

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente
FARENA



(Trabajo de diploma)

**EVALUACION DEL IMPACTO DE LOS CAMBIOS
CLIMATICOS SOBRE EL RENDIMIENTO POTENCIAL
DEL CULTIVO DEL MAIZ (*Zea mays L.*) EN EL
PACÍFICO DE NICARAGUA**

Autor: Br. Sergio Antonio Palma Grillo

Asesores: Msc. Matilde Somarriba

PhD. Bruno Rapidel

Managua, Nicaragua
Octubre del 2000

DEDICATORIA

A Dios Padre celestial por otorgarme el don de la vida y por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles colmando de bendiciones mi vida y por darme la oportunidad de culminar mis estudios

A la Memoria de mi Padre Sergio Palma Dávila.

A mi madre Yolanda Grillo Orochena, por ser mi fuente de inspiración y por forjado en mi el deseo de superación.

A mis Hermanos (as) Rita Elena, Angela Patricia, Yolanda del Socorro, Gioconda del Carmen, Sandra Junieth, Stiven Emir y A mis Sobrinos Cristhian , Maprí Yálani y a mi esposa Rafaela Muñoz por la confianza y apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida.

A todos mis compañeros de clase por su Amistad y Lealtad incondicional en especial los Ing. Carlos Rivas, Martín Amador, Isaac Rivera, Jean Paul Meza, Donald Fornos por saber aprovechar la oportunidad que nos brindaron a cada uno nuestros padres que con mucho amor y sacrificio lograron guiarnos hasta la culminación de esta meta.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero darle gracias a Dios sobre todas las cosas, por llenar de bendiciones mi vida, por darme la fortaleza, capacidad y coraje de culminar una de mis metas ante cada dificultad a la que uno se enfrenta, por el apoyo económico y moral de mi familia que me han brindado su confianza, apoyando mis deseos de superación, por darme la oportunidad de conocer a personas muy especiales que me han dado su apoyo y amistad incondicional durante todo el proceso de trabajo.

A la Universidad Nacional Agraria en especial a la facultad de Recursos Naturales y el Ambiente (FARENA) por su lucha día a día para formar mejores profesionales y a todos los profesores que durante mis estudios dieron lo mejor de sí.

A mis asesores

Ing. Msc. Matilde Somarriba Chang

PhD. Bruno Rapidel

Por facilitarme los medios, aportes, sugerencias, y seguimiento constante a mi Investigación.

Al Programa Ambiental Nicaragua – Finlandia(PANIF) Proyecto de Cambios Climáticos, por su financiamiento, con lo cual no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

Al personal de instituciones como INETER y el MAGFOR por su apoyo en la recopilación de información valiosa para la investigación.

Un agradecimiento especial al Ing. Edmundo Umaña responsable del Dpto. De Manejo de Cuencas por su constante apoyo, dedicación, y sugerencias para la mejor culminación de esta investigación.

Al Ing. Alvaro Benavides, por su colaboración en el procesamiento y análisis estadístico de las de los datos.

INDICE GENERAL

Contenido	Páginas
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Indice General	iii
Indice de Cuadros	v
Indice de Figuras	vi
Indice de Mapas	vii
Indice de Anexos	viii
Resumen	ix
Summary	x
I INTRODUCCION	1
Antecedentes	2
Justificación	3
Objetivos	4
Hipótesis	4
II REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Cambios Climáticos	6
2.2 Escenarios Climáticos Para el Pacífico de Nicaragua	7
2.3 Influencia del clima en las plantas	10
2.4 El Cultivo de Maíz	11
2.4.1 Requerimientos Biofísicos	12
2.4.2 Variedades y distribución	13
2.5 Modelos de Simulación	14
2.5.1 Ventajas	15
2.5.2 Limitaciones	15
III MATERIALES Y METODOS	16
3.1 Descripción de la zona de estudio	16
3.2 Modelo DSSATv3.	18
3.2.1 Herramienta de Investigación	20
3.2.2 funcionamiento del modelo	20
3.2.3 Requerimientos y control de simulación	21

3.3	Recopilación de la información	23
	3.3.1 Información Climática	23
	3.3.2 Información edafológica	24
	3.3.3 Información de Cultivo	24
3.4	Procesamiento de la Información	27
	3.4.1 Conversión y Generación de Datos	27
	3.4.2 Aplicación de Escenarios	28
3.5	Creación de Archivos	28
	3.5.1 Creación de Archivos de Suelo	29
	3.5.2 Creación de Archivos Climáticos	29
	3.5.3 Creación de Archivos de Experimentos	29
3.6	Corrida del Modelo	30
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1	Análisis de los Rendimientos Promedios	31
4.2	Efectos en la Fenología del Maíz	32
4.3	Reducción porcentual del Rendimiento calculada para los diferentes Escenarios y Horizontes establecidos respecto al año Base	35
4.4	Análisis Estadísticos de los rendimientos Simulados.	39
4.5	Análisis de Riesgo Económico de la Producción	41
V	CONCLUSIONES	45
VI	RECOMENDACIONES	47
VII	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
VIII	ANEXOS	

INDICE DE CUADROS

CONTENIDO	Página
Cuadro 1. Incremento y Disminución Anual de Temperatura y Precipitación para La vertiente del Pacífico de Nicaragua.	9
Cuadro 2. Requerimientos Climáticos del Cultivo.	13
Cuadro 3. Variedades y Localidades donde mejor se cultivan en el Pacífico de Nicaragua.	13
Cuadro 4. Coeficientes Genéticos del Cultivar medio de Maíz (modelo Ceres-maizes)	25
Cuadro 5. Perfiles de suelos ubicados de acuerdo a su altitud	27
Cuadro 6. Nomenclatura de los Archivos Climáticos.	29
Cuadro 7. Rendimientos Promedios Simulados de Maíz en el Pacífico de Nicaragua.	32
Cuadro 8. Temperaturas y Precipitaciones recibidas en el ciclo.	34
Cuadro 9. Reducción porcentual de los rendimientos en los diferentes escenarios Y horizontes de tiempo, respecto al periodo de referencia.	37
Cuadro 10. Variaciones de los rendimientos Simulados entre escenarios.	39
Cuadro 11. Variaciones de los Rendimientos Simulados entre horizontes.	40
Cuadro 12. Variaciones de los Rendimientos Simulados entre las interacciones De escenarios y horizontes.	40

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Página
Figura 1 Esquema Metodológico del Estudio.	22
Figura 2 Duración de la Antesis de Maíz para todos los sitios.	33
Figura 3 Evapotranspiración Acumulada para cada sito en estudio.	35
Figura 4 Reducción Porcentual del rendimiento del cultivo Maíz en un Escenario Moderado.	38
Figura 5. Análisis de riesgo económico del cultivo de Maíz en el horizonte Optimista.	42
Figura 6 Análisis de riesgo económico del cultivo de Maíz en el horizonte Moderado.	43
Figura 7 Análisis de riesgo económico del cultivo de Maíz en el horizonte Pesimista.	44

INDICE DE MAPAS

CONTENIDO	Página
Mapa 1 Ubicación los diferentes puntos de suelos representativos y estación Climática de cada sitio de estudio.	17
Mapa 2 Mapa Representativo de tres pisos altitudinales de Nicaragua.	60
Mapa 3 Mapa de Zonas de Lluvia de Nicaragua.	60
Mapa 4 Información de altitud para cada una de las estaciones y perfiles de suelo.	61

INDICE DE ANEXOS

- Anexo 1** Escenario Climático de Temperatura (décima de grados), para la vertiente del Pacífico de Nicaragua.
- Anexo 2** Escenario Climático de Precipitación (porcentaje), para la vertiente del Pacífico de Nicaragua.
- Anexo 3** Presentación de archivos de Entrada, Salida y presentación del Experimento.
- Anexo 4** Información General de las estaciones de estudio (inventario).
- Anexo 5** Conversión y llenado de datos Climáticos Faltantes en los sitios de estudio.
- Anexo 6** Mascarilla de fórmulas para aplicar escenarios de Precipitación a los años del período de referencia.
- Anexo 7** Mascarilla de fórmulas para aplicar escenarios de Temperatura a los años del período de referencia.
- Anexo 8** Formulas y Razones de Conversión.
- Anexo 9** Recopilación de la información edáfica.
- Anexo 10** Interacciones entre escenarios y horizontes para las estaciones de Chinandega, León, Managua, Nandaime y Rivas.

RESUMEN

Las modificaciones en la composición de la atmósfera global son atribuidas directa o indirectamente a las actividades humanas que están evidenciadas producto de las altas emisiones de gases a la atmósfera que producen el llamado efecto de invernadero, el cual influye sobre el funcionamiento del sistema climático. Se sabe que el Clima es el factor más importante para determinar tanto el crecimiento como la productividad de un cultivo.

Mediante la elaboración de este trabajo se determinó cómo los cambios climáticos afectarían los rendimientos potenciales del cultivo del maíz en diferentes sitios de la región del pacífico de Nicaragua, bajo diferentes escenarios climáticos propuestos por el panel intergubernamental acerca del cambio climático (IPCC), 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 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 (datos diarios de temperatura, precipitación y radiación), edáfica y del manejo del cultivo, requeridas por el modelo, para poder proyectar los rendimientos en seis localidades de la región del pacífico del país, en tres escenarios de Cambio Climático futuro con tres horizontes de tiempo: 2010, 2030 y 2100.

Los resultados obtenidos sobre los rendimientos proyectados indican reducciones de estos en comparación con el periodo de referencia, para todos los sitios independientemente del horizonte de tiempo o escenario climático utilizado.

En los sitios de León y Nagarote existe una mayor vulnerabilidad del cultivo del maíz al cambio climático, estos sitios presentan más años con rendimientos promedios inferiores a los costos de producción, de acuerdo al punto de equilibrio económico (1224 kg/ha) para un manejo semi tecnificado hasta en un 57.89 % en un escenario pesimista. En tanto los sitios de Chinandega, Managua y Nandaime serán menos afectados por los cambios climáticos, presentando un comportamiento moderado, con una variación de 10.53-26.52 % de riesgo económico.

El sitio de Rivas presenta un comportamiento optimista con 5.26 % de riesgo económico en que los rendimientos potenciales no cubren los costos de producción, de acuerdo al punto de equilibrio económico, en un escenario pesimista. Aquí los cambios climáticos se ven amortiguados por las condiciones agroclimáticas.

Considerando que estos posibles cambios climáticos afectarían los rendimientos en todos los sitios se necesita enfocar los esfuerzos en cuanto al manejo del cultivo e investigación de medidas de mitigación para poder disminuir el impacto de los cambios climáticos sobre el rendimiento del cultivo de maíz.

I INTRODUCCIÓN

Los cambios climáticos, son atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que modifican la composición de la atmósfera global. como la quema de combustible fósil, cambio de uso de la tierra y la agricultura que aumentan las concentraciones en la atmósfera de los gases de efecto invernadero (GEI) como dióxido de Carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el cloro-fluoro-carbonos, los cuales actúan absorbiendo la radiación en determinadas longitudes de onda emitida por la superficie de la tierra y las nubes. En la atmósfera se encuentran el vapor de agua, el dióxido de carbono CO_2 , el óxido nitroso N_2O y ozono que calientan la atmósfera en algunas regiones, y de aerosoles, que tienden a enfriarla. Se espera que esos cambios en los GEI, tomados en conjunto, provoquen cambios regionales y mundiales en el clima y en los parámetros relacionados con el clima, como la temperatura, precipitación, humedad del suelo y nivel del mar. Estos cambios provocarán cambios en 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 así los patrones de producción. Se prevé que la producción aumente en algunas zonas y disminuya en otras, en especial en zonas tropicales y subtropicales (IPCC, 1995)

Sin embargo para poder cuantificar estas repercusiones y en particular para poder discernir las modificaciones del clima por el hombre, se han desarrollado modelos complejos de simulación como el utilizado en este trabajo Ceres-maizes (integrado al DSSATv3.5) que predice los rendimientos potenciales del cultivo de maíz, basados en los parámetros agronómicos del cultivo, las condiciones climáticas, el suelo y el manejo del cultivo en este caso para evaluar el impacto de los cambios climáticos sobre el rendimiento del cultivo del Maíz en condiciones cambiantes del clima, mediante diferentes escenarios climáticos que incidirán, de tal manera que se manifieste en las variaciones de los rendimientos potenciales del cultivo y así determinar los umbrales en los cuales éstos serían negativos.

ANTECEDENTES

En la actualidad las consecuencias de los cambios climáticos están evidenciada en muchos sectores, producto de las emisiones de gases a la atmósfera que produce el llamado efecto invernadero, el cual tiene repercusiones sobre el funcionamiento del sistema climático global y como producto este ejerce mucha influencia en el comportamiento de diferentes sectores como la Agricultura, la Pesca, la Salud, Energía, etc.

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) en el cultivo de maíz, resultando un rango de respuestas que van desde disminuciones a aumentos del rendimiento, estos resultados provienen de Brasil, Argentina, Chile y México (IPCC, 1995).

En Centroamérica se cuenta con muy poca experiencia en el estudio del impacto de los cambios climáticos. Actualmente se han realizado estudios en los países de Nicaragua y Costa Rica, en los años 1997 y 1999 respectivamente en cultivos de importancia económica y alimenticia.

En Costa Rica se han realizado estudios acerca de la vulnerabilidad de la Agricultura ante un cambio climático en los cultivos de frijol, papa y café (Retana *et al.* , 1999).

El único estudio realizado en Nicaragua de Cambios Climáticos, se llevó a cabo en el año de 1997, en las regiones I (Jalapa, Limay, Estelí), III (Tipitapa), VI (Pantasma) de Nicaragua. En este estudio se hizo una evaluación de un eventual cambio climático en la agricultura de Nicaragua con el objetivo de apoyar con elementos técnicos, el diseño de políticas estratégicas y programas en sector agropecuario realizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). Este estudio concluyó que las respuestas de los tres cultivos a un cambio de precipitación y temperatura son diferentes y hasta contradictorios según se trate de una zona de clima seco o húmedo (Arróliga *et al.*, 1997).

JUSTIFICACIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) ocupa la tercera posición a escala mundial entre los cereales más cultivados, representa uno de los alimentos de mayor consumo popular en el continente americano de donde es originario. Es una fuente importante de carbohidratos, constituyéndose en una fuente barata de calorías indispensables para el adecuado funcionamiento del organismo humano

Nicaragua es un país de alto potencial agrícola. La agricultura se basa fundamentalmente en la producción de cultivos para el consumo interno (Granos básicos, maíz, frijol, arroz, sorgo) y agro-exportación ocupando el maíz un lugar importante en nuestra economía y seguridad alimenticia de país. En general la producción de maíz ha sido autosuficiente para el consumo nacional en la década de los noventa. El área sembrada de maíz ha ido en aumento en los últimos años (250,000 mz en 1990 y 398,500 en 1997) en relación con otros cultivos de granos. La producción se encuentra en manos de los pequeños productores (sector campesino), cuyo manejo tecnológico en su mayor parte es tradicional. (MAGFOR, 1998).

Según los reportes del programa de "Monitoreo y Alerta" del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGFOR) 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, la disminución del área también esta basada en la disponibilidad de financiamiento para este cultivo.

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.

Debido a la importancia de este cultivo en la dieta y la economía nacional cobra vital importancia conocer el efecto del cambio climático en rendimiento del cultivo del Maíz, de esta forma nos permite generar recomendaciones que permitan la selección e implementación de prácticas agrícolas sostenibles y adecuadas a las condiciones socio económico del país con relación a estos cambios climáticos.

Durante la reunión del grupo de cambio climáticos en marzo de 1999, se acordaron incluir en el estudio los cultivos: maíz, soya, frijol en diferentes regiones del país. Para el caso de Maíz se tomó en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ La importancia económica social e alimenticia del cultivo
- ✓ La sensibilidad del cultivo al cambio climático.
- ✓ La disponibilidad de metodología y herramientas para el análisis.

OBJETIVOS

GENERAL:

Evaluar el impacto de los cambios climáticos sobre el comportamiento del rendimiento en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) bajo el programa de simulación DSSATv3 (Ceres-maize) para la región del pacífico de Nicaragua, en los municipios de Chinandega, León, Managua, Nagarote, Nandaime y Rivas.

ESPECÍFICOS:

- ❖ Aplicar el modelo simulación de cultivos cereales-maíces en los sitios seleccionados del Pacífico de Nicaragua para simular los rendimientos potenciales del maíz, haciendo uso de diferentes escenarios climáticos y horizontes de tiempo.
- ❖ Analizar la variabilidad y sensibilidad de los rendimientos potenciales de maíz con respecto a un período de referencia (1980).
- ❖ Determinar el riesgo de pérdidas o ganancias de los productores de las zonas de estudio.

HIPOTESIS

- ❖ El cambio climático tendrá un efecto en el comportamiento del rendimiento del cultivo debido a que la variabilidad climática influye en las diferentes etapas fisiológicas del cultivo afectando el crecimiento y desarrollo del maíz a través de los diferentes horizontes de tiempo.
- ❖ El modelo de simulación CERES-MAIZE integrado al DSSATv3 aún no validado para las condiciones específicas de Nicaragua proporcionará datos de rendimientos del cultivo de maíz suficientemente confiables, a pesar de la sobre estimación que realiza el modelo por calcular y analizar los datos resultantes de una manera más cualitativa, no absoluta.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 CAMBIO CLIMATICO

Es el cambio observado de las diferentes variables climáticas (temperaturas medias anuales, vientos, nubosidad, precipitación, lluvia, nieve, humedad del suelo etc.) en un lugar específico medible en un período de largo plazo (MARENA, IPCC 1995).

Para poder cuantificar las repercusiones de las emisiones de GEI en el cambio climático es necesario utilizar modelos complejos de simulación de la atmósfera y los océanos (CMGs), el resultado de estas simulaciones son estimaciones del clima futuro o escenarios climáticos.

Para poder prever el clima futuro, se tiene que entender claramente como funciona el sistema climático planetario, y como los gases de efecto invernadero interfieren con este. Sobre la base de este conocimiento, científicos de todo el mundo y de muchas disciplinas unieron sus esfuerzos para realizar y mejorar continuamente modelos informáticos que describan correctamente el sistema climático. Con esos modelos, a los cuales se les incorporan proyecciones de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero para el futuro, se puede producir “Escenarios de cambio climático” para el próximo siglo.

Estos escenarios no son predicciones ya que descansan sobre una comprensión incompleta del sistema climático y sobre proyecciones inciertas de las emisiones mundiales. Sin embargo, proporcionan una idea de lo que puede pasar de manera verosímil, en el campo del cambio climático en los próximos decenios. Hay que señalar que los modelos de proyecciones del clima son necesariamente mundiales, ya que los climas de las diferentes regiones del planeta están interconectados. (Campos. M,1999)

2.2 Escenarios Climáticos para el Pacífico de Nicaragua

La creciente preocupación por el impacto que pueda tener un cambio en el clima sobre las diferentes actividades humanas y los recursos naturales ha provocado que los países consideren la posibilidad de formular políticas e implementar acciones que contemplen limitaciones y reducciones en las emisiones de gases del efecto invernadero promotores del calentamiento atmosférico global y el cambio climático.

Este estudio de los potenciales impactos sectoriales requiere del desarrollo de escenarios que contemplen los posibles cambios que se producirían en la lluvia y la temperatura, los cuales son elementos climáticos importantes que determinan la productividad y que afectan a la sociedad en general.

Según Viner y Mulme, 1996 citados por Arroliga et al, 1997. Un escenario climático es una estimación íntimamente consistente de cambios en el clima futuro en una determinada localidad.

Es fundamental para la elaboración de este trabajo la definición, creación y uso de diferentes escenarios que contemplan los posibles cambios en el clima ejemplo: temperatura y precipitación, considerando que el sistema climático se encuentra en constante evolución al estar afectado por el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero.

El IPCC ha elaborado una serie de escenarios (IS92 a-f) de las futuras emisiones de GEI y aerosoles basándose en hipótesis relativas al crecimiento de la población, economía, el ordenamiento 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 adaptadas. La generación de escenarios climáticos se realiza utilizando modelos como el SCENGEN, MAGICC (modelos de generación de escenarios diseñados por la Universidad de East Anglia Reino Unido), con aspectos de los modelos de circulación general de la atmósfera GCMs que define parámetros, variables y horizontes de tiempo requerido (Campos. M, 1999).

Los horizontes de tiempo seleccionados en los escenarios a utilizar corresponden a los años: 2010, 2030, 2050, 2070 y 2100. Las proyecciones se realizan respecto a la serie climática 1961-1990, la cual ha sido utilizada ampliamente por la organización meteorológica mundial (OMM).

Estos escenarios de emisiones se desarrollaron a partir de datos regionales y globales de fuentes calificadas INETER, Convención Nacional de Cambios Climáticos y Banco Mundial y Naciones Unidas, que incluyen principalmente variables sociales y económicas. La información climática que se genera no contempla el efecto de enfriamiento de los aerosoles, únicamente toma en cuenta el calentamiento producto de los gases de efecto invernadero (CO₂, NH₄ N₂O), la sensibilidad climática utilizada es de 2.5 °C (media). (Campos. M, 1999).

Los escenarios climáticos que se desarrollan en este estudio se fundamentan en los escenarios de emisiones IPCC-92 a, IPCC-92 d y el IPCC92 c, los cuales son considerados como escenarios pesimistas moderados y optimistas.

IS92 a: este escenario arroja una estimación de las emisiones que son intermedias si se comparan con los demás escenarios IS92. (Escenario pesimista)

IS92 c: este escenario presupone los valores más bajos de tasa de población de 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. (Escenario optimista)

IS92 d: este escenario está basado en la misma tasa de crecimiento de población de IS92 c, pero con un crecimiento económico mayor, por lo que arroja la segunda estimación más baja de los valores de emisiones futuras. (Escenario moderado)

Para este estudio se tomarán los datos de los escenarios correspondientes a la vertiente del Pacífico de Nicaragua. Los datos de temperatura son presentados en décimas de grados celcius y los datos de precipitación son presentados en porcentajes de precipitación. (Anexo 1-2)

En el cuadro 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 periodo de referencia 1961-1990:

Cuadro 1: Incremento y Disminución Anual de Temperatura y Precipitación para la vertiente del Pacífico de Nicaragua. (2000)

ESCENARIOS	HORIZONTES DE TIEMPO		
	2010	2030	2100
TEMPERATURA			
Optimista (c)	0.8	1.3	2.1
Moderado (d)	0.8	1.3	2.6
Pesimista (a)	0.9	1.5	3.7
PRECIPITACION			
Optimista (c)	-7.9	-12.4	-21.0
Moderado (d)	-7.9	-12.5	-25.3
Pesimista (a)	-8.4	-14.5	-36.6

En general los valores de la temperatura de la vertiente del pacífico se incrementan en todos los escenarios, en el análisis de los valores anuales se presenta un valor máximo de incremento es 3.7°C para el escenario pesimista en el año 2100 y el valor mínimo de incremento es 0.7°C de temperatura se muestra en el escenario optimista y moderado en el año 2010. Las temperaturas en los diferentes escenarios se incrementan a medida que se avanza en los horizontes de tiempo y particularmente en el escenario pesimista.

(Anexo 1)

En general la precipitación se reduce a través de todos los escenarios y en todos los horizontes de tiempo y la reducción según los datos mensuales se presenta principalmente en los primeros meses del año. En los valores anuales de precipitación se observa que en el año 2010 se presentará un -7.9 % de precipitación para los escenarios *optimista* y *moderado* en la vertiente pacífica. La mayor disminución de precipitación anual se encuentra en el año 2100, del escenario *pesimista*, con una precipitación de -36.60 %.

(Anexo 2)

2.3 Influencia del clima en las plantas

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, las plantas, C₄ y CAM requieren temperaturas mínimas de 15°C para crecer, y son relativamente sensibles a las heladas (Reilly, 1995).

Estudios del CIIMYT (Centro Internacional de Investigaciones en Maíz y Trigo) muestran, que el rendimiento de estos cultivos disminuye aproximadamente en un 10% por cada día de retraso en la emergencia de estigmas con relación a la fecha de antesis. Aparentemente la principal causa de este hecho, más que la falta de polen, es el aborto de embriones que ocurre a los pocos días de efectuada la polinización si ambos procesos no ocurren en un lapso común de 8 días se produce una reducción sensible de la cantidad de polen. Esta concordancia está fuertemente influida tanto por las variaciones en el aporte hídrico y por la temperatura. (Bolaños et al, 1992)

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).

2.4 El cultivo de maíz

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.

Estos períodos son de mucha importancia para realizar un adecuado manejo agronómico. (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 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, et al. , 2000).

Cuatro días de flacidez continua (estrés hídrico) durante el período de crecimiento vegetativo pueden reducir el potencial de rendimiento entre 5 y 10 %. En el maíz el período mas 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 et al., 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.

El maíz es una planta que crece bien en suelos neutros o ligeramente ácidos, bien drenados, profundos, planos y textura franco a franco arcilloso. La producción tenderá a bajar drásticamente a medida que los suelos tengan drenaje más pobres, sean más alcalinos, más ácidos y más pesados (MIDINRA, 1983).

2.4.1 Requerimientos biofísicos

El maíz es un cultivo que se puede sembrar de 0 hasta 2800 msnm, 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. La planta de maíz se puede desarrollar en regiones que presenten módulos pluviométricos de 450-900mm, bien distribuidos 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).

Cuadro 2: Requerimientos climáticos del cultivo del maíz.

ADAPTABILIDAD	TEMPERATURA (c)	PRECIPITACIÓN mm/ciclo
Optimo	19-24	700-850
Bueno	15-19 24-28	500-700 850-1000
Marginal	+28	-500 y +1000

Fuente *Guía tecnológica. INTA, (1995)

2.4.2 Variedades y distribución.

Las variedades de polinización libres actualmente en el mercado son las siguientes:

Cuadro 3: Variedades y localidades donde mejor se cultivan en el pacífico de Nicaragua.

{PRIVADO }VARIEDAD	CICLO VEGETATIVO	EPOCA DE SIEMBRA	REGION	LOCALIDAD
NB-30	100 días	Primera, Postrera	A1	El Sauce, Posoltega.
NB-100	95 días	Primera Postrera	A2	Rivas y Nandaime
NB-6 y NB-12	110 días	Primera Postrera Postreron	A1	Chinandega Posoltega El Sauce
NB-6 y NB-12	110 días	Primera Postreron	A2	Nandaime, Rivas.

Fuente *Guía tecnológica. INTA, 1995.

2.5 Modelos de simulación

La simulación computarizada ofrece la posibilidad de reducir 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. Tales simulacros pueden ser útiles para avanzar el conocimiento agrícola, para el desarrollo de políticas socioeconómicas en el ámbito regional, para asesorar a los productores en la toma de decisiones, y para que los productores mismos puedan experimentar y probar con riesgo mínimo los efectos de varias estrategias y alternativas de manejo.

Varios modelos del desarrollo de cultivos han logrado un grado alto de precisión, confiabilidad y sofisticación, y se están utilizando en la actualidad como guías de manejo por: planificadores gubernamentales, agentes de extensión, asesores profesionales y por los mismos productores. Tres ejemplos son los modelos CERES-MAIZE, SOYGRO y GOSSYM.

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 que se conoce como Mecanismo; técnica de simulación mas 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, 2000).

Según (Estrada et al, 1999). Menciona las siguientes ventajas y limitaciones en el uso de modelos de simulación.

2.5.1 Ventajas

- ✓ Representan una técnica relativamente simple, con posibilidades para manipular factores biológicos y económicos que presentan dificultades para su manejo en la vida real.
- ✓ Permiten ordenar y visualizar el conocimiento existente y limitante para el estudio.
- ✓ Contribuyen a entender y explicar las interrelaciones entre los elementos del sistema.
- ✓ 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.

2.5.2 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.
- ✓ 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.
- ✓ No existe suficiente desarrollo metodológico para incluir variables de manejo o de gestión con características cualitativas.

III. MATERIALES Y METODOS

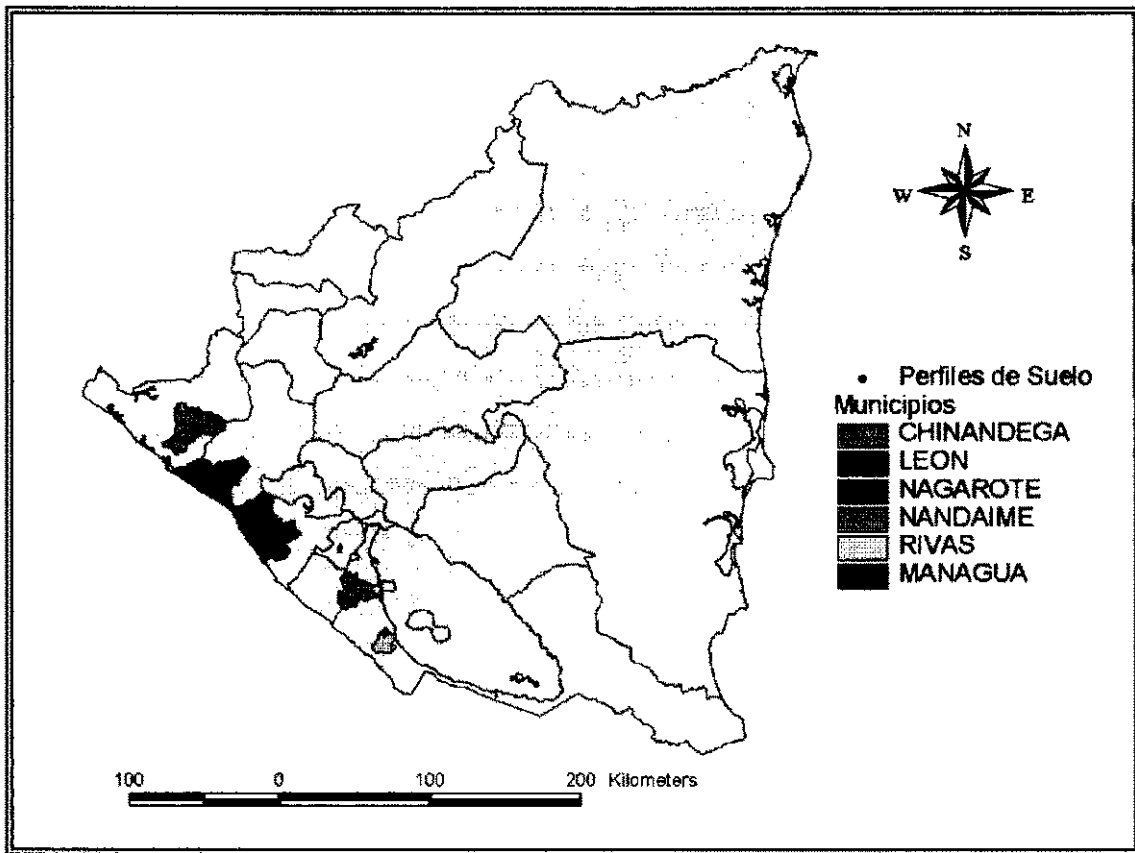
3.1 Descripción general de la zona de estudios:

Macro-región del pacífico: Corresponde a una faja paralela al océano pacífico con una superficie de 1850 km² se caracteriza por una condición plana con pendientes de 0 a 15 %, desde el nivel del mar hasta más de 1000 msnm. Esta faja es limitada de norte a sur, por la cordillera de los Maribios y por los lagos Cocibolca y Xolotlán. (MAG-FOR, 1998).

El clima es poco variable con temperaturas promedio de 26 °c, observándose temperaturas agradables en las zonas altas de la meseta de Carazo, Sierra de Managua y las laderas del volcán Mombacho. La precipitación varía de 600 a 1500 mm/año. Observándose un periodo canicular variable de benigno a severo, las zonas críticas por irregularidad en la franja oriental de las planicies volcánicas y las primeras estribaciones del conjunto montañoso del centro del país.

En las planicies se concentran los mejores suelos del país, así como los mayores recursos hídricos subterráneos. La macro región cubre el 13 % del territorio nacional, concentra el 60 % de la población nacional y el 66 % de la producción agrícola bruta total. (MAG-FOR, 1998).

Para la región II: comprende el departamento de León y Chinandega, se localiza en el occidente del país, entre las coordenadas geográficas de 12°00' y 13°20' de latitud norte y los 86°15' y 87°30' de longitud Oeste. Es la Región del país que posee el mayor potencial agrícola dada las características de sus suelos de origen volcánico y condiciones climáticas apropiadas para una amplia gama de cultivos, la región constituye el 40 % del potencial para cultivos anuales del país (MAG 1998). En el mapa 1 se presentan los diferentes sitios de estudio.



Mapa 1 ubicación de los diferentes sitio de estudio (Chinandega, León, Nagarote, Managua, Nandaime, Rivas).

3.2 DSSATv3

Es un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la transferencia de agrotecnologías. Es un software distribuido y creado por IBSNAT (Internacional Benchmark System Network for Agrotechnology Transfer) que permite a sus usuarios seleccionar los requerimientos biológicos de los cultivos con las características físicas del suelo y clima de manera que los objetivos específicos por el usuario sean cumplidos. Este sistema a la vez está diseñado para dar respuesta a las preguntas de su manipulador, también debe de ayudar a tomar opciones hoy para lograr resultados deseados no solo para el próximo año, sino para 20,30,50 años en el futuro (Tsuji, *et al* 1994).

El DSSATv3 es una colección de programas de computadora integrados en un paquete de software sencillo para facilitar la aplicación de modelos de simulación de cultivos en estudios de investigación. Los modelos de cultivos son procesos orientados por modelos computarizados, los cuales simulan crecimiento, desarrollo y rendimiento en función de la genética de la planta, condiciones de suelo y clima, manejo del cultivo. Estos incluyen un modelo para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Para validar el sistema es necesario conocer los eventos históricos del cultivo en la zona de estudio. En la producción agrícola, los resultados estarán influenciados por el clima, condiciones del suelo, presentación genética del cultivo, plagas y el manejo del cultivo.

Cabe señalar que para esta investigación el modelo no será calibrado con las variedades de maíz utilizadas en Nicaragua, ya que el modelo requiere de información diaria del crecimiento y desarrollo del cultivo, para la calibración del modelo se requiere crear una serie de parcelas experimentales para obtener la información requerida del cultivo por un periodo no menor de 5 años, por lo cual se utilizarán las variedades descritas en el modelo DSSAT y que han sido validadas y calibradas en estudios realizados en otros países.

Procedimientos:

1. - Recolección de la información (variable en estudio)
2. - Traslado de la información al formato DSSAT3.
3. - Creación de los archivos de experimento.
4. - Corrida del modelo
5. - Ordenamiento y análisis de los resultados.
6. - Resultados y conclusión.

Los archivos están organizados en entradas de datos y salidas de datos y archivos de presentación de datos del experimento. Los archivos de presentación de experimento son necesarios únicamente cuando los resultados simulados son comparados con datos grabados en un experimento particular.

Los archivos de entradas están divididos en aquellos que tratan con el experimento, clima y suelo y las características de diferente genotipo (cultivos y cultivar) en la siguiente tabla se describen cada uno de éstos archivos. Estos archivos contienen una vista general de las condiciones de entrega y presentación de cultivo y una comparación los datos actuales, si están disponibles. Además provee un resumen de las salidas para usarse en otros programas e incluyen resultados detallados de la simulación. Los archivos de salida de modelos están organizados para permitir a los usuarios seleccionar la información necesaria para una aplicación a los modelos que están organizados para permitir alguna flexibilidad en el uso de los modelos específicos (Anexo 3)

Los modelos de simulación de cultivo del DSSATv3 consisten en una cantidad de módulos que manejan diferentes funciones, cada modelo es iniciado al comenzar la fecha de simulación a como se especificó en los archivos de entrada, cuando se han elaborados los archivos de suelo y clima, entonces se definen los tratamientos y que archivos de suelo y clima son necesarios, todo esto se reúne en el archivo de detalles de experimento.

Los archivos están organizados en entradas de datos, salidas de datos y archivos de presentación de experimentos. Los archivos de presentación de experimento son necesarios solo cuando los resultados simulados son comparados con datos grabados en un experimento en particular. Los datos de presentación de experimento están contenidos en FILEP, FILED, FILEA, FILET. El propósito de estos archivos, es presentar datos medidos en el campo para comparaciones directas con resultados simulados. (Anexo 3)

3.2.1 Herramienta de Investigación

La herramienta utilizada en este estudio fue el modelo de simulación incluidos en el sistema de apoyo en la toma de decisiones para la transferencia de agrotecnología (DSSAT), la serie de modelos para gramíneas CERES incluidos en el DSSAT se utilizaron para la simulación del cultivo del Maíz (CERES – MAIZES) este modelo predice los rendimientos de los cultivos con relación a los parámetros agronómicos del cultivo. Estos modelos están contruidos para simular los procesos de desarrollo del cultivo en función de las condiciones del clima, suelo y manejo de cultivo.

3.2.2 Funcionamiento del modelo:

El modelo CERES-MAIZE Realiza una simulación fisiológica del desarrollo del maíz, la cual incorpora las mejores características de varios modelos antecedentes. 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
- ✓P2 sensibilidad al fotoperíodo
- ✓P3 duración de la etapa reproductiva
- ✓P4 número máximo de granos por planta
- ✓P5 tasa de crecimiento del grano

La deficiencia principal del modelo es su sobre estimación del rendimiento, debido a que no se calcula con precisión el número final de granos ni la duración del periodo de relleno 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. Por lo tanto han habido esfuerzos para suplir simulaciones mejores del desarrollo del grano de maíz. El modelo CENTLI (Fleming, et al. , 1990) simula el desarrollo del grano y mazorca de maíz a nivel celular.

Todos los modelos operan en pasos de tiempo diario; de esta manera, las variables de crecimiento, desarrollo y otras variables son incrementadas. Cada modelo predice las etapas de crecimiento crítica para un cultivo en particular. En cada etapa son simulados, la cantidad biomasa total producida, el índice del área foliar, diferencia total de hojas en el tallo principal y la concentración del 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 determina el comportamiento de algunas variables del suelo y del agua en la planta como: la evapotranspiración, lluvia total recibida, irrigación aplicada y el agua extraído del suelo por la planta. Es importante mencionar que las variables relacionadas con los balances de nitrógeno y carbono no serán evaluadas en esta investigación.

3.2.3 Requerimientos y control de simulación

Los requerimientos de entrada del modelo CERES- maize según el CIESIN son:

- Datos diarios de clima (temperatura del aire, precipitación, radiación solar)
- Condiciones físicas del perfil del suelo por capas.
- Condiciones químicas del perfil del suelo por capas (solo nitrógeno)
- Condiciones del manejo de los cultivos (fecha de siembra, espaciamiento, 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:

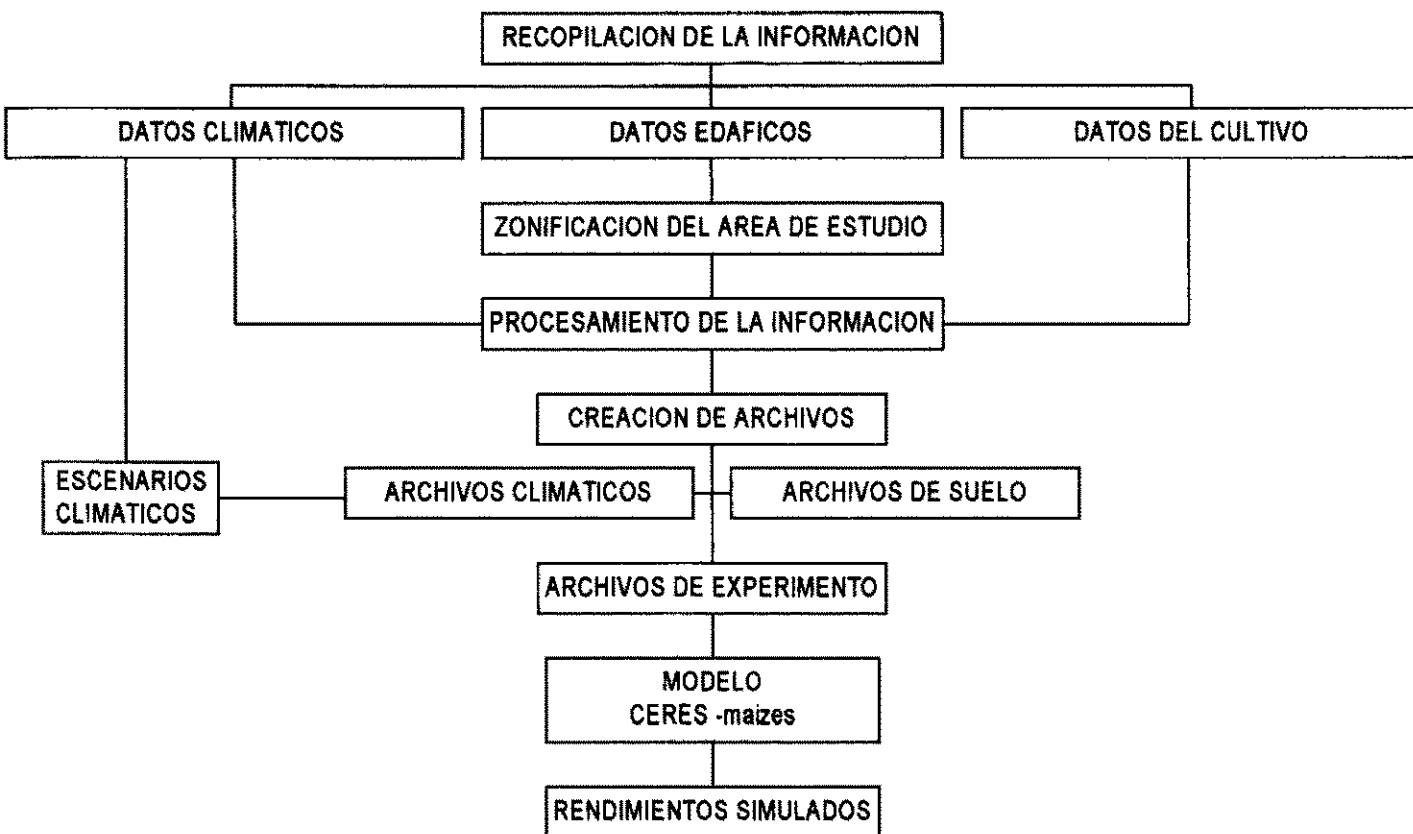


Figura 1 Esquema metodológico de la investigación.

3.3 Recopilación de la información para la realización del estudio

La información requerida por el modelo de simulación incluye características climáticas y edáficas del sitio experimental. Además requiere de información adicional del manejo del cultivo.

La base de este estudio son los escenarios climáticos para Nicaragua presentados en el Informe de escenarios climáticos por MARENA. (Rapidel et al. , 1999)

3.3.1 Información climática

Los datos climáticos necesarios por el modelo fueron proporcionados por INETER y MAGFOR. Los archivos de clima contienen información general del sitio así como también promedios mensuales a largo plazo de las variables diarias del tiempo.

Para la manipulación de la información climática se seleccionarán las estaciones climatológicas representativas de la zona que contenían mayor información y confiabilidad conociendo su radio de acción y distribución espacial. Se recopiló la información de las estaciones seleccionadas representativas del área con un período histórico de 20 años desde 1971 a 1990.

1. - Variables climáticas

- ◆ Temperatura máxima
- ◆ Temperatura mínima
- ◆ Radiación solar.
- ◆ Precipitación máxima.

Los datos de temperatura máxima, temperatura mínima, radiación solar e insolación se extrajeron de la base de datos y de los libros históricos de registro de *INETER*. Los datos de precipitación se tomaron de la base de datos del departamento de información geográfica del *MAGFOR*. Además de esta información se utilizó la información de los escenarios climáticos, para la definición de los tratamientos, que fue proporcionada por el proyecto de cambios climáticos en Nicaragua para crear los archivos climáticos.

3.3.2 Información edafológica

La información de suelo fue proporcionada por el departamento de suelos del MAGFOR y consisten en parámetros físico-químico de 12 perfiles en 6 sitios de la zona del pacifico de Nicaragua cada perfil presenta la clasificación taxonómica, así como también datos de granulometría, pH, materia orgánica, densidad aparente, capacidad de campo, PMP, P, K, CIC, además cada punto esta representado por coordenadas en UTM.

3.3.3 Información de cultivo

Se efectuó un recorrido en la zona para identificar las principales variedades utilizadas en la zona, y otras características como densidad de siembra, fecha de siembra, fertilización, rendimiento, área aproximada que ocupa y sus principales características físicas. Se identificó la principal variedad utilizada en la zona en este caso el NB6 y los principales datos de manejo del cultivo. Estos datos son requeridos para establecer una población de 40,000 plantas/ manzana según MAGFOR, 1998:

- ✓ Germinación: 85 %.
- ✓ Pérdidas de campo: 10%.
- ✓ Profundidad de Siembra: 1.5 plgs.
- ✓ Distancia entre surco: 30 plgs.
- ✓ Distancia entre planta: 6.6 plgs.
- ✓ Numero de surcos por manzana: 110.
- ✓ Densidad de Siembra: 39 lbs/mz.
- ✓ Fertilización: 2 qq de urea 23 DDS (día juliano: 159)
- ✓ Fertilización: 2 qq de urea 45 DDS (día juliano: 204)

Posteriormente se selecciono la variedad del modelo DSSAT (cultivar intermedio) que presento mayor similitud a las variedades representativas de la zona, basándose en las características genotípicas, fenotípicas y ecológicas de la variedad más usada en la zona, ya que el NB6 es una variedad de ciclo intermedio. Para esto fue necesaria la consulta de un experto genético en maíz y de la información suministrada por el MAGFOR. Este archivo de cultivo escogido se utilizó para la creación del archivo de experimento.

Cuadro 4 Coeficientes genéticos del cultivar medio de maíz modelo ceres-maize.

CODIGO 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.

3.3.4 Zonificación de las áreas de estudio

La determinación de la zona de estudio se efectuó basándose en el potencial que ofrece la región para la producción de cultivos de (maíz), dicho potencial en la zona está influenciado por las condiciones climáticas existentes. Con el objetivo de evaluar la influencia de un eventual cambio climático en la agricultura, las zonas seleccionadas fueron las siguientes:

Región II León, Chinandega, Nagarote

Región III Managua.

Región IV Rivas, Nandaime municipio de Granada

Debido a que algunas de las estaciones climáticas representativas de las zonas de estudio no tenían todos los parámetros climáticos completos y necesarios para correr el modelo Ceres-maíces, como temperatura máxima, mínima, radiación solar y en algunos casos insolación (Anexo 4), fue necesario agrupar, seleccionar y distribuir los diferentes parámetros a ser utilizado por ciertas zonas con el objetivo de poder combinar ciertos parámetros climáticos que no representan mucha variabilidad debido a las cercanías de un sitio con otro, considerando también igualdad en el piso altitudinal y la dimensión espacial de las estaciones agroclimáticas.

Se seleccionaron las estaciones principales (HMP) de Chinandega, León, Managua y Rivas para rellenar datos faltantes en las estaciones de Nagarote y Nandaime de acuerdo a la agrupación que se presenta en el Cuadro 5.

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 2 de altitudes en donde se estableció tres pisos altitudinales en todo el territorio nacional de: 0-300 bajo, 300-700 medio y >7000 msnm alto y luego en el mapa de zonas de lluvia (mapa 3). En el mapa 4 se presentan los resultados con la información de altitud con cada una de las estaciones y perfiles de suelo. Anexo 11

Cuadro 5: Perfiles de suelos ubicados de acuerdo a su altitud

PUNTOS DE SUELOS	ELEVACION (msnm)
CHINANDEGA	< 300
LEON	< 300
NAGAROTE	< 300
MANAGUA	< 300
NANDAIME	< 300
RIVAS	< 300

Tomando en consideración que en numerosos experimentos se ha demostrado que en condiciones normales la temperatura disminuye al aumentar la altitud. Aunque la disminución no es uniforme ya que varía con la hora del día, estación del año y la situación del lugar, el promedio mundial es aproximadamente 1°C por cada 100 metros de elevación (Silverio, 1988). Tomando en cuenta esto se combinaron los parámetros de temperatura máxima, mínima e insolación en las estaciones donde estos datos diarios no estaban disponibles por no ser estaciones principales; (Nagarote y Nandaime) con las estaciones principales que sí tenían estos parámetros.

Para la estación de Nagarote se utilizó Managua.

Para la estación de Nandaime se utilizó Rivas.

3.4. Procesamiento de la Información

La información obtenida de varias fuentes se recopiló en diferentes formatos a los requeridos por el programa DSSAT(formato en PRN), lo que implicó una transformación de estos para la simulación del cultivo. Los datos de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, radiación solar, para cada estación se ordenaron en días julianos(1-365) y luego se almacenaron en libros Excel.

3.4.1 Conversión y Generación de Datos

En las estaciones, en donde sólo se disponía de datos mensuales de algunos parámetros principalmente de temperatura y radiación solar y no se tenían datos diarios de algunos años, los datos diarios fueron generando aplicando factores de variación (diarios). Para esto se siguió el siguiente procedimiento de cálculo:

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

Esta metodología de creación de datos diarios, sólo fue aplicada a los parámetros de temperatura y radiación en las estaciones con poca información. Dentro de cada año los datos faltantes fueron rellenos con la técnica del promedio aritmético más sencillas. En el Anexo 5 se presentan los datos que fueron generados (G) y los datos reales (R).

La información climática recopilada se obtuvo en unidades de medidas distintas a las requeridas por el modelo de simulación, por lo cual fue transformada a las siguientes unidades internacionales la precipitación de decímetros (dm) a milímetros (mm), la radiación solar (Cal/m^2) a ($\text{Mj/cm}^2/\text{día}$) y 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 8.

3.4.2 Aplicación de Escenarios

Teniendo los datos climáticos por separados en libros de excel fueron aplicados los escenarios climáticos que contemplan aumentos de temperatura y disminución de las precipitaciones para la vertiente del pacífico de Nicaragua, se creo una mascarilla de fórmulas con los escenarios de precipitación, para la vertiente del pacífico y otra con los escenarios de temperaturas de la misma vertiente ver anexo 6 y 7 que sirvió para aplicar cada variación mensual a todos los datos diarios del año, produciendo nueve años con escenarios de cambio que corresponden a los tres escenarios (pesimista, moderado y optimista), por tres horizontes de tiempo (2010, 2030 y 2100), considerado para este estudio.

3.5 Creación de archivos

Una vez modificada la información se introdujo al sistema para que los modelos leyeran los datos referidos.

3.5.1 Archivos de Suelo

De forma manual se introdujeron al programa diecinueve características físico – químicas para doce perfiles de los seis sitios de la zona del pacífico del país, lo cual automáticamente se creó y asignó nombres a cada uno de los archivos de suelo. Sin embargo no todos los perfiles fueron usados en las simulaciones, solamente se escogió un solo perfil por cada grupo (anexo 9), basados en la extensión, representatividad y su potencial de uso para granos básicos especialmente de maíz.

3.5.2 Archivos Climáticos

Los datos de temperatura máxima, mínima, radiación y precipitación fueron ordenados en columnas por escenario. Estos estaban separados y se procedió a unificarlos en una misma hoja de excel, por sitios, horizontes y escenarios. Por la gran cantidad de información se definió una nomenclatura numérica para cada archivo resultante que se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 6: Nomenclatura de los archivos climáticos (2000).

Nº	Archivo	Horizontes	Escenarios
01	Base	1980	Base
02	2010 a	2010	Pesimista
03	2010 c	2010	Moderado
04	2010 d	2010	Optimista
05	2030 a	2030	Pesimista
06	2030 c	2030	Moderado
07	2030 d	2030	Optimista
08	2100 a	2100	Pesimista
09	2100 c	2100	Moderado
10	2100 d	2100	Optimista

De esta manera se creó una base de datos con los archivos climáticos, cada estación tiene 10 archivos climáticos los cuales se importaron al programa de forma independiente.

3.5.3 Creación de Archivos de Experimentos

Para crear un archivo de experimento se puede seleccionar un experimento ya existente dentro del DSSAT y modificarlo con los nuevos tratamientos; condiciones climáticas (escenarios climáticos proporcionadas por MARENA).

También se puede crear con un archivo vacío e introducir los datos para el experimento que se quiere, introduciendo los tratamientos para ese experimento. Se elaboró un primer archivo de experimento que servirá como base, para la creación de los demás archivos de experimento

Se creó un archivo de experimento plantilla para cada sitio (seis en total) con la ayuda del programa Xcreate incluido en el sistema. Este archivo plantilla contenía la información general del manejo del cultivo, que sería igual para todos los experimentos.

Se crearon 60 archivos de experimento, 10 para cada uno de los sitios. Estos sitios se definieron por tantos tratamientos como perfiles de suelo hubiese en cada sitio, además por su respectiva estación climática.

3.6 Corrida del modelo y almacenamiento de la información

Con los archivos de suelo, de clima y de experimento dentro del programa se procedió a correr el modelo de simulación (Ceres-maizes). Esto arrojó los resultados del rendimiento en Kg./ha, para cada año (19 repeticiones por sitio) almacenando toda la información en archivos ZIP debido a su gran tamaño.

Debido a la gran cantidad de resultados que el modelo ofreció se procedió a seleccionar la información necesaria para los análisis; principalmente el rendimiento simulado y algunas variables relacionadas al crecimiento como son días a la madurez fisiológica, Precipitación, Evapotranspiración y Temperaturas promedios acumuladas durante el ciclo del cultivo.

IV RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados presentados en esta investigación son producto de simulaciones realizadas con programas y modelos de cultivo por lo que se utilizaron datos climáticos reales como base y fueron modificados con los escenarios climáticos elaborados por Max Campos, 1999 para evaluar la hipótesis acerca del comportamiento del clima de Nicaragua en las próximas décadas y el impacto que este tendría en el cultivo de maíz.

4.1 Análisis de los rendimientos promedios

Los rendimientos promedios obtenidos de las simulaciones para los diferentes sitios presentan mucha variabilidad y tienden a disminuir a media en que se avanza en los horizontes de tiempo en comparación con el horizonte base (1980).

La variabilidad de los rendimientos del cultivo maíz corresponde además del manejo del cultivo, al grado de adaptabilidad o susceptibilidad del mismo a los cambios del clima correspondiente a cada sitio. En el cuadro 7 se presentan los rendimientos para cada sitio.

Para todos los sitios el comportamiento común entre los diferentes sitios, fue presentar las máximas reducciones en el mayor horizonte de tiempo 2100 siendo el escenario pesimista de dicho horizonte que obtuvo los más bajos rendimientos con respecto al período de referencia para todos los sitios, a demás vemos que entre el escenario optimista y moderado en la mayoría de los sitios el valor del rendimiento obtenido es casi similar en ambos casos, debido a que en algunos meses del año los escenarios muestran las mismas tendencias de aumentos y reducción de la precipitación para dicho escenario. Cabe mencionar que en las estaciones de Rivas, Managua y Chinandega obtuvieron rendimientos mayores que en los demás sitios, lo cual se puede adjudicar al hecho que en estos sitios los rangos de precipitación y temperatura son amplios en comparación con los demás sitios, lo que permite amortiguar los cambios climáticos proyectados por el contrario Nagarote y León resultaron ser los más afectados por los cambios climáticos ya que se obtuvieron los más bajos rendimientos de maíz

Cuadro7: Rendimientos simulados para los diferentes escenarios y horizontes de tiempo en los diferentes sitios de estudio correspondientes al pacífico de Nicaragua (kg/ha).

	Escenarios	Horizontes de tiempo			
		base	2010	2030	2100
Chinandega	Optimista	5388.3	4982.5	4641.1	3570.1
	Moderado		4982.5	4609.3	2955.5
	Pesimista		4952.3	4477.5	2351.7
León	Optimista	2700.9	2293.6	2149.4	1891.6
	Moderado		2293.6	2099.5	1884.6
	Pesimista		2239.1	2049.9	1495.1
Nagarote	Optimista	2381.5	2175.6	1910.3	1873.9
	Moderado		2175.6	1889.4	1668.3
	Pesimista		2036.6	1886.7	1467.5
Managua	Optimista	5820.8	5230.4	4932.3	4141.0
	Moderado		5230.4	4920.5	3839.5
	Pesimista		5186.4	4706.7	2839.4
Nandaime	Optimista	5175.5	4748.5	4345.6	3835.4
	Moderado		4748.5	4296.0	3413.2
	Pesimista		4715.9	4131.7	2578.4
Rivas	Optimista	5985.4	5537.3	5292.7	4508.6
	Moderado		5537.3	5251.8	4238.3
	Pesimista		5510.3	5100.4	3396.4

4.2 Efectos en la fonología del maíz

Todos estos factores fisiológicos son alterados por los cambios climáticos y son los responsables de la disminución de los rendimientos. La temperatura influye al disminuir la duración del ciclo vegetativo del cultivo del maíz en todos los sitios estudiados.

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.

Estas reducciones conducen a fuertes restricciones en el potencial del cultivo para producir biomasa y afecta la duración del periodo crítico del maíz como es la floración (duración de antesis), la cual es muy importante por que durante este periodo es que se forma la parte cosechable del cultivo. En la figura N° 2 muestra el comportamiento de la duración a la antesis del cultivo en los diferentes escenarios y horizontes de tiempo, observándose que los aumentos de temperatura y las disminuciones de precipitación causan una reducción en el tiempo de esta a medida en que se avanza el los horizontes de tiempo.

Promedio de días a la antesis desde la siembra para todos los sitios de estudio

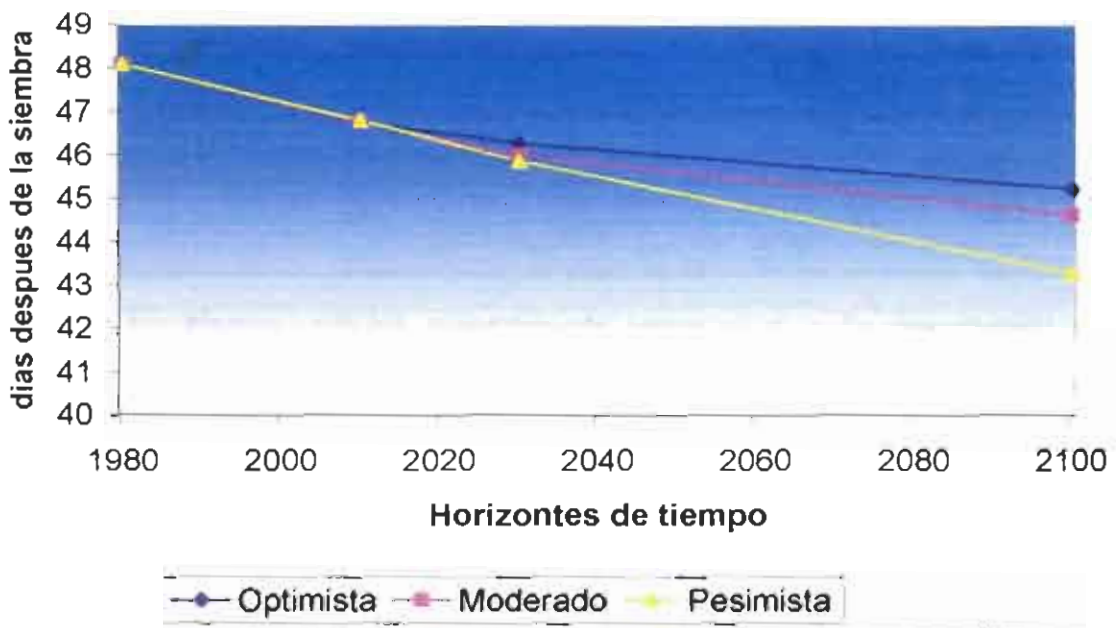


Figura 2 Duración de la antesis de maíz para todos los sitios (2000).

En el Cuadro 8 se presentan las temperaturas y precipitaciones del ciclo de primera para el cultivo de maíz las reducciones porcentuales de los rendimientos por escenarios y horizonte con respecto al rendimiento promedio del año base o testigo para los sitios en estudio se deben a los aumentos de la temperatura y las disminuciones de las precipitaciones a través de los diferentes horizontes de tiempo.

Cuadro 8: Temperaturas y precipitaciones recibidas por el cultivo de maíz en el ciclo de primera.

		Chinandega		León		Nagarote		Managua		Nandaime		Rivas	
		T	PP	T	PP	T	PP	T	PP	T	PP	T	PP
Base		28.0	816.5	29.1	567.2	29.1	533.3	27.5	531.0	28.4	692.5	27.2	677.5
2010	Optimista	28.7	744.4	29.8	526.3	30.0	505.5	28.3	478.3	29.1	631.1	28.0	603.2
2030		29.1	731.3	30.1	492.9	30.1	481.6	28.8	450.8	29.6	617.9	28.5	570.8
2100		29.9	420.4	30.8	431.5	30.8	455.8	30.1	400.1	32.0	525.5	29.3	507.6
2010	Moderado	28.7	744.4	29.8	526.3	30.0	505.5	28.3	478.3	29.1	631.1	28.0	603.2
2030		29.1	727.7	30.2	493.9	30.2	480.8	28.8	449.8	29.5	618.1	28.5	569.1
2100		30.2	354.4	31.1	408.7	31.0	400.1	30.1	369.7	32.0	501.7	29.8	474.6
2010	Pesimista	28.8	740.1	29.9	533.7	30.1	489.6	28.4	475.1	29.2	630.5	28.1	600.8
2030		29.3	711.0	30.2	468.7	30.4	475.9	29.0	439.7	29.8	602.6	28.7	556.8
2100		31.0	288.2	31.8	339.2	31.6	380.4	31.2	314.3	30.9	418.2	31.0	395.3

La disminución en los rendimientos de maíz se le atribuye al estrés hídrico al que son sometidas las plantas con los aumentos de temperatura y la disminución de las precipitaciones durante el ciclo productivo. El estrés hídrico durante la emergencia de la flor femenina y la polinización reducen considerablemente los rendimientos, lo que causa además de reducir el tiempo de llenado de granos, provoca un aborto de embriones formados por la falta de sincronía de la antesis y emergencia de estigmas.

La reducción de la precipitación provoca que se reduzcan los rendimientos ya que se disminuye el consumo de agua por el cultivo en la figura N° 3 se muestra la evapotranspiración promedio del cultivo la cual disminuye a medida que se incrementa la temperatura a través de los horizontes de tiempo independientemente del escenario climático utilizado (optimista , pesimista , moderado) ya que los tres presentan esta condición de incremento de T° y disminución de Precipitación.

REDUCCION DE LA EVAPOTRANSPIRACION ACUMULADA EN EL CICLO DEL CULTIVO DE MAIZ PARA LA ZONA DEL PACIFICO DE NICARAGUA

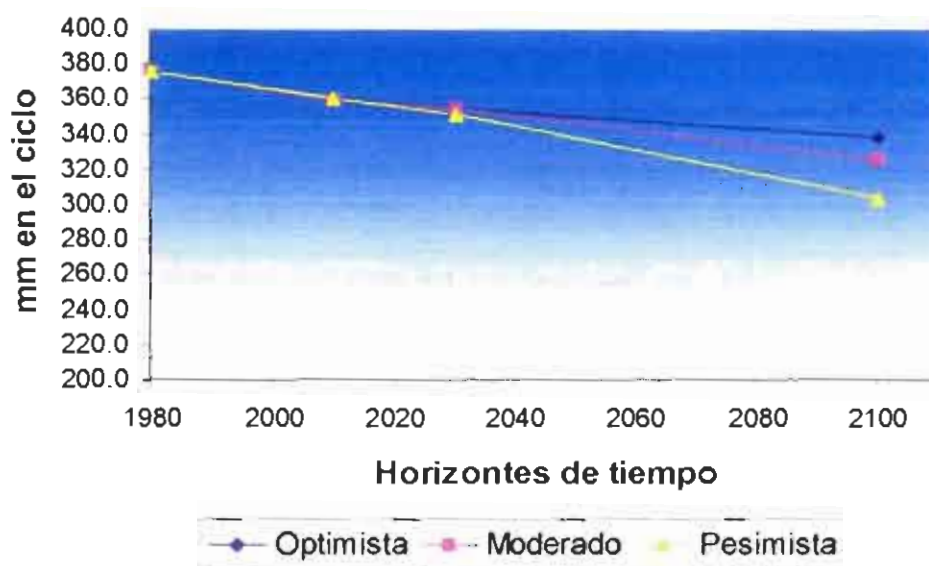


Figura 3: Evapotranspiración a cumulada para cada sito en estudio

4.3 Reducción Porcentual del Rendimiento calculada para los diferentes escenarios y horizontes de tiempo establecidos respecto al año base:

El horizonte de tiempo denominado base (1980) se utilizó como testigo para determinar el porcentaje de disminución o aumento de los rendimientos a través de los diferentes horizontes de tiempo y los distintos escenarios.

En el cuadro 9 se presentan las reducciones porcentuales de los rendimientos por escenarios y horizonte con respecto al rendimiento promedio del año base o testigo para los sitios en estudio.

Chinandega: En el cuadro 9 podremos observar, que existe una tendencia de disminución de los rendimientos desde el menor horizonte (2010) hasta el mayor (2100) de manera general. En los escenarios optimistas (c) y el moderado (d) en el horizonte de tiempo 2010 al presentar similares cantidades de reducción respecto al base, esto se puede explicar porque en esos dos casos los escenarios son relativamente iguales. El comportamiento del cultivo a condiciones extremas de temperatura y reducciones de precipitación 2100(a) para el estudio obliga a reducir hasta en un 56.4% el rendimiento respecto al base.

León: Podemos decir que existe una semejanza en la interpretación de los resultados con respecto a la estación de Chinandega porque las máximas reducciones se presentan para el máximo horizonte de tiempo 2100(a) en el escenario pesimista, con un considerable 44.6%, existe poca variabilidad en las reducciones en el horizonte 2010 producto de la semejanza de los escenarios (c) optimista y (d) moderado, esto se ve diferenciado en el 2100 pesimista (a).

Nagarote: Es el sitio que presenta los rendimientos más bajos que los demás sitios, con 1467.5 kg/ha en el horizonte 2100 para un escenario pesimista (a), pero también es la que presenta el menor porcentaje de reducción con -38.4 % respecto al periodo de referencia en comparación con los otros sitios. Esto se explica por la poca variabilidad de los rendimientos del cultivo ya que el rango entre estos es muy corto.

Managua: La tendencia para Managua es que a mayor horizonte de tiempo mayor será el impacto que tendrá el cultivo por los cambios climáticos los datos indican poca variabilidad en cuanto a las reducciones entre los horizontes excepto para el horizonte y escenario 2100(a) (pesimista) que aumenta considerablemente su reducción hasta 51.2% respecto a los demás escenarios y horizontes de tiempo, es posible divisar igualdades para los escenarios optimista y moderado en el horizonte 2010 por las causas antes mencionadas. Es importante recalcar que después de Chinandega es el sitio que presenta las mayores reducciones de rendimientos.

Nandaime: El sitio de Nandaime, presenta poca variabilidad en cuanto a las reducciones por horizontes lo que indica que el cultivo de maíz en el sitio se verá poco afectado en los horizontes intermedios (2010, 2030). Como es de costumbre 2100(a) para un escenario pesimista presenta las mayores reducciones con 50.2 %.

Rivas: La estación de Rivas, presenta poca variabilidad en cuanto a las reducciones por horizontes lo que indica que el cultivo de Maíz en el sitio será el menos afectado en los horizontes intermedios (2010, 2030) a excepción del horizonte 2100 para el escenario pesimista ya que la reducción del rendimiento se incrementa hasta un 43.3% lo cual indica que el cultivo del Maíz se verá afectado por los cambios climáticos en la zona (aumentos de temperaturas y disminuciones de precipitación).

Cuadro 9 Reducciones porcentuales de los rendimientos en los diferentes escenarios y horizontes de tiempo con respecto al período de referencia.

		Chinandega		León		Nagarote		Managua		Nandaime		Rivas	
		Rto	% Red	Rto	% Red	Rto	% Red	Rto	% Red	Rto	% Red	Rto	% Red
Base		5388.3	0.0	2700.9	0.0	2381.5	0.0	5820.8	0.0	5175.5	0.0	5985.4	0.0
2010	Optimista	4982.5	-7.5	2293.6	-15.1	2175.6	-8.6	5230.4	-10.1	4748.5	-8.3	5537.3	-7.5
2030		4641.1	-13.9	2149.4	-20.4	1910.3	-19.8	4932.3	-15.3	4345.6	-16.0	5292.7	-11.6
2100		3570.1	-33.7	1891.2	-30.0	1873.9	-21.3	4141.0	-28.9	3835.4	-25.9	4508.6	-24.7
2010	Moderado	4982.5	-7.5	2293.6	-15.1	2175.6	-8.6	5230.4	-10.1	4748.5	-8.3	5537.3	-7.5
2030		4609.3	-14.5	2099.5	-22.3	1889.6	-20.7	4920.5	-15.5	4296.0	-17.0	5251.8	-12.3
2100		2955.5	-45.2	1884.6	-30.2	1668.3	-29.9	3839.5	-34.0	3413.2	-34.1	4238.3	-29.2
2010	Pesimista	4952.3	-8.1	2239.1	-17.1	2036.6	-14.5	5186.4	-10.9	4715.9	-8.9	5510.3	-7.9
2030		4447.5	-17.5	2049.9	-24.1	1886.7	-20.8	4706.7	-19.1	4131.7	-20.2	5100.4	-14.8
2100		2351.7	-56.4	1495.1	-44.6	1467.5	-38.4	2839.4	-51.2	2578.4	-50.2	3396.4	-43.3

En resumen todos los sitios presentan reducciones porcentuales con respecto al período de referencia y disminuyen mayormente cuando se avanza en los horizontes de tiempo independientemente del escenario climático. Según la figura 4 los sitios con mayor reducción en sus rendimientos promedios son los sitios de Chinandega y Managua.

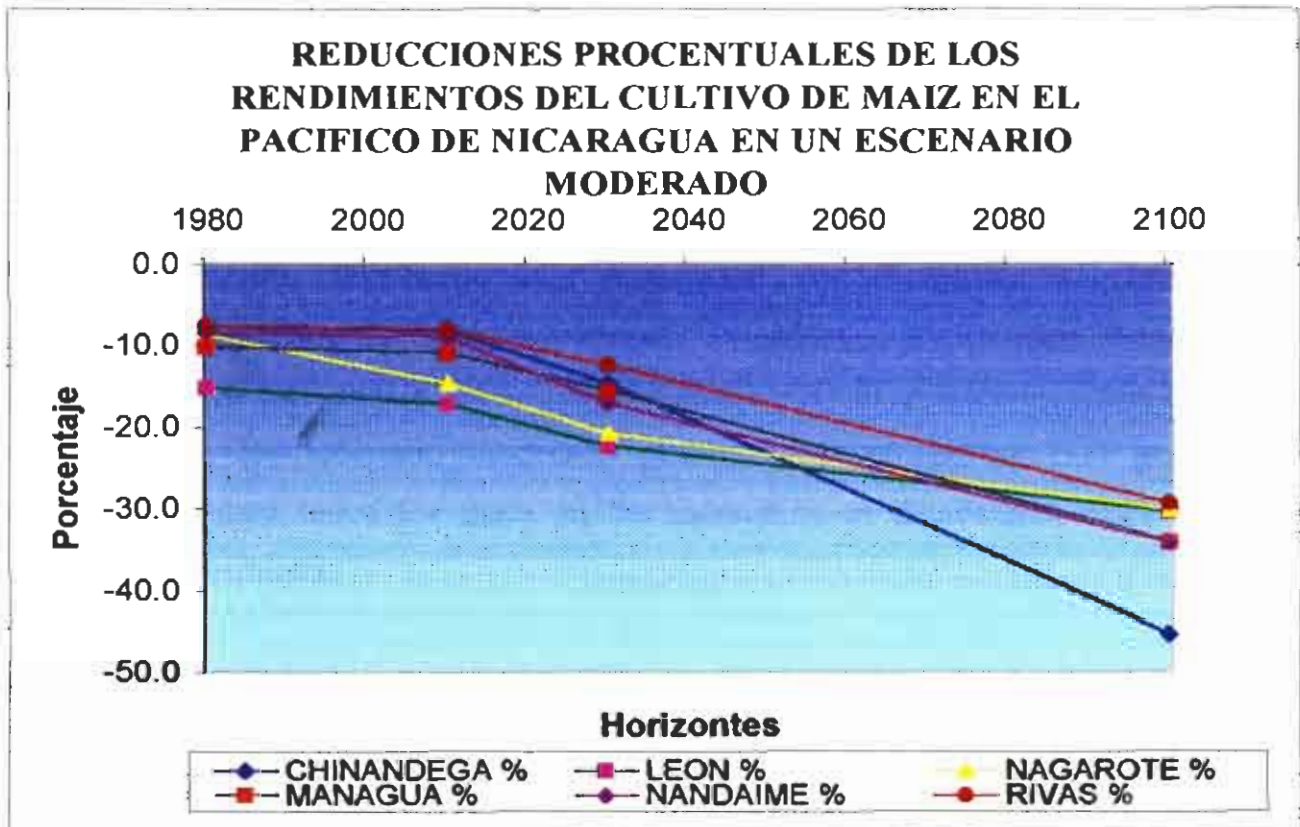


Figura N°4: Comportamiento porcentual de los rendimientos en todos los sitios para el escenario moderado (2000).

Es oportuno mencionar que estos resultados generados por el modelo del cultivo de Maíz son rendimientos simulados, que sobrestiman los resultados reales, debido a las opciones de manejo de cultivo seleccionadas y a las deficiencias propias del modelo CERES-maize y que no representan valores absolutos y que la importancia de este estudio es la de analizar las variaciones de estos rendimientos potenciales con respecto a un período de referencia.

Considerados, sin embargo como una guía válida del comportamiento del cultivo de 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.

4.4 Análisis estadísticos de los rendimientos promedios simulados

Los resultados de rendimientos del cultivo de Maíz obtenidos a través de las simulaciones realizadas con el programa DSSAT, fueron analizados por el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System), con un diseño completamente aleatorio (DCA) Los factores evaluados fueron los diferentes escenarios (pesimista, optimista, moderado) y los horizontes de tiempo seleccionados para este estudio (2010, 2030, 2100). El análisis de separación de medias se realizó a través de una prueba de Tukey con un 95% de confiabilidad.

En el cuadro 10 se puede observar que para León y Nagarote, no existen diferencias significativas entre los diferentes escenarios. Sin embargo la diferencia se manifiesta para las estaciones de Chinandega, Managua, Nandaime y Rivas quienes muestran otra categoría estadística en los escenarios moderado y pesimista. El comportamiento general de los rendimientos para todos los sitios en los escenarios es decreciente desde el escenario optimista al pesimista.

Cuadro 10: Variaciones de rendimientos simulados (kg/ha) entre Escenarios (2000).

ESC.	Chinandega	León	Nagarote	Managua	Nandaime	Rivas
Optimista	4983.9 A	2258.8 A	2085.3 A	5031.1 A	4526.2 A	5331.0 A
Moderado	4645.5 AB	2244.7 A	2028.7 A	4952.8 A	4408.2 A	5253.2 A
Pesimista	4285.0 B	2121.2 A	1943.0 A	4638.3 B	4150.3 B	4998.1 B

El cuadro 11 muestra una mayor variabilidad de los datos obtenidos, y según el número de categorías estadísticas presentes parece que a medida se avanza en el tiempo existe un marcado rango de variabilidad de manera descendente desde el horizonte base al 2100. Los sitios que presentaron menor variabilidad en el comportamiento de los rendimientos fueron León y Nagarote. Para los demás sitios existe significancia estadística entre los horizontes de tiempo del estudio.

Cuadro 11: Variaciones de rendimientos simulados(kg\ha) entre Horizontes.

Horizontes	Chinandega	León	Nagarote	Managua	Nandaime	Rivas
Base	5388.3 A	2700.9 A	2381.5 A	5820.8 A	5175.5 A	5985.4 A
2010	4972.4 B	2275.4 AB	2129.3 AB	5215.7 B	4737.6 B	5528.3 B
2030	4566.0 C	2099.6 BC	1895.5 B	4853.2 C	4257.8 C	5215.0 C
2100	2959.1D	1756.9 C	1669.9 C	3606.6 D	3275.7 D	4047.8 D

Es necesario mostrar una interacción de los rendimientos entre los escenarios y los horizontes simultáneamente para poder valorar hipótesis de cual será el comportamiento del cultivo en las diferentes situaciones del clima cambiante.

En el cuadro 12 podemos observar en esta estación que la reducción de los rendimientos en los escenarios y horizontes es evidente y que no existe una marcada variación desde el horizonte base (1980) al 2010 que muestran similares categorías. Es hasta el horizonte 2030, donde las variaciones de las reducciones de los rendimientos se observan con mayor claridad mostrando significativas reducciones de acuerdo al número de categorías establecidas.

Cuadro N° 12: Variaciones de los rendimientos simulados entre las interacciones (ESC x HOR) para los rendimientos simulados (kg\ha) en la estación Nagarote.

ESCENARIO	HORIZONTES DE TIEMPO			
	1980	2010	2030	2100
OPTIMISTA		2175.6 ab	1910.3 ab	1873.9 ab
MODERADO	2381.5 a	2175.6 ab	1889.4 ab	1668.3 b
PESIMISTA		2036.6 ab	1886.7 ab	1467.5 c

La tendencia de la reducción en el rendimiento refleja que el cambio climático proyectado un impacto de manera sustantiva entre horizontes de tiempo mas que entre escenarios, lo se repite en los diferentes sitios como se observa mas adelante.

(Anexo 10)

4.5 Análisis de riesgo económico de la producción

Debido a la importancia de reconocer en una representación gráfica de la variabilidad climática, sobre todo para los diferentes sitios del estudio se tomo en cuenta realizar un análisis de riesgo frecuencial (anual) a la serie de rendimientos obtenidos por el programa DSSAT como siempre tomando en cuenta la serie de años requeridos para el estudio (1970-1989) para analizarlo se tomó en cuenta todas las labores de cultivo de maíz comúnmente utilizados por los productores del pacífico de Nicaragua a través de las cartas tecnológicas que propone el INTA y el Banco Central en los programas de desarrollo regional y nacional. Según el MAGFOR para la producción de maíz tecnificado con bueyes el rendimiento que permite alcanzar el umbral económico de sensibilidad es de 1224 kg/ha (20 qq/mz). En otras palabras rendimientos inferiores a éste, representan costos de producción superiores a los beneficios. El costo necesario para producir una manzana de maíz con un manejo tecnificado con bueyes en la región del pacífico es aproximadamente de C\$ 2275.75 córdobas (tipo de cambio del dollar equivale a C\$12.92). El precio de un quintal en el mercado oscila entre C\$ 90 a 130 , por lo que se consideró C\$120, para sacar el índice de riesgo económico de producción.

El análisis consiste en estudiar, para cada año utilizado(dieciocho) considerando si el rendimiento simulado permite cubrir los costos de producción (alcanzar el umbral). En las figuras (5-6-7) se muestran las frecuencias de rendimientos inferiores a este punto de equilibrio económico por cada escenario climático expresados en porcentaje.

En la figura 5 para un escenario optimista de dieciocho observaciones para cada horizonte Chinandega y Rivas no presentan valores por debajo del umbral de riesgo económico. Managua y Nandaime presentan el mismo porcentaje que varía de 0% en el horizonte base a un 5.26 % para el horizonte(2100), siendo León y Nagarote, los más afectados, Nagarote varía de 26.32 a 42.11 % y León varía de 36.84 a 47.37 %.

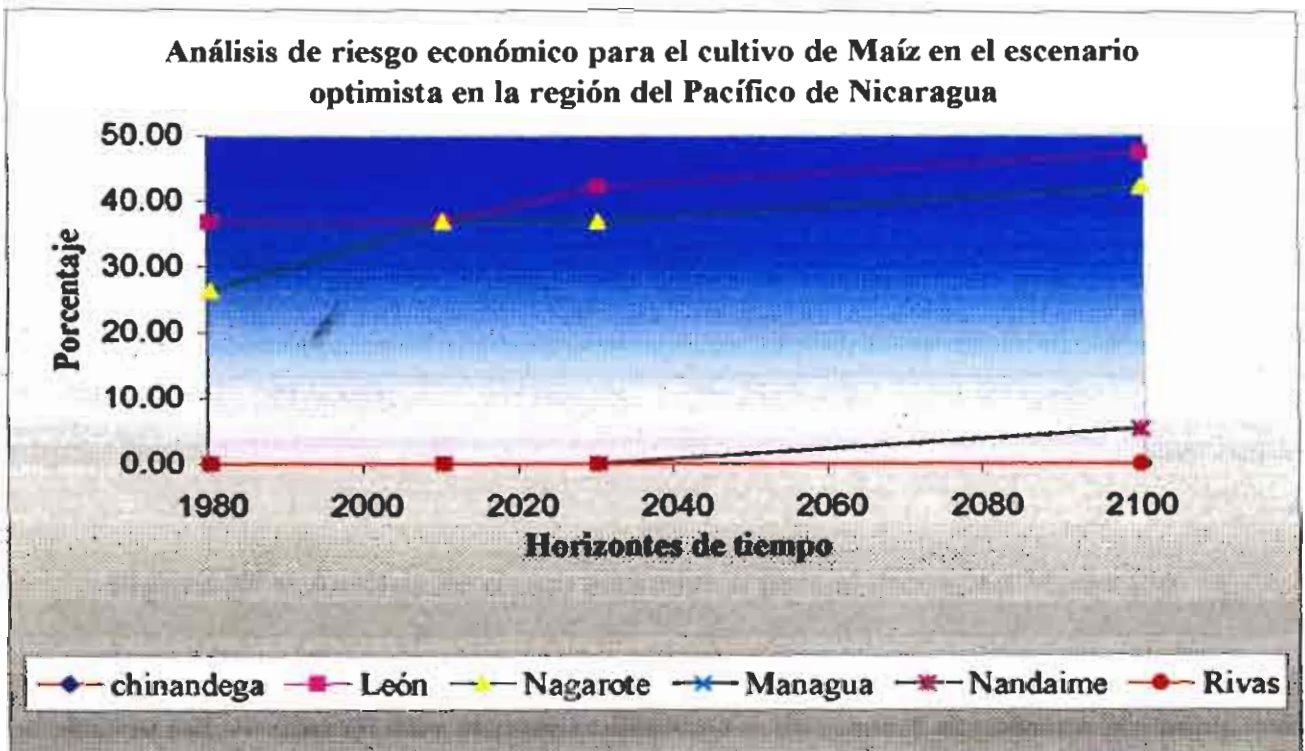


Figura N° 5 Análisis de riesgo económico para el escenario Optimista

En la figura 6 para un horizonte moderado Rivas no presenta valores por de bajo del umbral de riesgo económico establecido, Chinandega y Managua, Nandaime presentan que varían de 0 a 5.26% en los horizontes base y 2100 respectivamente. León y Nagarote presentan en el horizonte base un 36.84 y 26.32 % respectivamente y con un 47.37 % en el horizonte 2100, esto sucede porque no existen condiciones climáticas favorables para maíz.

Análisis de riesgo económico para el cultivo de Maíz en el escenario Moderado en la región del Pacífico de Nicaragua

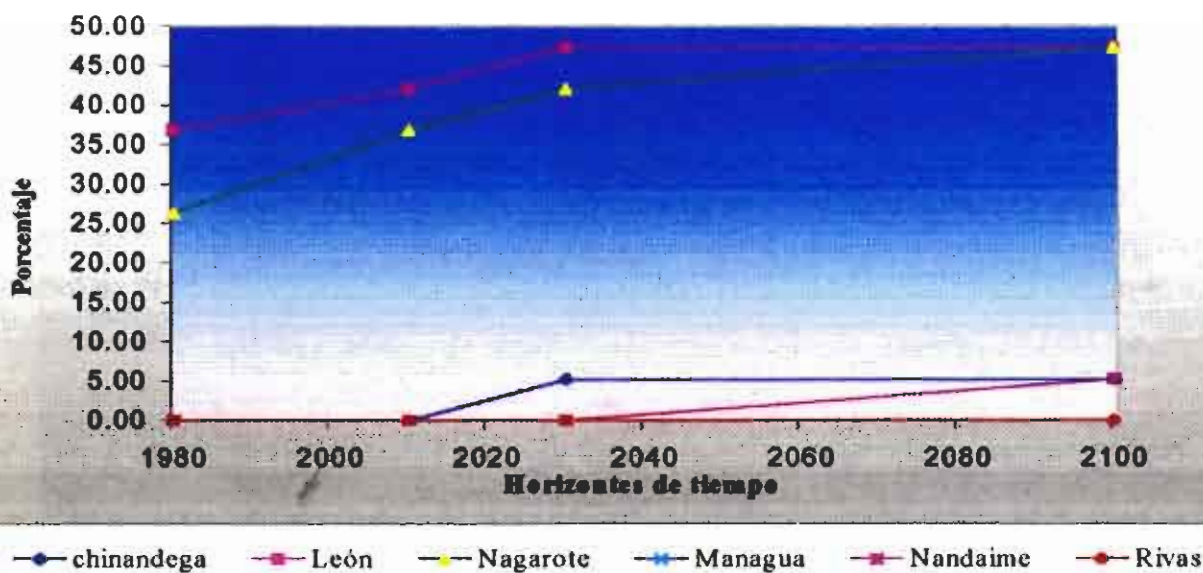


Figura N° 6 Análisis de riesgo económico para el escenario Moderado.

En la figura 7 para un escenario pesimista la tendencia de aumento de los valores por debajo del umbral en este escenario aumenta a través que divisamos el mayor horizonte de tiempo, dado las condiciones más críticas en cuanto al aumento de temperaturas y mayores reducciones de las precipitaciones, pero el sitio de Rivas rompe todos los esquemas con un solo valor para el horizonte 2100 (5.26 %), Chinandega varía de (0 a 26.32%) en este escenario, Managua y Nandaime de igual forma presentan valores (0 a 10.53%), en Nagarote y León prácticamente se dan los mayores porcentajes de pérdida específicamente en el horizonte al 2100 con 57.89% por de bajo del umbral de riesgo económico.

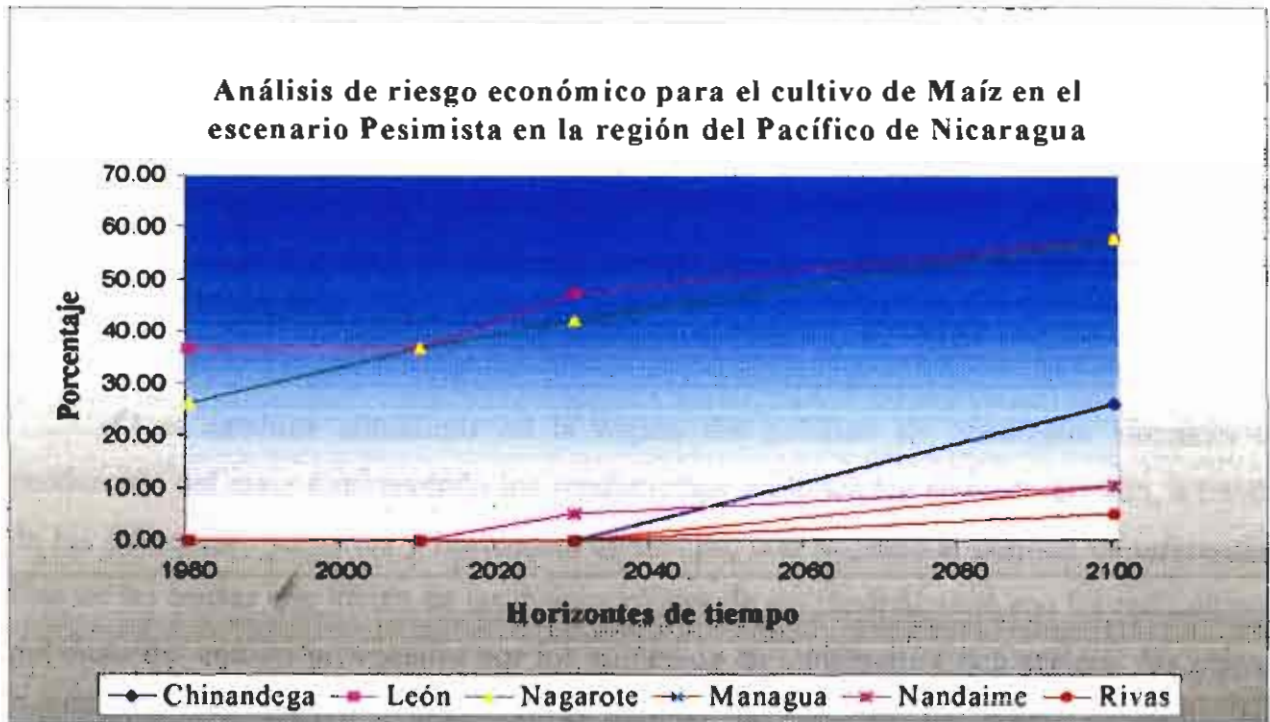


Figura N° 7 Análisis de riesgo económico para el escenario Pesimista.

León y Nagarote presentan un alto riesgo de pérdidas para los productores. La tendencia de los valores por debajo del umbral durante los diferentes escenarios van en aumento, desde el escenario base hasta el pesimista, manifestándose severamente en la estación de León y Nagarote hasta llegar al 57.89 % de todos los valores por debajo del umbral en el escenario Pesimista, en el horizonte de tiempo (2100) se dan los mayores porcentajes de pérdidas, debido a las condiciones más críticas en cuanto al aumento de temperaturas y mayores reducciones de las precipitaciones, pero la estación de Rivas rompe todos los esquemas con un solo valor en este escenario para representar 5.26% de sus valores por debajo del umbral económico, lo que deja al sitio de Rivas como la zona menos afectada por los cambios en el clima, seguida de Managua, Chinandega y Nandaime.

V CONCLUSIONES

Los rendimientos potenciales simulados para seis sitios del pacífico de Nicaragua por el modelo de cultivo Ceres-maíces basados en los escenarios climáticos propuestos por el Panel Intergubernamental acerca del Cambio Climático (IPCC) proporcionaron la información necesaria para realizar un análisis de las variaciones de los rendimientos atribuidos a los posibles cambios climáticos.

✓ Los cambios climáticos en la región del pacífico de Nicaragua afectarán la producción del maíz disminuyendo los rendimientos en todos los sitios en estudio, a través de los diferentes escenarios y horizontes de tiempo, con respecto al período de referencia. Una de las causas que incide en las disminuciones de los rendimientos son las reducciones del ciclo del cultivo provocadas por los aumentos de temperatura que aceleran las etapas fenológicas del cultivo reduciendo el tiempo de llenado de grano causando las disminuciones del rendimiento.

✓ Existe significancia estadística de los rendimientos simulados según la prueba de TUKEY con 95% de confianza para todos los horizontes de tiempo respecto al año base o testigo. Es evidente la tendencia encontrada para todas las estaciones, los rendimientos disminuyen entre horizontes desde el menor (2010) al mayor (2100) pero con más relevancia para el último. Las diferencias encontradas entre escenarios bajo las mismas pruebas estadísticas no son suficientemente evidentes como las encontradas entre los diferentes horizontes de tiempo.

✓ Existe una gran variabilidad de los rendimientos para todos los sitios.

✓ La tendencia general en la reducción porcentual del rendimiento es disminuir a medida que se avanza en los horizontes de tiempo (2010, 2030, 2100) y con relación a los escenarios el orden general es de pesimista, moderado y optimista (mayor a menor disminución del rendimiento). La reducción porcentual de los rendimientos entre los diferentes sitios respecto al año base(1980) la mayor reducción del rendimiento promedio con respecto al período de referencia fue para Chinandega con 56.4 % y la menor reducción fue para Nagarote con un 38.4 %. Con la salvedad que estos rendimientos son bajos.

Considerando el punto de equilibrio, que corresponde a un manejo semitecnificado con bueyes de 1224 kg/ha (20 qq/mz).

✓ Los sitios más afectados serán León y Nagarote ya que obtuvieron los mayores porcentajes de frecuencias de rendimientos por debajo del umbral establecido en comparación con Managua, Chinandega, Rivas y Nandaime.

✓ Los sitios Chinandega, Managua y Nandaime serán menos afectados por los cambios climáticos estos sitios presentan un comportamiento moderado, con una variación de 10.53-26.52 % de riesgo económico de la producción.

✓ El sitio de Rivas presentó los mayores rendimientos entre escenarios, año base y horizontes de tiempo. También los menores porcentajes de frecuencias por debajo del umbral establecido con un 5.26% de riesgo económico, esto es porque agroecológicamente existe una armonía entre el cultivo y el sitio hasta, en las proyecciones de los horizontes.

VI RECOMENDACIONES

Para reducir los impactos de los cambios climáticos en el rendimiento del cultivo del maíz en el pacífico de Nicaragua se recomienda:

- La adopción de variedades con características de resistencia a la sequía y/o estrés hídrico
- Aplicar prácticas de conservación de suelos y agua contribuirían a aminorar los efectos de reducción de la precipitación y/o de la capacidad de retención de humedad de los suelos
- Mejorar la calidad y aumentar la cantidad de información climática para contar con un sistema de monitoreo más eficiente en el ámbito nacional que permita tener una base de datos mas precisa y completa para Calibrar el programa DSSATv3 para diferentes cultivos (variedades) con rendimientos observados y esperados para el cultivo de Maíz en el pacifico de Nicaragua.
- Contar con información de suelos actualizadas para aplicar este tipo de modelo y realizar un ordenamiento de cultivos en base al uso potencial de la tierra .
- Utilización del DSSATv3 en las Universidades y Centros de Investigación Agrícolas para la toma de decisiones en el manejo del cultivo (fechas de siembra, fertilización, control de plagas y otros).
- Expandir el estudio a otros cultivos de importancia económica del país.(Caña de azúcar)

VII. BIBLIOGRAFÍA

- 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, 2000(Consortium For International Earth Science Information Network) Database. <http://www.CIESIN.com/>
- Estrada, R. Chaparro, O. Rivera, B. 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, S. 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/>
- Herrera A.; Ferrat L, I. 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.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 1998. "*Estudio preliminar de la cadena Agroalimentaria del Maíz y Frijol*". Managua, Nicaragua. 66 páginas.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 1998. "*Guía Agropecuaria 1998*". Managua, Nicaragua. 115 páginas.
- Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), 1999-2000. "*Monitoreo y Alerta de producción*". Managua, Nicaragua.
- Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), 1998. "*Boletín Trimestral /Julio 1998*". Managua, Nicaragua. 69 páginas.

- Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), 1998. "*Boletín Trimestral/Octubre 1998*". Managua, Nicaragua. 62 páginas.
- Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), 1998. "*Guías técnicas para la producción de semillas de Granos Básicos y oleaginosas*". Dirección de Semilla. Managua, Nicaragua. Páginas 1-19.
- MIDINRA (1983). "*Técnicas para la producción de maíz*". 1^{ra} Edición, Empresa Nicaragüense de ediciones culturales. Nicaragua N° pág. 214.
- Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 1995. "*IPCC-segunda Evaluación. Cambio Climático 1995*". Roma, Italia. 71 páginas.
- Somarriba, R.C, 1998. "*Granos Básicos*". UNA, Facultad de Agronomía. Managua, Nicaragua. 196 páginas.
- Silverio R. C. 1988 *Fundamentos de Agrometeorología*. 1^{ra} Edición. Editorial el Pueblo, ciudad de la Habana.
- Tsuji Y., Gordon; Jones W., James; Balas ,S. 1994. "*DSSAT Versión 3. Volumen I-II*". Honolulu, Hawaii. 163 páginas.
- 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.
- Retana , Villalobos 1999. "Vulnerabilidad de la Agricultura ante un cambio climático en los cultivos de frijol, papa y café en Costa Rica".

VIII ANEXOS

Anexo1: Escenario Climático de Temperatura promedio para la vertiente del Pacífico de Nicaragua. Latitud 12°50' longitud -87°50'

Escenario	Horizonte de tiempo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Pesimista IS92 a	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	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5
	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
Moderado IS92 d	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
	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
Optimista IS92 c	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
	2100	2.2	2	1.9	2.0	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.2	2.2	2.1

Anexo 2: Escenario Climático de Precipitación para la vertiente del Pacífico de Nicaragua. Latitud 12°50' longitud -87°50'

Escenario	Horizonte de tiempo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Pesimista IS92 a	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
	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
Moderado IS92 d	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
	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
Optimista IS92 c	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
	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 3: Detalles de archivos de entrada

NOMBRE INTERNO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
<p><u>EXPERIMENTO</u> FILEL</p> <p>FILEX</p> <p><u>CULTIVO Y CULTIVAR:</u> FILEC</p>	<p>Archivo de lista de experimento</p> <p>Archivo de detalle de experimento</p> <p>Archivo de cultivar</p>	<p>Lista todos los archivos de detalles de experimento disponible (FILIXS)</p> <p>Archivo de detalles de experimentos para un experimento específico: Tratamiento, condiciones del campo, manejo del cultivo y controles de simulación.</p> <p>Coeficiente cultivar variedad para una especie de cultivo y modelo.</p>
<p>FILEE</p> <p>FILEG</p>	<p>Archivo de Ecotipo</p> <p>Archivo de especie</p>	<p>Coeficiente específico del Ecotipo para una especie de cultivo y modelo.</p> <p>Coeficientes específicos del cultivo (especie) para un modelo en particular.</p>
<p><u>CLIMA Y SUELO:</u> FILEW</p> <p>FILES</p>	<p>Archivo de dato de clima</p> <p>Archivo de datos de suelo.</p>	<p>Datos de clima, diario, para una estación período de tiempo específico.</p> <p>Datos de un perfil de suelo para un grupo de sitios experimentales en general o para un instituto específico.</p>

Detalles de archivos de presentación de salida.

NOMBRE INTERNO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
OUTO	Archivo de vista general	Vista general de entrada y variables de cultivos y suelos.
OUTS	Archivo de Resumen	Resumen de la información: Variable de las entradas y salidas de los cultivos y suelos, una línea para cada ciclo del cultivo y/o corrida de modelos.
OUTG	Archivo de crecimiento	Información detallada en secuencia del tiempo para: 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 Plaga	Plagas, enfermedades (niveles de daños por malezas).

Detalles de archivos de presentación de Experimentos.

NOMBRE INTERNO	NOMBRE	DESCRIPCION
FILEP	Archivo de datos de presentación; parcelas.	Datos de presentación (valores replicados ordenados por parcelas) para un experimento usados para datos básicos experimentales desde el cual los datos de promedio y curso de tiempo son calculados.
FILED	Archivo de datos de presentación; fecha.	Datos de presentación (valores replicados, ordenados por fechas) para un experimento (usados para datos básicos experimentales desde el cual los datos de promedio y curso de tiempo son calculados).
FILEA	Archivo de datos de presentación; promedio.	Valores promedios de datos de presentación para un experimento (usado para comparar con los resultados de resumen del modelo)
FILET	Archivo de datos de presentación; curso de tiempo.	Datos de curso de tiempo (promedios) para un experimento. (Usados para comparaciones gráficas de los resultados medidos y simulados en el curso de tiempo).

Anexo 4 Información General de las estaciones

ESTACION	CODIGO INETER	TIPO	ALTURA (msnm)	LATITUD (Norte)	LONGITUD (Oeste)	T°PROM ANUAL	PARAMETROS			
							RAD	TMIN	TMAX	RAIN
Chinandega	064018	HMP	60	11°26'06"	87°08'00"	27.6 °C	X	X	X	X
León	064043	HMP	60	12°32'00"	87°03'00"	27.2 °C	X	X	X	X
Nagarote	069085	AG	80	12°15'18"	86°33'42"	26.6 °C	-	-	-	X
Managua	069027	HMP	56	12°08'36"	86°09'49"	26.6 °C	X	X	X	X
Nandaime	069033	AG	95	11°43'18"	86°02'48"	26.6 °C	-	-	-	X
Rivas	069070	HMP	70	11°26'06"	85°50'00"	26.4 °C	X	X	X	X

ANEXO 5: Conversión y llenado de datos Climáticos Faltantes en los sitios de estudio.

Año	Chinandega				León				Nagarote				Managua				Nandaime				Rivas			
	S	TM	Tm	r	S	TM	Tm	r	S	TM	Tm	r	S	TM	Tm	r	S	TM	Tm	r	S	TM	Tm	r
71	G	R	R	R	G	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	G	R	R	R
72	G	R	R	R	G	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	G	R	R	R
73	G	R	R	R	G	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	G	R	R	R
74	G	R	R	R	G	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	G	R	R	R
75	G	R	R	R	G	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	G	R	R	R
76	G	R	R	R	G	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	G	R	R	R
77	G	R	R	R	G	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	G	R	R	R
78	G	R	R	R	G	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	G	R	R	R
79					G				G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	G	R	R	R
80	G	R	R	R	G	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	G	R	R	R
81	G	R	R	R	G	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	G	R	R	R
82	G	R	R	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R
83	G	R	R	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R
84	G	R	R	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R
85	G	R	R	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R
86	G	R	R	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R
87					R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R					R	R	R	R
88	G	R	R	R	R	R	R	R				R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R
89	G	R	R	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G	R	R	R	R	R

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

S: Insolación.

TM : Temperatura máxima.

Tm : Temperatura mínima.

r : Lluvia

ANEXO 6: Mascarilla de fórmulas para aplicar escenarios de Precipitación a los años del periodo 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 ₃ /100 + 1)	X ₆₁ (B ₃ /100 + 1)	X ₆₁ (C ₃ /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)				

⇒ **ANEXO 7:** Mascarilla de fórmulas para aplicar escenarios de Temperatura a los años del periodo 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 8 Formulas y Razones de Conversión.

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

$$a = 0.3$$

$$b = 0.43 \quad \text{Fuente UCA}$$

La información de suelo y manejo del cultivo también fue transformada a las unidades requeridas por el modelo. Cabe señalar que con los datos de Materia Orgánica se obtuvo la información de Nitrógeno Total y Carbono Orgánico de acuerdo a la siguiente relación.

$$\text{C.Org} = \left(\frac{\%m.o.}{1.724} \right) (10)$$

$$\text{N.Total} = \left(\frac{\%m.o.}{20} \right) (10)$$

Anexo 9 Recopilación de la Información edáfica.

Lugar	N°	Subgrupo taxonómico	ph	da	textura	Código	C. Org	N total	CIC	Coordenadas	
										Long.	Lat.
Chinandega	Ch1	Mollic Vitrandepts	6.7	0.9	Franco arenoso	SALO	2.436	2.1	17	86.196°	12.641°
			6.0	1.0	Franco arenoso	SALO	0.580	0.95	14		
León	Le1	Mollic Vitrandepts	6.7	0.8	Franco arenoso	SALO	1.334	1.15	21	86.849°	12.470°
			7.0	0.9	Franco arenoso	SALO	1.218	1.05	13		
Nagarote	N1	Mollic Vitrandepts	6.6	0.9	Franco arenoso	SALO	3.480	3	15	86.639°	12.063°
			7.0	0.8	Areno Francosa	LOSA	1.740	1.5	11		
Managua	M1	Typic Durandepts	6.8	1.0	Franco	LO	2.494	2.15	260	86.464°	12.063°
			7.1	1.0	Franco	LO	1.276	1.1	210		
Nandaime	Nm2	Udic Argiustolls	6.0	1.2	Arcilloso	CL	1.392	1.2	37	86.0197°	11.171°
			6.1	1.1	Arcilloso	CL	0.464	0.4	37		
Rivas	R2	Udic Haplustalfs	6.1	1.3	Franco Arcilloso	CLLO	1.682	1.45	380	85.835°	11.447°
			6.5	1.4	Franco Arcillo limoso	SICLL	0.638	0.55	25		

Anexo 10: Cuadros : Variaciones de las interacciones (ESC x HOR) entre rendimientos simulados en (Kg\Ha) para los diferentes sitios de estudio.

CHINANDEGA

ESCENARIO	HORIZONTES DE TIEMPO			
	1980	2010	2030	2100
OPTIMISTA	5388.3 a	4982.5 ab	4641.1 b	3570.1 c
MODERADO		4982.5 ab	4609.3 b	2955.5 d
PESIMISTA		4952.3 ab	4477.5 b	2351.7 e

LEON

ESCENARIO	HORIZONTES DE TIEMPO			
	1980	2010	2030	2100
OPTIMISTA	2700.9 a	2293.6 ab	2149.4 ab	1991.6 b
MODERADO		2293.6 ab	2099.5 ab	1884.6 b
PESIMISTA		2239.1 ab	2049.9 ab	1495.1 c

MANAGUA

ESCENARIO	HORIZONTES DE TIEMPO			
	1980	2010	2030	2100
OPTIMISTA	5820.8 a	5230.4 b	4932.3 c	4141.0 d
MODERADO		5230.4 b	4920.5 c	3839.5 e
PESIMISTA		5186.4 b	4706.7 c	2839.4 f

NANDAIME

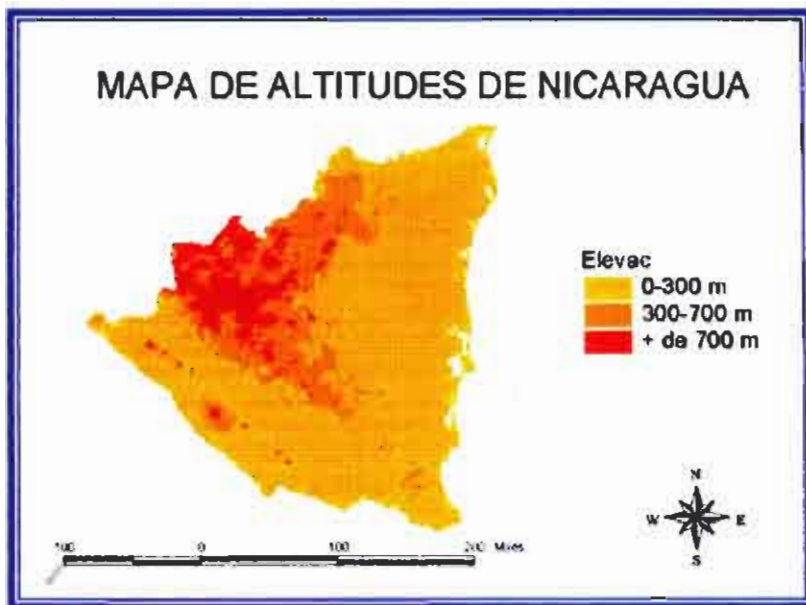
ESCENARIO	HORIZONTES DE TIEMPO			
	1980	2010	2030	2100
OPTIMISTA	5175.5 a	4748.5 a	4345.6 b	3835.4 c
MODERADO		4748.5 a	4295.0 b	3413.2 d
PESIMISTA		4715.9 a	4131.0 b c	2953.2 e

RIVAS

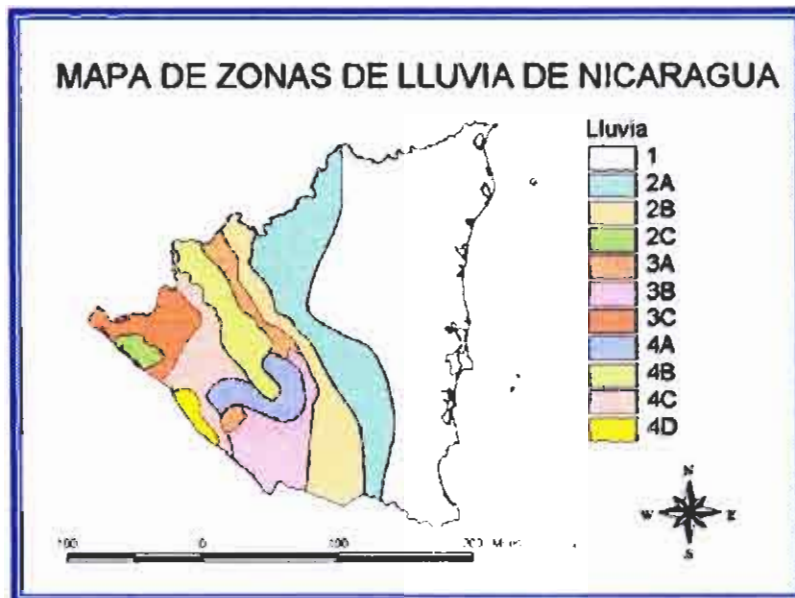
ESCENARIO	HORIZONTES DE TIEMPO			
	1980	2010	2030	2100
OPTIMISTA	5985.4 a	5537.3 b	5292.7 b c	4508.6 d
MODERADO		5537.3 b	5251.8 b c	4238.3 d
PESIMISTA		5510.3 b	5100.4 c	3396.4 e

Anexo 11

(Mapa 2) Mapa Representativo de tres pisos altitudinales de Nicaragua



(Mapa 3) Mapa de Zonas de Lluvia de Nicaragua



Mapa 4 Información de altitud para cada una de las estaciones y perfiles de suelo

