atmósfera. Estos cambios en las concentraciones de los GEI, tomados en conjunto provocan cambios regionales y mundiales en el clima y en los parámetros relacionados con el clima, como la temperatura y la precipitación entre otros, que afectan los sistemas ecológicos y socioeconómicos. En la Agricultura los rendimientos de las cosechas y las variaciones de la productividad debidas al Cambio Climático diferirán considerablemente entre regiones y localidades, modificándose los patrones de producción. Es probable que la producción aumente en algunas zonas y disminuya en otras, en especial en zonas tropicales y subtropicales (IPCC, 1995).

Estos cambios también afectan a Nicaragua. En 1997 se presentó una sequía y en 1998 se presentaron fenómenos extremos en los cuales las precipitaciones rompieron las normas históricas en algunas regiones, mientras que en otras sucedió lo contrario.

Para poder cuantificar estos cambios y para poder discernir las modificaciones del clima por el hombre, se pueden usar modelos complejos de simulación que evalúen la incidencia de los Cambios Climáticos sobre el rendimiento de cultivos de singular importancia económica y aporten información acerca de su comportamiento. Esto permitiría evaluar las variaciones de los rendimientos potenciales de los cultivos en condiciones de un clima cambiante.

Para estudiar el impacto del Cambio Climático en la Agricultura, como parte de las obligaciones que Nicaragua adquirió con la Convención Marco de las Naciones Unidas (CMCC) en 1992, se creó el grupo de estudio de impactos del Cambio Climático en la Agricultura. Con esto se pretende estudiar las implicaciones que podría presentar las variaciones climáticas en un cultivo de gran importancia socioeconómica como el maíz.

1.1. ANTECEDENTES

En la región americana se ha estudiado el efecto del Cambio Climático (con escenarios de equilibrio de modelos de circulación general de la atmósfera y los océanos, con una duplicación de la concentración de dióxido de carbono, CO₂) en el cultivo de maíz, resultando en un impacto que va desde -61 % hasta aumentos del rendimiento, estos resultados provienen de Brasil, Argentina, Chile y México (IPCC, 1995).

En la actualidad sólo se han efectuado un número pequeño de estudios nacionales y regionales para determinar los efectos potenciales del cambio climático sobre la producción global. Los resultados de un cambio en el clima no se reparten por igual en cada región y mientras unas pueden experimentar beneficios para otras puede ser muy perjudicial. Los lugares de mayor producción de granos pueden verse afectados por el calentamiento y la sequía reduciéndose las cosechas, mientras que otros podrán experimentar incrementos que, sin embargo, se verían limitados por la calidad del suelo y el terreno inadecuado

El estudio sobre la evaluación del impacto en la agricultura de un eventual Cambio Climático en Nicaragua se inicia con estudios de impactos en cultivos de seguridad alimentaria; maíz, frijol y sorgo, en las zonas de Jalapa, San Juan de Limay, Estelí, Tipitapa y Pantasma, por un grupo de especialistas de diferentes instituciones entre estas el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Arróliga *et al*, 1997).

1.2. JUSTIFICACION

El clima es el factor más importante en el crecimiento de una planta como en su productividad. El IPCC ha estimado que, bajo el supuesto del avance industrial como escenario base, se puede esperar un incremento de la temperatura promedio global de 0.2 C^o por década, alterando con esto los factores que limitan el crecimiento de las plantas.

Nicaragua ha sido históricamente un país productor de granos básicos, por influencias Maya y Azteca desde la época precolombina. El maíz es un componente insustituible en la dieta nacional, es parte de la base del consumo proteico - calórico; y

forma parte de la canasta básica de 11 productos alimenticios esenciales; de los 2,155 gr de kcal de consumo recomendados para un ser humano normal, el maíz proporciona 451 gr. (21%) y desde el punto de vista proteico, el maíz contiene 11.7 gr. (22%) de los 54 gr. recomendados para el consumo mínimo per cápita de proteínas (MAG, 1997).

Según la FAO, Nicaragua es un país con una superficie de 13,000,000 de hectáreas de las cuales, las destinadas a tierras arables representan 1,270,000 ha (9.7%); correspondiendo 1,100,000 ha. a cultivos anuales y 170,000 ha. a cultivos perennes (MAG, 1997). El área cultivada de maíz se ha aumentado en los últimos años, de 175,700 ha en el ciclo 1990/1991 hasta 280,000 ha en el ciclo 1996/1997, esto es un aumento de 59.36 % (MAG, 1997). El rendimiento en este período ha gozado de un pequeño aumento de 1.10 Tm/ha (16.9 qq/mz) a 1.20 Tm/ha (18.48 qq/mz), esto aún no es satisfactorio si se comparan los rendimientos que se obtienen en el ámbito centroamericano; Honduras, por ejemplo, tiene un rendimiento de 1.44 Tm/ha (22.20 qq/mz) para el mismo ciclo y el máximo es el de Panamá y el Salvador con 3.48 Tm/ha (53.70 qq/mz) y 2.22 Tm/ha (34.20 qq/mz) respectivamente (MAG, 1997).

Para la época Postrera/Apante 1996/1997 se perdió más del 28.3% del área sembrada en la Región I, el 24.3% y el 19.4% en las regiones V y VI respectivamente debido al impacto del fenómeno climático *El Niño Oscilación del Sur* (MAG, BCN, USDA, 1998). La producción de maíz en el ciclo 1997/1998 decreció (reducción del área cosechada en 25% y 78% para la época de Postrera y Apante, con relación al ciclo anterior) y para el ciclo 1998/1999, en la época de Primera, este cultivo tuvo la mayor área perdida por efectos del retraso de las lluvias (MAGFOR, Julio 1998).

Al 30 de junio de 1998 se reportaba un área perdida de granos básicos (maíz, frijol, arroz y sorgo) de 5,000 mz de las cuales en el maíz se reportaron 2,478 mz (49.56%). Estas afectaciones son mayores en la zona Norte seca de Chinandega, León y Estelí (MAGFOR, Julio 1998).

Según los reportes del programa de "Monitoreo y Alerta" del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) la siembra de Primera de granos básicos del ciclo 1999/2000 disminuyeron con respecto a las del año pasado, debido al temor de los productores ante la inseguridad climática; el retraso de las lluvias provocó decisiones más moderadas de siembra de parte de los agricultores. Ante el temor de una prolongación de

la temporada seca, las áreas a cosechar de granos básicos serán inferiores en casi un 4% en relación con la primera del ciclo pasado estas reducciones son del 11% en el caso del maíz.

Es por estos antecedentes que los agricultores y los tomadores de decisiones deben comenzar a pensar seriamente en irse ajustando a los posibles cambios impuestos por el clima teniendo en cuenta los usos del suelo y la administración de los sistemas agrícolas.

La simulación computarizada ofrece la posibilidad de comprimir el tiempo, esfuerzo y cantidad de recursos necesarios para tomar decisiones y recomendar estrategias de manejo en el ámbito agrícola. Existen simuladores para cada uno de los cultivos principales del mundo, y la adaptación de cualquiera de ellos a un local específico requiere tan sólo de una computadora y unos cuantos ciclos agrícolas para recolectar datos y calibrar los modelos al ambiente correspondiente. Un país como Nicaragua, en donde existe gran urgencia por aumentar la capacidad de producción agrícola en forma sustentable, puede ser beneficiario de esta tecnología como herramienta de investigación para estudios de este tipo.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el efecto del posible Cambio Climático sobre el comportamiento del rendimiento potencial en el cultivo de Maíz (*Zea mays* L.) para los municipios de San Isidro, Ocotlán, Estelí, Jalapa, San Juan de Limay, Pantasma y Tipitapa.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- ⇒ Utilizar el modelo de simulación de cultivo CERES, en las estaciones seleccionadas, y simular los rendimientos potenciales para un período de referencia real.
- ⇒ Simular el rendimiento potencial del maíz, para los sitios seleccionados, en tres escenarios de Cambio Climático y tres horizontes de tiempo.
- ⇒ Analizar la variabilidad y sensibilidad de los rendimientos proyectados en cada sitio con respecto al período de referencia.

III. HIPOTESIS

La ocurrencia de algún Cambio Climático tendrá un efecto en el rendimiento del maíz en la Región Central, debido a que las condiciones climáticas en cada zona influyen en los procesos físicos y fisiológicos de las plantas, afectando de esta manera al crecimiento y desarrollo de las mismas.

Considerando las deficiencias en el uso de los modelos de simulación es necesario tomar en cuenta la sobreestimación que el modelo CERES-maize calcula y analizar los datos resultantes de una manera más cualitativa, no absoluta. Las simulaciones resultantes podrían no presentar resultados exactos a los resultados reales a obtenerse en el campo, pero si indicaran la tendencia del comportamiento del cultivo del maíz y esto sería comparado con respecto a un período de referencia.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. CAMBIO CLIMÁTICO.

Las concentraciones de gases de efecto invernadero, GEI (vapor de agua, H₂O; dióxido de carbono, CO₂; óxido nitroso, N₂O; metano, CH₄ y ozono O₃) desde la época preindustrial han producido un forzamiento radiativo positivo (perturbación del balance energético del sistema atmósfera – tierra) del clima que tiende a calentar la superficie y a producir otros Cambios Climáticos (IPCC, 1995).

El Cambio Climático se refiere al cambio de clima que es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (IPCC, 1995).

4.2. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

El sistema climático está en constante evolución, influenciado por el aumento de las concentraciones de los GEI. Las emisiones son provocadas por actividades humanas, principalmente por el uso de petróleo, la deforestación, las actividades industriales, la ganadería, y el manejo de desechos (Rapidel *et al*, 1999) Esta evolución puede estudiarse a través de modelos complejos que simulan las condiciones económicas globales, que determinan las emisiones de GEI, al mismo tiempo estas condiciones determinarán la forma en que el clima responderá a estos cambios. La combinación de ambas simulaciones será la base para la construcción de los escenarios climáticos.

Un escenario climático presenta una estimación de los posibles cambios en los parámetros del clima futuro, como la temperatura, nubosidad, precipitación entre otros. Los cambios en las variables climatológicas deben ser internamente consistentes con el escenario, por ejemplo; los cambios en la temperatura, lluvia, humedad y nubosidad deben encontrarse estrechamente relacionados. Además debe de poseer una adecuada resolución espacial, de manera que sean suficientes para llevar a cabo estudios de impactos regionales, y de ser posible locales.

El Panel Intergubernamental de Expertos en Cambios Climáticos (IPCC) ha elaborado una serie de escenarios (IS92 a-f) de las futuras emisiones de GEI y aerosoles precursores basándose en hipótesis relativas al crecimiento de la población, la economía, el uso de las tierras, los cambios tecnológicos, la disponibilidad de energía y la mezcla de combustible en el período entre 1990 y 2100 (IPCC, 1995).

Los seis escenarios del IPCC incorporan supuestos muy diversos respecto de la manera en que las emisiones futuras de GEI podrían evolucionar en ausencia de políticas sobre el clima que no sean las ya adoptadas.

Para el presente estudio se contará con los siguientes escenarios:

- ⇒ **IS92-a**; este escenario arroja una estimación de las emisiones GEI, intermedias comparadas con el resto de los IS92's. En este estudio se considera un escenario *pesimista*.
- ⇒ **IS92-c**; este escenario presupone los valores más bajos de tasa de población y crecimiento económico, e importantes limitaciones en el abastecimiento de combustibles de origen fósil. Es pues el escenario de más bajas emisiones y el único que presenta una tendencia decreciente de las emisiones. Se considera un escenario *optimista*.
- ⇒ **IS92-d**; este escenario está basado en la misma tasa baja de crecimiento de IS92-c, pero con un crecimiento económico mayor, por lo que arroja la segunda estimación más baja de los valores de emisión futuras y se considera un escenario *moderado*.

Los horizontes de tiempo seleccionados por la comisión de Cambio Climático de Nicaragua para presentar los escenarios climáticos son: 2010, 2030, 2050, 2070, 2100 y se agrupan dos sectores de Nicaragua; de 5° de latitud - longitud, centrados en los puntos 12°50' con -87°50' y otro en 12°50' con 82°50'. Estos dos sectores corresponden a las vertientes del Pacífico y Caribe de Nicaragua. Estos escenarios no son predicciones, constituyen proyecciones plausibles de cómo podría variar el clima futuro sobre el territorio nacional a diferentes plazos de tiempo (Campos O., 1999).

Para el presente estudio se tomarán en cuenta únicamente los horizontes 2010, 2030 y 2100.

Los datos de temperatura son presentados en décimas de grados celsius y los datos de precipitación son presentados en porcentajes de precipitación, valores tanto mensuales como anuales.

En la Tabla 1 se presentan los valores máximos de cambio anual en cada uno de los escenarios de Cambio Climático, para las variables Temperatura (décimas °C) y Precipitación (%) de la vertiente del Pacífico con respecto al período de referencia 1961-1990:

Tabla 1. Variación media anual de la Temperatura y Precipitación para el próximo siglo, con respecto al período de referencia 1961-1990. Las variaciones están referidas a tres horizontes de tiempo (2010, 2030 y 2100) y tres escenarios de emisión de GEI en la Vertiente del Pacífico.

ESCENARIO HORIZONTE	2010	2030	2100
TEMPERATURA (°C)			
Optimista (c)	0.8	1.3	2.1
Moderado (d)	0.8	1.3	2.6
Pesimista (a)	0.9	1.5	3.7
PRECIPITACIÓN (%)			
Optimista (c)	-7.9	-12.4	-21.0
Moderado (d)	-7.9	-12.5	-25.3
Pesimista (a)	-8.4	-14.5	-36.6

Las temperaturas en los diferentes escenarios se incrementan a medida que se avanza en los horizontes de tiempo y particularmente en el escenario *pesimista*.

Se observa un aumento en los valores de temperaturas sobre el promedio actual desde 0.8 °C en horizonte 2010 hasta el máximo de 3.7 °C en el horizonte 2100 para el escenario pesimista, mientras que el optimista lo hace desde 0.8 °C hasta 2.1 °C. En el anexo 1 se presenta el escenario de Temperatura para la Vertiente del Pacífico en sus respectivos horizontes de tiempo.

En general la precipitación se reduce a través de todos los escenarios y en todos los horizontes de tiempo y la reducción de acuerdo a los datos mensuales se presenta principalmente en los primeros meses del año. Los valores más drásticos de reducción de

precipitación, con respecto al período de referencia, están en el escenario pesimista en el horizonte 2100 (-36.6%). El escenario optimista y moderado del horizonte 2010 presentan la misma reducción con -7.9 %, la menor reducción de los escenarios de precipitación. En el anexo 1 se presenta el escenario de precipitación para la vertiente del Pacífico en sus respectivos horizontes de tiempo.

También puede verse la similitud de los escenarios moderado y optimista en los horizontes 2010 para los escenarios de precipitación y 2010-2030 de los mismos escenarios en los escenarios de temperatura.

4.3. INFLUENCIA DEL CLIMA EN LAS PLANTAS

Los factores ambientales que más afectan la fisiología de la planta son el agua, la radiación solar, la temperatura y los nutrientes del suelo. La cantidad de agua disponible para las plantas depende de dos clases de factores: los meteorológicos, o sea el balance entre lluvia y evaporación, y los factores del suelo, como contenido hídrico, potencial hídrico y conductividad.

El crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos depende claramente de la temperatura y las temperaturas extremas, y varía para cultivos de diferentes vías fotosintéticas; plantas C₃, C₄ y CAM. El maíz es una planta C₄, para plantas C₄ una temperatura nocturna de 10 a 20°C es óptima. Los cultivos C₄ y CAM requieren de temperaturas mínimas de 10 a 15°C para crecer, y son relativamente sensibles a las heladas (Reilly, 1995).

Con un incremento en la temperatura, la cantidad de humedad en el suelo puede ser afectada, sin importar el cambio que se sufra en la precipitación. Temperaturas más altas favorecen el grado de evaporación, reduciendo por lo tanto el nivel de humedad de la tierra necesaria para el crecimiento de la planta.

Los rendimientos más altos de maíz se obtienen cuando las condiciones ambientales son favorables en todos los estadios del crecimiento; condiciones desfavorables al inicio del crecimiento, limitarán el tamaño de la hoja (máquina fotosintética). En los últimos estadios, las condiciones desfavorables afectarán el normal crecimiento del elote; disminuirán el número de estilos resultando en una pobre polinización de los óvulos lo

que reduce el número de granos por mazorca. El período total de crecimiento de la planta lo podemos dividir en dos: de la emergencia hasta la aparición de las barbas y de aquí hasta la madurez fisiológica, pudiendo señalar que en el primer período es el que puede ser más afectado por factores como la temperatura y la humedad. La exigencia de agua y elementos nutritivos por parte de la planta están en relación directa con el aumento de la materia seca y disminuye en las etapas sucesivas a la formación del grano (Somarriba, 1998).

La temperatura, radiación solar, humedad relativa, viento y precipitación varían no solamente entre temporadas o entre año, sino que varían día tras día; los efectos de la variación pueden ser tanto negativos como positivos dependiendo del cultivo y de la naturaleza de la variación.

Eventos climáticos extremos (inundaciones, tormentas con fuertes vientos, lluvias pesadas, etc.) pueden ser responsables por pérdidas grandes o totales de los cultivos. Los incrementos anticipados en las temperaturas con un calentamiento global pueden afectar a los cultivos. Cambios de los patrones atmosféricos a gran escala, como la oscilación meridional “El Niño” (ENSO) y los monzones tropicales pueden causar significantes alteraciones en los patrones de precipitación, con efectos consecuentes en la producción agrícola. Una variedad de modelos, que integran conocimientos de la producción de los cultivos y relaciones climáticas, han sido usados para estimar los cambios en el rendimiento potencial de los cultivos, alteración en la producción zonal, la producción regional y global (Reilly, 1995).

4.4. EL CULTIVO DE MAIZ

4.4.1. PERÍODOS DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO

Para cualquier cultivo, el entendimiento de los eventos fenológicos es importante porque establece el marco temporal donde se forma el rendimiento y sus componentes.

El maíz es una planta anual y determinada por los eventos fenológicos de la germinación, iniciación floral, la floración y la madurez fisiológica. La duración de cada uno de estos eventos depende del genotipo, el fotoperíodo y la temperatura.

El conocimiento de los distintos períodos de crecimiento y desarrollo de la planta es importante para realizar un adecuado manejo agronómico, los cuales se dividen en los siguientes períodos (Somarriba 1998):

- 1- Germinación y afianzamiento de la plántula.
- 2- Desarrollo vegetativo.
- 3- Diferenciación de la panoja y la espiga.
- 4- Floración.
- 5- Desarrollo y maduración del grano.

En la Fase Vegetativa la semilla germina y se establecen las plántulas, se expande el follaje y se forma la capacidad fotosintética de la planta, la cual controla la producción de biomasa. La biomasa total producida se encuentra altamente relacionada con el tamaño final de la mazorca ya que esta ocupa cerca del 40% del peso total (Bolaños *et al*, 1992).

La capacidad de todo cultivo para producir materia seca está directamente relacionada al producto de su índice foliar y la duración de su exposición a lo largo de una temporada de crecimiento. El rendimiento en todas las plantas es la integral de la acumulación de materia seca durante este período, y es altamente sensible a dos derivadas: la tasa de expansión foliar durante la etapa vegetativa (juvenil) y la tasa de acumulación de materia seca durante la etapa reproductiva. Como en todos los organismos biológicos, las tasas de crecimiento se regulan mediante el ambiente térmico, medido en unidades de calor (Fleming Salvador, <http://www.iastate.edu/>).

Cuatro días de flacidez continua (estrés hídrico) durante el período de crecimiento vegetativo pueden reducir el potencial de rendimiento entre 5 y 10 % (*Informaciones Agronómicas*, 2000).

La Fase Reproductiva determina la formación de la mazorca y por tanto el número de mazorcas por planta y el número de granos por mazorca; la fracción cosechable de la biomasa. La Fase de Llenado de Grano determina el peso final del grano y la mazorca. Fisher y Palmer mencionados por Bolaños *et al*, 1992 apuntan que el peso del grano está relacionado con la duración y cantidad de radiación interceptada durante esta fase y es afectada por estreses hídricos y nutricionales.

En el maíz, el período más crítico comienza 10 días antes y 10 días después de la floración femenina de tal forma que en esta etapa la disponibilidad de agua debe ser

oportuna y en la cantidad recomendada (MAGFOR, 1998 *Guías para la producción de semillas*).

Si se presenta un estrés hídrico durante la emergencia de la flor femenina y la polinización, la producción podría reducirse hasta en un 50 % (Herrera y Ferrat, 2000). La separación tanto espacial como temporal de las floraciones masculina y femenina de la planta de maíz, hacen que la etapa de floración y producción de granos sea muy sensitiva a los estreses ambientales; la falta de agua en este período es crítica porque retrasa la maduración del aparato reproductor femenino y altera la sincronización entre la emergencia de los estilos y la liberación del polen dando como resultado mazorcas con menos granos.

Se evidencia pues que el potencial de rendimiento depende en parte de las duraciones fenológicas de las distintas fases de desarrollo de la planta de maíz y de lo que puede afectar la duración de ellas puede afectar directamente al rendimiento. Es claro pues que estas fases fenológicas proveen el marco temporal para la elaboración del rendimiento y sus componentes.

4.4.2. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMATICOS DEL CULTIVO DEL MAIZ

Para la producción de maíz los suelos más apropiados son los suelos francos, con buen drenaje y un pH de 6.5 (neutro o ligeramente ácidos). En zonas con altas precipitaciones son preferibles los suelos franco-arenosos por su alta capacidad de drenaje. En zonas de poca precipitación son preferibles los suelos arcillosos debido a su alta capacidad para retener la humedad INTA, 1995. En el siguiente Tabla se presentan los principales requerimientos edáficos del cultivo del maíz.

Tabla 2. Requerimientos edáficos del cultivo del maíz (Somarriba, 1997).

VALOR	TEXTURA	PROFUNDIDAD (cm)	PENDIENTE (%)	pH
Optimo	Franco	> 60	< 15	Neutro
Bueno	Franco arenoso	40 – 60	15 – 30	Acido
Marginal	Franco arcilloso. Areno arcilloso.	<40	>30	Acido/alcalino

El maíz es un cultivo que se puede sembrar de 0 msnm hasta 2800 msnm. Siendo sólo unas cuantas áreas maiceras las que se encuentran en latitudes superiores a 47 grados de latitud norte. Se desarrolla óptimamente en regiones con climas cálidos, es un cultivo de crecimiento rápido que rinde más con temperaturas de 23.9-29.4 °C necesitando temperaturas mayores de 18 °C y menores de 30 °C durante el proceso de floración. Se desarrolla muy bien en zonas con precipitaciones de 450-900 mm, bien distribuidas durante la estación de crecimiento. Sin embargo aún esta cantidad no es suficiente si la humedad no puede ser almacenada en el suelo, ya sea por poca profundidad de estos o por escurrimiento o si la evaporación es grande por causa de elevadas temperaturas y la baja humedad relativa (Somarriba, 1998). Los principales requerimientos climáticos para la producción de maíz se aprecian en el siguiente Tabla:

Tabla 3. Requerimientos climáticos del cultivo del maíz (Somarriba, 1997)

ADAPTABILIDAD	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACION (mm/ciclo)
Optimo	19 – 24	700 – 850
Bueno	15 – 19 24 – 28	500 – 700 850 – 1000
Marginal	> 28	< 500 >1000

4.5. MODELOS DE SIMULACION DE CULTIVOS

Aguilar y Caña mencionados por Estrada *et al* 1999, definen a los Modelos de Simulación como una *representación de un objeto, concepto o sistema real de tal forma que aun siendo distinto a la entidad que representa, puede imitar su funcionamiento y uno o varios atributos de éste.*

La Simulación según Shannon mencionado por Estrada *et al* 1999, es el *proceso de diseñar un modelo de un sistema real y conducir experimentos con él para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias para su operación.* Los modelos de simulación pueden servir para explicar, predecir y comprender o duplicar el comportamiento característico de un sistema.

La filosofía que expresa que la simulación óptima de algún proceso general depende de la comprensión completa y simulación correcta, de los mecanismos que componen al fenómeno en general se conoce como Mecanicismo; técnica de simulación más practicada y productiva en el modelado agrícola. También se les conoce a estos modelos mecanicistas como Modelos Fisiológicos o Explicativos, debido a que estos intentan predecir el comportamiento de la planta por medio de la simulación y suma de los procesos que componen la fisiología de las plantas verdaderas, o sea la interacción entre los varios órganos vegetales a través del tiempo y en respuesta a su medio ambiente (Fleming Salvador, <http://www.jastate.edu/>).

Estrada *et al* 1999, mencionan las siguientes ventajas y limitaciones en el uso de modelos de simulación;

VENTAJAS

- Técnica relativamente simple, con posibilidades para manipular factores biológicos y económicos que presentan dificultades para su manejo en la vida real.
- Son dinámicos con respecto al tiempo; por lo tanto este puede incluirse como variable continua o discreta.
- Permiten evaluar diferentes escenarios dando elementos para la selección de aquellos que presenten una mejor opción para los agricultores.
- Contribuyen a entender y explicar las interrelaciones entre los elementos del sistema.
- Permiten ordenar y visualizar el conocimiento existente y limitante para el estudio.

LIMITACIONES

- Se requiere de información disponible y confiable.
- La simulación puede ser imprecisa y no medir el grado de imprecisión. Por tanto, el análisis de sensibilidad de un modelo debe permitir cambiar los valores de los parámetros para superar parcialmente esta dificultad
- No existe suficiente desarrollo metodológico para incluir variables de manejo o de gestión con características cualitativas.
- Los resultados de los modelos son normalmente numéricos y proporcionan la información que el investigador selecciona. De este modo, nace el peligro de atribuir a los números un grado de validez mayor de lo justificado.

Algunos modelos de simulación descritos por Estrada *et al* 1999, son:

- ➔ Environmental Policy Integrated Climated (EPIC); el cual simula procesos biofísicos, ambientales, y económicos de especies vegetales, así como procesos erosivos con una temporalidad de hasta 100 años.
- ➔ Programa para planificar y manejar el Riego (CROPWAT); este modelo calcula la Evapotranspiración y las necesidades de agua de los cultivos. Además estima la producción de los cultivos bajo diferentes condiciones de disponibilidad de agua.
- ➔ Modelo integrador para la Evaluación Ex-ante de Tecnologías en Laderas (LADERAS); documenta el impacto en el manejo de los recursos naturales, identifica los parámetros de construcción de suelos, simula tasas de adopción de tecnologías y erosión de suelos.

4.6. SISTEMA DE APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES PARA LA TRANSFERENCIA DE AGROTECNOLOGIAS (DSSAT v3.5)

El DSSAT v3.5 es una colección de programas de computadora desarrollado por investigadores de la Red de Sitios Indicadores Internacionales para la Transferencia de Agrotecnologías (IBSNAT) que facilitan la aplicación de modelos de simulación de cultivos en estudios de investigación. Los modelos de cultivos simulan el crecimiento, desarrollo y rendimiento en función de la genética de la planta, condiciones de suelo y clima, y manejo del cultivo. Estos modelos incluyen modelos de simulación de maíz (*Zea mays* L.).

Todos los modelos operan en pasos de tiempo diario; de esta manera el crecimiento, desarrollo y otras variables se incrementan diariamente. Cada modelo predice las etapas de crecimiento críticas para el cultivo en particular. En cada etapa es simulada la biomasa total, el índice del área foliar, el número total de hojas en el tallo principal, y la concentración de nitrógeno total. Estas variables se relacionan principalmente con los balances de nitrógeno y carbono de los modelos, los cuales son calculados a partir de los datos de suelo, clima y genotipo del cultivo.

Además se simulan algunas variables del suelo y del agua en la planta como la Evapotranspiración, lluvia total recibida, irrigación aplicada y el agua extraída del suelo

por la planta. Estas variables se relacionan con los balances hídricos, los que también son calculados a partir de los datos de suelo y clima de los archivos de entradas.

Una descripción más detallada de la estructura de los archivos del DSSAT v3.5 se muestra en la anexa 13 de este documento.

4.6.1. *MODELO DE SIMULACION CERES-MAIZE*

En el DSSAT v3.5 se encuentran incluidos los modelos de simulación de la familia CERES; CERES-maize, CERES-wheat, CERES-rice, CERES-barley, CERES-sorghum y CERES-millet. Todos estos modelos comparten formatos de entradas y salidas y son muy similares en el nivel de detalle, operan en bases de tiempo diarios y están basados en el entendimiento de los procesos biofísicos.

El modelo CERES-MAIZE, según Fleming, es una simulación fisiológica del desarrollo del maíz, la cual incorpora las mejores características de varios modelos antecedentes. Este modelo es predictivo y determinístico (eliminan la variación aleatoria de las variables), está diseñado para simular el crecimiento del maíz, las dinámicas del suelo, agua, temperatura y el nitrógeno del suelo a escala de campo en un ciclo de cultivo.

Los puntos fuertes del modelo constan de rutinas bien comprobables para la simulación de los equilibrios de agua y nitrógeno en el suelo, y sus bases fisiológicas para las tasas de desarrollo y el repartimiento de fotosintatos. La innovación principal de este simulacro consta del concepto del coeficiente genético, una característica común de toda variedad de maíz que, sin embargo, varía y explica las distintas adaptaciones entre los varios tipos de maíz. CERES-MAIZE se basa sobre la suposición de que el conjunto mínimo de coeficientes genéticos suficiente para diferenciar toda variedad de maíz es el siguiente:

P1 duración de la etapa juvenil (Vegetativa).

P2 sensibilidad al fotoperíodo.

P3 duración de la etapa reproductiva.

P4 número máximo de granos por planta.

P5 tasa de crecimiento del grano.

Se simulan seis estados fenológicos (basados principalmente en días-grados) y rangos de crecimiento de las hojas y el tallo (dependiendo del estado fenológico).

La producción potencial de la materia seca es calculada como una función de la radiación, índice de área foliar (LAI) y factores de reducción de la temperatura y estreses de humedad.

Los fotosintatos disponibles son inicialmente distribuidos a las hojas y tallos, y luego para el crecimiento de la mazorca y el grano. Cualquier porción de fotosintato sobrante es colocada en el crecimiento de la raíz. Sin embargo, si la materia seca disponible para el crecimiento de la raíz está por debajo de un límite, las porciones para las hojas, granos y tallo son reducidos hasta que el nivel mínimo de crecimiento de la raíz se logra. Rutinas separadas calculan el balance del agua, incluyendo escorrentía, infiltración, flujo del agua saturada e insaturada y el drenaje. También se calcula la dinámica del nitrógeno mineral y su disponibilidad para el cultivo (CIESIN, <http://www.CIESIN.com/>)

La deficiencia principal del modelo es su sobrestimación del rendimiento, debido a que no se calcula con precisión el número final de granos ni la duración del período de llenado de granos. A su vez esto se debe a que el modelo no simula directamente el desarrollo y crecimiento de la mazorca de maíz, sino que depende de ciertas proporciones estáticas para asignar los pesos finales, estas proporciones son definidas por el archivo de genotipo que el DSSAT v3.5 tiene incorporado.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. CARACTERIZACION DE LA ZONA

La región concentra el 30% de la población nacional y las mayores áreas de siembra están en la Región Interior Central Norte con el 68%, seguida del 22% en el Pacífico y 10% en el Atlántico. La Región Central comprende Boaco, Chontales, Matagalpa, Estelí, Jinotega, Madrid y Nueva Segovia, para un área total de 37,600 Km²; se caracteriza por una condición topográfica quebrada, con algunos valles intramontanos y altitudes desde 600 a 2,600 msnm. El clima es menos definido, con un promedio de 22°C. La precipitación varía de 600 a 2600 mm anuales. El periodo canicular es benigno en las zonas altas, definido en las zonas intermedias y severo en las zonas bajas. Los suelos por su propia limitación topográfica y origen natural son de fertilidad media y presentan fuertes restricciones de uso en la agricultura intensiva; en el Interior Central Norte aproximadamente el 30% de los terrenos cultivados presentan un relieve accidentado con pendientes que varían desde 20% hasta 40% (MAG, 1997).

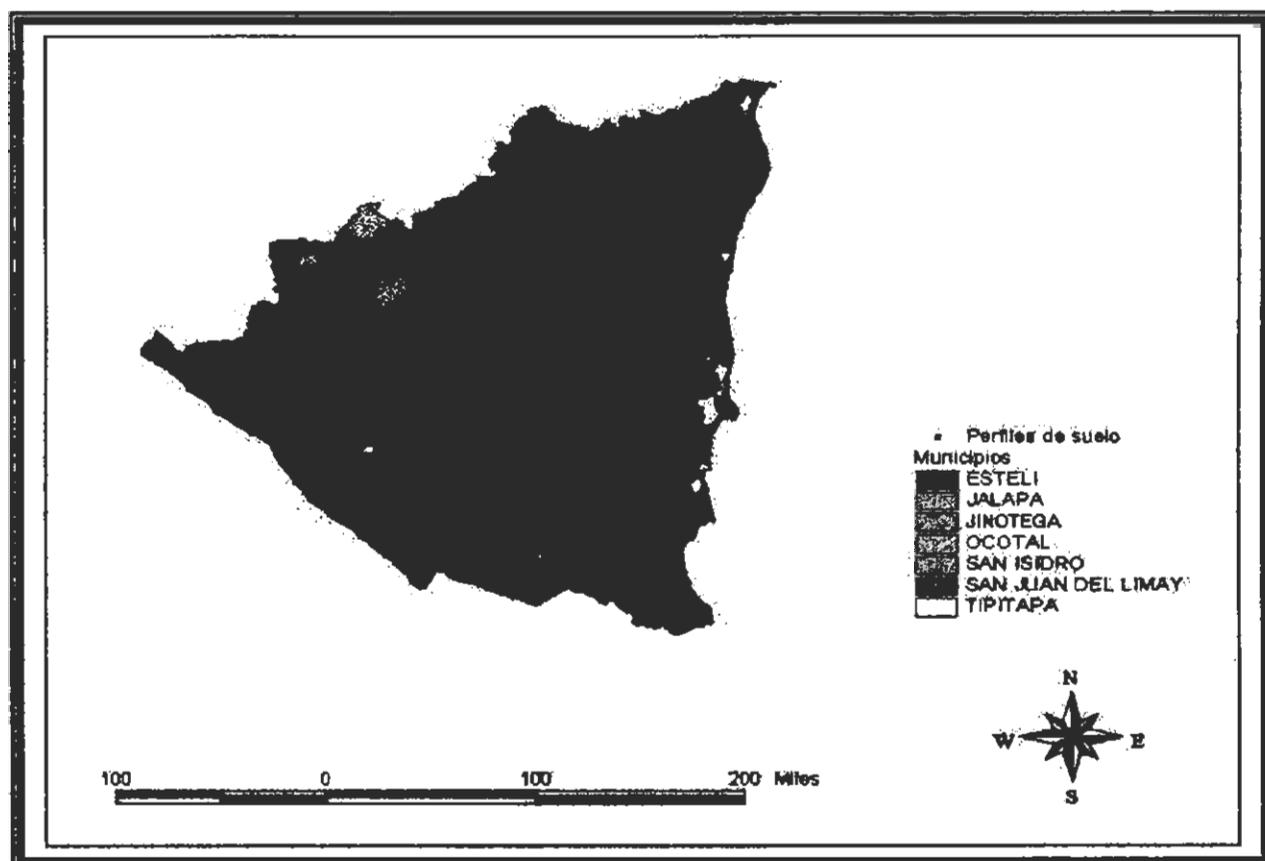


Figura 1. Mapa de localización de las Zonas de Estudio

Los requerimientos de entrada del modelo CERES- maize según el CIESIN (<http://www.ciesin.org/>) son:

- Datos diarios de clima (temperatura del aire, precipitación, radiación solar).
- Características Físicas del perfil del suelo por capas.
- Características Químicas del perfil del suelo por capas (solo nitrógeno).
- Condiciones del Manejo de los Cultivos (fecha de siembra, espaciamento, dosis de siembra).

Para este estudio el control de la simulación calcula la Intercepción de luz de manera exponencial en función del LAI, la Evaporación por el método de Penman (FAO), la Infiltración según las rutinas del Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service, USDA) y la Fotosíntesis por medio de la curva de respuesta de la hoja a la fotosíntesis.

A continuación se esquematiza la metodología seguida en este estudio:

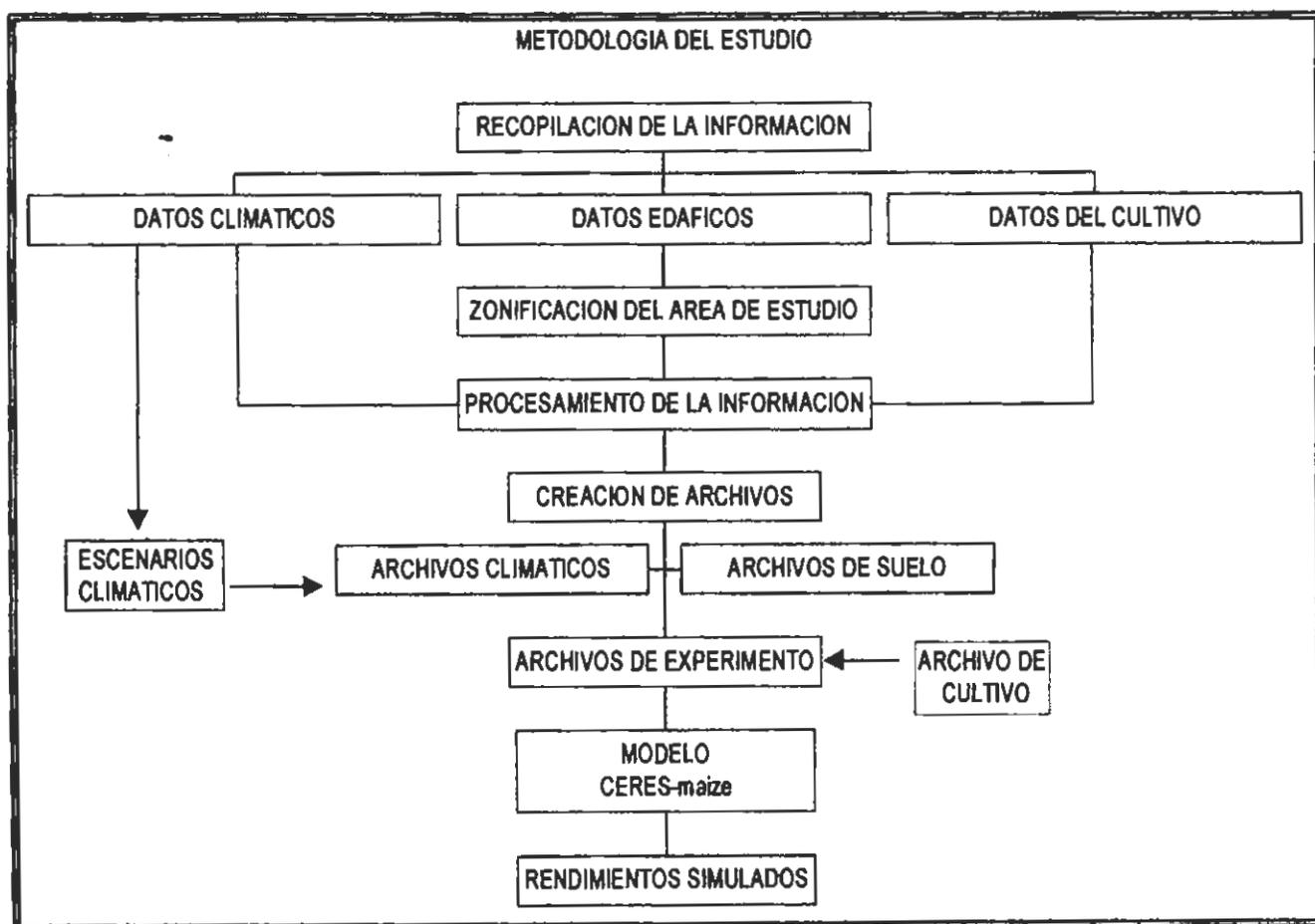


Figura 2. Esquema de la Metodología del Estudio

5.2. RECOPIACION DE INFORMACION.

5.2.1. DATOS CLIMÁTICOS

En la elaboración del presente estudio se usó la siguiente información meteorológica básica:

- Temperatura mínima promedio (°C) diaria y mensual.
- Temperatura máxima promedio (°C) diaria y mensual.
- Precipitación promedio (mm) diaria.
- Radiación Solar (MJ/m²/día) promedio diaria y mensual.
- Brillo solar (horas y décimas de horas) promedio diaria y mensual.

Esta fue proporcionada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). Se utilizaron como referencia un total de siete estaciones: Ocotal, Jalapa, San Juan de Limay, Jinotega, San Isidro, Estelí y Managua.

Los datos de precipitación fueron suministrados por el Departamento de Información Geográfica del MAGFOR, referenciados por el INETER y corresponden a un período de 20 años; 1971-1989 (anexo 2).

Además de esta información se requirió de los Escenarios Climáticos, para definir los tratamientos, esta fue proporcionada por el Proyecto de Cambios Climáticos en Nicaragua (anexo 1).

5.2.2. DATOS EDÁFICOS

La información de suelo fue proporcionada por el Departamento de Suelos del MAGFOR y consisten en parámetros Físico-Químico de 41 perfiles en siete sitios de la Región Central del país (anexo 3).

Cada perfil presenta la clasificación taxonómica al nivel de subgrupo taxonómico, así como datos granulométricos teniendo los siguientes: pH, materia orgánica, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, fósforo, potasio, densidad aparente, capacidad de intercambio catiónico (CIC); además cada punto está representado por coordenadas UTM.

determinó la cantidad de años a simular en cada sitio. Las estaciones, el tipo y los parámetros con los que se contaba se encuentran en el anexo 2.

Con la ayuda del Sistema de Información Geográfica (SIG), se introdujeron las coordenadas de los puntos de suelos y de las estaciones climáticas en el mapa de altitudes (anexo 11) en donde se establecen tres pisos altitudinales en todo el país; 0-300, 300-700 y >700 msnm y luego en el mapa de zonas de lluvia (anexo 12).

Establecidos los pisos altitudinales (alto, medio y bajo), se procedió agrupar los diferentes puntos de suelo de acuerdo a su altitud:

Tabla 4: Perfiles de suelos ubicados de acuerdo a su Altitud.

PUNTOS DE SUELOS	ELEVACION (msnm)
JALAPA	> 700
ESTELI	> 700
PANTASMA	300-700
OCOTAL	300-700
SAN ISIDRO	300-700
LIMAY	300-700
SAN CARLOS	0-300
TIPITAPA	0-300

Las temperaturas de un sitio están en función de la elevación del mismo (1°C por cada 100 metros de elevación, principio adiabático), tomando en cuenta esto se combinaron los parámetros de temperatura máxima, mínima e insolación en las estaciones donde estos datos no estaban disponibles; Estelí, San Isidro, Limay, Tipitapa y Jalapa con las estaciones principales que sí tenían estos parámetros.

La agrupación es la siguiente:

Con datos diarios de temperatura

Ocotal
 Jinotega
 Managua

Sin datos diarios de temperatura

San Isidro.
 San Juan de Limay.
 Estelí.
 Jalapa.
 Timal (Tipitapa).

Debido a que Estelí y Jalapa encuentran en el mismo piso altitudinal que la estación Jinotega (> de 700 msnm), entonces se combinó los parámetros de temperatura e insolación de esta estación con las primeras. San Isidro y San Juan de Limay se mezclaron con la estación Ocotal la cual se encuentra entre 300 y 700 msnm. Los datos de temperatura de Tipitapa fueron combinados con la estación de Managua debido a que ambas se encuentran entre 0 - 300 msnm.

5.4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

La información obtenida provenía de diferentes fuentes y fue recopilada en diferentes formatos entre bases de datos digitales y libros históricos de registro. Con el uso de macros fue posible organizar todos los datos de precipitación, temperatura, radiación y, en algunos casos, insolación en columnas para cada estación.

Luego se procedió al ordenamiento de estos datos en columnas de días julianos y luego almacenada en libros Excel por estación y parámetros. Algunos datos climáticos principalmente los de temperatura y radiación se encontraban solamente en los libros históricos, entonces estos fueron digitalizados directamente a libros Excel.

Un inventario de los datos climáticos puede verse en el anexo 2.

5.4.1. GENERACION DE DATOS

En algunos casos se contaban con datos mensuales y una cierta cantidad de datos diarios especialmente los de temperatura. Para esto se siguió el siguiente procedimiento de cálculo:

Primero, con los datos diarios reales que se tenían se calcularon datos diarios y mensuales promedios. La relación entre estos produjo factores de variación diarias que luego fueron aplicados a los datos reales mensuales. Produciendo así datos diarios generados basados en datos mensuales reales.

Dentro de cada año los datos faltantes fueron rellenados con la técnica del promedio aritmético. En el anexo 2 se pueden observar los datos que fueron generados (G) y los datos reales.

Los datos climáticos estaban en unidades de medidas que debían ser convertidas a las unidades que requiere el programa. Los de radiación solar en caloría por metro cuadrado (cal/m^2) a Megajoules por centímetro cuadrado por día ($\text{Mj/cm}^2/\text{día}$); los de insolación de brillo solar a radiación solar en $\text{Mj/cm}^2/\text{día}$. Con los datos de materia orgánica se obtuvieron los datos de nitrógeno total y carbono orgánico de acuerdo a las relaciones presentadas en el anexo 5.

5.4.2. APLICACION DE ESCENARIOS

Con los datos climáticos diarios ordenados por parámetros y almacenados por separados en libros Excel se aplicaron los escenarios climáticos.

Se creó una mascarilla de fórmulas que aplicó las variaciones mensuales de cada escenario a los datos diarios reales base o de referencia. Produciendo nueve grupos de años (14 -17 años) de datos diarios que corresponden a los tres escenarios de cambio con tres horizontes para cada uno. Se creó una mascarilla de fórmulas con los escenarios de precipitación para la Vertiente del Pacífico y otra para los escenarios de temperatura de esa misma vertiente debido a que todas las estaciones usadas se encuentran en esta vertiente (anexo 6).

5.4.3. CREACIÓN DE ARCHIVOS

Se introdujo al sistema la información general necesaria para que los modelos pudiesen leerlos.

ARCHIVOS DE SUELO

De forma manual se introdujeron al sistema diecinueve característica físico – químicas para cuarenta y tres perfiles de nueve sitios de la zona central del país, el cual automáticamente creó y asignó nombres a cada uno de ellos. Sin embargo no todos los perfiles fueron usados en las simulaciones, solamente se escogió un perfil por cada grupo (anexo 3), basados en su extensión, representatividad y potencial de uso para granos básicos.

ARCHIVOS CLIMÁTICOS

Los datos de temperatura máxima, temperatura mínima, radiación solar y precipitación fueron ordenados en columnas por escenario. Estos estaban separados y se procedió a unificarlos en una misma hoja de Excel por sitio, horizonte y escenario. Por la

gran cantidad de información se definió una nomenclatura numérica para cada archivo resultante:

01	BASE	período de referencia.
02	2010 a	escenario pesimista.
03	2010 c	escenario optimista.
04	2010 d	escenario moderado.
05	2030 a	escenario pesimista.
06	2030 c	escenario optimista.
07	2030 d	escenario moderado.
08	2100 a	escenario pesimista.
09	2100 c	escenario optimista.
10	2100 d	escenario moderado.

De esta forma se creó una base de datos para las siete estaciones con 70 archivos climáticos en total, cada uno con un registro promedio de catorce años. Cada estación climática estaba conformada por diez archivos climáticos que fueron introducidos uno a uno en el sistema de modelación siguiendo la nomenclatura arriba mencionada.

ARCHIVOS DE EXPERIMENTO

Se creó un archivo de experimento plantilla para cada sitio (siete en total) con la ayuda del programa Xcreate incluido en el sistema. Este archivo plantilla contenía la información general del manejo del cultivo el cual sería igual para todos los experimentos, excepto por el perfil de suelo (según el sitio) y la estación climática a usar (según escenario climático).

Se crearon 70 archivos de experimento, 10 para cada uno de los sitios. Estos archivos se definieron por los escenarios climáticos.

5.4.4. CORRIDA DEL MODELO

Con los archivos de suelo, de clima y de experimento dentro del programa se procedió a correr el modelo de simulación almacenando toda la información en archivos ZIP debido a su gran tamaño.

Debido a la gran cantidad de resultados que el modelo ofreció, se seleccionó la información necesaria para los análisis; el rendimiento y algunas variables relacionadas al crecimiento durante el ciclo como días a Madurez Fisiológica, días a Antesis, Precipitación, Evapotranspiración Acumulada y Temperaturas promedios.

VI RESULTADOS

6.1 RENDIMIENTOS SIMULADOS

Los resultados presentados en este trabajo son producto de simulaciones realizadas en base a datos climáticos reales e hipótesis de como se comportará el clima de Nicaragua en las próximas décadas.

Es oportuno mencionar que estos resultados generados por el modelo son rendimientos potenciales, que no representan valores absolutos y su importancia para este estudio es la de analizar las variaciones de estos rendimientos potenciales con respecto a un período de referencia. Pueden ser considerados, sin embargo, como una guía válida del comportamiento del cultivo del maíz en los sitios estudiados en cualquiera de las situaciones climáticas propuestas, pues muestran las potenciales respuestas de este cultivo a cambios en el clima. Los resultados de las simulaciones se presentan en el Tabla 5. los resultados de las precipitaciones diarias en el ciclo, temperaturas promedios en el ciclo y la biomasa se presentan en el anexo 14.

Tabla 5: Rendimientos Promedios simulados (kg/ha) para el Cultivo del Maíz en la Región Central en tres Escenarios de Cambio Climático y cuatro Horizontes de tiempo.

ESTELI	C	OPTIMISTA	4395.5	4017.0	3689.7	3187.7
	D	MODERADO		4017.0	3737.3	2960.3
	A	PESIMISTA		3957.7	3584.5	2347.7
SAN ISIDRO	C	OPTIMISTA	2785.5	2274.8	1951.4	1610.3
	D	MODERADO		2274.8	1937.5	1593.5
	A	PESIMISTA		2216.4	1939.9	1157.5
SAN JUAN DE LIMAY	C	OPTIMISTA	2468.3	2274.1	2163.8	2067.1
	D	MODERADO		2274.1	2166.6	2075.2
	A	PESIMISTA		2258.1	2246.5	1915.9
OCOTAL	C	OPTIMISTA	3377.8	3026.7	2790.5	2090.5
	D	MODERADO		3026.7	2658.6	2354.9
	A	PESIMISTA		3009.7	2790.5	2638.9
PANTASMA	C	OPTIMISTA	7149.3	6826.1	6669.8	6490.1
	D	MODERADO		6826.1	6710.7	6321.0
	A	PESIMISTA		6766.6	6536.5	4982.3
TIPITAPA	C	OPTIMISTA	4064.3	3458.5	3050.9	2486.5
	D	MODERADO		3458.5	3134.7	2133.9
	A	PESIMISTA		3347.0	2797.2	1642.2
JALAPA	C	OPTIMISTA	7097.2	6798.6	6751.4	6518.4
	D	MODERADO		6798.6	6736.7	6277.9
	A	PESIMISTA		6781.6	6490.6	5594.9

El rendimiento potencial simulado en todos los escenarios presentó gran sensibilidad a cambios en la Temperatura y la Precipitación con respecto al año Base.

6.2 EFECTO EN LA FENOLOGIA

El Cambio Climático afectó los eventos fenológicos del cultivo como la Duración del ciclo, a como se muestra en la tabla 6, y la aparición de la Antesis (figura 3).

TABLA 6: Duración del Ciclo Promedio (Días) del Cultivo de Maíz e Incremento de la Temperatura Promedio Anual para el *Escenario Optimista*.

SITIOS	INCREMENTO EN TEMPERATURA ANUAL (°C)			
	0	0.8	1.3	2.1
	HORIZONTES DE TIEMPO			
	1980	2010	2030	2100
ESTELI	103.9	101.1	99.7	96.3
PANTASMA	120.1	114.4	111.9	106.4
TIPITAPA	90.3	87.3	85.8	80.6
OCOTAL	90.2	86.3	85.3	86.2
SAN ISIDRO	88.8	84.9	82.4	80.8
SAN JUAN DE LIMAY	86.0	81.1	78.8	75.2
JALAPA	59.7	56.1	54.7	51.8

La Temperatura influye al disminuir la duración del ciclo del cultivo del maíz en todos los sitios estudiados.

Estas reducciones presentan fuertes restricciones en el potencial del cultivo para producir biomasa y afecta la duración del período crítico del maíz como es la floración (aparición de Antesis, figura 3), la cual es muy importante por que durante este período se forma la parte cosechable del cultivo.

Las reducciones del ciclo con los incrementos de temperatura son consistentes ya que se sabe que la duración de cada evento fenológico esta determinado por una cantidad de días-calor, entonces cuando se incrementa la temperatura esos días-calor son logrados más rápidamente, con la consecuente reducción del ciclo.

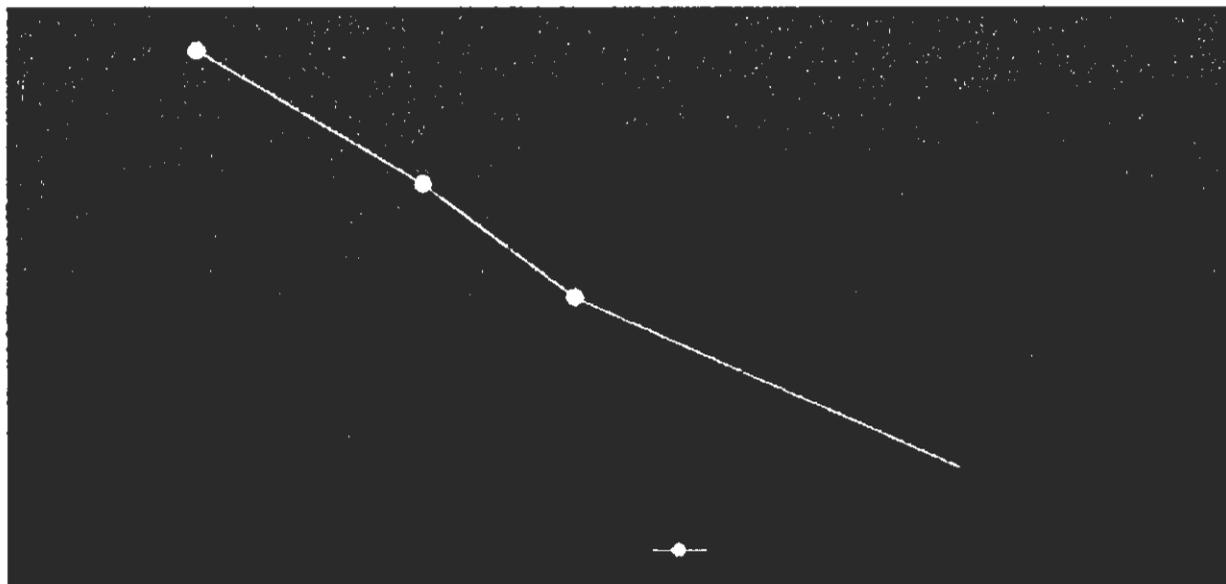


Figura 3: Duración promedio de la Antesis en Maíz (DDS) en todos los sitios.

En general con la reducción de la precipitación se reducen los rendimientos, debido a que se reduce el consumo de agua de las plantas lo cual se refleja en la reducción de la Evapotranspiración Acumulada en el ciclo para todos los sitios (figura 4).



Figura 4: Evapotranspiración Acumulada (mm) en el ciclo del cultivo para todos los sitios.

Las reducciones de rendimientos obtenidos pueden explicarse también por la poca disponibilidad de agua, ya que al disminuirse del ciclo del cultivo se reduce el tiempo que el cultivo puede aprovechar el agua almacenada en el suelo y así no disponer de la materia prima necesaria para la realización de los procesos normales de crecimiento. Los estreses hídricos durante la emergencia de la flor femenina y la polinización reducen considerablemente los rendimientos.

Todos estos eventos fisiológicos son alterados por los Cambios Climáticos y son los responsables de la disminución de los rendimientos.

6.3 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RENDIMIENTOS SIMULADOS.

Los datos de rendimientos resultantes de las simulaciones analizados por medio del programa estadístico SAS con un diseño estadístico Bifactorial; considerando a los tres escenarios (pesimista, optimista y moderado) como el primer factor y a los horizontes (Base, 2010, 2030 y 2100) como segundo factor (anexo 8 y 9). Un resumen de las principales características de los modelos estadísticos empleados se pueden observar en el anexo 7.

Las diferencias entre rendimientos promedios por Escenarios se muestran en la tabla 7.

Tabla 7: Diferencias de rendimientos (kg/ha) entre Escenarios.

ESC	ESTELI	ISIDRO	LIMAY	OCOTAL	PANTASMA	TIPITAPA	JALAPA
c	3822.5 A	2155.5 A	2243.3 A	2821.4 A	6783.8 A	3265.0 A	6791.4 A
d	3777.5 A	2147.8 A	2246.1 A	2854.5 A	6664.4 A	3197.0 AB	6727.6 A
a	3571.4 A	2024.8 A	2222.2 A	2954.2 A	6358.6 B	2962.7 B	6491.1 B

Estelí, San Isidro, San Juan de Limay y Ocotal son los sitios que no presentan diferencias entre sus escenarios. Para Pantasma y Jalapa los escenarios optimista y moderado pertenecen estadísticamente a una misma categoría y decrecen desde el escenario optimista hasta el pesimista.

En Tipitapa los tres escenarios son estadísticamente diferentes, con el mismo patrón de reducción de rendimientos.

Es válido subrayar que aunque estadísticamente los escenarios en los sitios de Estelí, San Isidro y San Juan de Limay no indican diferencias entre ellos, los rendimientos promedios decrecen desde el escenario optimista hasta el escenario pesimista en los dos primeros, pero en San Juan de Limay se reducen desde el escenario moderado hasta el pesimista.

- **Diferencias entre Horizontes de Tiempo:**

Las diferencias entre rendimientos promedios por Horizontes se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Diferencias de rendimientos (kg/ha) entre Horizontes.

Hor	ESTELÍ	ISIDRO	LIMAY	OCOTAL	PANTASMA	TIPITAPA	JALAPA
BASE	4395.5 A	2785.5 A	2468.3 A	3377.8 A	7149.3 A	4064.3 A	7097.2 A
2010	3997.2 B	2255.3 B	2268.8 AB	3021.0 AB	6689.8 B	3421.3 B	6792.9 B
2030	3670.5 B	1942.9 B	2192.3 AB	2746.5 BC	6639.0 B	2994.2 C	6659.6 B
2100	2831.9 C	1453.7 C	2019.4 B	2361.4 C	5931.1 C	2087.6 D	6130.4 C

Todos los rendimientos proyectados en todos los sitios tienen una diferencia muy significativa entre sus horizontes y decrecen, con respecto al período de referencia, a medida que se avanza en los horizontes de tiempo. Los rendimientos más bajos se obtuvieron en los horizontes 2100. Los rendimientos de los horizontes 2010 y 2030 son diferentes entre sí solamente en Tipitapa y Ocotal.

En Tipitapa los rendimientos en todos los horizontes son diferentes entre sí y también decrecen a medida que se avanza en el tiempo.

- **Diferencias entre las interacciones Escenarios y Horizontes de Tiempo:**

Se comparó el horizonte BASE (período de referencia 71-89) con las otras combinaciones posibles de escenarios y horizontes de tiempo para cada sitio de estudio.

Los resultados para Estelí se presentan en la tabla 9; los resultados para San Isidro, San Juan de Limay, Ocotal, Pantasma, Tipitapa y Jalapa se presentan en el anexo 9.

Los Rendimientos simulados de las interacciones entre los escenarios Optimista y Moderado con el horizonte 2010, siempre se agrupan en una misma categoría con un mismo rendimiento en todos los sitios, debido a que estos escenarios son iguales.

Tabla 9: Diferencias de rendimientos simulados (kg/ha) entre las interacciones (Esc x Hor) para Estelí.

ESCENARIO	HORIZONTES DE TIEMPO			
	1980	2010	2030	2100
OPTIMISTA	4395.5 A	4017.0 BA	3689.7 BDAC	3187.7 DC
MODERADO	4395.5 A	4017.0 BA	3737.3 BDAC	2960.3 DE
PESIMISTA	4395.5 A	3957.7 BAC	3584.5 BDC	2347.7 E

Como se muestra en la tabla 9 los rendimientos proyectados para Estelí se agruparon en ocho categorías estadísticas decreciendo los rendimientos desde el período de referencia (BASE) con un promedio de 4,395.5 kg/ha hasta 2,347.7 kg/ha en el horizonte 2100 del escenario pesimista. En general los rendimientos bajan en el orden de los horizontes; cuanto mayor el tiempo mayor es la reducción. Y lo mismo sucede en los escenarios, con la excepción de los escenarios en el horizonte 2030 en el cual se agrupan los rendimientos promedios de los escenarios moderado y optimista en una sola categoría estadística, pero el escenario moderado tiene un rendimiento un poco mayor que el optimista, además esta es la única agrupación de dos escenarios con igual horizonte en una misma categoría.

SAN ISIDRO

Los rendimientos promedios de San Isidro se agrupan en cinco categorías estadísticas, las cuales disminuyen desde los rendimientos del período de referencia (2,785.5 kg/ha) y disminuyen luego en los horizontes 2010 de todos los escenarios (2,274.8 - 2,216.4 kg/ha). La mayor reducción se presentó en el horizonte 2100 del escenario pesimista con un rendimiento promedio de 1,157.5 kg/ha.

SAN JUAN DE LIMAY

En San Juan de Limay el análisis estadístico de separación de medias por Tukey indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre las interacciones de escenarios y horizontes

OCOTAL

En Ocototal el año Base de referencia también produjo el mayor rendimiento (3,377.8 kg/ha) y es diferente estadísticamente de cuatro agrupaciones; todos los escenarios del horizonte 2010 con rendimientos desde 3,026.7 a 3,009.7 kg/ha, todos los escenarios del horizonte 2030, los cuales están en la misma categoría de los del horizonte 2100 del escenario pesimista (desde 2,790.5 kg/ha hasta 2,638.9 kg/ha). El rendimiento promedio más bajo se obtuvo en el horizonte 2100 del escenario optimista con un rendimiento de 2,090.5 kg/ha.

PANTASMA

El período de referencia en Pantasma (7,149.3 kg/ha) se diferencia estadísticamente de; los horizontes 2010, 2030 en todos los escenarios, además del horizonte 2100 del escenario optimista en donde decrecen desde 6,826.1 kg/ha, hasta 6,490.1 kg/ha. La última categoría corresponde al horizonte 2100 del escenario pesimista con un rendimiento de 4,982.3 kg/ha.

TIPITAPA

En Tipitapa se obtuvieron 8 categorías estadísticas, teniendo como primera categoría los rendimientos del período de referencia (4,064.3 kg/ha). Luego el horizonte 2010 de los escenarios Optimista y Moderado (3,458.5 kg/ha). Después está el horizonte 2010 del escenario pesimista en otra categoría estadística con 3,347.0 kg/ha. En una misma categoría se encuentran los rendimientos de los escenarios Moderado y Optimista del horizonte 2030 (3,134.7 – 3,050.9 kg/ha). Siguiendo en orden descendente de horizontes de mayor tiempo y los escenarios desde optimista hasta pesimista, se encuentran las últimas cuatro categorías estadísticas con rendimientos desde 2,797.2 kg/ha (2030 a) hasta 1,642.2 kg/ha (2100 a).

JALAPA

Jalapa presenta solamente cuatro categorías. El período de referencia se encuentra siempre como en los otros sitios en la primera categoría con 7,097.2 kg/ha. En la siguiente categoría estadística se encuentran agrupados los rendimientos proyectados para todos los escenarios del horizonte 2010 y, los escenarios optimista y moderado de los horizontes 2030 (rendimientos desde 6,798.6 kg/ha hasta 6,736.7 kg/ha). El escenario pesimista del horizonte 2030 se agrupa en la misma y penúltima categoría de este sitio junto a los

escenarios optimista y moderado del horizonte 2100 con rendimientos desde 6,518.4 kg/ha (2100 c) hasta 6,277.9 kg/ha (2100 d). El menor rendimiento promedio y la última categoría estadística corresponde al del escenario pesimista del horizonte 2100 con 5,594.9 kg/ha.

6.4 REDUCCIONES PORCENTUALES

Las reducciones porcentuales con respecto al período de referencia se muestran en la Tabla 10. Cabe señalar que estos resultados son proyecciones que *sobrestiman* los resultados reales, debido a las opciones de manejo de cultivo seleccionadas y a las deficiencias propias del modelo CERES-maize. Sin embargo esta sobrestimación puede ser tomada de manera compensativa al hecho de que en este estudio no se consideraron los efectos positivos para el cultivo del incremento en la concentración del CO₂.

Tabla 10: Reducciones Porcentuales de los rendimientos simulados con respecto al período de referencia.

Hór.	Esc.	ESTELI	ISIDRO	LIMAY	OCOTAL	PANTASMA	TIPITAPA	JALAPA
		%						
	BASE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	c	-8.6	-18.3	-7.9	-10.4	-4.5	-14.9	-4.2
	d	-8.6	-18.3	-7.9	-10.4	-4.5	-14.9	-4.2
	a	-10.0	-20.4	-8.5	-10.9	-5.4	-17.6	-4.4
2030	c	-16.1	-29.9	-12.3	-17.4	-6.7	-24.9	-4.9
	d	-15.0	-30.4	-12.2	-21.3	-6.1	-22.9	-5.1
	a	-18.4	-30.4	-9.0	-17.4	-8.6	-31.2	-8.5
2100	c	-27.5	-42.2	-16.3	-38.1	-9.2	-38.8	-8.2
	d	-32.7	-42.8	-15.9	-30.3	-11.6	-47.5	-11.5
	a	-46.6	-58.4	-22.4	-21.9	-30.3	-59.6	-21.2

c: Optimista.

d: Moderado.

a: Pesimista.

ESTELI

Los rendimientos promedio en Estelí se reducen hasta un 46.6% (2100) en relación al período de referencia. Además la reducción de rendimientos en los horizontes 2030 varían de manera no uniforme, siendo los rendimientos promedios del escenario moderado mayores que los del escenario optimista en este horizonte.

SAN ISIDRO

En San Isidro la mayor reducción es la del horizonte 2100 del escenario pesimista (58.4%) y se observa también la mayor reducción porcentual de rendimiento en relación a los demás sitios para el horizonte 2010 (18 a 20 %).

SAN JUAN DE LIMAY

En San Juan de Limay solamente existe una categoría estadística en la que se supone no hay diferencias estadísticas entre el período de referencia y las demás interacciones. Sin embargo las reducciones comienzan en los promedios de los valores del período de referencia hasta los horizontes 2100 del escenario pesimista (-22.4%). También se repiten las fluctuaciones de los anteriores; los rendimientos en el escenario pesimista del horizonte 2030 son mayores que los del escenario optimista.

OCOTAL

Las mayores reducciones se presentan en el horizonte 2100 del escenario optimista con 38.1%. Las variaciones en los rendimientos también se repiten en este sitio para los escenarios pesimista y moderado del horizonte 2030, teniendo el primero mayor rendimiento promedio que el segundo. Lo mismo sucede con los rendimientos promedios en el horizonte 2100 para los escenarios pesimista (2638.9 kg/ha) y optimista (2090.5 kg/ha).

PANTASMA

En Pantasma los rendimientos promedios con mayor reducción en base al período de referencia son los del horizonte 2100 del escenario pesimista, a como se muestra en la Tabla 10. Aquí los rendimientos promedios también fluctúan en el horizonte 2030 de los escenarios pesimista (2790.5 kg/ha) y moderado (2658.6 kg/ha).

TIPITAPA

En este sitio existe mayor reducción de rendimientos promedios en todos los sitios, con hasta 59.6% de reducciones en el escenario pesimista del horizonte 2100. Se observa que para el 2010 ya hay reducciones de hasta 17.6 % en los rendimientos con respecto al periodo de referencia.

JALAPA

Tiene la menor reducción porcentual de todos los sitios con 21.2% (2100). Es el único sitio en que los rendimientos del horizonte 2030 del escenario pesimista (6490.6 kg/ha) son menores que los del escenario optimista del horizonte 2100 (6518.4 kg/ha), sin embargo pertenecen la misma categoría estadística.

En resumen todos los sitios presentan reducciones porcentuales con respecto al período de referencia como se muestra en la figura 5 y disminuyen mayormente cuando se avanza en los horizontes de tiempo independientemente del escenario climático. Los sitios con mayor reducción en sus rendimientos promedios son los sitios de San Isidro y Tipitapa.

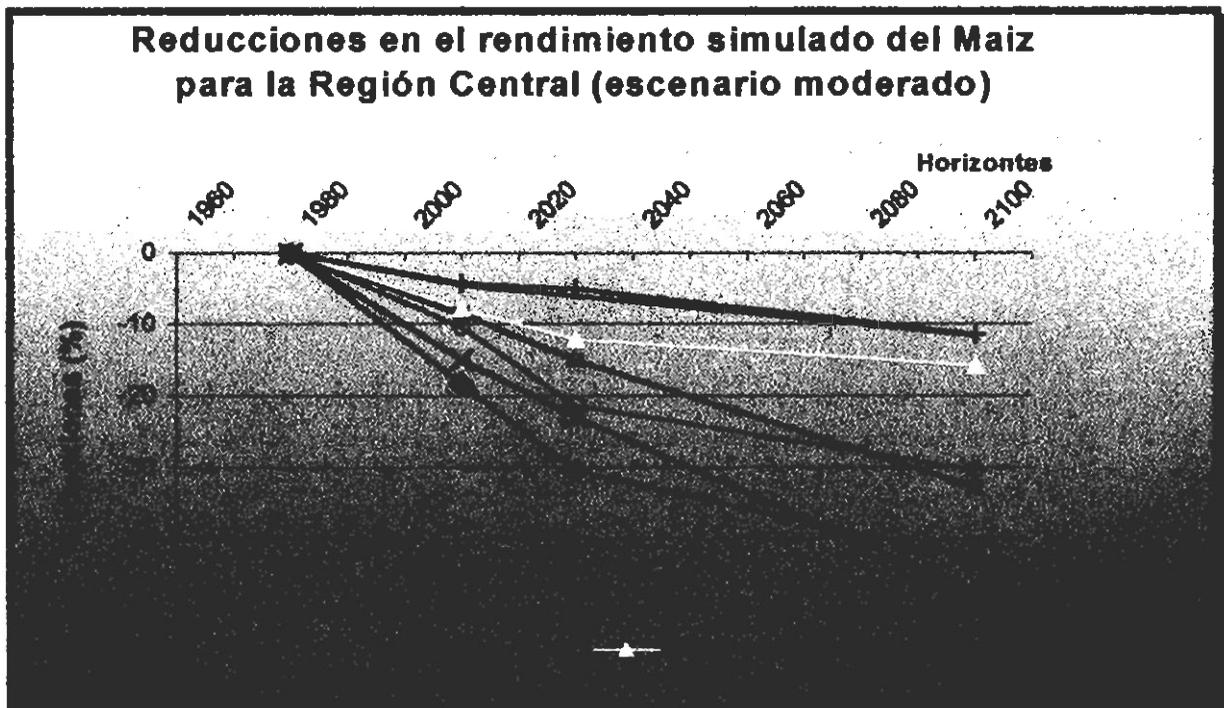


Figura 5: Comportamiento porcentual de los Rendimientos Promedios Simulados.

6.5 ANALISIS DE RIESGO ECONOMICO DE PRODUCCION.

Producir 2,582 kg/ha (40 qq/mz) tiene un costo de US\$ 304.82 cuando se considera un costo unitario de US \$7.62/qq para a un manejo tecnificado con bueyes (MAG, 1997). Este umbral fue usado en el análisis de riesgo económico de producción. Los valores menores a este umbral en los rendimientos proyectados se muestran en el anexo 10 de este documento y las variaciones porcentuales de estas frecuencias con respecto al umbral para todos los sitios en cada escenario se muestran en las figuras 6,7 y 8.

6.5.1 ESCENARIO OPTIMISTA

En la figura 6 se puede apreciar que las frecuencias de valores por debajo del punto de equilibrio aumentan desde el período de referencia hasta el horizonte 2100 en los sitios de Estelí, San Isidro, Ocotal y Tipitapa, mientras que se reducen en San Juan de Limay.

Los sitios con más valores por debajo del punto de equilibrio son los sitios de San Juan de Limay (67% en 1980, 2010 y 2030), San Isidro desde 47% hasta 73% en el horizonte 2100 y Ocotal que aumenta el número de años con valores por debajo del punto de equilibrio desde el horizonte 2010 (40%) hasta el 2100 (67%). En Estelí la frecuencia aumenta desde 27% hasta 40% en el horizonte 2100. Jalapa y Pantasma no presentan valores por debajo del punto de equilibrio en este escenario.

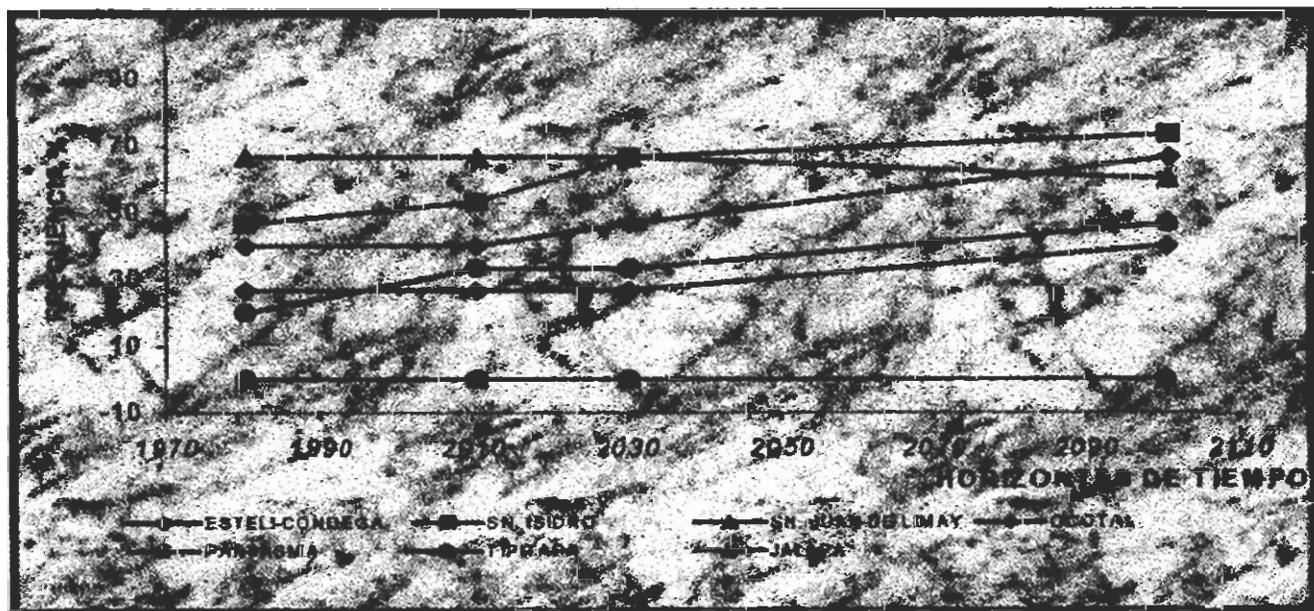


Figura 6: Frecuencias de Rendimientos simulados (%) por debajo de 2,582 kg/ha escenario Optimista.

6.5.2 ESCENARIO MODERADO

Según la figura 7 los sitios de Estelí, San Isidro, Ocotal y Tipitapa aumentan la frecuencia de valores por debajo del umbral desde el período de referencia hasta el horizonte 2100. En tanto San Juan de Limay reduce esta frecuencia desde 67% en el período de referencia hasta 60% en el horizonte 2100.

Además de lo anterior San Juan de Limay, San Isidro, Jalapa y Pantasma se comportan exactamente igual con respecto al escenario Optimista. Las frecuencias son iguales en Estelí y Tipitapa hasta el horizonte 2100 en donde se aumentan.

En Ocotal solamente el horizonte 2030 tiene el 43% de valores por debajo del punto de equilibrio y es la única variación en ese sitio con respecto al escenario pesimista.

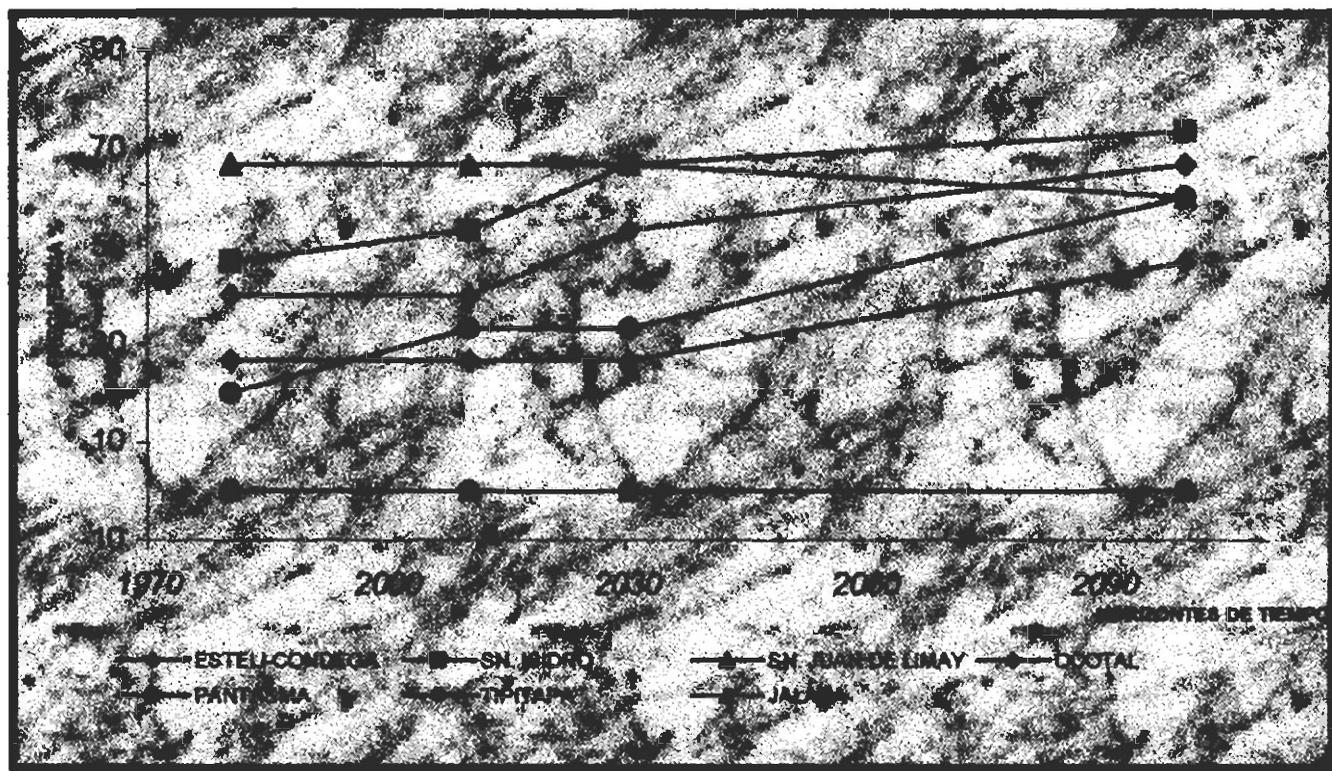


Figura 7: Frecuencias de Rendimientos simulados (%) por debajo de 2,582 kg/ha escenario Moderado.

6.5.3 ESCENARIO PESIMISTA

En general las frecuencias de valores por debajo del punto de equilibrio aumentan desde el período de referencia hasta el horizonte 2100 de este escenario; siendo los aumentos de 27% a 67% en Esteli, 47% a 93% en San Isidro, 40% a 53% en Ocotal, Pantasma aumenta a 7%, un muy significativo aumento de 20% a 80% en Tipitapa. Sin embargo en San Juan de Limay se experimenta una disminución en el porcentaje no muy significativa desde 67 a 60%.

En este escenario San Juan de Limay y Ocotal tienden a reducir la cantidad de valores por debajo del punto de equilibrio en comparación con el escenario Optimista, reduciéndose las frecuencias a 53% en el horizonte 2100 de Ocotal y a 47% en el horizonte 2030 de San Juan de Limay.

Los sitios de Estelí y Tipitapa incrementan las frecuencias desde el horizonte 2030 hasta el 2100 en comparación con el escenario Optimista. Jalapa sigue sin presentar valores debajo del umbral, mientras que Pantasma presenta un valor debajo del umbral en el horizonte 2100.

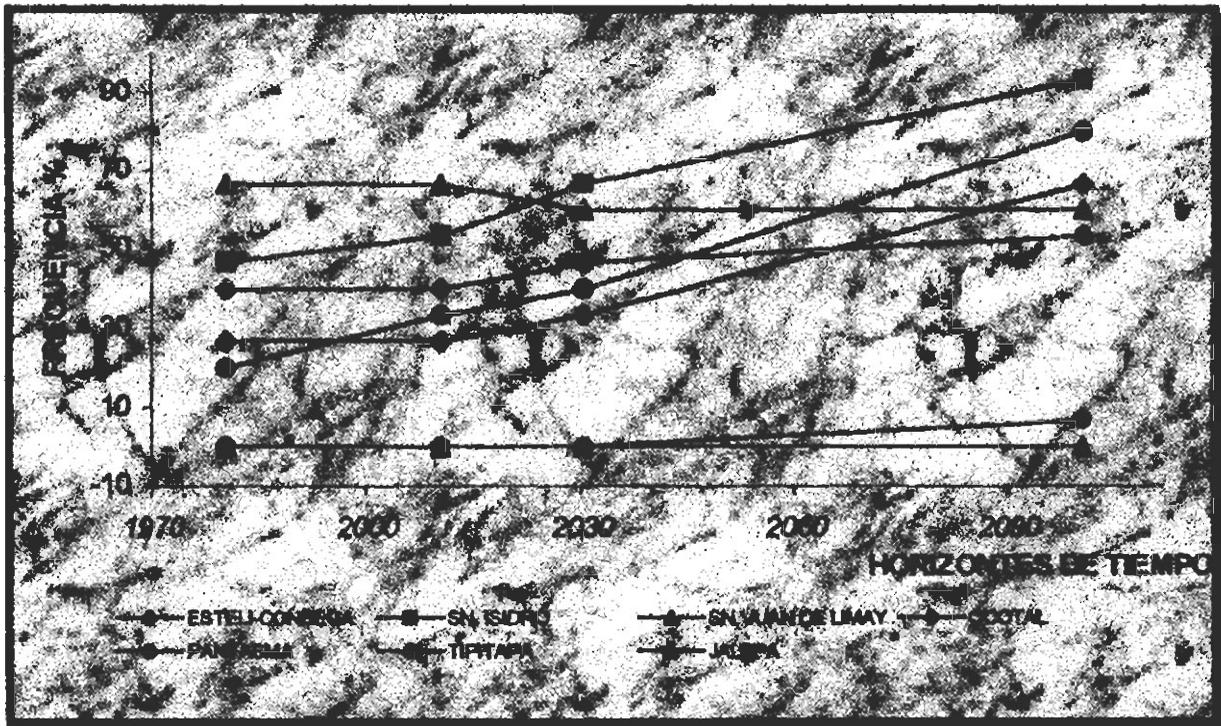


Figura 8: Frecuencias de Rendimientos simulados (%) por debajo de 2,582 kg/ha escenario Pesimista

Según los gráficos analizados anteriormente, los sitios de Pantasma y Jalapa son los que presentan menor variabilidad en la respuesta al Cambio Climático, inclusive en los horizontes de tiempo más alejados y en cualquier escenario. En cambio los sitios de Tipitapa, San Isidro y Estelí presentaron mayor variabilidad. Esto es debido a las características edáficas y climáticas de cada sitio.

VII.- CONCLUSIONES

Este estudio evaluó los Impactos del Cambio Climático en el cultivo del maíz para siete zonas de la Región Central de Nicaragua en base a los escenarios climáticos creados a partir de los escenarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI); IS92-c, IS92-d e IS92-a propuestos por el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC).

Es necesario considerar, sin embargo, las deficiencias propias del modelo CERES-maize y las limitantes actuales en los procesos de modelación. Por lo tanto este estudio analiza los resultados de una manera cualitativa proyectando las diferentes respuestas del cultivo de maíz ante cambios en el clima a corto y largo plazo. En este documento se analiza solamente la tendencia de las respuestas a estos cambios con respecto a un período de referencia.

Es evidente a partir de este estudio que el Cambio Climático está presente y afectará al Sistema de Producción de maíz.

Basados en los resultados obtenidos se puede concluir que:

⇒ **El modelo de simulación CERES-maize genera información del efecto del Cambio Climático en el cultivo de maíz.**

Los indicadores del efecto del Cambio Climático obtenidos por el modelo de simulación en el cultivo del maíz; tales como rendimientos potenciales, la duración de las etapas Fenológicas y factores climáticos relacionados a las necesidades del cultivo, permitieron analizar y evaluar el comportamiento del cultivo en diversas situaciones climáticas.

⇒ **El Cambio Climático afectará la Fenología del cultivo del maíz.**

Los Rendimientos resultantes indican fuertes reducciones en la duración de las etapas fenológicas del cultivo del maíz, cualquiera que sea el escenario y lugar. Debido a esto se reduce la capacidad del cultivo para producir biomasa y capturar agua. La reducción del ciclo es debida al incremento de la temperatura, la cual acelera el comienzo y

finalización de las fases fenológicas del cultivo. Además el rendimiento potencial se ve afectado por la reducción de la precipitación, ya que con esto se afecta directamente la disponibilidad de agua en el suelo para las plantas, esto está evidenciado con la reducción en el consumo de agua por las plantas.

⇒ **Las respuestas a los cambios climáticos varían entre los diferentes sitios.**

En general la variación de los resultados obtenidos es claramente observada en sitios que tienen mayor número de categorías estadísticas, en estos las variaciones climáticas anuales propias de cada sitio son evidentes en los resultados.

El análisis estadístico indica que los sitios de Estelí y Tipitapa tienen respuestas muy variables en cuanto a los rendimientos potenciales esperados con un Cambio Climático.

Con una menor variabilidad en sus resultados están los sitios de San Isidro, Ocotal, Pantasma y Jalapa. En San Juan de Limay, sin embargo los rendimientos promedios proyectados no son diferentes estadísticamente.

⇒ **Los Rendimientos Potenciales se reducen.**

Existen grandes reducciones porcentuales en los rendimientos promedios en relación a los del período de referencia en Estelí, Tipitapa y San Isidro ya que sus características edáficas como la textura y profundidad son limitantes de la adaptabilidad del cultivo.

En Jalapa y Pantasma no se reducen tanto debido a la disponibilidad de agua en estos sitios y sus favorables características edáficas.

⇒ **Los Costos de Producción no se cubren con los Rendimientos Proyectados**

Existe gran variabilidad en los rendimientos promedios potenciales simulados de los diferentes sitios, esta es la misma variabilidad de riesgo de producción. Considerando el punto de equilibrio aquel que corresponde a un manejo tecnificado con bueyes de 2,585 kg/ha (40 qq/mz) y comparando éste con los rendimientos esperados éstos no cubren los costos de producción. Excepto en Pantasma y Jalapa cuyos rendimientos proyectados no

presentan problemas para cubrir los costos de producción en ningún escenario u horizonte de tiempo, ya que sus valores son bastante altos.

En San Juan de Limay los rendimientos no se reducen significativamente, sin embargo estos no cubren los costos de producción aún en el período de referencia, ya que sus valores son muy bajos. Lo mismo que en San Isidro y Ocotral con más del 50 % de resultados que no producen lo suficiente para cubrir los costos.

VIII. - RECOMENDACIONES

1. - Mejorar la calidad y aumentar la cantidad de información climática, como la recolección de datos fenológicos. Esto permitirá validar y calibrar el modelo de simulación y aumentar la fiabilidad en futuros estudios con estos modelos.

2. - Enfocar los esfuerzos en el Manejo del Cultivo;
 - La aplicación oportuna y balanceada de nutrientes, especialmente el potasio el cual permitiría aumentar la eficiencia de la planta en cuanto al uso del agua.
 - Manipular la iniciación y duración de los eventos fisiológicos en función de las necesidades hídricas y energéticas del cultivo. El momento de siembra debe de ser el más oportuno para que la planta no presente problemas de déficit hídrico. Estas fechas de siembras deben de estar en función de la variedad de maíz (precoz o tardía) y el lugar de siembra.

- 3.- Introducir variedades que se adapten a las zonas con mayor riesgo climático como San Isidro, Tipitapa, Estelí y Ocotal.

4. - Implementar técnicas de riego complementario en sitios en donde exista disponibilidad del recurso agua para revertir efectos de reducción de precipitaciones.

5. - Establecer Sistemas de Producción Agroforestales para poder sustentar las necesidades nutricionales de los productores en lugares como Tipitapa, Ocotal, San Isidro y San Juan de Limay en donde los rendimientos potenciales no podrían en el futuro cubrir los costos de producción y por consiguiente llevar a una disminución del ingreso del agricultor.

IX - BIBLIOGRAFIA

Arróliga, F.; Rivas, V. Ramón; Rodríguez, R. J., 1997. ***“Evaluación de un eventual Cambio Climático en los cultivos de maíz, frijol y sorgo”***.
Managua, Nicaragua. 30 páginas.

Bolaños Jorge; Edmeades O. G., 1992. ***“Síntesis de Resultados Experimentales del PRM”***.
CIMMYT.
México. Vol. 4 páginas 251-261.

Campo O. Max, 1999. ***“Escenarios de Cambio Climático para la Evaluación de Impactos en Nicaragua”***. Segundo Informe de Resultados (Proyecto de Cambios Climáticos, MARENA).
Managua, Nicaragua. 19 páginas.

CIESIN (Consortium For International Earth Science Information Network) Database.
<http://www.CIESIN.com/>

Estrada Rubén Darío; Chaparro, Oscar; Rivera, Bernardo. 1999. ***“Utilización de Modelos de Simulación para Evaluación Ex-ante. Guía 8, En: Instrumentos para la Toma de Decisiones en el Manejo de los Recursos Naturales”*** Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
Cali, Colombia. 208 páginas.

Fleming Salvador Ricardo J., ***“Uso de la Simulación Computarizada para avanzar la Investigación Agrícola en los países en vía de desarrollo”*** Departamento de Agronomía Universidad Estatal de Iowa de Ciencia y Tecnología. Estados Unidos de Norteamérica.
<http://www.iastate.edu/>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 1995. ***“IPCC-Segunda Evaluación. Cambio Climático 1995”***.
Roma, Italia. 71 páginas.

Herrera A.; Ferrat Lazcano I., Mayo del 2000. ***“Sequía?, Inundaciones?...El potasio ayuda al maíz a soportar el estrés hídrico”***. Instituto de la Potasa y el Fósforo.
México. Vol. 4 páginas 1-3.

INTA, Guía Tecnológica #4, 1995. ***“Cultivo del Maíz”***.
Managua, Nicaragua. 11 páginas.

MAG, 1997. ***“Estudio preliminar de la cadena Agroalimentaria del Maíz y Frijol”***.
Managua, Nicaragua. 66 páginas.

MAG, 1998. ***“Guía Agropecuaria 1998”***.
Managua, Nicaragua. 115 páginas.

MAG, BCN, USDA, 1998. *“Resultados de la encuesta de producción; época de Postrera/Apante 1996-1997”*.

Managua, Nicaragua. 60 páginas.

MAGFOR, 1998. *“Boletín Trimestral /Julio 1998”*.

Managua, Nicaragua. 69 páginas.

MAGFOR, 1998. *“Boletín Trimestral/Octubre 1998”*.

Managua, Nicaragua. 62 páginas.

MAGFOR, 1998. *“Guías técnicas para la producción de semillas de Granos Básicos y oleaginosas”*. Dirección de Semillas.

Managua, Nicaragua. Páginas 1-19.

Rapidel B.; Picado F.; Torres M.; Torres B., 1999. *“Guía para comprender el Cambio Climático en Nicaragua”*.

Managua, Nicaragua. 62 páginas.

Reilly, J., 1995. *“Agriculture in a Changing Climate; Impacts and Adaptation”*.

U.S.A.44 páginas.

Somarriba, Rodríguez, 1997. *“Granos Básicos”*. UNA, Facultad de Agronomía.

Managua, Nicaragua. 196 páginas.

Tsuji Y., Gordon; Jones W., James; Balas Sharon, 1994. *“DSSAT Version 3. Volume I-IP”*.

Honolulu, Hawaii. 163 páginas.

X - ANEXOS

ANEXO 1: ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Escenario climático de **Temperatura** (décimas de grados celsius) para la Vertiente del Pacífico de Nicaragua (latitud: 12.50°, longitud: -87.50°).

Escenario	Horizonte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
IS92 - a (Escenario pesimista)	2010	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9
	2030	1.5	1.4	1.3	1.4	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5
	2050	2.2	2.0	1.9	2.0	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.2	2.2	2.1
	2070	2.8	2.6	2.5	2.6	3.0	3.0	2.8	2.8	2.8	2.6	2.8	2.9	2.8
	2100	3.8	3.5	3.4	3.5	4.0	4.1	3.8	3.8	3.7	3.5	3.8	3.9	3.7
IS92 - d (Escenario moderado)	2010	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	2030	1.3	1.2	1.1	1.2	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3
	2050	1.8	1.6	1.6	1.6	1.8	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.8	1.8	1.7
	2070	2.1	2.0	1.9	1.9	2.2	2.3	2.1	2.1	2.1	2.0	2.1	2.2	2.1
	2100	2.6	2.4	2.3	2.4	2.7	2.8	2.6	2.6	2.6	2.4	2.6	2.7	2.6
IS92 - c (Escenario optimista)	2010	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	2030	1.3	1.2	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3
	2050	1.7	1.6	1.5	1.5	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.7	1.6
	2070	2.0	1.8	1.7	1.8	2.0	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	2.0	2.0	1.9
	2100	2.2	2.0	1.9	2.0	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.2	2.2	2.1

Escenario climático de **Precipitación** (porcentajes) para la Vertiente del Pacífico de Nicaragua (latitud: 12.50°, longitud: -87.50°).

Escenario	Horizonte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AN
IS92 - a (Escenario pesimista)	2010	-14.3	-13.0	-15.8	-11.8	-9.1	-6.9	-8.8	-9.3	-7.7	-4.4	-11.3	-12.9	-8.4
	2030	-24.5	-22.3	-27.1	-20.2	-15.7	-11.8	-15.1	-16.0	-13.2	-7.5	-19.3	-22.2	-14.5
	2050	-35.5	-32.3	-39.3	-29.3	-22.7	-17.1	-21.9	-23.2	-19.1	-10.9	-28.0	-32.2	-21.0
	2070	-46.3	-42.1	-51.1	-38.1	-29.6	-22.3	-28.6	-30.2	-24.9	-14.2	-36.5	-41.9	-27.3
	2100	-61.9	-56.3	-68.4	-51.0	-39.6	-29.9	-38.2	-40.5	-33.3	-19.0	-48.9	-56.0	-36.6
IS92 - d (Escenario moderado)	2010	-13.3	-12.1	-14.7	-11.0	-8.5	-6.4	-8.2	-8.7	-7.2	-4.1	-10.5	-12.1	-7.9
	2030	-21.2	-19.3	-23.4	-17.4	-13.6	-10.2	-13.1	-13.8	-11.4	-6.5	-16.7	-19.2	-12.5
	2050	-28.6	-26.0	-31.6	-23.5	-18.3	-13.8	-17.6	-18.7	-15.4	-8.8	-22.5	-25.9	-16.9
	2070	-34.8	-31.7	-38.5	-28.7	-22.3	-16.8	-21.5	-22.8	-18.7	-10.7	-27.5	-31.5	-20.6
	2100	-42.8	-39.0	-47.3	-35.3	-27.4	-20.6	-26.4	-28.0	-23.0	-13.1	-33.8	-38.7	-25.3
IS92 - c (Escenario optimista)	2010	-13.3	-12.1	-14.7	-11.0	-8.5	-6.4	-8.2	-8.7	-7.2	-4.1	-10.5	-12.0	-7.9
	2030	-20.9	-19.0	-23.1	-17.2	-13.4	-10.1	-12.9	-13.7	-11.3	-6.4	-16.5	-18.9	-12.4
	2050	-27.5	-25.0	-30.4	-22.6	-17.6	-13.2	-17.0	-17.9	-14.8	-8.4	-21.7	-24.9	-16.2
	2070	-32.0	-29.2	-35.4	-26.4	-20.5	-15.4	-19.8	-20.9	-17.2	-9.8	-25.3	-29.0	-18.9
	2100	-35.6	-32.4	-39.3	-29.3	-22.8	-17.1	-22.0	-23.2	-19.1	-10.9	28.1	-32.2	-21.0

ANEXO 2: DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA REAL Y GENERADA

Estaciones Climáticas y Disponibilidad de Datos.

ESTACION	CODIGO INETER	TIPO	ALTURA (MSNM)	LATTITUD	LONGITUD	T°PROM. ANUAL	PARAMETROS			
							RAD	TMIN	TMAX	RAIN
OCOTAL	045017	HMP	612	13.6166	86.4666	24.2	X	X	X	X
CONDEGA	045050	AG	560	13.3833	86.3833	24.3	X	X	X	X
ESELI	045031	HMO	815	13.1166	86.3500	21.4	-	X	X	X
JALAPA	045033	HMO	680	13.6333	86.4833	23.1	-	X	X	-
JINOTEGA	055020	HMP	1032	13.0833	86.0000	21.5	X	-	X	X
SAN ISIDRO	069029	AG	480	12.9000	86.1833	25.8	X	X	X	X
SAN CARLOS	069090	HMP	40	11.1166	84.7666	26.3	X	X	X	X
TIMAL	069130	HMP	70	12.0777	86.0319	27-27.5	X	X	X	X
LIMAY	058002	PV	281	130848	863636	-	-	-	-	X

X : Disponible.

- : Desconocido.

Datos Generados y Reales

Año	OCOTAL				CONDEGA				ESELI				JALAPA				JINOTEGA				SN ISIDRO				LIMAY			
	S	tn	tm	R	s	tn	tm	R	s	tn	tm	R	s	tn	tm	R	s	tn	tm	R	s	tn	tm	R	s	tn	tm	R
71																												
72																												
73																												
74																												
75																												
76																												
77																												
78																												
79																												
80																												
81																												
82																												
83																												
84																												
85																												
86																												
87																												
88																												
89																												

G = Generación realizada (generación de datos diarios).
(SOMBRAS) = Datos diarios Reales.

S : Insolación
Tn : Temperatura mínima
Tm : Temperatura máxima.
R : Lluvia

ANEXO 3: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS DE ALGUNOS PERFILES DE SUELO DE LA REGIÓN CENTRAL DE NICARAGUA.

SITIOS	COBIGO MAG	CÓDIGO (DSSAT)	LATITUD	LONGITUD	PRECIPITA. PROMEDIO ANUAL	T°C PROM. ANUAL	CARACT. FÍSICAS	
							TEXT	PROF (cm)
JALAPA	J1	NA00990001	1540439	588728	1400-1600	23-24	CL	63
	J2	NAMZ990001	1547975	598950	1400-1600	23-24	SACLL	72
	J3	NAMZ990002	1543125	600975	1400-1600	23-24	CLLO	64
	J4	NAMZ990003	1543125	600975	1400-1600	23-24	CL	83
	J5	NAMZ990004	1540015	596095	1400-1600	22-23	SICL	52
	J6	NAMZ990005	1548350	602215	1400-1600	23-24	SALO	15
	J7	NAMZ990006	1552525	601550	1400-1600	23-24	SALO	50
	J8	NAMZ990007	1546125	600220	1400-1600	23-24	SALO	27
	J9	NAMZ990008	1544825	596490	1400-1600	23-24	CLLO	55
	J10	NAMZ990009	1530510	586675	1200-1400	22	SILO	32
	J11	NAMZ990010	1535300	593800	1400-1600	22-23	LO	23
	J12*	NAMZ990011	1540360	597220	1400-1600	23-24	LO	50
LIMAY	L1	NAMZ990012	1455200	541300	1000-1400	25-26	LO	72
	L2	NA00990002	1455750	540760	1000-1400	25-26	CLLO	51
	L3	NAMZ990013	1459520	543095	1000-1400	25-26	LO	41
	L4	NAMZ990014	1458810	542800	1000-1400	25-26	LO	46
	L5	NAMZ990015	1457600	544800	1000-1400	25-26	SALO	40
	L6	NAMZ990016	1460100	546000	1000-1400	25-26	LO	26
	L7*	NAMZ990017	1457825	541900	1000-1400	25-26	LO	48
	L8	NAMZ990018	1459875	546605	1000-1400	25-26	CL	82
	L9	NAMZ990019	1457607	544805	1000-1400	25-26	CL	29
	L10	SIN INCLUIR	1457700	543110	1000-1400	25-26	SA	20
OCOTAL	O1*	NAMZ990020	1507750	555400	1000-1800	24-25	CL	60
ISIDRO	I1	NAMZ990021	1426960	589115	1000-1800	25-26	CL	97
	I2*	NAMZ990022	1425290	588700	1000-1800	25-26	CL	57

* Perfil seleccionado para la simulación.

Continuación:

SITIOS	CODIGO MAG	CODIGO (DSSAT)	LATITUD	LONGITUD	PRECIPITA. PROMEDIO ANUAL	T°C PROM. ANUAL	CARACT. FISICAS	
							TEXT	PROF (cm)
PANTASMA	P1	NAMZ990023	1476225	614480	1600-1800	21-22	LO	22
	P2*	NAMZ990024	1479800	614395	1600-1800	22-23	LO	48
	P3	NAMZ990025	1479925	617300	1600-1800	22-23	CLLO	50
	P4	NAMZ990026	1479700	616590	1600-1800	22-23	CLLO	40
TIPITAPA	T1	NAMZ990027	1327800	611150	1000-1200	27.5	LO	67
	T2*	NAMZ990028	1344000	599900	1000-1200	27-27.5	CLLO	33
	T3	NAMZ990029	1333900	613100	1000-1200	27.5	CL	25
	T4	NAMZ990030	1328400	613500	1000-1200	27.5	CL	80
	T5	NAMZ990031	1342700	593000	1000-1200	26-27	SALO	66
	T6	NAMZ990032	1321900	612900	1200-1400	27.5	CLLO	62
	T7	NAMZ990033	1348200	600500	1000-1200	27-27.5	CL	85
	T8	NAMZ990034	1334900	608800	1000-1200	27-27.5	LO	54
ESTELI-CONDEGA	E1	NAMZ990035	1483375	555825	>800	24-25	SACLL	13
	E2	NAMZ990036	1458870	578260	800-1000	21	LO	18
	E3	NAMZ990037	1440240	564725	1000-1400	25-24	CLLO	46
	E4	NAMZ990038	1461800	568195	800-1000	21-22	SILO	53
	E5*	NAMZ990039	1453550	570060	800-1000	21-22	LO	60
	E6	SIN INCLUIR	1450675	570525	800-1000	21-22	CLLO	70

* Perfil seleccionado para la simulación.

CL	Clay	Arcilloso
CLLO	Clay Loam	Franco Arcilloso
SICLL	Silty Clay Loam	Franco Arcillo Limoso
LO	Loam	Franco
SA	Sand	Arenoso
SACLL	Sandy Clay Loam	Franco Arcillo Arenoso
SICL	Silty Clay	Arcillo Limoso
SILO	Silty Loam	Franco Limoso
SALO	Sandy Loam	Franco Arenoso

**ANEXO 4: COEFICIENTES GENETICOS DEL CULTIVAR MEDIO DE MAÍZ.
MODELO CERES-MAIZE.**

COBIGO DSSAT	VALOR	DESCRIPCION
P1	200.0	Tiempo Termal desde la emergencia hasta el final de la etapa juvenil (expresado en grados-días por encima de una base de 8 °C), durante la cual la planta no responde a cambios en el fotoperíodo.
P2	0.30	Extensión a la cual el desarrollo (expresado en días) se retrasa por cada hora de incremento en el fotoperíodo, sobre el fotoperíodo más largo, en la cual el desarrollo alcanza su máximo rango (considerado de 12 horas). Sensibilidad al fotoperíodo.
P5	800.0	Tiempo Termal desde el comienzo de producción de granos hasta la madurez fisiológica (expresado en grados-días por encima de una base de 8 °C). Tasa de crecimiento del grano.
G2	700.0	Número máximo posible de granos por planta.
G3	8.5	Rango de llenado de granos durante la etapa lineal de llenado de granos y bajo óptimas condiciones. Rango potencial de llenado de granos (mg/día).
PHINT	38.9	Intervalo Plastocrón. Intervalo de Tiempo Termal (días-grado) entre la aparición de cada hoja número máximo de granos por planta.

ANEXO 5: FORMULAS Y RAZONES DE CONVERSION

$$N_{\text{Total}} = \left(\frac{\%m.o.}{20} \right) (10) C_{\text{Orgánico}} = \left(\frac{\%m.o.}{1.724} \right) (10)$$

$$\text{Radiación Global} = \left[a + b \left(\frac{n}{N} \right) \right]$$

$$a = 0.3$$

$$b = 0.43$$

$$1 \text{ mm agua evaporable} = 58.6 \text{ Cal.}$$

$$1 \text{ Cal} = 4.185 \text{ J}$$

$$1 \text{ mm agua evaporable} = 2.45241 \text{ MJ/m}^2$$

ANEXO 6: MASCARILLA DE FORMULAS

⇒ Mascarilla de fórmulas para aplicar escenarios de Precipitación a los años del período de referencia

Años	Horizontes de Tiempo			Escenarios Climáticos			
BASE	2010 *	2030 *	2100 *	mes	2010 *	2030 *	2100 *
X_1	$X_1(A_1/100 + 1)$	$X_1(B_1/100 + 1)$	$X_1(C_1/100 + 1)$	E	A_1	B_1	C_1
.	.	.	.	F	A_2	B_2	C_2
.	.	.	.	M	A_3	B_3	C_3
.	.	.	.	A	A_4	B_4	C_4
X_{32}	$X_{32}(A_2/100 + 1)$	$X_{32}(B_2/100 + 1)$	$X_{32}(C_2/100 + 1)$	M	A_5	B_5	C_5
.	.	.	.	J	A_6	B_6	C_6
.	.	.	.	J	A_7	B_7	C_7
.	.	.	.	A	A_8	B_8	C_8
X_{61}	$X_{61}(A_2/100 + 1)$	$X_{61}(B_2/100 + 1)$	$X_{61}(C_2/100 + 1)$	S	A_9	B_9	C_9
.	.	.	.	O	A_{10}	B_{10}	C_{10}
.	.	.	.	N	A_{11}	B_{11}	C_{11}
.	.	.	.	D	A_{12}	B_{12}	C_{12}
X_{365}	$X_{365}(A_{12}/100 + 1)$	$X_{365}(B_{12}/100 + 1)$	$X_{365}(C_{12}/100 + 1)$				

⇒ Mascarilla de fórmulas para aplicar escenarios de Temperatura a los años del período de referencia

Años	Horizontes de Tiempo			Escenarios Climáticos			
BASE	2010 *	2030 *	2100 *	mes	2010 *	2030 *	2100 *
X_1	$X_1 + A_1$	$X_1 + B_1$	$X_1 + C_1$	E	A_1	B_1	C_1
.	.	.	.	F	A_2	B_2	C_2
.	.	.	.	M	A_3	B_3	C_3
.	.	.	.	A	A_4	B_4	C_4
X_{32}	$X_{32} + A_2$	$X_{32} + B_2$	$X_{32} + C_2$	M	A_5	B_5	C_5
.	.	.	.	J	A_6	B_6	C_6
.	.	.	.	J	A_7	B_7	C_7
.	.	.	.	A	A_8	B_8	C_8
X_{61}	$X_{61} + A_3$	$X_{61} + B_3$	$X_{61} + C_3$	S	A_9	B_9	C_9
.	.	.	.	O	A_{10}	B_{10}	C_{10}
.	.	.	.	N	A_{11}	B_{11}	C_{11}
.	.	.	.	D	A_{12}	B_{12}	C_{12}
X_{365}	$X_{365} + A_{12}$	$X_{365} + B_{12}$	$X_{365} + C_{12}$				

**ANEXO 7: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS ESTADÍSTICOS
USADOS PARA EL ANÁLISIS DE SEPARACIÓN DE MEDIAS**

VARIABLE	RE	ESCENARIO	HOP	FSC/HOP	CV (%)	R ²
ESTELI	0.0001 **	0.0840 NS	0.0001 **	0.1976 NS	17.55665	0.897785
OCOTAL	0.0001 **	0.5990 NS	0.0001 **	0.7652 NS	25.96638	0.858731
JALAPA	0.0001 **	0.0013 **	0.0001 **	0.0028 **	6.710021	0.803843
LIMAY	0.0001 **	0.9615 NS	0.0007 **	0.9806 NS	22.82630	0.957166
PANTASMA	0.0001 **	0.0003 **	0.0001 **	0.0001 **	8.839507	0.731379
SAN ISIDRO	0.0001 **	0.4035 NS	0.0001 **	0.6943 NS	28.18686	0.898628
TIPITAPA	0.0001 **	0.0095 **	0.0001 **	0.1010 NS	17.87380	0.911934

****** Significación al 99 %.

NS no significativa.

ANEXO 8: ANDEVA (BCA) Y SEPARACION DE MEDIAS POR TUKEY (Tukey's Studentized Range -HSD- Test) PARA LOS RENDIMIENTOS PROMEDIOS PROYECTADOS EN LOS ESCENARIOS Y HORIZONTES.

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ. Means with the same letter are not significantly different.

ESCENARIOS

variable: **ESTELI-CONDEGA**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 427417.5
 Critical Value of Studentized Range= 3.347
 Minimum Significant Difference= 282.48

Tukey Grouping	Mean	N	ESCENARIO
A	3822.5	60	1
A	3777.5	60	2
A	3571.4	60	3

variable: **SAN ISIDRO**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 353512.2
 Critical Value of Studentized Range= 3.347
 Minimum Significant Difference= 256.9

Tukey Grouping	Mean	N	ESCENARIO
A	2155.5	60	1
A	2147.8	60	2
A	2024.8	60	3

variable: **SAN JUAN DE LIMAY**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 260783.8
 Critical Value of Studentized Range= 3.347
 Minimum Significant Difference= 220.65

Tukey Grouping	Mean	N	ESCENARIO
A	2246.07	60	2
A	2243.33	60	1
A	2222.20	60	3

variable: **OCOTAL**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 557962.9
 Critical Value of Studentized Range= 3.347
 Minimum Significant Difference= 322.75

Tukey Grouping	Mean	N	ESCENARIO
A	2954.2	60	3
A	2854.5	60	2
A	2821.4	60	1

variable: **PANTASMA**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 340600.4
Critical Value of Studentized Range= 3.347
Minimum Significant Difference= 252.17

Tukey Grouping	Mean	N	ESCENARIO
A	6783.8	60	1
A	6664.4	60	2
B	6358.6	60	3

variable: **TIPITAPA**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 315357.7
Critical Value of Studentized Range= 3.347
Minimum Significant Difference= 242.64

Tukey Grouping	Mean	N	ESCENARIO
A	3265.0	60	1
B A	3197.8	60	2
B	2962.7	60	3

variable: **JALAPA**

Alpha= 0.05 df= 143 MSE= 200311
Critical Value of Studentized Range= 3.349
Minimum Significant Difference= 200.32

Tukey Grouping	Mean	N	ESCENARIO
A	6791.41	56	1
A	6727.61	56	2
B	6491.11	56	3

HORIZONTES

variable: **ESTELI-CONDEGA**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 427417.5
Critical Value of Studentized Range= 3.673
Minimum Significant Difference= 357.98

Tukey Grouping	Mean	N	HORIZONTE
A	4395.5	45	1
B	3997.2	45	2
B	3670.5	45	3
C	2831.9	45	4

variable: **SAN ISIDRO**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 353512.2
Critical Value of Studentized Range= 3.673
Minimum Significant Difference= 325.56

Tukey Grouping		Mean	N	HORIZONTE
A		2785.5	45	1
B		2255.3	45	2
B		1942.9	45	3
C		1453.7	45	4

variable: **SAN JUAN DE LIMAY**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 260783.8
Critical Value of Studentized Range= 3.673
Minimum Significant Difference= 279.62

Tukey Grouping		Mean	N	HORIZONTE
A		2468.3	45	1
B	A	2268.8	45	2
B	A	2192.3	45	3
B		2019.4	45	4

variable: **OCOTAL**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 557962.9
Critical Value of Studentized Range= 3.673
Minimum Significant Difference= 409.01

Tukey Grouping		Mean	N	HORIZONTE
A		3377.8	45	1
B	A	3021.0	45	2
B	C	2746.5	45	3
C		2361.4	45	4

variable: **PANTASMA**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 340600.4
Critical Value of Studentized Range= 3.673
Minimum Significant Difference= 319.56

Tukey Grouping		Mean	N	HORIZONTE
A		7149.3	45	1
B		6689.8	45	2
B		6639.0	45	3
C		5931.1	45	4

variable: **TIPITAPA**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 315357.7
Critical Value of Studentized Range= 3.673
Minimum Significant Difference= 307.49

Tukey Grouping	Mean	N	HORIZONTE
A	4064.3	45	1
B	3421.3	45	2
C	2994.2	45	3
D	2087.6	45	4

variable: **JALAPA**

Alpha= 0.05 df= 143 MSE= 200311
Critical Value of Studentized Range= 3.676
Minimum Significant Difference= 253.89

Tukey Grouping	Mean	N	HORIZONTE
A	7097.21	42	1
B	6792.98	42	2
B	6659.57	42	3
C	6130.40	42	4

**ANEXO 9: SEPARACION DE MEDIAS DE INTERACCION
 ESCENARIO*HORIZONTE (Tukey's Studentized Range -HSD- Test)**

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ. Means with the same letter are not significantly different.

Combinaciones posibles de escenario y horizonte de tiempo para cada sitio.

2010 (c)	escenario optimista; año 2010.	1-2
2010 (d)	escenario moderado; año 2010.	2-2
2010 (a)	escenario pesimista; año 2010.	3-2
2030 (c)	escenario optimista; año 2030.	1-3
2030 (d)	escenario moderado; año 2030.	2-3
2030 (a)	escenario pesimista; año 2030.	3-3
2100 (c)	escenario optimista; año 2100.	1-4
2100 (d)	escenario moderado; año 2100.	2-4
2100 (a)	escenario pesimista; año 2100.	3-4

variable: **ESTELI-CONDEGA**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 427417.5
 Critical Value of Studentized Range= 4.694
 Minimum Significant Difference= 792.35

Tukey Grouping	Mean	N	ESCHOR
A	4395.5	15	1-1
A	4395.5	15	2-1
A	4395.5	15	3-1
B A	4017.0	15	1-2
B A	4017.0	15	2-2
B A C	3957.7	15	3-2
B D A C	3737.3	15	2-3
B D A C	3689.7	15	1-3
B D C	3584.5	15	3-3
D C	3187.7	15	1-4
D E	2960.3	15	2-4
E	2347.7	15	3-4

variable: **SAN ISIDRO**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 353512.2
Critical Value of Studentized Range= 4.694
Minimum Significant Difference= 720.6

Tukey Grouping		Mean	N	ESCHOR
	A	2785.5	15	1-1
	A	2785.5	15	2-1
	A	2785.5	15	3-1
B	A	2274.8	15	1-2
B	A	2274.8	15	2-2
B	A	2216.4	15	3-2
B		1951.4	15	1-3
B		1939.9	15	3-3
B		1937.5	15	2-3
B	C	1610.3	15	1-4
B	C	1593.5	15	2-4
	C	1157.5	15	3-4

variable: **SAN JUAN DE LIMAY**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 260783.8
Critical Value of Studentized Range= 4.694
Minimum Significant Difference= 618.92

Tukey Grouping		Mean	N	ESCHOR
	A	2468.3	15	1-1
	A	2468.3	15	2-1
	A	2468.3	15	3-1
	A	2274.1	15	1-2
	A	2274.1	15	2-2
	A	2258.1	15	3-2
	A	2246.5	15	3-3
	A	2166.6	15	2-3
	A	2163.8	15	1-3
	A	2075.2	15	2-4
	A	2067.1	15	1-4
	A	1915.9	15	3-4

variable: **OCOTAL**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 557962.9
Critical Value of Studentized Range= 4.694
Minimum Significant Difference= 905.31

Tukey Grouping		Mean	N	ESCHOR
	A	3377.8	15	1-1
	A	3377.8	15	2-1
	A	3377.8	15	3-1
B	A	3026.7	15	1-2
B	A	3026.7	15	2-2
B	A	3009.7	15	3-2
B	A C	2790.5	15	1-3
B	A C	2790.5	15	3-3
B	A C	2658.6	15	2-3
B	A C	2638.9	15	3-4
B	C	2354.9	15	2-4
	C	2090.5	15	1-4

variable: **PANTASMA**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 340600.4
Critical Value of Studentized Range= 4.694
Minimum Significant Difference= 707.32

Tukey Grouping		Mean	N	ESCHOR
	A	7149.3	15	1-1
	A	7149.3	15	2-1
	A	7149.3	15	3-1
B	A	6826.1	15	1-2
B	A	6826.1	15	2-2
B	A	6766.6	15	3-2
B	A	6710.7	15	2-3
B	A	6669.8	15	1-3
B	A	6536.5	15	3-3
B	A	6490.1	15	1-4
B		6321.0	15	2-4
	C	4982.3	15	3-4

variable: **TIPITAPA**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 315357.7
Critical Value of Studentized Range= 4.694
Minimum Significant Difference= 680.6

Tukey Grouping		Mean	N	ESCHOR
	A	4064.3	15	1-1
	A	4064.3	15	2-1
	A	4064.3	15	3-1
B	A	3458.5	15	1-2
B	A	3458.5	15	2-2
B		3347.0	15	3-2
B	C	3134.7	15	2-3
B	C	3050.9	15	1-3
B	C D	2797.2	15	3-3
	C D	2486.5	15	1-4
	E D	2133.9	15	2-4
	E	1642.2	15	3-4

variable: **JALAPA**

Alpha= 0.05 df= 143 MSE= 200311
Critical Value of Studentized Range= 4.700
Minimum Significant Difference= 562.13

Tukey Grouping		Mean	N	ESCHOR
	A	7097.2	14	1-1
	A	7097.2	14	2-1
	A	7097.2	14	3-1
B	A	6798.6	14	1-2
B	A	6798.6	14	2-2
B	A	6781.6	14	3-2
B	A	6751.4	14	1-3
B	A	6736.7	14	2-3
B		6518.4	14	1-4
B		6490.6	14	3-3
B		6277.9	14	2-4
	C	5594.9	14	3-4

variable: **TIPITAPA**

Alpha= 0.05 df= 154 MSE= 315357.7
Critical Value of Studentized Range= 4.694
Minimum Significant Difference= 680.6

Tukey Grouping		Mean	N	ESCHOR
	A	4064.3	15	1-1
	A	4064.3	15	2-1
	A	4064.3	15	3-1
B	A	3458.5	15	1-2
B	A	3458.5	15	2-2
B		3347.0	15	3-2
B	C	3134.7	15	2-3
B	C	3050.9	15	1-3
B	C D	2797.2	15	3-3
	C D	2486.5	15	1-4
	E D	2133.9	15	2-4
	E	1642.2	15	3-4

variable: **JALAPA**

Alpha= 0.05 df= 143 MSE= 200311
Critical Value of Studentized Range= 4.700
Minimum Significant Difference= 562.13

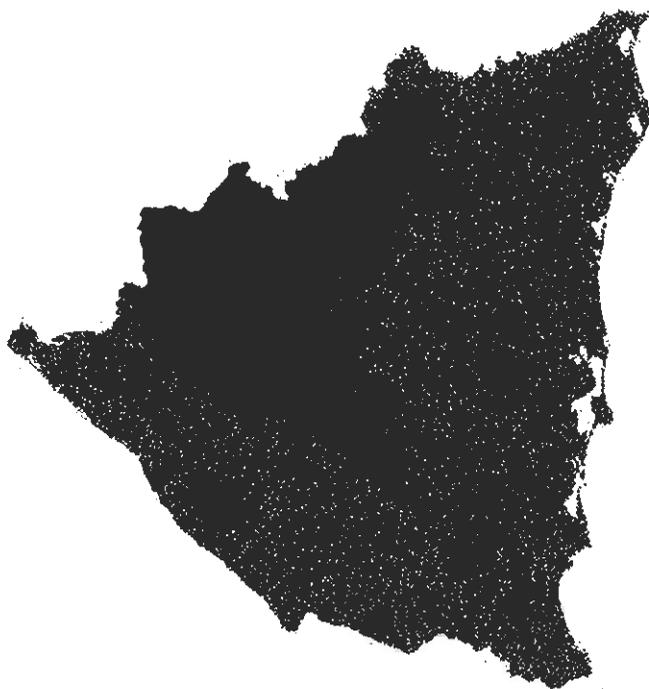
Tukey Grouping		Mean	N	ESCHOR
	A	7097.2	14	1-1
	A	7097.2	14	2-1
	A	7097.2	14	3-1
B	A	6798.6	14	1-2
B	A	6798.6	14	2-2
B	A	6781.6	14	3-2
B	A	6751.4	14	1-3
B	A	6736.7	14	2-3
B		6518.4	14	1-4
B		6490.6	14	3-3
B		6277.9	14	2-4
	C	5594.9	14	3-4

ANEXO 10: FRECUENCIAS DE AÑOS POR DEBAJO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO DE PRODUCCIÓN, 2,582 kg/ha (40 qq/mz) DEFINIDO PARA UN MANEJO TECNIFICADO CON BUEYES (MAG, 1997).

escenario	Horiz. Sitios	ESTELI CONDEGA	SN. ISIDRO	SN. JUAN DE LIMAY	OCOTAL	PANTASMA	TIPITAPA	JALAPA
c	1980	4	7	10	6	0	3	0
	2010	4	8	10	6	0	5	0
	2030	4	10	10	7	0	5	0
	2100	6	11	9	10	0	7	0
d	1980	4	7	10	6	0	3	0
	2010	4	8	10	6	0	5	0
	2030	4	10	10	8	0	5	0
	2100	7	11	9	10	0	9	0
a	1980	4	7	10	6	0	3	0
	2010	4	8	10	6	0	5	0
	2030	5	10	9	7	0	6	0
	2100	10	14	9	8	1	12	0

ANEXO 11: MAPA DE ALTITUDES DE NICARAGUA. (MAGFOR 1997)

MAPA DE ALTITUDES DE NICARAGUA



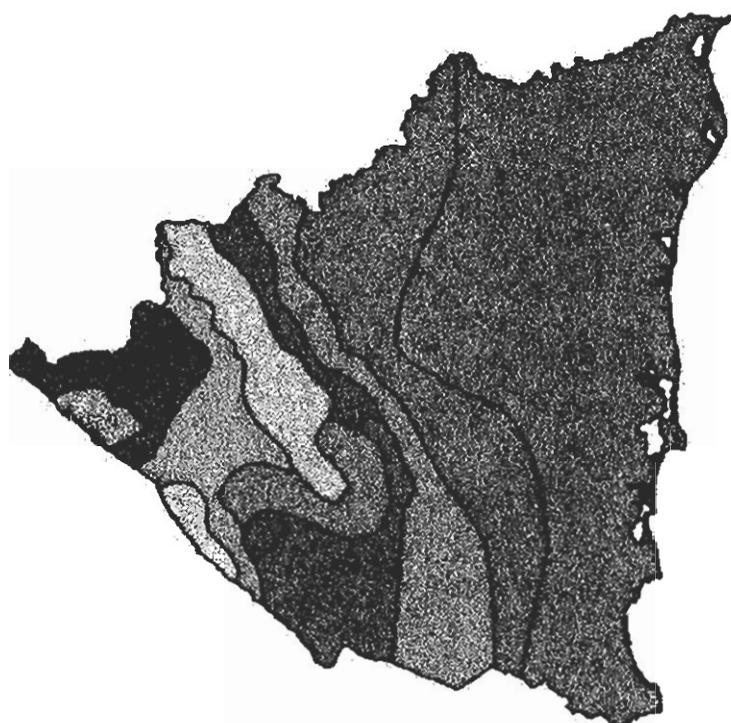
Elevac

-  0-300 m
-  300-700 m
-  + de 700 m



100 0 100 200 Miles

MAPA DE ZONAS DE LLUVIA DE NICARAGUA



Lluvia

- 1
- 2A
- 2B
- 2C
- 3A
- 3B
- 3C
- 4A
- 4B
- 4C
- 4D

100 0 100 200 Miles



ANEXO 13: DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS ARCHIVOS DEL DSSATv3.5

<i>NOMBRE INTERNO</i>	<i>NOMBRE</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ENTRADAS		
<u>Experimento</u>		
FILEL	Archivo de lista de experimento.	Lista todos los archivos de detalles de experimento disponibles.
FILEX	Archivo de detalles de experimento.	Contiene todos los detalles de un experimento en particular: tratamientos, condiciones de campo, manejo del cultivo y control de simulación.
<u>Clima y Suelo</u>		
FILEW	Archivo de datos de Clima.	Datos de clima diarios para una estación y período de tiempo específico.
FILES	Archivo de datos de Suelo.	Datos de un perfil de suelo para un grupo de sitios experimentales en general o para un sitio específico.
<u>Cultivo y cultivar</u>		
FILEC	Archivo de Cultivar.	Coefficientes del cultivar/variedad para una especie de cultivo y modelo.
FILEE	Archivo de Ecotipo.	Coefficientes específicos del ecotipo para una especie de modelo y cultivo.
FILEG	Archivo de Especies.	Coefficientes específicos del cultivo (especies) para un modelo en particular.

<i>NOMBRE INTERNO</i>	<i>NOMBRE</i>	<i>DESCRIPCION</i>
SALIDAS		
OUTO	Archivo de sobrevista.	Sobrevista de entradas de la mayoría de variables de cultivos y suelo.
OUTS	Archivo de resumen.	Resumen de la información: variables de las entradas y salidas de los cultivos y suelos. Presentan información detallada en secuencia de tiempo para:
OUTG	Archivo de crecimiento.	Crecimiento.
OUTC	Archivo de carbono.	Balance de carbono.
OUTW	Archivo de agua.	Balance de agua.
OUTN	Archivo de nitrógeno.	Balance de nitrógeno.
OUTP	Archivo de fósforo.	Balance de fósforo.
OUTD	Archivo de plagas.	Plagas, enfermedades y niveles de daño por malezas.
ARCHIVOS DE PRESENTACION DE EXPERIMENTO.		
FILEP	Archivos de datos de presentación; parcela.	Datos de presentación (arreglados por parcelas) para un experimento real. Usados para calcular FILEA y FILET.
FILED	Archivos de datos de presentación; fecha.	Datos de presentación (arreglados por fecha) para un experimento real. Usados para calcular FILEA y FILET.
FILEA	Archivo de datos de presentación; promedios.	Valores promedios de datos de presentación para un experimento real (usados para comparar con los resultados de la simulación).
FILET	Archivos de datos de presentación; curso de tiempo.	Datos de curso de tiempo (promedios) para un experimento real (usados para comparar gráficamente con los datos simulados).

ANEXO 14: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES CON EL MODELO CERES-
maize.

SITIOS	ESTELI	SN. ISIDRO	LIMAY	OCOTAL	PANTASMA	TIPITAPA	JALAPA	
base	4395.5	2785.5	2468.3	3377.8	7149.3	4064.3	7097.2	
2010	a	3957.7	2216.4	2258.1	3009.7	6766.6	3347.0	6781.6
	c	4017.0	2274.8	2274.1	3026.7	6826.1	3458.5	6798.6
	d	4017.0	2274.8	2274.1	3026.7	6826.1	3458.5	6798.6
2030	a	3584.5	1939.9	2246.5	2790.5	6536.5	2797.2	6490.6
	c	3689.7	1951.4	2163.8	2790.5	6669.8	3050.9	6751.4
	d	3737.3	1937.5	2166.6	2658.6	6710.7	3134.7	6736.7
2100	a	2347.7	1157.5	1915.9	2638.9	4982.3	1642.2	5594.9
	c	3187.7	1610.3	2067.1	2090.5	6490.1	2486.5	6518.4
	d	2960.3	1593.5	2075.2	2354.9	6321.0	2133.9	6277.9
base	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2010	a	-10.0	-20.4	-8.5	-10.9	-5.4	-17.6	-4.4
	c	-8.6	-18.3	-7.9	-10.4	-4.5	-14.9	-4.2
	d	-8.6	-18.3	-7.9	-10.4	-4.5	-14.9	-4.2
2030	a	-18.4	-30.4	-9.0	-17.4	-8.6	-31.2	-8.5
	c	-16.1	-29.9	-12.3	-17.4	-6.7	-24.9	-4.9
	d	-15.0	-30.4	-12.2	-21.3	-6.1	-22.9	-5.1
2100	a	-46.6	-58.4	-22.4	-21.9	-30.3	-59.6	-21.2
	c	-27.5	-42.2	-16.3	-38.1	-9.2	-38.8	-8.2
	d	-32.7	-42.8	-15.9	-30.3	-11.6	-47.5	-11.5
base	5.3	4.3	7.6	4.9	6.5	5.7	16.7	
2010	a	4.9	3.9	7.2	4.6	5.8	5.3	15.2
	c	5.0	4.0	7.2	4.6	5.9	5.3	15.3
	d	5.0	4.0	7.2	4.6	5.9	5.3	15.3
2030	a	4.7	3.8	6.8	4.4	5.5	4.9	14.2
	c	4.7	3.8	7.0	4.4	5.6	5.1	14.8
	d	4.7	3.8	6.9	4.5	5.6	5.1	14.8
2100	a	3.5	2.7	5.0	7.9	3.9	3.9	11.0
	c	4.3	3.4	6.4	4.0	5.0	4.6	13.3
	d	4.1	3.2	5.9	3.8	4.7	4.3	12.8

**ANEXO 14: RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES CON EL MODELO CERES-
maize.**

SITIOS	ESTELI	SN. ISIDRO	LIMAY	OCOTAL	PANTASMA	TIPITAPA	JALAPA	
base	4395.5	2785.5	2468.3	3377.8	7149.3	4064.3	7097.2	
2010	a	3957.7	2216.4	2258.1	3009.7	6766.6	3347.0	6781.6
	c	4017.0	2274.8	2274.1	3026.7	6826.1	3458.5	6798.6
	d	4017.0	2274.8	2274.1	3026.7	6826.1	3458.5	6798.6
2030	a	3584.5	1939.9	2246.5	2790.5	6536.5	2797.2	6490.6
	c	3689.7	1951.4	2163.8	2790.5	6669.8	3050.9	6751.4
	d	3737.3	1937.5	2166.6	2658.6	6710.7	3134.7	6736.7
2100	a	2347.7	1157.5	1915.9	2638.9	4982.3	1642.2	5594.9
	c	3187.7	1610.3	2067.1	2090.5	6490.1	2486.5	6518.4
	d	2960.3	1593.5	2075.2	2354.9	6321.0	2133.9	6277.9
base	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2010	a	-10.0	-20.4	-8.5	-10.9	-5.4	-17.6	-4.4
	c	-8.6	-18.3	-7.9	-10.4	-4.5	-14.9	-4.2
	d	-8.6	-18.3	-7.9	-10.4	-4.5	-14.9	-4.2
2030	a	-18.4	-30.4	-9.0	-17.4	-8.6	-31.2	-8.5
	c	-16.1	-29.9	-12.3	-17.4	-6.7	-24.9	-4.9
	d	-15.0	-30.4	-12.2	-21.3	-6.1	-22.9	-5.1
2100	a	-46.6	-58.4	-22.4	-21.9	-30.3	-59.6	-21.2
	c	-27.5	-42.2	-16.3	-38.1	-9.2	-38.8	-8.2
	d	-32.7	-42.8	-15.9	-30.3	-11.6	-47.5	-11.5
base	5.3	4.3	7.6	4.9	6.5	5.7	16.7	
2010	a	4.9	3.9	7.2	4.6	5.8	5.3	15.2
	c	5.0	4.0	7.2	4.6	5.9	5.3	15.3
	d	5.0	4.0	7.2	4.6	5.9	5.3	15.3
2030	a	4.7	3.8	6.8	4.4	5.5	4.9	14.2
	c	4.7	3.8	7.0	4.4	5.6	5.1	14.8
	d	4.7	3.8	6.9	4.5	5.6	5.1	14.8
2100	a	3.5	2.7	5.0	7.9	3.9	3.9	11.0
	c	4.3	3.4	6.4	4.0	5.0	4.6	13.3
	d	4.1	3.2	5.9	3.8	4.7	4.3	12.8