



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Efectos del Cambio Climático bajo diferentes escenarios y modelos, para las principales especies agrícolas del Estado de México

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

JAIRZINHO LÓPEZ ZAMORA

TUTOR: DR. ERASTO D. SOTELO RUIZ.

TLALNEPANTLA DE BAZ, ESTADO DE MÉXICO.

2012.



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA
CARRERA DE BIOLOGÍA



24 de enero de 2012

DR. SERGIO CHÁZARO OLVERA
DIRECTOR
PRESENTE.

Atención: Lic. Eloy González Fernández
Jefe de la Unidad de Administración Escolar

Los abajo firmantes, miembros de la Comisión Dictaminadora del trabajo de:

TESIS DE INVESTIGACIÓN

Titulado "Efectos del Cambio Climático bajo diferentes escenarios y modelos, para las principales especies agrícolas del Estado de México"

Que presenta el (la) pasante de Biología JAIRZINHO LOPEZ ZAMORA número de cuenta: 40509397-4. Para obtener el título de Biólogo.

Informan que después de haber revisado cuidadosamente el trabajo, consideramos que reúne las características de calidad académica que se requieren para aspirar a la obtención del título citado, razón por la cual otorgamos nuestros votos aprobatorios para la presentación del examen profesional correspondiente.

GRADO	NOMBRE	FIRMA	CARGO
DR.	RAYMUNDO MONTOYA AYALA		Presidente
DR.	OSWALDO TELLEZ VALDES		Vocal
DR.	ERASTO DOMINGO SOTELO RUIZ		Secretario
DR.	DANIEL JESUS MUÑOZ INIESTRA		Suplente
M. EN C.	ANTONIO GONZALEZ HERNANDEZ		Suplente

Con base en lo anterior solicito su autorización para que los profesores que otorgan los votos aprobatorios funjan como sinodales del examen profesional en el cargo anotado, y a la Administración Escolar otorgue la fecha para la Réplica Oral del trabajo presentado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

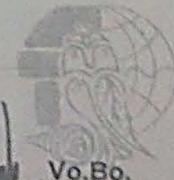
JEFE DE CARRERA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA



JEFATURA DE
BIOLOGÍA

M. EN C. RAFAEL CHÁVEZ LÓPEZ

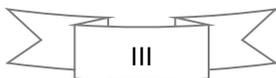


Vo.Bo.

Dr. Sergio Cházaro Olvera
Director

RECONOCIMIENTO

El presente trabajo se llevo a cabo gracias al financiamiento del proyecto “Definición de acciones sobre el riesgo en materia de adaptación y vulnerabilidad para el sector primario ante el cambio climático para el Estado de México” con Clave CONACYT: EDOMEX-2008-01-103001.



DEDICATORIA

A mi madre por haberme dado la vida y brindarme la familia que tengo, que pese a no haberla escogido estoy seguro que no encontraría una mejor.

A mi abuelo Pompeyo que fue un gran ejemplo para mí, el hombre al que más he querido, porque fue más que un padre, que me enseñó con su ejemplo a ser un buen hombre, porque me guió y me sigue guiando con sus enseñanzas y lamento que ya no esté a mi lado para continuar aprendiendo de él.

A mi abuela Benita que nunca dejó de creer en mí, que me dio su amor total e incondicional, que siempre me apoyó y motivó en todo.

A mi tío Vicente porque sin su apoyo esto nunca hubiera sido posible, por ser como un padre y un amigo.

A mi tía Carmen por soportarme todo el tiempo compartiendo mis alegrías, levantarme en mis derrotas y soportar mis enojos, que junto con mi abuela y todas mis tías Hortensia, Juana, Norma, Yolanda, Victoria y Elizabeth me apoyan siempre y nunca dejan de creer en mí, muchas veces igual que una madre.

A mi hermano Jonathan que me ha apoyado que ha sido un ejemplo en todas las cosas para mí porque me ha guiado con sus triunfos y advertido con sus errores.

A todos y cada uno de mis primos (Ad, Al, Be, Ce, Da, H, Ju, Li, Ma, Pe, PP, Ra y Zi) que son mis amigos y mis hermanos.

Y a mi prima Diana por admirarme y porque muchas veces cree que soy mejor de lo que en verdad soy y me hace esforzarme en llegar a ser lo que ella espera de mí.

A todos los que creen en mí y a los que no qchasm.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia antes que todo por si apoyo incondicional.

Al Dr. Erasto Sotelo Ruiz por dirigir este estudio, confiar en mi criterio y emitir su juicio para mejorarlo.

Al M. en C. Antonio González Hernández por su apoyo, orientación y comentarios en la realización de este proyecto.

Al Biol. Adrián A. Palma Marroquín por ser mi amigo en la universidad y seguirme en la búsqueda de nuevos horizontes siendo un gran apoyo, compartiendo aventuras y tal vez en el futuro nuevos proyectos.

A Tania López Palafox “La China”, Nallely Juárez “Nay” y Eduardo Solano “Memo” por ser amigos incondicionales en cada paso desde la carrera y que pese a que hemos tomado caminos diferentes no nos hemos distanciado.

A mis amigos y compañeros de la FES- Iztacala Cristina Talavera, Edith Martínez, Kenya Toledo, Mariana Nuñez, Claudia Romina, Maria Picazo, Karina Trinidad, Carmen Torres, Liliana Jacobo, Juan de Dios Ruiz, Roberto García y Víctor Jiménez por hacer muy entretenida la carrera y compartir momentos únicos.

A mis amigos y compañeros de Centro Geo Citlalli Tapia, Patricia López, Gaby Aguirre, David León, Alfonso Tapia y Talib Oliver por hacer de un año “peculiar” una muy buena experiencia y en poco tiempo volverse grandes amigos.

INDICE

RECONOCIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
INDICE	VI
Índice de Figuras	VIII
Índice de Cuadros	X
RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	4
1.1. El Clima y el Cambio Climático	4
1.2. Modelos del clima	10
1.3. México y el Cambio Climático	12
1.3.1. México y las proyecciones climáticas	13
1.4. Agricultura	14
1.4.1. Cambio Climático y la Agricultura en México y su Adaptación	16
ANTECEDENTES	18
JUSTIFICACIÓN	21
II. OBJETIVOS	22
2.1. Objetivo General	22
2.2. Objetivos Particulares	22
III. METODOS	23
3.1. Área de Estudio	23
3.1.2. Extensión	24
3.1.3. Orografía y Geología	24
3.1.4. Suelo	26
3.1.5. Hidrografía	27
3.1.6. Clima	29
3.1.7. Principales Ecosistemas	30
3.1.8. Recursos Naturales	31
3.2. Especies de Estudio	32
3.2.1. Maíz (Zea mays)	32
Descripción	32

<i>Requerimientos Agroclimáticos</i>	32
<i>Usos</i>	33
3.2.2. Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	34
<i>Descripción</i>	34
<i>Requerimientos Agroecológicos</i>	34
<i>Usos</i>	34
3.2.3 Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	36
<i>Descripción</i>	36
<i>Requerimientos Agroecológicos</i>	36
<i>Usos</i>	36
3.2.4. Especies del estudio en el Estado de México	38
3.3. METODO	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1. Estimación de la Evaporación	43
4.1.1. Modelos Evaporación resultantes	49
4.2. Aptitud del maíz (<i>Zea mays</i>)	51
Modelo GFDL2.0	51
Modelo HADGEN	56
Modelo MPIECHAM 5	60
4.3. Aptitud del Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	66
Modelo GFDL2.0	66
Modelo Hadgen	71
Modelo Mpicham5	76
4.4. Aptitud de Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	81
Modelo GFDL 2.0	81
Modelo HADGEN	87
Modelo MPIECHAM 5	92
CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFIA	100
<i>Bibliografía</i>	100

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema Grafico del Efecto Invernadero y Calentamiento Global.	5
Figura 2. Ubicación Geográfica del Estado de México (INEGI, 2010).	23
Figura 3. División Distrital del Estado de México.	24
Figura 4. Orografía en el Estado de México (Arquitectura Justo Sierra, 2007).	25
Figura 5. Geología del Estado de México (INEGI, 2010).	26
Figura 6. Edafología del Estado de México (Arquitectura Justo Sierra, 2007).	27
Figura 7. Hidrología del Estado de México (Arquitectura Justo Sierra, 2007)	28
Figura 8. Climas en el Estado de México (INEGI, 2010).	30
Figura 9. Editor del Programa Statistical Analysys System (SAS) 9.0.	40
Figura 10. Reclasificación de Aptitudes.	42
Figura 11. Residuales y ecuación general para la evaporación.	44
Figura 12. Residuales y ecuación para la evaporación de cada mes del primer trimestre.	45
Figura 13. Residuales y ecuación para la evaporación de cada mes del segundo trimestre.	46
Figura 14. Residuales y ecuación para la evaporación de cada mes del tercer trimestre.	47
Figura 15. Residuales y ecuación para la evaporación de cada mes del cuarto trimestre.	48
Figura 16. Comparación de Aptitudes para Maíz entre los escenarios del M.C.G. GFDL2.0 y actualidad.	51
Figura 17. Aptitud actual y por escenario M.C.G. y GFDL2.0 para los escenarios A1, A2, B1 y B2.	53
Figura 18. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Maíz (Zea mays) en el Estado de México; Actual y Modelo GFDL2.0/2030/A2.	54
Figura 19. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Maíz (Zea mays) en el Estado de México, actual y Modelo GFDL2.0/2030/B1.	55
Figura 20. Comparación de Aptitudes para Maíz entre los escenarios del M.C.G. HADGEN y actualidad.	56
Figura 21. Distribución por escenario M.C.G. HADGEN y actual del área de las Aptitudes para los escenarios A1, A2, B1 y B2.	57
Figura 22. Comparación de distribución de la aptitud para el Cultivo de Maíz (Zea mays) en el Estado de México, actual y Modelo Hadgen/2030/A2.	58
Figura 23. Comparación de distribución de la aptitud para el Cultivo de Maíz (Zea mays) en el Estado de México, actual y Modelo Hadgen/2030/B2.	59
Figura 24. Comparación de Aptitudes para Maíz entre los escenarios del M.C.G. MPIECHAM 5 y la actualidad.	60
Figura 25. Distribución por escenario M.C.G. MPIECHAM 5 y actual del área de las aptitudes para maíz.	61
Figura 26. Comparación de distribución de la aptitud para maíz en el Estado de México, actual y Modelo MPIECHAM5/2030/A2.	62
Figura 27. Comparación de distribución de la aptitud para maíz en el Estado de México, actual y Modelo MPIECHAM5/2030/B2.	63
Figura 28. Comparación de Aptitudes para Frijol entre los escenarios del M.C.G. GFDL2.0 y actualidad.	66
Figura 29. Distribución porcentual para Frijol por escenario de M.C.G. GFDL 2.0 y actual del área de las Aptitudes.	67

Figura 30. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo GFDL2.0/2030/A2. _____ 68

Figura 31. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo GFDL2.0/2030/B2. _____ 69

Figura 32. Comparación de Aptitudes para Frijol entre los escenarios del M.C.G. Hadgen y actualidad. _____ 71

Figura 33. Distribución de área porcentual para Frijol por escenario de M.C.G. Hadgen y actual. ____ 72

Figura 34. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo HADGEN/2030/A1. _____ 73

Figura 35. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo HADGEN/2030/B1. _____ 74

Figura 36. Comparación de Aptitudes para Frijol entre los escenarios del M.C.G. MPIECHAM 5 y actualidad. _____ 76

Figura 37. Distribución de área porcentual para Frijol por escenario de M.C.G. MPIECHAM 5 y actual. _____ 77

Figura 38. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo MPIECHAM5/2030/A2. _____ 78

Figura 39. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo MPIECHAM5/2030/B2. _____ 79

Figura 40. Comparación de Aptitudes para Papa entre los escenarios del M.C.G. GFDL2.0 y actualidad. _____ 81

Figura 41. Distribución de área porcentual para Papa por escenario de M.C.G. GFDL2.0 y actual. ____ 83

Figura 42. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México; Actual y Modelo GFDL2.0/2030/A2. _____ 84

Figura 43. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México; Actual y Modelo GFDL2.0/2030/B2. _____ 85

Figura 44. Comparación de Aptitudes para Papa entre los escenarios del M.C.G. Hadgen y actualidad. _____ 87

Figura 45. Distribución de área porcentual para Papa por escenario de M.C.G. Hadgen y actual. ____ 89

Figura 46. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México; Actual y Modelo Hadgen/2030/A2. _____ 90

Figura 47. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México; Actual y Modelo Hadgen/2030/B1. _____ 91

Figura 48. Comparación de Aptitudes para Papa entre los escenarios del M.C.G. MPIECHAM 5 y actualidad. _____ 92

Figura 49. Distribución de área porcentual para Papa por escenario de M.C.G. MPIECHAM 5 y actual. _____ 94

Figura 50. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México; Actual y Modelo MPIECHAM 5/2030/A2. _____ 95

Figura 51. Comparación de distribución de la Aptitud para Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México; Actual y Modelo MPIECHAM 5/2030/B2. _____ 96

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Producción de Maíz por Estado ordenada por valor de producción según SAGARPA-SIAP del 2008 para riego y temporal (SAGARPA-SIAP, 2010).	33
Cuadro 2. Producción de Frijol en los Estados ordenada por derrama económica de producción según SAGARPA-SIAP del 2008 (SAGARPA-SIAP, 2010).	35
Cuadro 3. Avance de siembras y cosechas de papa, 2010 (SAGARPA-SIAP, 2010).	37
Cuadro 4. Producción de papa en los Estados ordenada por superficie cosechada según SAGARPA-SIAP del 2008 (SAGARPA-SIAP, 2010).	37
Cuadro 5. Producción y rendimiento de Cultivo en el Estado de México.	38
Cuadro 6. Ejemplo de Ponderación de variables para Maíz.	41
Cuadro 7. Valores del Modelo Anual y cada uno de los modelos Mensuales	43
Cuadro 8. Cambio Porcentual del área por Aptitud para Maíz del M.C.G. GFDL 2.0 respecto al Actual.	52
Cuadro 9. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Maíz (Zea mays) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).	54
Cuadro 10. Comparación de la distribución de la aptitud, Modelo GFDL2.0, para Maíz (Zea mays) en hectáreas, en el Estado de México (Escenarios B).	55
Cuadro 11. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Maíz del M.C.G. HADGEN respecto al Actual.	56
Cuadro 12. Comparación de la distribución de la aptitud, Modelo Hadgen, para el Cultivo de Maíz (Zea mays) en hectáreas para el Estado de México (Escenarios A).	58
Cuadro 13. Comparación de la distribución de la Aptitud, Modelo Hadgen, para maíz (Zea mays) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).	59
Cuadro 14. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para maíz del M.C.G. MPIECHAM 5 respecto al actual a nivel estado.	60
Cuadro 15. Comparación de la distribución de la aptitud, Modelo MPIECHAM5, para maíz en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).	62
Cuadro 16. Comparación de la distribución de la aptitud, Modelo MPIECHAM5, para maíz en hectáreas para el Estado de México (Escenarios B).	63
Cuadro 17. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Frijol del M.C.G. GFDL 2.0 respecto al Actual.	66
Cuadro 18. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (Phaseolus vulgaris) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).	69
Cuadro 19. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (Phaseolus vulgaris) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).	70
Cuadro 20. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Frijol del M.C.G. Hadgen respecto al Actual.	71
Cuadro 21. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (Phaseolus vulgaris) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).	73
Cuadro 22. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (Phaseolus vulgaris) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).	74
Cuadro 23. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Frijol del M.C.G. MPIECHAM 5 respecto al Actual.	76
Cuadro 24. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (Phaseolus vulgaris) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).	78

<i>Cuadro 25. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (Phaseolus vulgaris) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).</i>	79
<i>Cuadro 26. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Papa del M.C.G. GFDL2.0 respecto al Actual.</i>	82
<i>Cuadro 27. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (Solanum tuberosum) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).</i>	84
<i>Cuadro 28. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (Solanum tuberosum) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).</i>	85
<i>Cuadro 29. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Papa del M.C.G. Hadgen respecto al Actual.</i>	88
<i>Cuadro 30. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (Solanum tuberosum) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).</i>	90
<i>Cuadro 31. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (Solanum tuberosum) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).</i>	91
<i>Cuadro 32. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Papa del M.C.G. MPIECHAM 5 respecto al Actual.</i>	93
<i>Cuadro 33. Comparación de la distribución de la Aptitud para Papa (Solanum tuberosum) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).</i>	95
<i>Cuadro 34. Comparación de la distribución de la Aptitud para Papa (Solanum tuberosum) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).</i>	96

RESUMEN

El clima es uno de los elementos a los que no se le presta atención si no hasta que es adverso sin embargo sus variables en condiciones extremas afectan no solo la agricultura también afecta diversos elementos de la vida diaria. Desde hace años y tras décadas de estudios parece no haber duda alguna que las acciones humanas están cambiando el clima del planeta, esto se evidencia en los Informes de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), una herramienta utilizada en diversos estudios son los modelos climáticos permiten predecir o hacer experimentos que nunca serían posibles en la realidad. Por ejemplo, si se dispone de un buen modelo climático se podrá estimar como variaría la temperatura y la temperatura, al aumentar la concentración de un gas como el bióxido de carbono (CO_2), estas dos variables son fundamentales para determinar la distribución espacial de las especies vegetales, controlando su supervivencia y producción. En la determinación de la potencialidad, aptitud y capacidad de uso que posee un terreno las características climáticas, topológicas y edáficas son primordiales.

El presente estudio se orientó a determinar los posibles escenarios en los cuales el fenómeno del Cambio Climático podría impactar, enfocado a algunos de los cultivos de mayor relevancia en el Estado de México como son el Maíz (*Zea mays*), Frijol (*Phaseolus vulgaris*) y Papa (*Solanum tuberosum*). Para ello se elaboraron proyecciones futuras utilizando los Modelos Generales de Circulación de la Atmósfera y la técnica estadística de reducción de escala utilizando el programa SDSM (Statistical Downscaling Model) en su versión 4.2, la cual emplea modelos de regresión y prediciendo variables del clima regional y local, para ello se utilizaron las estaciones climáticas que cumplieran criterios de selección y se localizaran en el Estado de México y en una zona de amortiguamiento de 20km desde sus límites estatales, obteniendo escenarios para las décadas 2030 y 2050. Esto como parte del proyecto “Definición de acciones sobre el riesgo en materia de adaptación y vulnerabilidad para el sector primario ante el cambio climático en el Estado de México”. Se utilizaron los escenarios socioeconómicos A1, A2 y B1, B2, documentados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático en el Reporte Especial de Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés).

Los resultados que se obtuvieron de los escenarios fueron muy variados, ya que se realizaron análisis cuantitativos y cualitativos. Estos resultados posteriormente fueron empleados para la obtención de un modelo de regresión que pudiera estimar la evaporación con valores actuales y así conseguir un modelo óptimo para la estimación de esta variable.

En la estimación de los modelos de evaporación se obtuvieron un modelo anual y 12 mensuales todos ellos con coeficiente de determinación (R^2) superior al 95.68% y Cuadrado Medio de Error (CME) inferiores a 28.82 sobresaliendo los meses de junio a noviembre, ya que además, de su comportamiento de los residuales satisfactorio y valores en el Cuadrado Medio de Error inferiores a 20 unidades.

Los resultados permitieron apreciar un aumento en las zonas catalogadas como “Muy Buenas” siendo el modelo MPIECHAM 5 el que presentó mayores aumentos en comparación a los otros Modelos, también se apreció en general un desplazamiento de las aptitudes de mayor categoría al norte del estado.

En lo que respecta al cultivo de Frijol se presentaron mayores decrementos en las zonas con categoría “Muy Buena” y “Mediana” para el modelo Hadgen y apreciándose aumento en categorías menores, en general el cultivo de frijol presentó las mayores pérdidas de categorías en este estudio.

Con el cultivo de la papa los resultados muestran una zona cierta estabilidad en la potencialidad en un futuro, en los modelos y escenarios para la zona centro del estado. No obstante de igual forma el resultado espacial del cultivo de la papa muestra un ligero desplazamiento y aumento de categoría hacia el noreste del Estado de México.

Abstract

The climate is one of the items that are not paying attention if that is adverse to its variables but in extreme conditions affect not only agriculture also affects various elements of daily life. For years and decades of studies seems to be no doubt that human actions are changing the global climate, this is evidenced in the reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), a tool used in various studies are Climate models predict or do experiments would never be possible in reality. For example, if you have a good climate model can be estimated as vary the temperature and the temperature, increasing the concentration of a gas such as carbon dioxide (CO₂), these two variables are critical in determining the spatial distribution of plant species, controlling their survival and production. In determining the potential, aptitude and ability to use land that has the climatic, topological and soil are paramount.

The present study was oriented to determine the possible scenarios in which the phenomenon of climate change could impact, focusing on some of the most important crops in the State of Mexico such as the Corn (*Zea mays*), bean (*Phaseolus vulgaris*) and potato (*Solanum tuberosum*). This forward-looking statements are prepared using General Circulation Models of the Atmosphere and the statistical technique of downscaling using the program SDSM (Statistical Downscaling Model) version 4.2, which uses regression models and predicting regional climate variables and local, it was used for weather stations that met the selection criteria and were located in the State of Mexico and a buffer zone of 20km from their state boundaries, obtaining scenarios for the decades 2030 and 2050. This as part of the "Definition of the risk measures on adaptation and vulnerability for the primary sector to climate change in the State of Mexico." Socio-economic scenarios were used A1, A2 and B1, B2, documented by the Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Emissions Scenarios (SRES, for its acronym in English).

The results obtained from the scenarios were very different, and that quantitative and qualitative analyzes. These results were then used to obtain a regression model that could estimate the current values evaporation and thus achieve an optimal model for the estimation of this variable.

In estimating models Evaporation gave an annual model and 12 per month all with coefficient of determination (R^2) greater than 95.68% and Mean Square Error (MSE) of less than 28.82 protruding from June to November, as addition, their behavior and satisfactory residual values in the Mean Square Error of less than 20 units.

The results allowed to see an increase in areas classified as "Muy Buena" being the model MPIECHAM 5 that showed higher increases compared to other models, is also appreciated in general a shift in the skills of a higher grade in upstate.

With respect to the cultivation of beans showed greater decreases in areas with more "Muy Buena" and "Mediana" for the model and appreciate Hadgen minor categories increased in general the bean crop losses present the biggest categories in this study.

With the potato area results show a certain stability in the potential in the future, models and scenarios for the central state. But equally the result of spatial potato and shows a slight shift in rank to the northeast of the State of Mexico.

I. INTRODUCCION

1.1. El Clima y el Cambio Climático

El clima es uno de los elementos a los que no prestamos atención sino hasta que nos es adverso. Los fenómenos como: sequías, inundaciones, heladas, ondas de calor, granizadas y otro tipo de condiciones extremas con frecuencia afectan no solo a la agricultura, para la que tradicionalmente se pensó que eran importantes, sino a nuestra vida diaria, al dañar la salud, los suministros de agua y energía, y las comunicaciones. El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. A diferencia del concepto tradicional del clima, como el promedio de alguna variable, hoy en día se piensa en este como un estado cambiante de la atmosfera, mediante interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio. Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura sale de su valor medio de muchos años se habla de una anomalía climática producto u ocasionada por forzamientos internos, variaciones en los moduladores climáticos internos como inestabilidades de la atmosfera y/o el océano los forzamientos externos, como puede ser algún cambio en la intensidad de la radiación solar recibida o incluso cambios en la características del planeta (concentración de gases efecto invernadero, cambios en el uso de suelo, etc.) son resultado de la actividad humana (Martínez y Fernández, 2004).

Tras décadas de estudios y desde hace ya algunos años no parece haber duda alguna que las acciones humanas están cambiando el clima del planeta, según la conclusión de los Informes de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) un organismo creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y encargado de realizar evaluaciones periódicas sobre el cambio climático y sus consecuencias (Educadores por la Sostenibilidad, 2008).

La indagación de este proceso al que dicha convención llamo con el termino *Cambio Climático*, hace referencia a cambios en el clima por causas humanas u origen antropico, este cambio en el clima atribuido de manera directa o indirectamente a la actividad humana, altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables y así concluyéndose que es la mayor amenaza ambiental que enfrentaremos en el siglo XXI. El calentamiento del planeta, es producto principalmente del aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero, tendrá consecuencias negativas dependiendo de nuestra vulnerabilidad (Urbina y Martínez, 2006).

El cambio climático no se refiere únicamente a las variaciones del clima. No son cambios de temperatura en los que aumenta o disminuye el calor o el frío en un tiempo determinado, se trata más bien de un proceso de calentamiento de la Tierra, que es producido básicamente por las actividades que realizamos los seres humanos (Figura 1) (Instituto Nacional de Ecología y SEMARNAT, 2006).

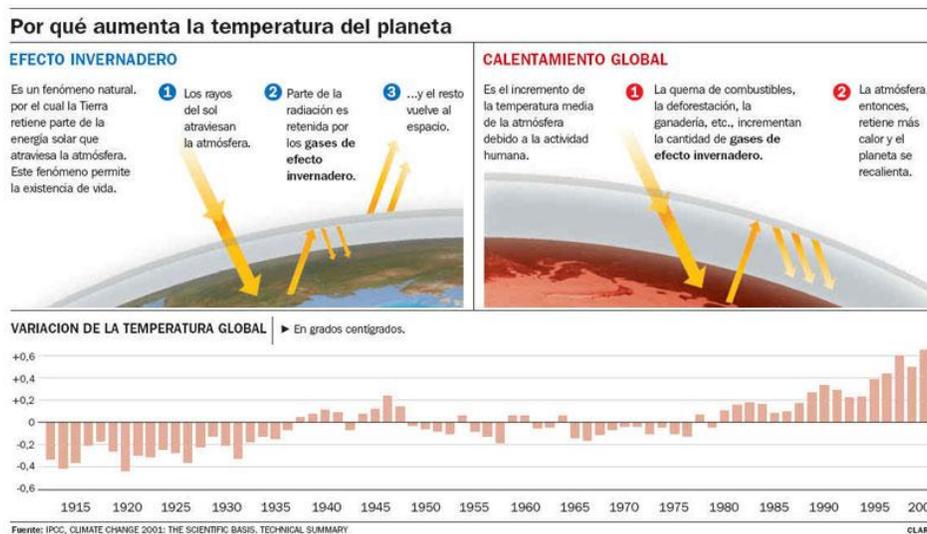


Figura 1. Esquema Grafico del Efecto Invernadero y Calentamiento Global.

Se ha demostrado que la proporción de CO₂ en la atmósfera ha aumentado de forma acelerada en las últimas décadas provocando un notable incremento del efecto invernadero. Sin tener que hablar necesariamente negativamente del efecto invernadero ya que estos gases son los que actúan como los cristales de un invernadero y evitan las oscilaciones en la temperatura del planeta incompatibles con las formas de vida conocidas; esto mantiene la temperatura media del planeta alrededor de los 15 °C. Sin embargo, el problema es la alteración de los equilibrios existentes debido fundamentalmente a la emisión creciente de CO₂ que se produce al quemar combustibles fósiles como el carbón o petróleo; además, la liberación de otros gases que contribuyen a este efecto y las emisiones de la mayoría de ellos crecen cada año (Educadores por la Sostenibilidad, 2008).

Varios de estos participan en otros tipos de contaminación como la lluvia acida que contribuye a destruir bosques, reduciendo la capacidad de absorción de dióxido de carbono y de hecho el aumento en la temperatura por el efecto invernadero tiene una responsabilidad compartida entre la deforestación y el aumento de CO₂ y otros gases invernadero (Educadores por la Sostenibilidad, 2008). Pese a todo esto, resulta sorprendente que prácticamente aun con un consenso científico universal países como Estados Unidos, China y Australia explicaban estas alteraciones reciente en el clima como parte de una variación climática normal.

Tal cambio climático según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático es la variación del clima identificable (por ejemplo mediante un análisis estadístico) a raíz de la alteración en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente décadas o más. Indicando todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a su variabilidad natural como si es a consecuencia de la actividad humana (Educadores por la Sostenibilidad, 2008).

No debemos olvidar que de acuerdo al cuarto informe del IPCC (2007a), El calentamiento del sistema climático es inequívoco, lo que se observa en los incrementos de los promedios globales de las temperaturas del aire y de los océanos, como en el derretimiento de hielo y nieve y en la elevación del nivel medio del mar. A su vez este documento concentra las evidencias más claras de que las actividades humanas están cambiando el planeta produciendo el calentamiento global.

El cambio climático de los últimos ciento cincuenta años parece obedecer principalmente a la quema de combustibles fósiles, que ha provocado una mayor concentración de los llamados Gases de Efecto Invernadero (Instituto Nacional de Ecología y SEMARNAT, 2006). Hay una certeza del 90% de que el calentamiento observado es debido al aumento en las concentraciones de estos gases (GEI) asociadas a acciones humanas. También el IPCC (2007a), predice un aumento de la temperatura media de la superficie de la tierra de 1.4 a 5.8 °C para el período 1990- 2100 (Centro de Ciencias de la Atmosfera, 2008).

Además de las consecuencias anteriores la degradación ambiental ya es perceptible y ejemplo de esto son:

- Disminución de los glaciares y deshielo de los casquetes polares, considerablemente en el hielo Ártico, con la consecuente subida del nivel del mar y destrucción de ecosistemas esenciales como humedales, manglares y zonas costeras habitadas. Desde 1960, el nivel del mar aumentó en promedio 1.8 milímetros al año en el planeta, mientras que en los últimos diez años viene aumentando en 3.1 milímetros por año. En los últimos 100 años el nivel global del mar aumentó entre 10 y 20 centímetros, y las proyecciones indican que el nivel del mar aumentará entre 9 y 88 centímetros hacia el año 2100.
- Deshielo, en particular del permafrost (suelos congelados de la tundra siberiana, Canadá y Groenlandia) que encierra musgos y líquen acumulados en la última glaciación y que al descongelarse se descomponen emitiendo metano y cuyo efecto invernadero es 100 veces superior al CO₂ lo que según Pearce (2007) sería un

Tsunami atmosférico y que está provocando el derrumbamiento de edificios y la ruptura de oleoductos y carreteras en Siberia y Alaska (Gore, 2007).

- Alteraciones de las precipitaciones principalmente mostrando un aumento de estas en las regiones de latitud alta este del norte y sur de América, norte de Europa y norte y centro de Asia. Sin embargo, se reduce en las bajas latitudes: en el Sahel africano, el Mediterráneo, el sur de África y partes del sur de Asia. Aparte de un aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos (sequias, grandes incendios, huracanes, lluvias torrenciales e inundaciones y avalanchas de barro).

- Modificaciones en las migraciones de aves con graves consecuencias para la biodiversidad (Educadores por la sostenibilidad, 2008).

- Acidificaciones de las aguas y destrucción de los arrecifes de coral, auténticas barreras protectoras de las costas y hábitat de innumerables especies marinas. Afectando el sector pesquero y seguridad alimentaria de las comunidades pesqueras ya que alrededor del 65% de las especies pesqueras dependen de los corales durante sus primeras etapas de desarrollo. Sin considerar la importancia de los corales en el sector turístico ni su valor cultural (Sotelo N. J., 2005).

- Incrementos de temperatura oceánica hasta 3,000 m. de profundidad, ya que más del 80% del calor extra implicado en el cambio es absorbido por el océano (Educadores por la sostenibilidad, 2008).

- Por otra parte, durante los últimos 50 años la temperatura promedio de la superficie aumentó 0.65 °C exceptuando el Pacífico este, los océanos del sur del globo y la Antártida. No puede ser coincidencia que a partir de 1995, prácticamente todos los años hayan sido de los más calientes de la historia, destacando que el año 1998 se consideró el más caliente del siglo, pero el 2001 fue aún más caliente. Poco después, el 2005 superó a todos (Costa, 2007).

- Desplazamiento hacia los polos de los patrones de viento y tormentas de las latitudes medias.

- Erosión y desertificación.

- Alteración de los ritmos vitales de numerosas especies.

Todo ello con graves implicaciones sociales, en particular, con repercusiones en la agricultura, los bosques, las reservas de agua y en definitiva, para la salud humana: aumento de la mortalidad asociado a las olas de calor y otros fenómenos extremos, incremento de las alergias, enfermedades respiratorias, diferentes tipos de cáncer,

etc. (Educadores por la Sostenibilidad, 2008; Instituto Nacional de Ecología y SEMARNAT, 2006).

Todo estos cambios provocados por la humanidad son tan profundos al grado de que el premio Nobel Paul Crutzen propuso llamar a esta era *antropoceno*, para destacar la responsabilidad de la especie humana. Las nuevas predicciones del IPCC señalan que para el siglo XXI las temperaturas globales seguirán aumentando, el nivel del mar sufrirá aumentos significativos y la frecuencia de fenómenos climáticos extremos será mayor (Educadores por la Sostenibilidad, 2008).

Destacando la lenificación o mitigación de las termoclinas en el mar, que podrían llegar hasta el colapso afectando la distribución de agua caliente hacia los casquetes polares y el intercambio de CO₂ debido a que el agua en los polos no alcanza la densidad suficiente para hundirse (Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental, 2008).

Estamos en la actualidad alcanzando las temperaturas más altas en los últimos 12000 años y a un grado de la temperatura más alta registrada en el último millón de años. El punto crítico de un proceso irreversible está a solo uno o dos grados más y desde hace 30 años se ha acelerado el calentamiento, donde la temperatura media ha aumentado en 0.2 °C cada 10 años. Si el proceso continuara, el desastre global se produciría en poco más de 50 años (Educadores por la Sostenibilidad, 2008).

Aunque cabe resaltar que el IPCC respaldó el hecho de que, inclusive si se detuviera súbitamente la emisión de todo gas de efecto invernadero, el planeta seguiría calentándose casi medio grado centígrado más durante los próximos treinta años. Esto debido a que los gases ya emitidos permanecerán actuando en la atmósfera, algunos hasta cien años. Impedir el calentamiento global ya no es posible, de manera que el asunto ahora es si se le puede mantener bajo niveles que no amenacen la estabilidad ambiental del planeta (Costa, 2007).

El cambio climático es un problema de seguridad estratégica, nacional y mundial, por lo que es urgente incrementar los esfuerzos de mitigación con la reducción de emisiones de GEI y desarrollar capacidades de adaptación ante sus impactos adversos previsible, presentando un principal interés a los factores que afectan la vulnerabilidad a este Cambio Climático (Altamirano, 2008) como son:

- Crecimiento poblacional.
- Pobreza y precariedad en las condiciones de salud pública.
- Proliferación de asentamientos en lugares de alto riesgo.

- Ubicación e intensificación de la actividad industrial, sin precauciones ambientales.
- Infraestructura sin criterios ambientales + Deterioro o carencia de infraestructura.
- Degradación y Pérdida de suelos.
- Alteración de ciclos hidrológicos.
- Eliminación de factores de amortiguamiento.
- Acumulación de desechos.

Asimismo los escenarios de emisiones futuras avalados por el IPCC muestran que, si no se imponen controles efectivos a la emisión de gases efecto invernadero, para el año 2100 el aumento de la temperatura promedio puede llegar a ser de tres grados y medio, el nivel promedio del mar puede subir hasta 60 centímetros. Por otra parte, las lluvias se redistribuirán; en general, las zonas áridas y secas serán más áridas y secas aumentando los desiertos y zonas inhabitables (Costa, 2007).

Mientras tanto países como el nuestro tienen que prepararse para enfrentar el cambio climático e incluir en los planes de desarrollo de mediano y largo plazo los escenarios futuros de clima

1.2. Modelos del clima

Recordemos que el hombre siempre ha tratado de explicar el mundo que lo rodea, para así poder reducir los peligros que lo asechan o beneficiarse de los recursos que lo rodean; esto a su vez, le ha permitido percatarse y hacer conciencia de la transformación que está afectando el clima, y se ha dado a la tarea de que los científicos desarrollen diversos modelos matemáticos con la finalidad de escenificar las condiciones que se tendrán en los próximos cincuenta años; pero ¿cómo poder estudiar y entender algo tan complejo como el océano, una selva tropical o el clima?. Par esto se tuvo que usar simplificaciones que solo tomaran en cuenta las propiedades más importantes del sistema (clima), desarrollando modelos que son una descripción aproximada de los fenómenos del mundo real, con el fin de comprenderlos y predecirlos (Jiménez y Mederey, 2004)

Un modelo puede ser tan sencillo como una explicación con palabras de lo fundamental de una realidad, hasta diagramas con los componentes de un sistema, señalando las acciones de unos sobre otros, sus diferentes comportamientos y tipos de interacción, o modelos numéricos que usan ecuaciones matemáticas para describir los distintos componentes de un sistema y las relaciones entre ellos; estos últimos se han visto beneficiados por el desarrollo de las computadoras lo que ha hecho posible resolver esas ecuaciones con gran cantidad de datos que dan como resultados los modelos numéricos, en los que se simula el funcionamiento de sistemas complejos. Con el tiempo, este tipo de modelos ha permitido simular relativamente bien procesos tan complicados como el funcionamiento de la atmosfera, incluyendo elementos esenciales como nubes radiación y vientos (Jiménez y Mederey, 2004).

Los modelos climáticos permiten predecir o hacer experimentos que nunca serian posibles en la realidad. Por ejemplo, si se dispone de un buen modelo climático se podrá estimar como variaría la temperatura al aumentar la concentración de un gas como el bióxido de carbono (CO_2), esto con las limitaciones pertenecientes a cada modelo, ya que en la actualidad no existe un modelo único para la generación de estos escenarios y mucho depende de la capacidad técnica y científica de cada país. En particular, ningún país en vías de desarrollo posee un modelo avanzado que se equipare a los modelos climáticos más complejos que existen en la actualidad. Por lo tanto, somos usuarios de las salidas de los modelos complejos desarrollados en los países del llamado primer mundo (Centro de Ciencias de la Atmosfera, 2008).

Estos escenarios parten de cuatro diferentes historias de desarrollo socioeconómico global, denominadas A1, A2, B1 y B2, que describen consistentemente las relaciones entre las principales fuerzas demográficas, económicas y tecnológicas

que determinan las emisiones futuras de los gases de efecto invernadero. Todos los escenarios basados en una misma historia constituyen una “familia”:

La historia A1 y su familia describen un mundo futuro de crecimiento económico muy rápido, una población mundial que llega a su máximo a mediados del siglo XXI y declina después y una rápida introducción de nuevas y más eficientes tecnologías.

La historia A2 y su familia de escenarios describen un mundo muy heterogéneo. Patrones de fertilidad sobre regiones convergen muy lentamente, lo que resulta en un continuo aumento de población. El desarrollo económico está principalmente orientado en forma regional con un crecimiento *per cápita* y cambios tecnológicos fragmentados y más lentos que en las otras historias.

La historia B1 y su familia de escenarios describen un mundo convergente con población mundial que llega a su máximo a mediados del siglo XXI y luego decrece como en la historia A1, pero con un cambio rápido en la estructura económica hacia una de servicios y economía de la información, con reducciones en la intensidad del material y la introducción de tecnologías limpias y uso eficiente de recursos. El énfasis es en soluciones globales de la economía, sustentabilidad ambiental y social, incluyendo equidad, pero si iniciativas climáticas adicionales.

La historia B2 y su familia de escenarios describen un mundo, el cual tiene énfasis en soluciones económicas locales y sustentabilidad social y ambiental. Es un mundo con incrementos constantes en la población, a una razón menor al de la historia A2, con niveles de desarrollo económico intermedio y menos rápido, así como más diversos cambios con respecto de las historias A1 y B1. Esta familia de escenarios está orientado hacia una protección ambiental y equidad social, enfocándose en niveles locales y regionales (Nebojsa *et al.*, 2000).

Los escenarios regionales presentados en el IPCC-AR4, se centran en proyecciones de temperatura y precipitación, pero el concepto regional se refiere extensiones de nivel casi continental, como fue Norte América, Europa o África. Con tal resolución es difícil pasar a la definición de acciones de adaptación para una cuenca o un ecosistema particular (Ruiz R. M., 2007).

Por otra parte hay que resaltar que la creación de los escenarios de cambio climático es una de las etapas más importantes dentro de los estudios de riesgo ante cambio climático, pues de ellos depende la dirección de los resultados de la evaluación. Los escenarios de cambio climático se han desarrollado como puentes entre los encargados de los GCMs, con los que se hacen los experimentos de cambio climático, y aquellos encargados de estudiar los potenciales impactos del cambio climático. Por ello, los escenarios de cambio climático deben brindar información

relevante para los sectores o a la medida de las necesidades del usuario; además, suficientemente detallada para ser utilizada en los estudios de impacto; representativa del rango de incertidumbres de las proyecciones; que incorpore las características de la región y diseñados para alimentar esquemas de toma de decisiones (http://www.ccsn.ca/Downscaling_Tools/SDSM-e.html).

Esto puede hacer la diferencia entre la implementación de un nuevo modelo de desarrollo sustentable con un manejo de recursos adecuado, y continuar con las tendencias de desarrollo actuales, que han puesto en riesgo a diversas regiones y sectores ante un clima cambiante. Sin embargo, en la práctica es difícil poder reunir todas esas características en un escenario, pues requiere de desarrollo de capacidades entre los encargados de generar información climática. Así también se puede integrar por el lado estadístico, el Statistical Down Scaling Method (SDSM) (Wilby, Dawson, & Barrow, 2002) es una de las herramientas de escalamiento espacial más utilizadas en la proyección local, pues su esquema de escalamiento se basa en la regresión lineal múltiple a un punto, ocupando campos precipitación, temperatura, radiación, globales del GCM y locales observados (http://www.ccsn.ca/Downscaling_Tools/SDSM-e.html).

1.3. México y el Cambio Climático

México no cuenta con estudios a nivel país en materia de detección y atribución del cambio climático; aunque si se ha detectado un incremento consistente de temperatura en los últimos treinta años, pero este análisis tendencial no es suficiente para diferenciar una señal antropogénica en el clima de variación natural de muy baja frecuencia. Por ello y debido a que México, por su ubicación geográfica, topografía y aspectos socioeconómicos es especialmente vulnerable a los impactos de la variabilidad y el cambio climático, así como a los eventos hidrometeorológicos extremos (Magaña, 2005; INE-SEMARNAT, 2006).

Esto ha incrementado la preocupación de México por los potenciales impactos adversos que el cambio climático podría tener en el desarrollo económico, en la sustentabilidad y productividad de las actividades humanas así como de los ecosistemas naturales; además, el incremento de la temperatura, el nivel medio del mar y la frecuencia e intensidad de fenómenos hidrometeorológicos extremos. Todo esto, ocasionará notables modificaciones en su ciclo hidrológico, ya que se encuentra sujeto a sequías recurrentes en algunas regiones o a fuertes precipitaciones estacionales, ocasionadas por huracanes y tormentas tropicales (Magaña, 2005; INE-SEMARNAT, 2006).

1.3.1. México y las proyecciones climáticas

El análisis para México quedó inmerso en una revisión de los cambios para la región sur de los Estados Unidos, Centro América y la parte norte de América del Sur. Para la región de México, Centroamérica y Cuba casi no se dispone de experimentos con modelos de clima regional que permitan estimar las probabilidades de cambios en parámetros meteorológicos, por lo que se tiene que recurrir a herramientas de reducción de escala. Del análisis de los escenarios del cambio climático para México y sus reducciones generados con Modelos de Circulación General (MCG) bajo escenarios de emisión A2 y B2, se llegó a las siguientes conclusiones: 1) el clima en nuestro país será más cálido para el 2020, 2050 y 2080, principalmente en el norte del país; 2) será más seco y más caliente, con sequías severas más frecuentes; y 3) se proyectan disminuciones en la lluvia, así como cambios en su distribución temporal, con respecto al escenario base de 1961- 1990. Pero también con cada vez más episodios de lluvia fuerte, es decir, con un ciclo hidrológico más intenso (INE-SEMARNAT, 2007).

Por ejemplo, es muy probable que el clima de México sea entre 2 y 4 °C más cálido para el periodo 2020 - 2080, principalmente en la parte más continental del norte de México. También se proyectan retrasos en el inicio de las lluvias, con una extensión de la temporada de lluvias hacia los meses de otoño, para gran parte del país. Se esperan reducciones de hasta 15% en regiones del centro y de menos de 5% en la vertiente del Golfo de México, principalmente entre enero y mayo; el ciclo hidrológico se volverá más intenso, por lo que aumentará el número de tormentas severas y la intensidad de los periodos de sequía (Instituto Nacional de Ecología y SEMARNAT, 2006; 2007).

Los impactos previsibles para el país son (Altamirano del Carmen, 2008):

- La temperatura de la superficie del mar en el Caribe, Golfo de México y Pacífico Mexicano podría aumentar entre 1 y 2 °C, favoreciendo las probabilidades de que los ciclones tropicales alcancen categorías mayores en la escala Saffir-Simpson.
- El ciclo hidrológico se volverá más intenso, es de esperar que aumente el número de tormentas severas, pero que también se puedan producir periodos de sequía más extremos y prolongados. Las observaciones de los últimos años en México parecen coincidir con tal planteamiento.
- Incendios forestales: posibilidad de un mayor número.
- Se verán afectadas en su distribución mayormente los pastizales, matorrales xerófilos y los bosques de encino. Para 2050, se proyecta un incremento drástico en el porcentaje afectado, ya que entre 53 y 62% de las comunidades vegetales estarán expuestas a condiciones climáticas distintas a las actuales.

Sobresaliendo para cada una de las regiones:

Norte: Problemas relacionados con la disponibilidad de agua, ondas de calor y sequías. Provocando que entre los Sectores y sistemas más afectados se encuentren: salud, agrícola, energía, pesca, distribución de agua y biodiversidad.

Centro: Afectaciones relacionadas con ondas de calor, periodos de sequía y lluvia más intensos. Provocando afectaciones en los Sectores y sistemas como: salud, agrícola, forestal, energía, distribución de agua y biodiversidad.

Golfo de México y Península de Yucatán: Afectaciones relacionadas con huracanes, mareas de tormenta, incremento del nivel del mar y lluvias más intensas. Afectando principalmente Sectores y sistemas: turismo, salud, agrícola, energía, biodiversidad y asentamientos humanos.

Pacífico: Afectaciones relacionadas con huracanes y periodos de sequía y lluvia más intensos. Afectando los Sectores y sistemas de: salud, agrícola, energía, turismo, biodiversidad y asentamientos humanos.

Sureste: Afectaciones relacionadas con huracanes y lluvia más intensas. Afectando los Sectores y sistemas de asentamientos humanos, turismo, salud, agrícola, energía y biodiversidad.

No debemos de olvidar que el verdadero propósito de los escenarios es darnos una idea de la incertidumbre, ya que ayudan a determinar las posibles ramificaciones de un hecho (en este caso, el cambio climático) y sus efectos en los sectores de un país a lo largo de uno o más caminos, plausibles pero indeterminados, no obstante son de gran utilidad para la realización de planes de desarrollo.

1.4. Agricultura

Un punto de partida para dichos planes de desarrollo sería los resúmenes de las conclusiones de los grupos de trabajo para el 4º Reporte de Asamblea (AR4) del Panel Internacional (IPCC) distribuidos por medio de su página web, así como las ponencias de conferencias internacionales en las que se describe los contenidos de este informe. Incluidas algunas de las conclusiones en lo que al impacto del cambio climático en la agricultura y su sostenibilidad se refiere (Ruiz, 2007).

Porque la agricultura es la actividad humana que más estrecha relación tiene con el medio ambiente y con la sobrevivencia del hombre en el planeta, pues debe atender la demanda de alimentos provocada por la explosión demográfica y la inequidad social. Asimismo, se ha convertido en una causa significativa del deterioro, la contaminación y el agotamiento de los recursos naturales, lo cual ha terminado afectando al clima, al que este sector agrario se encuentra íntimamente ligado, provocando cambios afectando principalmente y en gran medida la agricultura de temporal, debido a que los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas tienen como uno de los principales factores limitativo a la disponibilidad de humedad

en el suelo, donde las fuentes de abastecimiento es el agua es de lluvia (FAO, 1994).

Podemos decir que variabilidad que tiene la lluvia en tiempo y espacio, la hace un indicador, aunque poco adecuado, para evaluar la disponibilidad de humedad para las plantas en una región (Flores y Ruíz, 1998).

En el AR4, se consideran una serie de cambios inequívocos en el clima. Teniendo un efecto directo o indirecto sobre la producción agrícola y sobre uno de sus objetivos básicos, la producción de alimentos. Según el IPCC (2007) es el resultado, con más del 90% de probabilidad, del efecto neto de la actividad humana en el planeta.

Las incertidumbres de las proyecciones son grandes y actualmente los grandes proyectos de investigación en cambio climático tienen como prioridad reducirlo; por ejemplo, el Proyecto Europeo PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk/>). También hay que destacar que los estudios sobre el cambio climático y sus impactos son mucho más numerosos en los países desarrollados, que suelen ser los financiadores principales de las investigaciones; mientras que la cantidad y calidad de los datos para países en desarrollo es menor (Ruiz, 2007).

A la incertidumbre asociada a las proyecciones del clima hay que añadir la de las herramientas usadas en los estudios de impacto y la que entraña la escala de estudio. Las herramientas de evaluación del impacto, en el caso de la agricultura, frecuentemente son modelos de simulación de cultivos. Estos consisten en programas de ordenador que simulan el crecimiento de los cultivos basado en una combinación de ecuaciones que describen los procesos eco-fisiológicos, estableciendo relaciones empíricas y comparaciones con ensayos de campo. Utilizan datos de clima, suelo, manejo del cultivo y características genéticas de la planta, y proporcionan información sobre el comportamiento del cultivo en esas condiciones; el rendimiento, biomasa generada, consumos de agua, eficiencia en el uso de los recursos, fechas fenológicas (momentos de floración, madurez y otros elementos en el ciclo de cultivo. etc.) son las proyecciones del AR4 que utilizan, entre otras, esta metodología.

El AR4 del IPCC en el 2007 señala que las regiones que presentan cambios más drásticos son el Ártico, el África sub-sahariana, las islas pequeñas y los megadeltas asiáticos, junto con el Nilo, donde se concentra gran actividad humana y, dentro de ella, agrícola. El AR4 identifica también la agricultura como uno de los sectores más afectados (Ruiz, 2007). Esta variabilidad climática, los impactos en la agricultura que

genera y sobre todo el conocimiento adquirido en años recientes sobre esto deben de ayudarnos a mitigar dicha variabilidad del clima, sus causas y al mismo tiempo esta predictibilidad servirá para reducir los desastres en el sector.

1.4.1. Cambio Climático y la Agricultura en México y su Adaptación

En la actualidad las decisiones en la agricultura mexicana involucran factores fuera del control de los productores y de las instituciones del sector agroalimentario; las acciones y las decisiones dependen de la disponibilidad de información y calidad de los datos obtenidos. Cualquier decisión relacionada con los volúmenes de la producción agrícola tiene implicaciones importantes en la seguridad alimentaria estatal y nacional. El rendimiento de un cultivo es un elemento clave en el sector rural y un indicador para la seguridad nacional (Soria, 2009).

Pese a las estimaciones en la producción de alimentos, estas poseen un alto grado de incertidumbre, ya que la agricultura nacional está sujeta a cambios que no pueden ser controlados, tal como la variabilidad del clima y los cambios de uso de suelo por la superficie destinada a los cultivos. Además, esto anterior se ve potencializado por el Cambio climático por el que se ve sujeto el mundo (Soria, 2009).

También en años recientes, se han desarrollado técnicas para disminuir el grado de incertidumbre en las decisiones que se toman en el sector a través de la aplicación de tecnologías de vanguardia para la determinación del rendimiento y el volumen de cosechas basados en monitoreo sistemático de parcelas de cultivos y validación de datos. Esto permite contar con información sobre el comportamiento de la superficie cultivada, el rendimiento unitario y el volumen total de cosechas (Soria, 2009).

La parte del sector agrícola que se verá afectada según los estudios es la agricultura de temporal, los proceso de crecimiento y desarrollo de las plantas ocasionado muchas veces por la disponibilidad de humedad en el suelo y el abastecimiento de agua lluvia. La variabilidad que tiene la lluvia en tiempo y espacio, la hace un indicador poco adecuado para evaluar la disponibilidad de humedad para las plantas en una región (Flores y Ruíz, 1998).

Entre los efectos y grupos afectados sobresalen los productores de maíz de temporal ya que por efecto de fenómenos climáticos como: las sequías, heladas, vientos fuertes, lluvias torrenciales, granizadas, donde se pudiera derivar en una disminución en la fertilidad de los suelos así como la erosión y pérdida de estos, aunado a escasos apoyos económicos y técnicos; y ha que no son sujetos de crédito, tales productores podrían no contar con las herramientas necesarias para

afrontar estas contrariedades; además, los precios son fijados en Acuerdos comerciales que son poco favorables para el productor, “Maíz a precios bajos e Insumos a precios altos” provocando una gran tasa de migración ocasionando que los productores sean hombres mayores de 50 años y/o mujeres, sin una sucesión en el campo. Esto se vera de manera similar en otros cultivos y productores de condiciones similares.

Entre las medidas de “Adaptación” que nuestro país esta y desea emplear se encuentran:

El ajuste de los sistemas humanos a cambios de las condiciones climáticas, con la meta de reducir vulnerabilidad futura.

Un proceso de toma de decisiones con una mejor conciencia y conocimiento ambiental, dirigido a una sustentabilidad.

En esta problemática se deben de involucrar los diversos gobiernos mediante los sectores encargados de influir en transformaciones en tecnología, educación, comportamiento, política pública, infraestructura, etc.

El entendimiento de que la transformación para enfrentar este cambio es flexible pero ineludible.

La adaptación nos representa una oportunidad de minimizar costos en el futuro. Además de significar, aplicar medidas para reducir los impactos negativos o aprovechar los efectos positivos del cambio climático.

La Adaptación es un proceso continuo que no se concentra en un sector único, sino que es diversa y multi-sectorial, porque los impactos variarán de acuerdo a la capacidad de la sociedad para prepararse y responder al cambio climático.

La Adaptación se tendría que llevar a cabo aún si a partir de hoy se dejaran de emitir gases de efecto invernadero (GEI).

La mitigación de emisiones de GEI y la adaptación al cambio climático son acciones que se deben realizar en paralelo a nivel nacional.

ANTECEDENTES

2007. La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC) es una iniciativa gubernamental que identifica medidas y propone estudios necesarios para definir medidas de mitigación contra el Cambio Climático, así como sus afectaciones en los diversos sectores incluyendo el Agrícola.

1972. En la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y población se Proponen las primeras actuaciones para mejorar la comprensión de las causas que estuvieran pudiendo provocar un posible cambio climático, lo cual dio lugar en 1979 a la convocatoria de la Primera Conferencia sobre el Clima.

1983. La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland) impulsa la investigación y adopción de acuerdos internacionales para resolver los problemas, investigando los orígenes y efectos de un cambio climático para establecer políticas internacionales para la reducción de emisiones a la atmosfera de los gases de efecto invernadero.

1988. Creación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y encargado de realizar evaluaciones periódicas sobre el cambio climático y sus consecuencias. Que hasta el momento ha publicando cuatro Informes de Evaluación, en 1990, 1995, 2001 y 2007, dotados del máximo reconocimiento mundial.

1990. Se celebra la Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima, reunión clave para Naciones Unidas, ya que conduce sus negociaciones a la elaboración de un tratado internacional sobre el clima.

1994. La mayoría de los países firmaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, con la intención de cooperar para mantener el fenómeno bajo control.

1997. Se firma el Protocolo de Kioto con el compromiso de reducir las emisiones en porcentajes que varían según su contribución actual a la contaminación del planeta. Entrando en vigor el 16 de febrero de 2005. Impulsando también, las tecnologías para la sostenibilidad y un sostenido esfuerzo educativo capaz de modificar actitudes y comportamientos.

Ruosteenoja *et al.*, (2003) presentan el caso de las condiciones de cambio climático esperadas para Centro América, en el contexto de revisar la dispersión de los escenarios contra la variabilidad natural. Los escenarios climáticos para el periodo

climático 2010-2039 muestran que los cambios en temperatura serán de 1 y 2 °C y de entre +5% y 10% en precipitación dependiendo de la época del año.

Magaña *et al.*, (2005) hicieron una evaluación de los escenarios para México con las salidas directas de los modelos del centro Geofisical Fluids Dynamics Laboratory (GFDL-R30) y del Canadian Climate Center (CCC).

1992. El comienzo de la respuesta política internacional al cambio climático con la adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Esta convención estableció un marco para la acción cuyo objetivo es la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, para evitar que la actividad humana interfiera peligrosamente con el sistema climático.

Cabe resaltar que en el país se han empezado a tomar acciones realizando estudios sobre la vulnerabilidad del país al cambio climático. Los sectores y estados de la República analizados fueron:

Disponibilidad de agua en Hermosillo, Sonora cuyos objetivos principales fueron:

1) Fomentar una Cultura de Agua a través el uso de tecnología ahorrativo doméstico, 2) Facilitar la Captura de Aguas Pluviales a través pozos pequeños y 3) Promover la conservación de energía y agua a través Materiales de Construcción.

Turismo en Quintana Roo en el cual se evaluó la vulnerabilidad que ha presentado el sector turismo, en Cancún, Quintana Roo, ante eventos hidro-meteorológicos extremos como huracanes, mareas de tormenta y frentes fríos, y se estimó como puede ser la vulnerabilidad del sector bajo escenarios de cambio climático. El estudio muestra una serie de medidas de adaptación de tipo estructural que se debieran de comenzar a instrumentar en dicho sector.

Magaña *et al.*, (2005) realizaron estudios regionales con SDSM para el estado de Tlaxcala en Agricultura, Bosques y Agua en estos estudios se identificó la vulnerabilidad actual y futura de estos tres sectores y se diseñaron medidas de adaptación. Así como también una medida de adaptación fue el diseño y operación de invernaderos, en tanto que las medidas adoptadas contra la sequía incluyen cambiar de variedad a alguna más resistente o de ciclo más cortó y cambiar de cultivo.

Para el estado de Morelos se analizó agua y agricultura. El estudio permitió identificar, la vulnerabilidad de los sectores agua y agricultura al cambio climático. Al final se presentan propuestas de medidas de adaptación que permitan reducir la vulnerabilidad de los sectores hídricos y agrícola a los impactos del cambio climático

En los Estudios a nivel nacional se ha puesto principal interés a:

- Disponibilidad de agua.
- Salud pública: presentando que el incremento de las Enfermedades Transmitidas por Vector (dengue y paludismo) está asociado con el aumento de temperaturas y con la precipitación como variables. El cambio climático favorecerá un clima más cálido, por lo que en episodios de fuertes precipitaciones, el riesgo de brotes de estas enfermedades aumentará.
- Biodiversidad.
- Impactos en el sector energético.
- Generación de escenarios de clima.

Según la Secretaria de Desarrollo Agropecuario (2007), la producción estatal de maíz grano del 2000 – 2007 presento variaciones, obteniendo su valor más alto en el año 2001 con una producción de 2'284,681.72 ton. En contraste, el menor se presentó en el año 2005 con 1'211,436.01 ton. La producción en el año 2007 fue de 1'801,330.91 toneladas. Representando esto el 32.5% del valor anual de la producción con \$3,988.2 millones de pesos, lo cual represento a su vez el 42% del Producto Interno Bruto Agropecuario Estatal (Soria, 2009).

JUSTIFICACIÓN

Por todo lo anterior, resulta necesario analizar las consecuencias que el cambio climático puede causar en escala estatal, regional y local, como en el Estado de México; así como, las repercusiones que implicaría en el sector agrícola y en los principales cultivos de la entidad; además, de las afectaciones en el desarrollo a raíz de los impactos del cambio climático.

También se contribuirá a conocer el impacto del cambio climático en el Sector Primario, lo cual permitirá formular estrategias de adaptación y mitigación que ayuden a preservar los servicios ambientales. La agricultura en el Estado de México generará información de los escenarios de cambio para los principales cultivos, donde dicha información servirá de soporte a la toma de decisiones para el manejo sostenible de los recursos agropecuarios e hídricos en el Estado de México de acuerdo a los escenarios de cambio climático. Además, se conocerá la superficie afectada por el cambio climático.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Determinar los efectos del cambio climático en los principales cultivos del Estado de México en escenarios al 2030 y 2050.

2.2. Objetivos Particulares

Los objetivos particulares derivados del anterior, son los siguientes:

Conocer la superficie actual de aptitud de los cultivos de maíz, frijol y papa en el Estado de México

Delimitar las afectaciones en la aptitud del terreno en cultivos con los modelos y escenarios para el 2030 por efectos del cambio climático.

Obtener modelos para estimar de evaporación a nivel mensual y anual en el Estado de México

Generar mapas de aptitud de los cultivos de maíz, papa y frijol bajo escenarios de cambio climático del 2030 y 2050 en el Estado de México.

III. METODOS

3.1. Área de Estudio

3.1.1. Localización

El Estado de México se localiza en la zona central de la República Mexicana, en la parte oriental de la mesa de Anáhuac y se ubica geográficamente entre los paralelos 18° 22' 14" a 20° 17' 22" de latitud norte y los meridianos 98° 35' 35" a 100° 36' 19" de longitud oeste; a una altura de 2,683 metros sobre el nivel del mar, en su planicie más alta que es el valle de Toluca.

El estado colinda con los estados de Hidalgo y Querétaro al norte; Puebla y Tlaxcala al este; Morelos y Guerrero al sur; y Michoacán al oeste, así como con el Distrito Federal, al que rodea al norte, este y oeste (Figura 2).



Figura 2. Ubicación Geográfica del Estado de México (INEGI, 2010).

El estado se divide en ocho Distritos de Desarrollo Rural (DDR) que son: Toluca, Atlacomulco, Jilotepec, Zumpango, Texcoco, Valle de Bravo, Tejupilco y Coatepec Harinas (Figura 3) (SAGARPA, 2007).

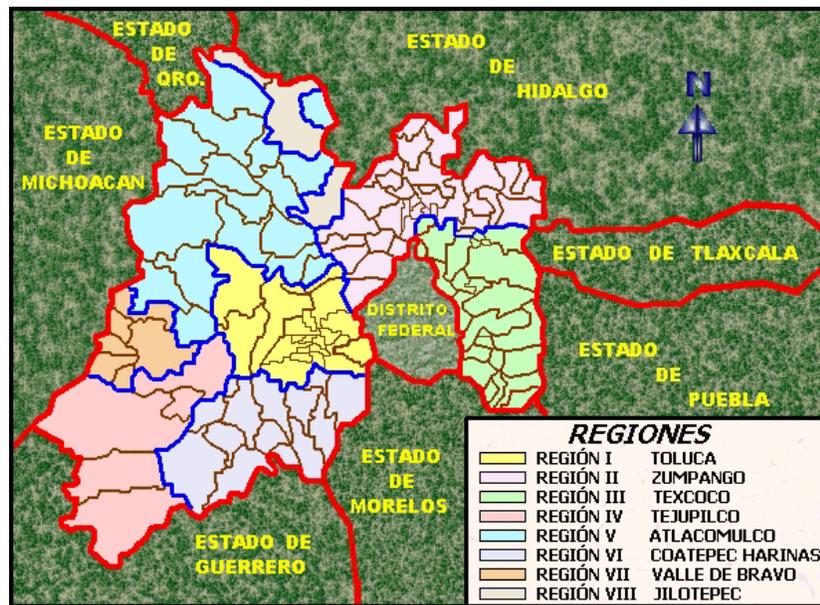


Figura 3. División Distrital del Estado de México.

3.1.2. Extensión

El Estado de México tiene una superficie de 23,244.22 km² cifra que representa el 1.09 % del total del país y ocupa el lugar 25 en extensión territorial, respecto a los demás estados.

Del total de la superficie el 38.1 por ciento es agrícola, el 34.9% forestal, 16.7% pecuario, el 10.3% industrial y urbano; en materia de tenencia de la tierra, el 40.32% es ejidal (Gobierno del Estado de México, 2010).

3.1.3. Orografía y Geología

La fisiografía del estado es muy variada; la altura sobre el nivel del mar fluctúa entre los 340 a 5,452 m, hay grandes planicies y cuatro grandes sistemas montañosos. La sierra Nevada tiene una altura máxima de 5,452 m y es el límite con el estado de Puebla. Comprende los volcanes Popocatepetl (5,452 m) e Iztaccíhuatl (5,286 m), sierra de Patlachique, serranía de Jultepec, Cuautzingo y Ajusco; cerros El Papayo (3,500 m), El Telapón (3,830 m), Tláloc (3,900 m) y Cerro Gordo (3,046 m) (INEGI, 2010).

Las sierras de Monte Alto y Monte Bajo son los límites occidentales con el Distrito Federal, comprende el cerro de la Bufa, Monte de Las Cruces, y llega hasta Ixtapan de la Sal, Atizapán de Zaragoza y Lerma.

La sierra del Xinantécatl (4,578 m) comprende los montes de Tlacotepec y San Felipe Tlalmimilolpan, Calimaya, Tenango del Valle, sierra del Hospital y Zacualpan,

monte de Coatepec Harinas al noreste, oriente y sur; hacia el suroeste dichos sistemas comprenden las sierras de Amatepec, Sultepec, Tlatlaya, Tejupilco y Nanchichitla; al oeste las de Temascaltepec, Tenayac y Valle de Bravo; y al norte los cerros de Zinacantepec, La Gavia, Santiago y San Agustín Chichilpan (INEGI, 2010).

La Sierra de San Andrés Timilpan se ubica al noroeste del estado, abarca las formaciones montañosas de Jilotepec, Chapa de Mota, Morelos, Jocotitlán, Acambay y la Peña de Ñadó. Toda esta variedad provoca que la clasificación del relieve en el Estado de México sea diversa afectando de manera directa o indirecta otras variantes (Figura 4) (Arquitectura Justo Sierra, 2007; INEGI, 2010).

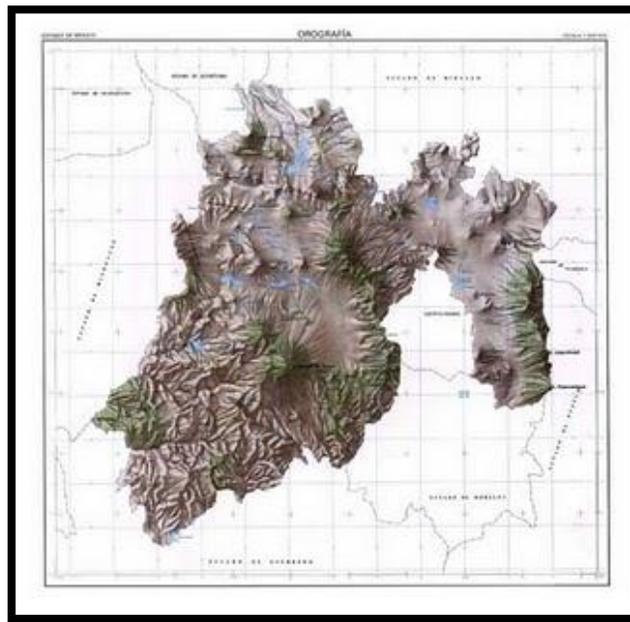


Figura 4. Orografía en el Estado de México (Arquitectura Justo Sierra, 2007).

Geología

La litología del Estado de México está constituida por afloramientos de rocas de origen ígneo, sedimentario y metamórfico, siendo las rocas ígneas extrusivas las que ocupan una mayor extensión. Las rocas de esta entidad datan desde el Triásico (las metamórficas) hasta el Cuaternario (representado por rocas ígneas de composición basáltica, así como por depósitos lacustres y aluviales).

Las principales estructuras geológicas que se presentan son aparatos volcánicos, algunos de los cuales se cuentan entre los más notables del país: el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl y el Nevado de Toluca. Además, existen fracturas y fallas regionales, asociadas a los fenómenos de vulcanismo y mineralización. Los aspectos de geología económica más importantes están relacionados con las rocas que por su

naturaleza primaria y las estructuras que las han afectado, constituyen zonas favorables para la explotación de acuíferos, de yacimientos minerales y de bancos de materiales para la construcción (Figura 5).

El Estado de México está comprendido dentro de dos provincias geológicas que son: el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur (INEGI, 2010).



Figura 5. Geología del Estado de México (INEGI, 2010).

3.1.4. Suelo

El suelo se ha formado de rocas de origen metamórfico: fundamentalmente de gneises y esquistos; sedimentario: representado por pizarras arcillosas del precretácico, margas, areniscas y calizas; e ígneas: andesitas y basaltos.

Los suelos dominantes son: Feozem háplico (PHh), Andosol úmbrico (ANu), Vertisol eútrico (VRe), Regosol eútrico (RGe) y Arenosol háplico (ARh) (Figura 6)

(Arquitectura Justo Sierra, 2007; INEGI, 1999; Sotelo, Ortiz, & Rizo, Generacion de un modelo matematico para calcular la evaporación en el Estado de México, 2000).

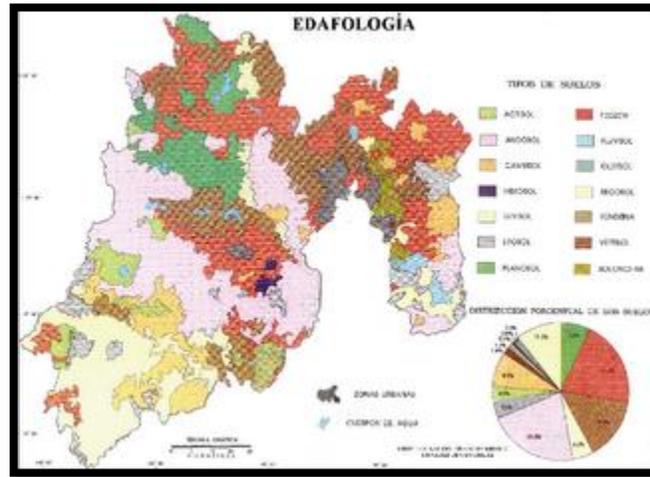


Figura 6. Edafología del Estado de México (Arquitectura Justo Sierra, 2007).

3.1.5. Hidrografía

Hidrológicamente el estado está comprendido en tres grandes cuencas: Lerma, ocupa el 27.3% de la superficie estatal; el Balsas 37.2% y el Pánuco 35.5%.

Uno de los elementos mas relevantes es el río Lerma el cual tiene una extensión aproximada de 125 km, naciendo en el municipio de Almoloya del Río y pasa por San Antonio la Isla, Tianguistenco, Texcalyacac, Atizapán de Santa Cruz, Capulhuac, San Mateo Atenco, Metepec, Lerma, Toluca, Otzolotepec, Temoaya, Almoloya de Juárez, Ixtlahuaca, Jocotitlán, Atlacomulco y Temascalcingo. Por el margen derecho recibe las aguas de los ríos Tianguistenco, la ciénega de Texcaltenango, el Ocoyoacac, el Amealco, el Atarasquillo, el San Pedro, el Caparrosa, el Temoaya, el Solano, los manantiales de Jocotitlán y el Sila; y por el izquierdo, el Verdiguél, el Calixtlahuaca, el Almoloya de Juárez, el Santa María del Monte y el Mineral del Oro (Gobierno del Estado de México, 2010).

Toda la región sur del estado forma parte de la cuenca del río Balsas, el Ocuilan o Chalma (con sus afluentes Malinalco, Zumpahuacán, Zempoala y Zarcas) se une al Amacuzac ya en el estado de Morelos; el río Tenango pasa subterráneamente por las grutas de Cacahuamilpa y llega al estado de Guerrero; el Malinaltenango se vierte en el Apetlahuacán; el Almoloya, el Sultepec e Ixtapan desembocan directamente en el Balsas; mientras el Temascaltepec y el de La Asunción lo hacen en el Cutzamala. El de La Asunción recibe al de Valle de Bravo, al de Amealco de Becerra y al de Ixtapan del Oro (Gobierno del Estado de México, 2010).

La cuenca del río Pánuco está unida a la cuenca de México y tiene como afluentes originales las subcuencas del lago de Texcoco, que recoge las aguas de los ríos la Asunción, los Remedios, Tlalmanalco o de la Compañía, Río Frío, los Reyes y Panoaya; y la de Zumpango y Cuautitlán, que capta las corrientes de Zumpango, Cuautitlán, Coscomate, San Isidro y Aculco (Gobierno del Estado de México, 2010).

Aparte de las espectaculares lagunas del Sol y la Luna en el Nevado de Toluca, en el estado se encuentran las del cráter de Cerro Gordo; la de Atexcapan en Valle de Bravo; San Simón, en Donato Guerra; La que se halla entre San Pedro y la Concepción de los Baños; Tepetitlán, en San Felipe del Progreso; las cuatro de Acuitzilapan al pie del cerro Jocotitlán; El Rodeo, cerca de Xonacatlán; Xibojay y Santa Elena en Jilotepec y la de Huapango en Timilpan (Gobierno del Estado de México, 2010).

Asimismo, existen manantiales de aguas termales en Ixtapan de la Sal, Tonicaco, Apaxco, San Pedro de los Baños, Ixtapa, Valle de Bravo, Sultepec, Temascaltepec y Tejupilco.

Otro recurso hidrológico importante con que cuenta el estado, es el de las presas, siendo las más importantes: José Antonio Alzate, en Temoaya, Ignacio Ramírez, en Almoloya, Guadalupe en Cuautitlán Izcalli, Madín, en Naucalpan, Vicente Guerrero, en Tlatlaya, Tepetitlán, en San Felipe del Progreso, Valle de Bravo y Villa Victoria en los municipios del mismo nombre, Huapango en Timilpan, Ñadó, en Aculco y Danho, en Jilotepec (Figura 7) (Arquitectura Justo Sierra, 2007; Gobierno del Estado de México, 2010).

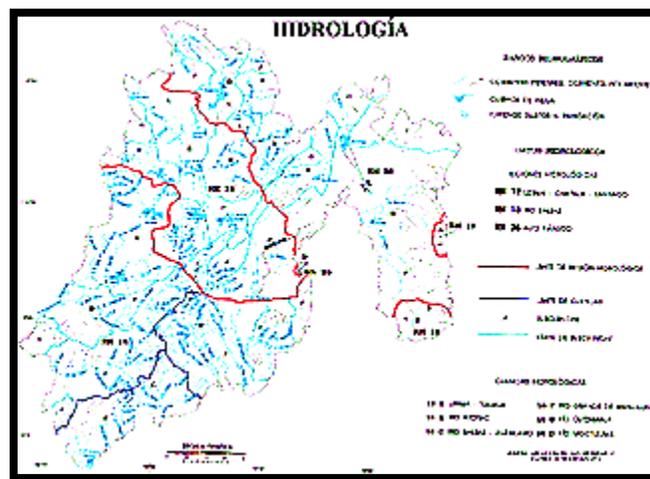


Figura 7. Hidrología del Estado de México (Arquitectura Justo Sierra, 2007)

3.1.6. Clima

Desde el punto de vista climatológico, el estado presenta los climas templados que ocupan la mayor parte de la superficie del estado, dentro de los altiplanos que forman los valles de Toluca, Lerma y Cuautitlán-Texcoco; las partes centro y este de la entidad tienen una temperatura media anual que oscila entre 12 °C y 18 °C y una precipitación mayor que 700 mm, la cual ocupa el 68% de la superficie estatal (Figura 8).

En orden de importancia, le sigue el clima semifrío, distribuido en las serranías del centro y este, con una temperatura media anual menor de 16 °C y una precipitación anual de 800 mm; este ocupa el 13% de la superficie del estado.

El clima semicálido se localiza en el suroeste de la entidad, el cual tiene una temperatura media anual que oscila entre los 18 °C y 22 °C y una precipitación anual de 800 a 1,500 mm, el cual ocupa el 8% del territorio.

El clima cálido se localiza en la parte sur del estado con una temperatura media anual mayor a los 22 °C y una precipitación superior a los 1,000 mm; este ocupa el 5% de la superficie estatal (Gobierno del Estado de México, 2010).

El clima seco se localiza en los límites con los estados de Tlaxcala e Hidalgo y registra una temperatura media anual inferior a los 18 °C y una precipitación anual entre 500 y 700 mm; ocupa el 5% de la superficie estatal.

El clima frío se localiza en las cumbres altas del Nevado de Toluca, Popocatepetl e Iztaccíhuatl, principalmente; se caracteriza por tener un régimen térmico medio que oscila entre los 6.5 °C y por debajo de los 0 °C; la precipitación pluvial media anual fluctúa entre los 1,000 y 1,400 mm; ocupa el 1% de la superficie total del estado (García, 2004; INEGI, 2010).



Figura 8. Climas en el Estado de México (INEGI, 2010).

3.1.7. Principales Ecosistemas

La flora del Estado de México tiene gran diversidad de biomas o ecosistemas que van desde vegetación de zonas áridas, hasta los páramos de alta montaña. La entidad cuenta con 609,000 hectáreas arboladas; 560,000 de bosque de clima templado y frío, y 49,000 de matorral, chaparral y selva baja caducifolia. La mayor concentración y diversidad forestal se encuentra en el interior de la cuenca del río Balsas y en los principales sistemas montañosos como las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, de Las Cruces, del Ajusco, de Río Frío y Nevada; y en menor proporción en la sierra de San Andrés, mesa de Los Pinos y la sierra de

Carimangacho al norte del estado. Otras regiones están caracterizadas con vegetación de pastizal y acuática (Gobierno del Estado de México, 2010).

La conjunción de la región Neoártica al norte y la neotropical al sur son áreas propicias para la diversidad de fauna, entre la cual sobresalen los grupos de anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

El bosque del poniente de la entidad es favorable para la hibernación de la mariposa monarca, la cual es una gran atracción para el turismo del Estado (Gobierno del Estado de México, 2010).

3.1.8. Recursos Naturales

En el territorio estatal, existen 49 zonas protegidas, donde las más importantes son: el parque nacional del Nevado de Toluca, los parques estatales Otomí-Mazahua, Sierra Morelos y Nahuatlaca-Matlatzinca, entre otros. Además, en colindancia con el estado de Michoacán, se encuentra el Parque Nacional Bosencheve y la reserva-santuario de la mariposa monarca (Gobierno del Estado de México, 2010).

En la porción oriente, se encuentran los parques nacionales Iztaccíhuatl-Popocatepetl y Zoquiapa. Del total de estos parques, 10 son de jurisdicción federal, 31 estatal, 6 municipal y dos de coordinación federación-estado (Gobierno del Estado de México, 2010).

3.2. Especies de Estudio

3.2.1. Maíz (*Zea mays*)

Descripción

La planta del maíz es de porte robusto, de fácil desarrollo y producción anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 m de altura, es robusto y sin ramificaciones; por su aspecto recuerda al de una caña, sin entrenudos y si una médula esponjosa; si se realiza un corte transversal, con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta, la inflorescencia masculina presenta una panícula (vulgarmente denominada espigón o penacho) de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos, en cada florecilla que compone la panícula; se presentan 3 estambres, donde se desarrolla el polen; la inflorescencia femenina marca un menor contenido en granos de polen, alrededor de los 800 ó 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral; las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, con nervaduras paralelas; se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presentan vellosidades; los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes; las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta, en algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo (SAGARPA-SIAP, 2010).

Requerimientos Agroclimáticos

El maíz requiere una temperatura de 15 a 30 °C, así como bastante incidencia de luz solar; para que se produzca la germinación en la semilla, la temperatura debe situarse entre los 15 a 20 °C; llega a soportar temperaturas mínimas de 8 °C y a partir de los 30 °C pueden aparecer problemas serios debido a la mala absorción de nutrientes minerales y agua; para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32 °C. Es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm al día; las necesidades hídricas van variando a lo largo del ciclo del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer requieren menos cantidad de agua y una humedad constante; en la fase del crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere, siendo la fase de floración el periodo más crítico porque de ella va a depender el llenado de grano y la cantidad de producción obtenida. Se adapta muy bien a todos tipos de suelo, pero suelos con pH de 6 a 7 son a los que mejor se adapta, también requiere suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buen drenaje para no producir encharcamientos que originen asfixia radicular (SAGARPA-SIAP, 2010).

Usos

El maíz de grano blanco se utiliza en la alimentación de la población en México, principalmente a través de la elaboración de las tradicionales tortillas y tamales, pero también se puede obtener aceite o en la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones. El Maíz de Grano Amarillo también se puede utilizar para consumo humano en una amplia variedad de platillos, sin embargo, en la actualidad se tiene como destino para el consumo pecuario en la alimentación del ganado y en la producción de almidones. El maíz como follaje es principalmente utilizado para consumo animal, ya que la planta de Maíz es un excelente forraje para el ganado, especialmente para las vacas lecheras y los animales de tiro. Se utiliza como forraje en varias etapas del crecimiento de la planta, especialmente en el momento de la emisión de la panoja o más adelante (Ecoaldea, 2009; SAGARPA-SIAP, 2009; Enciclopedia libre universal en Español, 2008).

El estado de México es uno de los estados con mayor superficie cosechada de maíz en México como se observó en el 2008 y se presenta en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Cuadro 1. Producción de Maíz por Estado ordenada por valor de producción según SAGARPA-SIAP del 2008 para riego y temporal (SAGARPA-SIAP, 2010).

UBICACIÓN	SUP. SEMBRADA (Ha)	SUP. COSECHADA (Ha)	PRODUCCION (Ton)	RENDIMIENTO (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	VALOR DE PRODUCCION (Miles de Pesos)
SINALOA	606,916.85	582,761.63	5,368,861.92	9.21	2,781.69	14,934,529.25
JALISCO	605,917.15	588,883.95	3,205,017.05	5.44	2,698.97	8,651,260.68
MEXICO	559,920.70	557,745.70	1,902,018.58	3.41	3,034.40	5,771,477.15
CHIAPAS	699,921.16	693,497.66	1,625,349.87	2.34	2,767.83	4,498,686.36
MICHOACAN	469,373.75	458,002.33	1,608,916.07	3.51	2,632.78	4,235,920.66
VERACRUZ	595,067.31	555,721.56	1,330,344.55	2.39	3,036.12	4,039,083.15
GUERRERO	481,718.75	478,530.75	1,403,046.22	2.93	2,852.51	4,002,207.08
GUANAJUATO	396,360.56	478,530.75	1,499,194.28	4.22	2,575.67	3,861,433.72
PUEBLA	594,039.71	355,184.36	1,020,642.12	1.86	2,846.20	2,904,951.96
OAXACA	603,898.25	547,248.68	785,594.02	1.32	3,458.55	2,717,014.14
TOTAL	7,942,285.23	596,740.70	24,410,278.53	3.32	2,817.04	68,764,850.61

3.2.2. Frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Descripción

Alcanza una altura de 50 a 70 cm; raíces bien desarrolladas, con una raíz principal pivotante y muchas y muy ramificadas raíces secundarias cercanas a la superficie; tallos delgados y débiles, cuadrangulares, a veces rayados de púrpura; hojas trifoliadas, folíolos ovales o rómbicos-aovados, ápice acuminado, los laterales más o menos tubuloso, estandarte redondeado; fruto lineal, más o menos comprimido, suavemente curvado, dehiscente de 10 a 12 x 1 cm, verde morado o casi negro; semillas, reniformes oblongas a ovales o redondeadas, poco comprimidas; color rojo, amarillo, café o negro (SAGARPA-SIAP, 2010).

Requerimientos Agroecológicos

Las temperaturas óptimas para el desarrollo del cultivo oscilan entre 10 °C a 27 °C; la planta de frijol es muy susceptible a condiciones extremas; de exceso o falta de humedad, por tal razón debe sembrarse en suelos de textura ligera, y bien drenados. El pH óptimo para sembrar frijol, fluctúa entre 6.5 y 7.5, dentro de estos límites la mayoría de los elementos nutritivos, como P, K, Ca y B del suelo presenta su máxima disponibilidad, no obstante, se comportan bien en suelos que tienen un pH entre 4.5 y 5.5 (SAGARPA-SIAP, 2010).

Usos

El uso es el consumo humano preferentemente; esta leguminosa es una fuente de proteínas importante. Se guisa de diferentes formas y es la guarnición más utilizada para acompañar diferentes platillos en México (SAGARPA-SIAP, 2009).

En el Cuadro 2 podemos apreciar los estados con mayor producción de frijol en nuestro país en el año 2008, localizándose el Estado de México en la treceava posición.

Cuadro 2. Producción de Frijol en los Estados ordenada por derrama económica de producción según SAGARPA-SIAP del 2008 (SAGARPA-SIAP, 2010).

UBICACIÓN	SUP. SEMBRADA (Ha)	SUP. COSECHADA (Ha)	PRODUCCION (Ton)	RENDIMIENTO (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	VALOR DE PRODUCCION (Miles de Pesos)
ZACATECAS	504,786	441,402	251,832	0.57	8,157	2,054,108
SINALOA	92,559	91,203	151,358	1.66	10,966	1,659,850
DURANGO	224,548	214,854	121,529	0.57	9,267	1,126,252
CHIHUAHUA	102,751	99,769	85,360	0.86	9,281	792,238
NAYARIT	50,827	50,826	77,663	1.53	8,908	691,800
CHIAPAS	118,472	116,865	69,156	0.59	9,489	656,248
SANLUIS POTOSI	120,237	108,798	70,082	0.64	8,114	568,632
GUANAJUATO	96,304	78,121	53,420	0.68	8,826	471,499
PUEBLA	62,532	60,962	42,745	0.70	9,143	390,806
OAXACA	44,208	44,208	31,744	0.72	11,052	350,831
HIDALGO	45,354	42,927	31,294	0.73	10,191	350,830
VERACRUZ	42,593	41,847	30,360	0.73	8,830	318,919
MEXICO	14,061	14,061	11,309	0.80	10,408	268,085
TOTAL	1,626,022	1,503,238	1,111,087	0.74	9,162	117,704

3.2.3 Papa (*Solanum tuberosum*)

Descripción

La Papa es un tubérculo comestible que crece bajo la tierra con raíces muy ramificadas, finas y largas; el tallo es grueso, fuerte, anguloso, con una altura que varía entre 0.5 y 1 m, que se origina en las yemas del tubérculo; las hojas son imparipinnadas; su fruto es una baya redondeada de color verde, que se vuelve amarilla al madurar. La planta también tiene tallos subterráneos, donde los primeros son de color verde, los cuales se convierten en su extremidad en tubérculos. En la superficie de los tubérculos tienen yemas distribuidas en forma helicoidal. La papa es una especie cuya principal función fisiológica es almacenar o acumular gran cantidad de nutrientes en los tubérculos (SAGARPA-SIAP, 2010).

Requerimientos Agroecológicos

La Papa es una planta que requiere humedad abundante y regular, responde bien en temperaturas templadas y humedad ambiental alta, sufre con las temperaturas excesivas y es particularmente sensible a la sequía. En periodo de intensa tuberización, puede necesitar hasta 80 m³ de agua por ha y día; se hiel a temperaturas inferiores a -2 °C; el crecimiento de los brotes empieza a los 2 °C y es máximo entre 20 y 25 °C, aunque un exceso de temperatura produce disminución de su riqueza en fécula y favorece el desarrollo de enfermedades. En cuanto a suelos, la papa prefiere tierras mullidas y aireadas; son mejores los suelos arenosos que los arcillosos; crece mejor entre valores de pH comprendidos entre 5.5 y 7, condiciones que suelen darse más en los terrenos arenosos, puede desarrollarse también en terrenos arcillo-calizos, llegando a tolerar un pH igual e incluso superior a 8 (SAGARPA-SIAP, 2010).

Usos

Se utiliza generalmente en la gastronomía para la elaboración de guisos, ensaladas, purés, papas fritas y en la industria de frituras y para la elaboración de Vodka, ya que para su elaboración requiere de grandes cantidades de almidón (SAGARPA-SIAP, 2009).

La superficie sembrada de papa a nivel estatal en la República Mexicana se muestra en el Cuadro 3 y

Cuadro 4 para el 2010 y 2008 respectivamente.

Cuadro 3. Avance de siembras y cosechas de papa, 2010 (SAGARPA-SIAP, 2010).

ESTADO	SUPERFICIE (ha)			PRODUCCION	RENDIMIENTO
	SEMBRADA	COSECHADA	SINIESTRADA	OBTENIDA	(ton/ha) OBTENIDO
BAJA CALIFORNIA SUR	627	600		21,000	35.00
CHIAPAS	210	210		3,510	16.71
GUANAJUATO	1,218	332		9,705	29.28
MEXICO	277	223	6.00	5,172	23.20
PUEBLA	530	325		3,900	12.00
SINALOA	10,337	10,249	88.00	262,097	25.57
SONORA	9,471	8,316		263,466	31.68
VERACRUZ	1,684	1,524		16,550	10.86
TOTAL	24,354	21,779	94.00	585,400	23.04

Cuadro 4. Producción de papa en los Estado ordenada por superficie cosechada según SAGARPA-SIAP del 2008 (SAGARPA-SIAP, 2010).

UBICACIÓN	SUP. SEMBRADA (Ha)	SUP. COSECHADA (Ha)	PRODUCCION (Ton)	RENDIMIENTO (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	VALOR DE PRODUCCION (Miles de Pesos)
SONORA	11,648.00	11,645.00	386,850.58	33.22	547.18	2,145,930.14
SINALOA	14,014.00	14,013.00	343,992.00	24.55	4,644.67	1,597,730.00
CHIHUAHUA	5,257.00	5,103.00	131,482.57	25.77	5,386.56	708,239.07
MEXICO	4,554.50	4,544.50	129,441.95	28.48	3,659.06	473,635.43
NUEVO LEON	3,609.00	3,489.00	121,003.60	34.68	5,702.22	689,989.50
PUEBLA	4,857.00	4,360.00	94,578.00	21.69	3,346.30	316,486.00
GUANAJUATO	3,658.00	2,658.00	90,758.00	34.14	3,441.17	312,314.00
MICHOACAN	1,945.25	1,937.25	71,485.00	36.90	5,475.69	391,430.00
JALISCO	1,799.00	1,799.00	69,410.50	38.58	3,107.53	215,695.50
VERACRUZ	3,948.00	3,948.75	65,305.50	16.54	4,063.83	265,390.75
TOTAL	61,069.50	60,241.50	1,670,148.30	27.72	4,697.01	7,844,706.28

3.2.4. Especies del estudio en el Estado de México

Los cultivos antes mencionados son de gran importancia ya que son de los que presentan una mayor distribución a lo largo del estado; además, que en su mayoría o buena parte son de los que se verían afectados por el cambio climático por ser de los más utilizados en la agricultura de temporal, los cuales dependen casi totalmente de las condiciones climáticas.

A continuación se muestra en la Cuadro 5, los cultivos que se evaluaron en este estudio, así como la superficie en el estado que se siembra y cosecha de cada uno; también el porcentaje que representan del total de hectáreas utilizadas para la agricultura, su producción y la posición que ocupan en base a la producción y la cantidad económica que esta representa, tanto en miles de pesos que genera como en el porcentaje de esta cantidad respecto al total de este sector, y el lugar o posición que ocupan por esta derrama económica; todo esto para el año 2008. Los cultivos que cuenten con dos cantidades en los apartados de superficie sembrada y valor de producción son, el primer valor representan la cantidad de la subdivisión del cultivo según su finalidad y la segundo el de la especie a estudiar; esto para el caso del maíz, frijol y papa.

Cuadro 5. Producción y rendimiento de Cultivo en el Estado de México.

Posición	Cultivo	Sup. Sembrada (Ha)	%	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)	%
1	MAIZ GRANO	559,921	63.20	557,746	1,902,019	3.41	3,034.4	5,771,477 6,193,690	37.2
7	PAPA	4,555	0.51	4,545	129,442	28.48	3,659.1	473,635	3.1
10	MAIZ FORRAJERO	19,433		19,382	1,010,780	52.15	364.4	368,353	
13	CEBADA GRANO	39,220	4.43	38,720	63,131	1.63	4,087.7	258,058	1.7
17	ZANAHORIA	2,748	0.31	2,748	61,497	22.38	2,987.8	183,739	1.2
23	FRIJOL	14,061	1.59	14,061	11,309	0.80	10,408.1	117,704	0.8
24	TRIGO GRANO	13,031	1.47	13,032	35,465	2.72	2,120.0	75,184	0.5
27	ELOTE	2,011		2,011	26,020	12.94	2,067.0	53,860	
114	EJOTE	32		32	155	4.88	3,685.1	571	
122	CEBADA FORRAJERA EN VERDE	15		15	210	14.00	580.0	122	
130	TRIGO ORNAMENTAL	6		6	4,500	750	10.0	45	
Total		885,916		881,614				15,519,690	47.1

3.3. METODO

Para la elaboración de los escenarios climáticos futuros A1, A2 y B1, B2 estatales al año 2050, se emplearon los resultados de los Modelos Generales de Circulación de la Atmósfera y la técnica estadística de reducción de escala SDSM (Statistical Downscaling Model). Esta técnica emplea modelos de regresión y predice las variables del clima regional o local (predictandos) a partir de las variables atmosféricas de gran escala del GCM (predictores) (Conde & Gay, Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático a Escala Regional, 2008).

Se utilizaron datos de estaciones meteorológicas que tenían por lo menos 30 años. Las variables atmosféricas se obtuvieron de la página web del Centro Nacional de Predicción del Medio Ambiente de Estados Unidos (NCEP, por sus siglas en inglés). En el modelado del comportamiento climático, se evaluaron los impactos del cambio climático sobre el ciclo del agua y sectores primarios en el estado (Conde & Gay, Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático a Escala Regional, 2008).

De los modelos, se obtuvieron las anomalías de índices climáticos mensuales tales como precipitación y temperatura media a partir de la información climatológica diaria de las estaciones seleccionadas, para las cuales se generaron datos puntuales que se interpolaron mediante un Sistema de Información Geográfico para generar los mapas digitales del estado de tales índices; posteriormente, dichas anomalías fueron cambiadas en el caso de la precipitación dado que el programa nos proporciona porcentajes a milímetros de precipitación para así después poder ser unidos a los valores actuales de dichas variantes climáticas y evaluar si tienen un impacto directo sobre la producción agrícola (Comisión Intersectorial de Cambio Climático, 2007).

Parte importante de este estudio, fue la obtención de valores de evaporación bajo escenarios de cambio climático, que fue estimada básicamente por modelos de regresión, al no poder contar con esta variable de manera directa en estos Modelos de Circulación General (MCG) se procedió a obtener un modelo de regresión que pudiera estimar la evaporación con valores actuales y así conseguir un modelo de regresión óptimo para la estimación de estas variables (Sotelo *et al.*, 2001).

Utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 9, se almacenó, modificó y analizó la información de la base de datos histórica de las estaciones meteorológicas localizadas en el Estado de México y 20 kilómetros alrededor de este (INEGI, 2007; SAS, 2007); esta base de datos, se eliminaron las mediciones erróneas por estación, además, de que se agruparon por día y mes; del primero

procesamiento se obtuvo la media para el caso de la temperatura y los milímetros de precipitación de cada mes y año de la base de datos; además, de integrar variantes cuantitativas de cada estación como un ejemplo la altitud y asignando valores a variables como en el caso de la textura. Aunando interacciones y cuadrados de temperatura media y precipitación; esto con la finalidad de determinar la influencia de cada variable y sus derivaciones en la evaporación de manera mensual. Tratando de cumplir los supuestos estadísticos de la regresión lineal; así como también, se observó las rectas de regresión que mejor se ajustaran a la nube de puntos y la eliminación valores extremos (Segura, 2002). La Figura 9 muestra los datos de entrada y la salida de SAS.

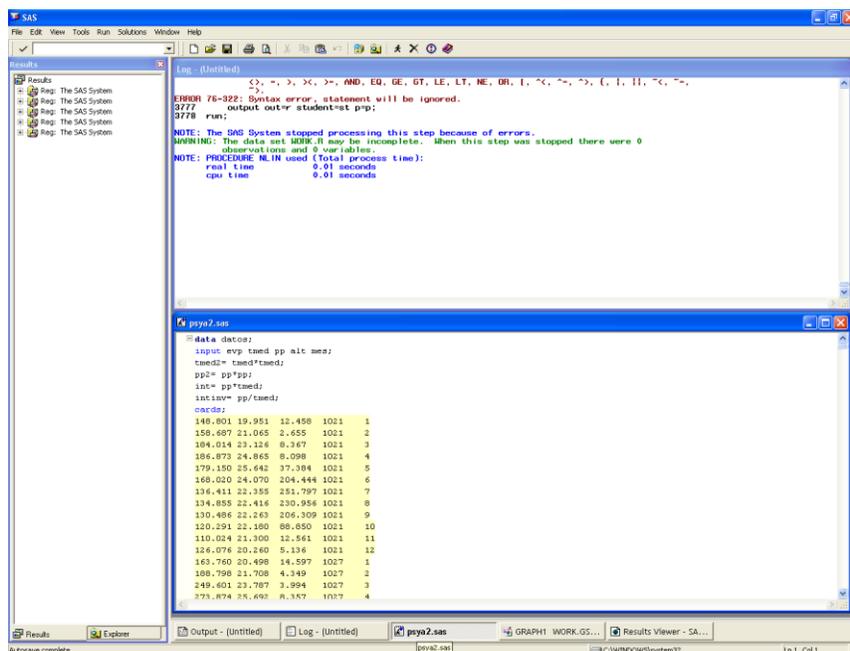


Figura 9. Editor del Programa Statistical Analysys System (SAS) 9.0.

De igual manera se realizó un análisis de aptitud del terreno tomando en cuenta los escenarios de cambio climático, el cual considera los requerimientos agroclimáticos de las especies agrícolas de mayor importancia socioeconómica (Food Agricultur Organization of the United Nations, 2008).

Para esto, se modelaron las variables de clima que definen la adaptación y producción de las especies vegetales como son: Temperatura Media, Precipitación, Evaporación, así como las interacciones entre estas como el Índice de precipitación/evaporación (p/e); además, de tomar en cuenta las variables de suelos como textura, fases y tipo de suelo y elementos como la altitud y pendiente, para cada una de estas variables se obtuvo, la cartografía digital pertinente, realizando la

corrección y edición en caso de ser necesario, para su posterior manejo y manipulación y para la finalidad requerida (FAO, 2010; ESRI, 2010).

Para la evaluación del potencial actual de los cultivos de maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y papa (*Solanum tuberosum*) se utilizó el análisis multicriterio, en el que se reclasificaron de manera categórica y se le asignó valores de importancia para cada cultivo; las variables, a las cuales se le asignó valores de importancia son textura, tipo de suelo, fases físicas, altitud, pendiente, precipitación y temperatura, además, el índice de precipitación/evaporación (p/e); este último elaborando sus rangos de reclasificación de acuerdo a la profundidad del suelo; a continuación se realizó la unión de estos valores, dándole previamente la importancia o valor de influencia en el cultivo a cada variable de acuerdo a los criterios de los especialistas; los documentos consultados y comunicados elaborados por la FAO (Cuadro 6). Para posteriormente, repetir el proceso y evaluar la vulnerabilidad del sector primario una vez que se cuente con la aptitud del terreno de acuerdo a los escenarios de cambio climático A1, A2 y B1, B2. Las especies agrícolas evaluadas fueron las más importantes, desde el punto de vista económico, social y por superficie sembrada; esto es cultivos que son redituables económicamente para los productores, para los cuales se evaluarán los escenarios de cambio climático.

Cuadro 6. Ejemplo de Ponderación de variables para Maíz.

Elem.	Variable	Peso
1	Precipitación/Evaporación	100
2	Altitud	90
3	Suelo	80
4	Fases	30
5	Textura	20
6	Pendiente	10

Se realiza una selección de variables a las cuales se les asignará un puntaje contenido de 0 a 100, lo cual permitirá seleccionar las variables con mayor relevancia en el sistema agrícola, a ser considerado dentro del estudio. Una vez obtenidos los valores netos producto de la unión e intersección de los mapas se realizó una última reclasificación, la cual permitiera categorizar los valores obtenidos; para esto, se realizó una reclasificación estadística en la primera etapa y de los obtenidos utilizando los actuales se realizaron modificaciones ponderadas para que estos reflejaran la aptitud actual para cada cultivo (Figura 10); esto se corrobora con estudios previos de potencialidad y reportes agrícolas para el Estado de México. Esta clasificación fue utilizada para los escenarios futuros (Soria, 2009).

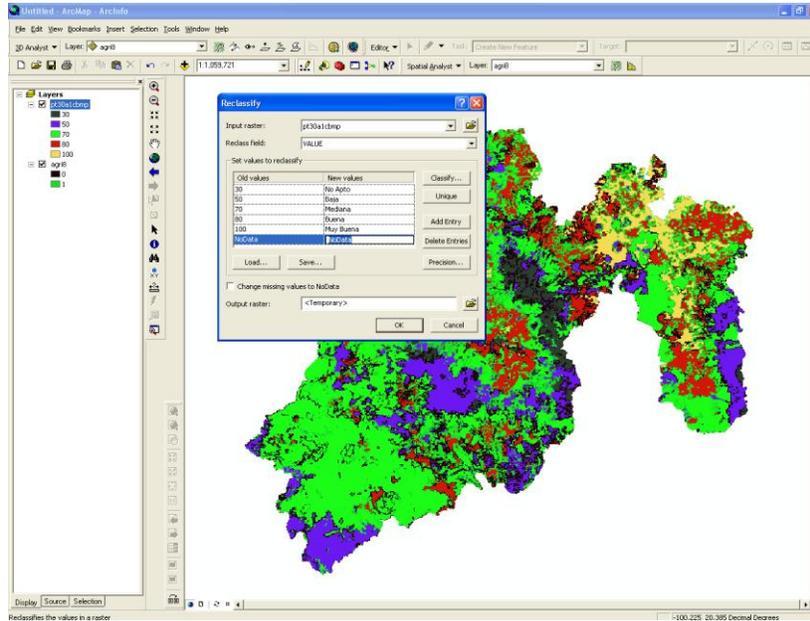


Figura 10. Reclasificación de Aptitudes.

Una vez terminados los procesos anteriores se continuó con la extracción de tablas de atributos para los análisis estadístico-matemáticos pertinentes, realizando tabulaciones cruzadas, obtención de áreas con las diferentes aptitudes (en hectáreas) para cada cultivo en sus diferentes escenarios y modelos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estimación de la Evaporación

Del análisis de la base de datos climáticos histórica, se obtuvo una media histórica para cada mes del año de cada estación; posteriormente se realizó el análisis de regresión con el software estadístico Statistical Analsys System (SAS) Versión 9.0, donde se obtuvieron 13 modelos de regresión, uno anual y otro para cada mes, que estimaron la evaporación en base a la precipitación, temperatura media y la altitud. Se realizo el análisis grafico de los residuos o residuales, que son la diferencia entre el valor real de Y, y el valor pronosticado Y', su correspondiente ecuación, y los valores de R² y sus resultados se presentan a continuación:

Periodo	Regresión del Modelo	N	R	RMSE
Anual	7.3846tmed-0.1801pp+0.0146alt	3719	95.68	28.82
Enero	0.0239alt-0.9899pp+5.8945tmed	310	97.49	18.42
Febrero	0.025alt-1.2886pp+6.0351tmed	310	97.63	20.017
Marzo	0.0169alt+1.18577pp+7.5213tmed	310	97.8	26.882
Abril	0.0269alt-0.8058pp+8.3204tmed	310	97.91	27.141
Mayo	0.0294alt-0.9026pp+9.3773tmed	310	98.1	24.78
Junio	0.0161alt-0.3091pp+8.8558tmed	310	98.2	19.185
Julio	0.0194alt-0.1317pp+6.5036tmed	310	98.01	18.279
Agosto	0.0185alt-0.1464pp+6.5419tmed	310	98.26	16.666
Septiembre	0.0155alt-0.1513pp+6.1435tmed	310	98.18	15.383
Octubre	0.0226alt-0.4584pp+6.0226tmed	310	98.15	15.597
Noviembre	0.0239alt-1.1586pp+4.9464tmed	310	97.67	16.339
Diciembre	0.0204alt-0.4814pp+4.6417tmed	310	97.23	17.421

Cuadro 7. Valores del Modelo Anual y cada uno de los modelos Mensuales

En el cuadro anterior (Cuadro 7) se muestra los valores de los diversos modelos de evaporación y podemos apreciar en general que en todos los casos se obtuvo un R² bueno. En el caso anual se mostro el valor se R² menor (95.68) y el valor mayor en el cuadrado medio del error (CME) con 28.82 esto pudo ser derivado de la gran cantidad de datos a ajustar en el modelo. Otra cuestión es que pese a que el R² de todos los modelos mensuales se localizaron dentro de 97 y 98.5 unidades se puede apreciar es que en los meses que se consideran como periodo de secas se presentaron los modelos con R² menor y en algunos casos los CME con valores mayores y en periodo de lluvias se obtuvieron los valores mayores de R² superiores a 98% y también se puede apreciar un menor rango en los avalores de CME.

A continuación se describen los modelos mas a detalle y su grafica de residuales correspondiente.

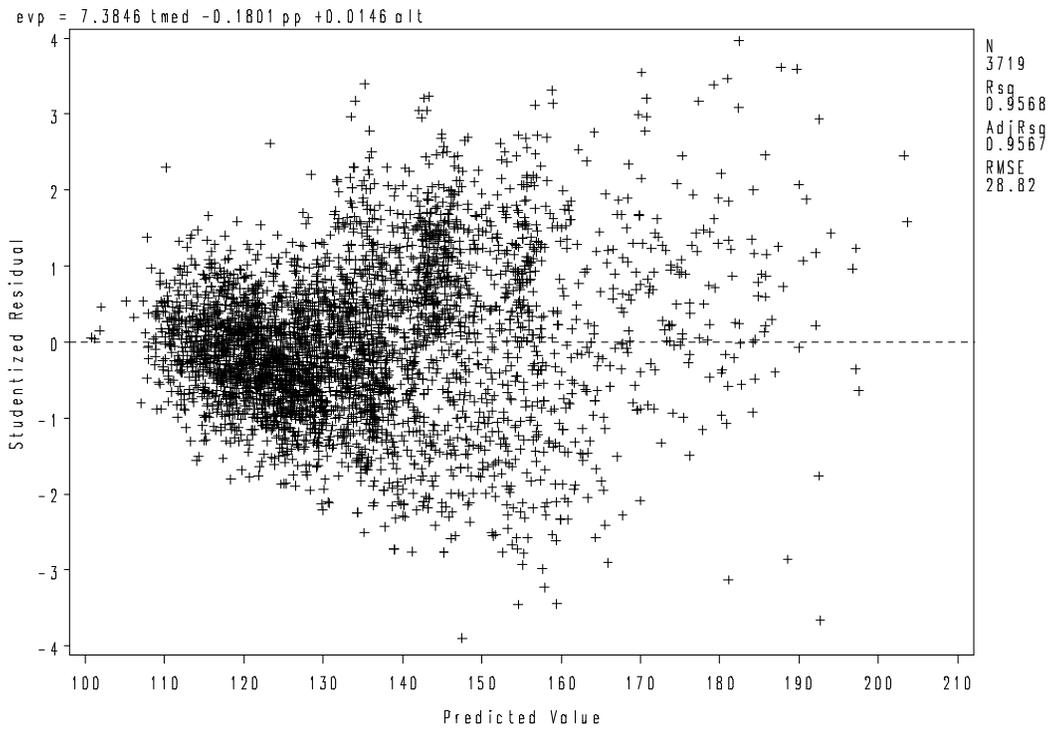


Figura 11. Residuales y ecuación general para la evaporación.

La imagen previa (Figura 11), nos muestra la ecuación general para obtener la evaporación obtenida por Stepwise de SAS; que presento el mejor modelo con un R^2 de 95.68% que nos indica que la evaporación esta relacionada con las variables utilizadas; en lo que respecta, al Cuadrado Medio del Error (CME) su valor fue $CME= 28.82$.

La probabilidad de F para cada variable esta altamente relacionada. De igual forma en el análisis de la probabilidad de T para cada una de las Variables presento una relación altamente significativa.

De igual forma esta imagen (Figura 11) nos muestra que a pesar de que la R^2 es buena los residuales presentan una tendencia posiblemente debido a que para la ecuación se tomaron todos los datos como un solo tiempo. Sin embargo esto también nos puede indicar que la ecuación es buena para valores pequeños.

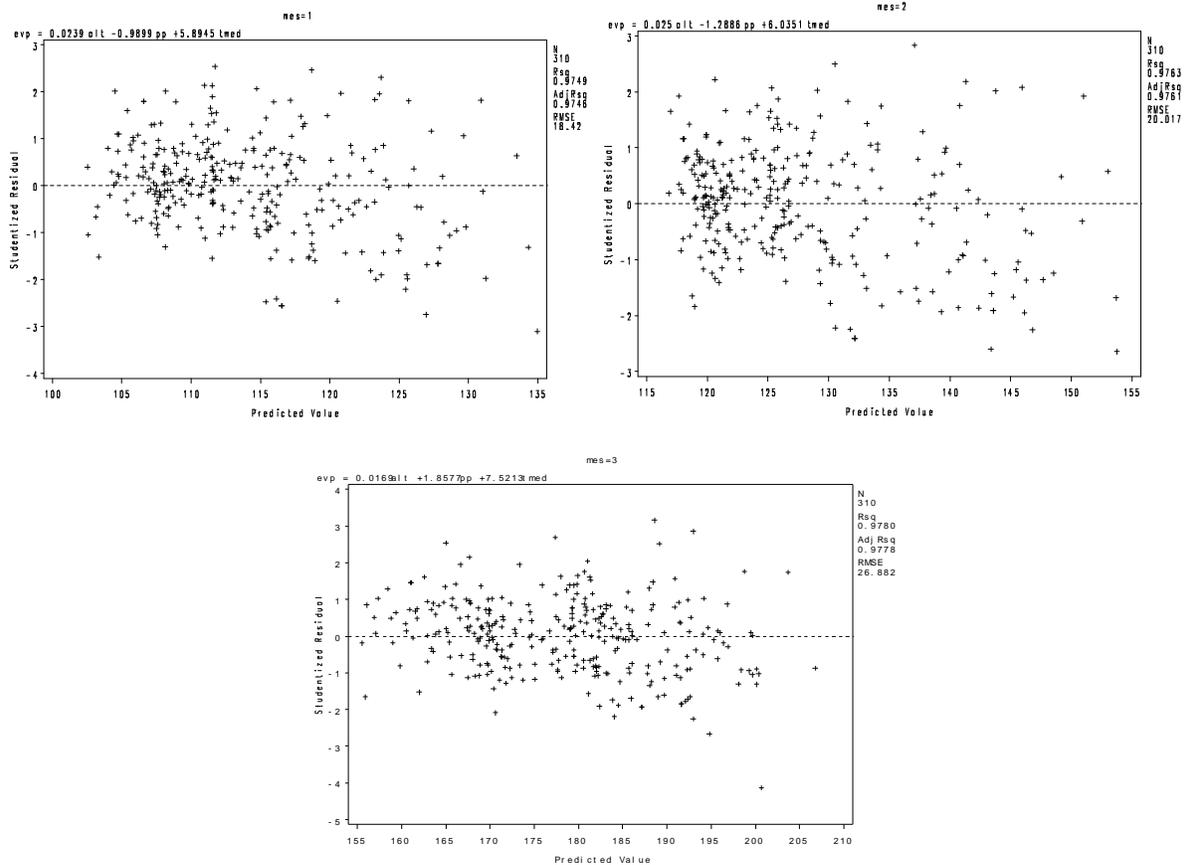


Figura 12. Residuales y ecuación para la evaporación de cada mes del primer trimestre.

En grafica del mes de enero, presenta un buen comportamiento alrededor de 0, sin ninguna tendencia marcada; la R^2 resultado de 97.49% que nos indica que la evaporación depende en este porcentaje de las variables utilizadas en el modelo (Figura 12); en lo que respecta, al Cuadrado Medio del Error presenta un valor de $CME = 18.42$; el menor del primer trimestre esto posiblemente derivado de las precipitaciones de enero.

En lo que respecta al mes de febrero se observa un R^2 de 97.49%, un aumento en el rango de los valores estimados aunque una ligera conglomeración de datos en los valores inferiores y también un aumento en su CME tendencia que se repite en mes de marzo aunque con un 97.80% y un mejor comportamiento de los residuales al distribuirse mejor en su rango que de igual forma aumento su valor con respecto al mes anterior.

En lo que respecta a la probabilidad de F en todos los casos se mostro una confidencialidad muy altamente significativa y por otra parte en la prueba de T para cada variable en lo que respecta a temperatura media y altitud se presento una

confiabilidad muy altamente significativa en cada mes si embargo en la precipitación la significancia se vio afectada.

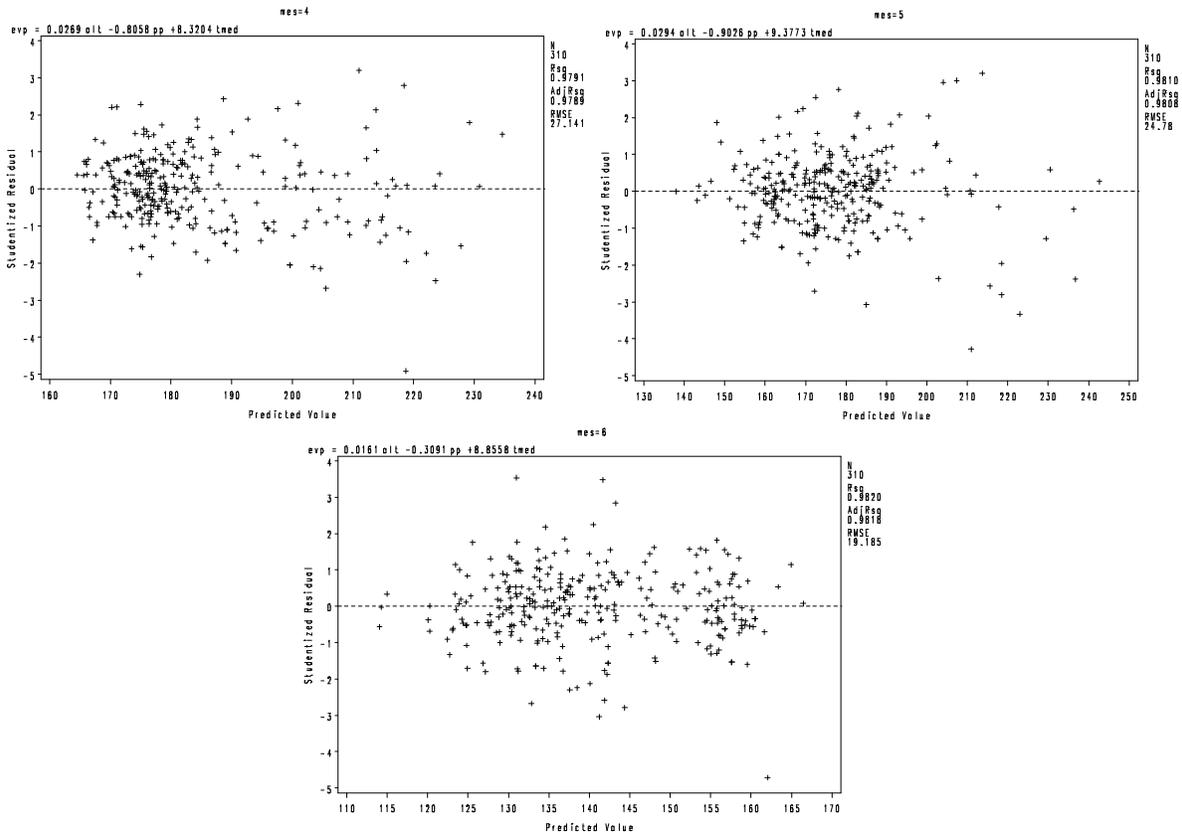


Figura 13. Residuales y ecuación para la evaporación de cada mes del segundo trimestre.

En esta serie de graficas (Figura 13) pertenecientes al segundo trimestre se observa que los valores en el eje X o de evaporación siguen siendo elevados durante los meses de abril y mayo aunque se observa un fenómeno similar a lo presentado en los residuales de febrero que es una conglomeración de datos en la zona inferior del rango en este caso en valores de 160 a 180, también se observa una aumento en la amplitud del rango en el mes de mayo, en este trimestre también el fenómeno que se menciona en el cuadro inicial de este apartado (Cuadro 7) en el cual en el mes de junio se presenta un aumento en R^2 (98.2%) y una reducción de $CME= 19.185$ y rango favoreciendo la dispersión de sus datos, mientras que en los dos meses anteriores se presentaron valores superiores siendo abril el superior de todos con un CME de 27.141.

De igual forma que en el trimestre anterior la probabilidad de F en todos los casos se mostro una confiabilidad muy altamente significativa y por otra parte en la prueba

de T para cada variable, en lo que respecta a temperatura media y altitud se presento una confiabilidad muy altamente significativa en cada mes y contrastando con el trimestre anterior solo en el mes abril en la precipitación la significancia se vio afectada.

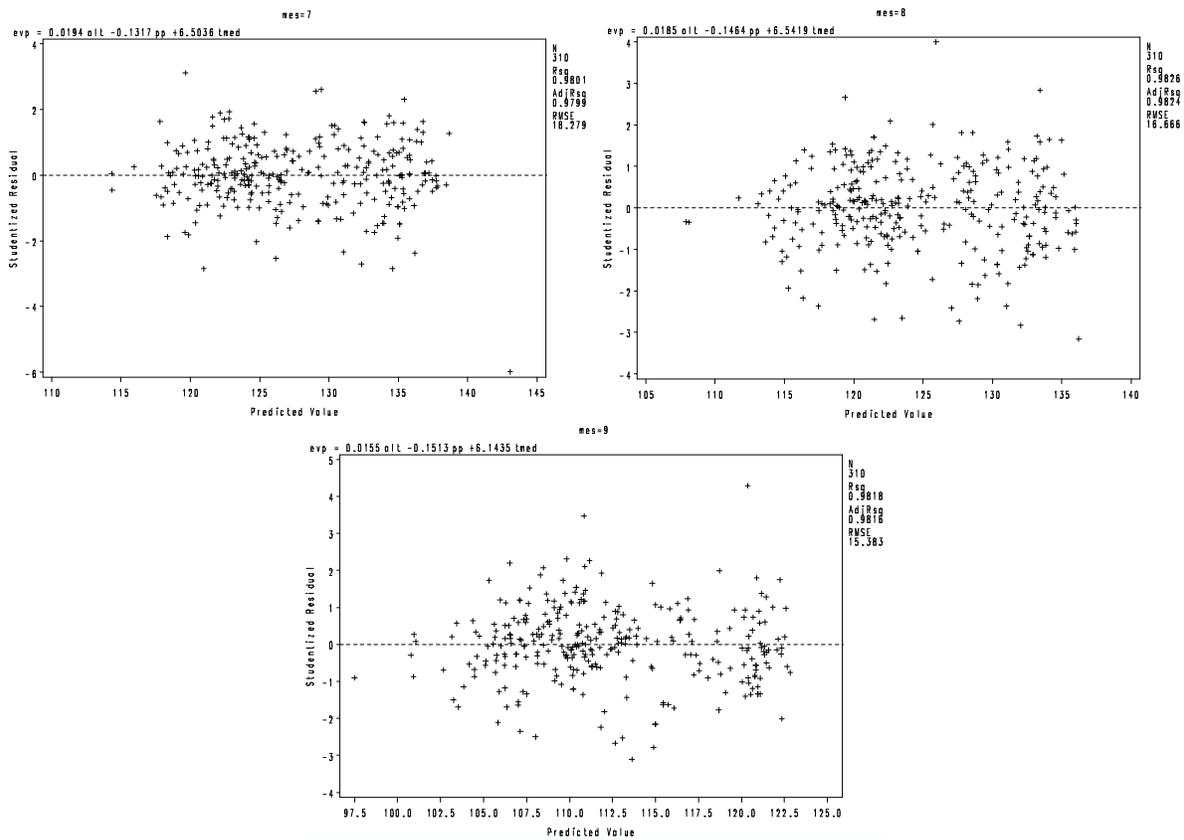


Figura 14. Residuales y ecuación para la evaporación de cada mes del tercer trimestre.

En este trimestre (Figura 14) se muestra una continuación en la reducción de los valores progresiva en los tres meses analizados, esto probablemente debido al periodo de lluvias en la zona centro del país. También en los modelos de este trimestre se supera en todos los meses en R² 98% con 98.01%, 98.26% y 98.18% respectivamente, en lo que respecta al Cuadrado Medio del Error en este trimestre se presentan valores decrecientes de CME que van de 18.279 a 15.383 respectivamente de julio a septiembre.

Siguiendo lo observado en trimestres anteriores la probabilidad de F en todos los casos se mostro una confiabilidad muy altamente significativa y se destaca que en la prueba de T para cada variable, ya en todos los meses presento una

significancia muy alta ya que al encontrarse en periodo de lluvias la precipitación se vuelve mas influyente en la evaporación.

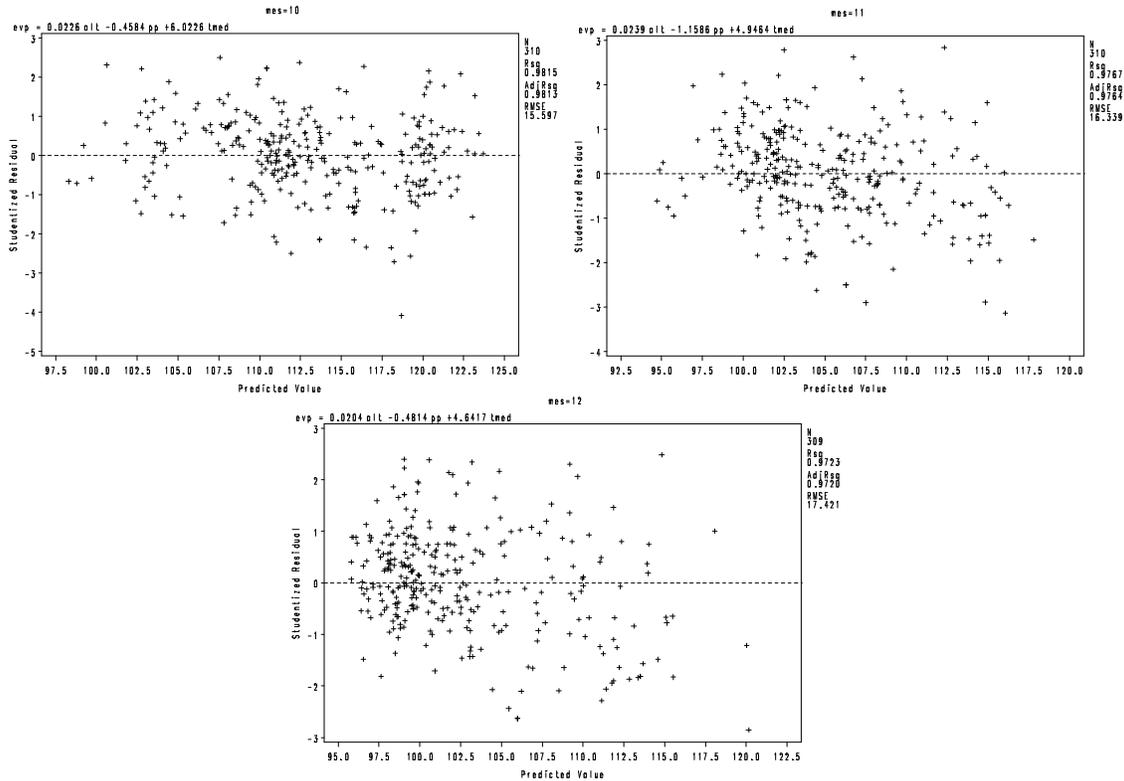


Figura 15. Residuales y ecuación para la evaporación de cada mes del cuarto trimestre.

En lo concerniente a los modelos del último trimestre para octubre se pueden apreciar condiciones y valores similares en todos los indicadores y/o variables presentando un valor de R^2 de 98.15 y un CME de 15.97 con una buena distribución de los residuales, en cambio en los modelos de los últimos dos meses se llega a apreciar un ligero aumento en los valores de CME con 16.339 y 17.421 respectivamente también se obtuvieron R^2 un poco menores a las de meses previos con 97.67 y 97.23 probablemente por el fin del periodo de lluvias en la zona centro de México de igual forma para diciembre se muestra un pequeño desplazamiento de los residuales hacia valores inferiores.

En este ultimo trimestre la probabilidad de F en todos los casos se mostro una confiencialidad muy altamente significativa pero la probabilidad de la prueba de T para el caso de precipitación en diciembre se ve afectada.

4.1.1. Modelos Evaporación resultantes

Al observar el coeficiente de determinación (R^2) del modelo general, con los 3,719 datos de las 310 estaciones meteorológicas, a excepción de diciembre en el que se utilizaron 309, se obtuvo el valor de 95.68% y un Cuadrado Medio del Error (CME) de 28.82, donde ambos son menores a los reportados por Sotelo *et al.*, (2000), en el cual utilizando el mismo procedimiento, aunque variando en las variables al emplear Temperatura Máxima y Mínima en vez de Temperatura media y altitud como en este estudio.

Sin embargo, la gráfica de residuales muestra una primera parte en los valores bajos en la cual los valores presentan un comportamiento satisfactorio y en la segunda parte tiende a una varianza no constante Figura 14, pese a esto y poseer la probabilidad de F en todas las variables <0.0001 , nos indica que el modelo es bueno para valores medios y menores, no para valores altos; este posible comportamiento puede ser derivado de que en el análisis se tomó en cuenta a todos los valores en un tiempo 0, y al interferir variables como la altura, la cual no varía a lo largo del año o estacionalidades, como la precipitación y temperatura, pero si influye en la evaporación por los llamados pisos térmicos, puede provocar dicho comportamiento.

Esto se puede ver en los siguientes modelos, ya que se muestra un comportamiento de la tabla de residuales satisfactorio; esto se puede observar en casi todas las gráficas de los modelos sobresaliendo los meses de junio a noviembre, ya que además, de su comportamiento de los residuales satisfactorio y valores en el Cuadrado Medio de Error entre 15.38 – 19.19 muestran en cada uno de estos casos una $\text{Prob} > |T|$ para cada variable de las empleadas de <0.0001 , lo que nos indica que la probabilidad de T para las tres variables es baja; indicando que estas variables son significativas en el fenómeno de la evaporación y sirven para su cálculo o estimación.

También se debe mencionar el caso del modelo del mes de mayo, el cual presento valor $\text{Prob} > |T|$ en la probabilidad de T para las variables y un comportamiento satisfactorio aunque con un rango menor de distribución en la gráfica de residuales y un CME de 24.78. En general, los meses restantes presentaron un comportamiento hasta cierto punto satisfactorio aunque presentando una acumulación en valores pequeños y medios y una dispersión más espaciada en los valores grandes; aunque otro punto que caracterizo a estos modelos fue el aumento en el valor de $\text{Prob} >$

| T | en comparación con los modelos antes explicados en la variable precipitación, los cuales presentaron valores de hasta 0.3046 para el caso de diciembre, de 0.1259 para el mes de febrero y de 0.0176 para el mes de abril; enero y marzo obtuvieron valores de este indicador <0.001 ; este fenómeno puede ser atribuido a la estacionalidad en la que se encuentran estos meses, ya que pertenecen a invierno y parte de la primavera, lo que se llega a conocer como periodo de secas, y al presentarse en el caso una precipitación menor; la influencia en la evaporación se ve afectada elevando el valor en la probabilidad de T.

En general se observó que los modelos de meses utilizados en procesos posteriores, abril-octubre periodo generalmente utilizado en la siembra de temporal, presentaron un comportamiento ideal. En comparación con el artículo realizado en Japón (Huaxia, Terakawa, & Michio, 1997), en el cual se utilizó la ecuación de Penman en el presente estudio se obtuvo una ecuación de regresión a partir de variables como son Precipitación, Temperatura y Altitud; esto fue posible por la disponibilidad de datos de las estaciones que se presentan en el Estado.

4.2. Aptitud del maíz (*Zea mays*)

Modelo GFDL2.0

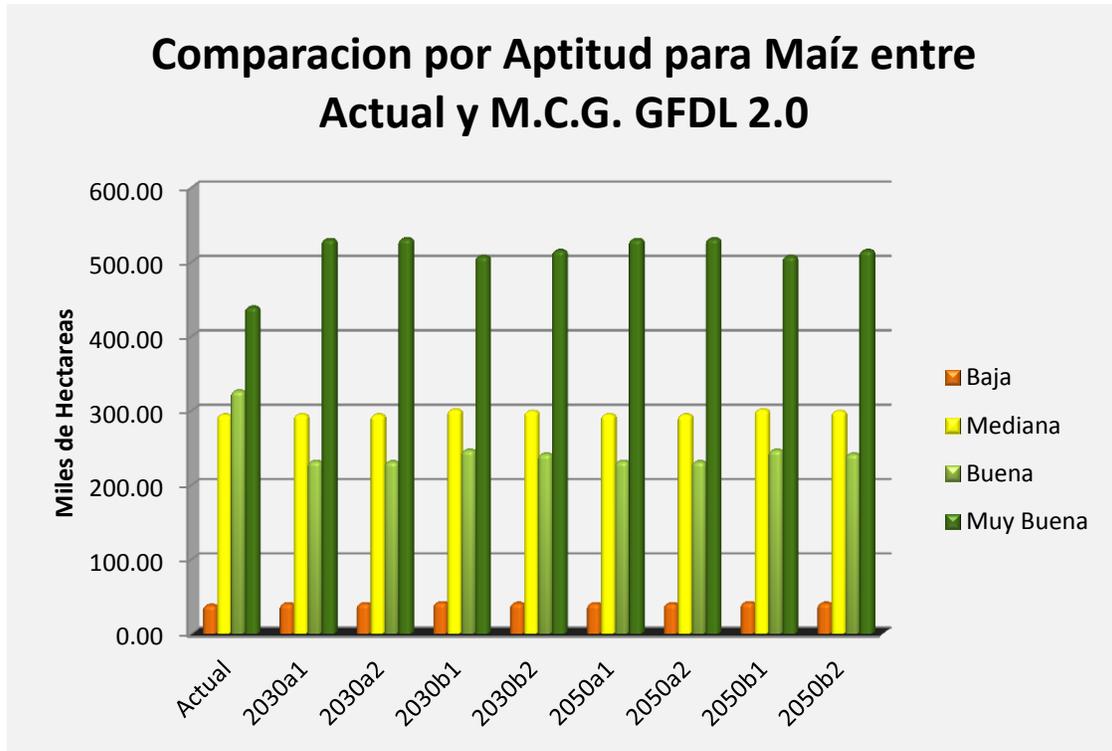


Figura 16. Comparación de Aptitudes para Maíz entre los escenarios del M.C.G. GFDL2.0 y actualidad.

Se puede observar el comportamiento de cada clasificación en lo que refiere al maíz, donde se muestra la cantidad de área por categoría en la que se distribuye en el Estado de México, expresada en miles de hectáreas (Figura 16). En general, podemos observar un aumento en la categoría de “Muy Buena” de casi 100 mil hectáreas, superando en todos los escenarios las 500 mil hectáreas, en cambio en la categoría de “Buena” la reducción es equivalente al aumento antes visto a la que se reduce la categoría de “Buena”, en las demás categorías se puede observar cierta estabilidad; a continuación se muestra la tasa de cambio, expresada en porcentaje de cada categoría.

Cuadro 8. Cambio Porcentual del área por Aptitud para Maíz del M.C.G. GFDL 2.0 respecto al Actual.

Escenario	No Apto	Baja	Mediana	Buena	Muy Buena
2030a1	181.46	5.64	0.11	-29.00	20.70
2030a2	180.65	5.51	0.02	-29.17	20.90
2030b1	174.10	9.15	2.29	-24.41	15.53
2030b2	187.12	6.92	1.64	-25.98	17.31
2050a1	181.46	5.64	0.11	-29.00	20.70
2050a2	180.65	5.51	0.02	-29.17	20.90
2050b1	174.10	9.15	2.29	-24.41	15.53
2050b2	187.12	6.92	1.64	-25.98	17.31

Como se puede observar en el Cuadro 8, se presenta un aumento proporcional significativo en la columna de “No Apto” y aumentos de una índole en cuanto a su propia proporción respecto a la columna “Muy Buena”, de forma contraria las mayores tasas de reducción de área se presenta en la categoría de “Buena”; las menores tasas de cambio se presentaron en la columna “Mediana”, la cual presento aumentos en los escenarios de tipo b y reducciones en las de tipo a.

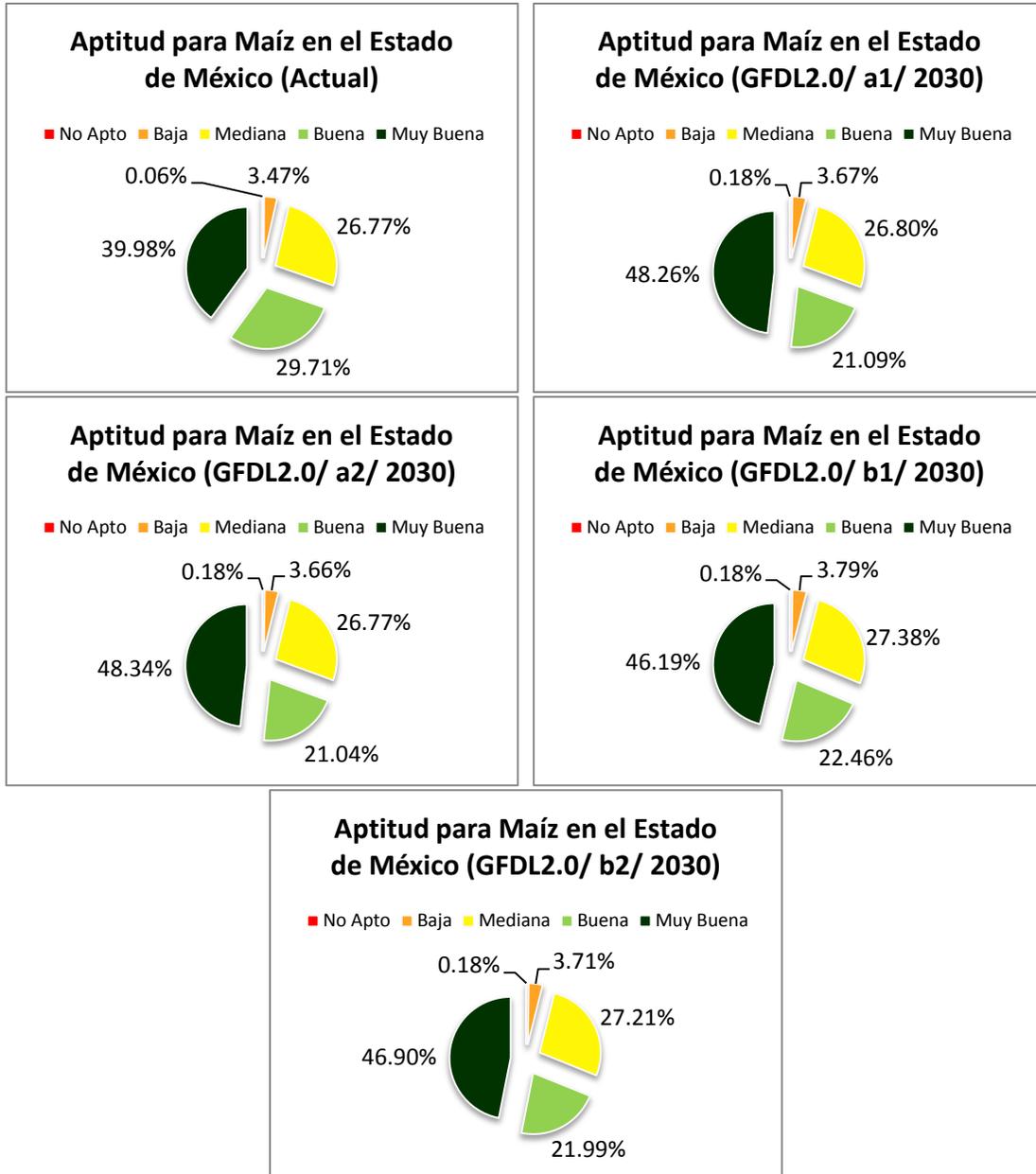


Figura 17. Aptitud actual y por escenario M.C.G. y GFDL2.0 para los escenarios A1, A2, B1 y B2.

Podemos observar los cambios en distribución por cada escenario de este cultivo (*Zea mays*) y pese a que en este tipos de gráficos no se observan cambios mayores al 10 en distribución de las aptitudes; debemos tomar en cuenta que por cada unidad porcentual del total de superficie agrícola, el aumento o disminución significa aproximadamente una variación de 11 mil hectáreas, esto nos da una idea de que por cada 582 hectáreas estamos abarcando la superficie necesaria para realizar 1000 canchas de futbol profesional.

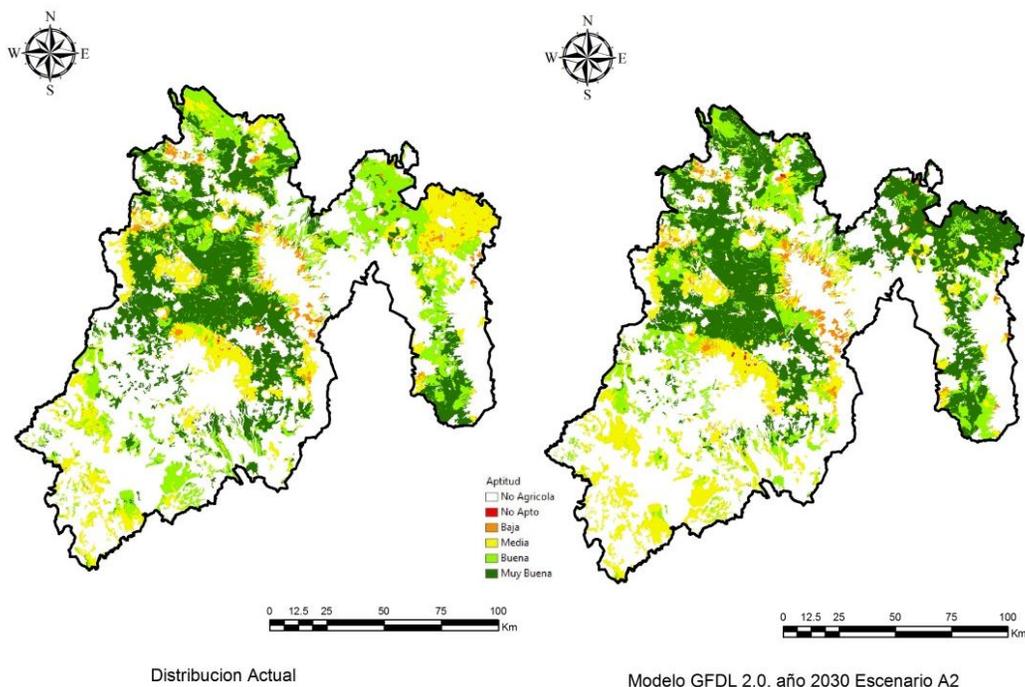


Figura 18. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Maíz (*Zea mays*) en el Estado de México; Actual y Modelo GFDL2.0/2030/A2.

Cuadro 9. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Maíz (*Zea mays*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).

Categoría	Actual	2030a1	2030a2
No Apto	705.66	1,986.12	1,980.45
Baja	38,125.76	40,277.25	40,227.84
Mediana	294,028.36	294,350.76	294,076.17
Buena	326,347.99	231,699.69	231,148.89
Muy Buena	439,179.77	530,073.72	530,954.19

En los escenarios de la familia A, se muestran tanto las mayores reducciones en la cantidad de hectáreas en la categoría “Buena”, así como los mayores aumentos en la categoría “Muy Buena”; principalmente se aprecia en el escenario A2 como se puede apreciar en el Cuadro 9; así mismo se aprecia en la Figura 18, aumentando en las regiones Este y Noreste; las áreas en categoría “Muy Buena”, hasta el punto en que la región Noreste que en el escenario actual presentaba categoría “Mediana” y una poca en categoría “Buena” cambia a una dominancia en la categoría “Muy Buena” con una menor porción en categoría “Buena”, este cambio a categoría “Muy Buena” se puede observar de igual manera en la región Noroeste del Estado. También es posible apreciar una aumento en la categoría “Baja” en la regiones del Estado al Noroeste del Distrito Federal; por otro lado, aunque la categoría “Mediana” no presenta un cambio tan evidente en sus valores se aprecia un cambio en la

distribución de las áreas con esta categoría, cambiando áreas catalogadas como Buenas en el escenario actual a Medianas en el Suroeste del Estado.

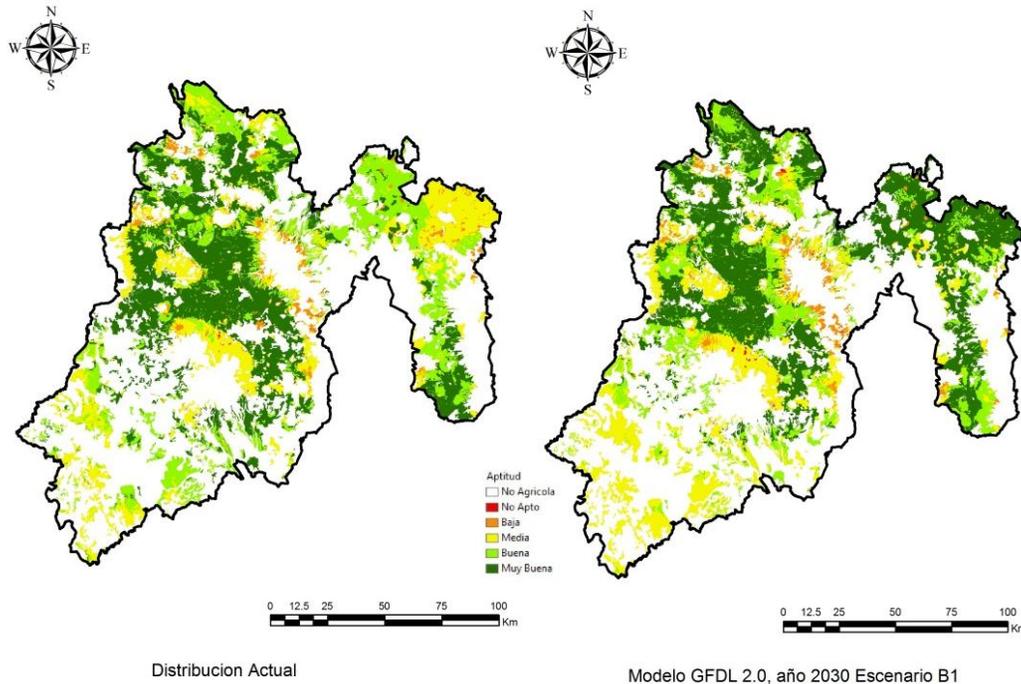


Figura 19. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Maíz (*Zea mays*) en el Estado de México, actual y Modelo GFDL2.0/2030/B1.

Cuadro 10. Comparación de la distribución de la aptitud, Modelo GFDL2.0, para Maíz (*Zea mays*) en hectáreas, en el Estado de México (Escenarios B).

Categoría	Actual	2030b1	2030b2
No Apto	705.66	1,934.18	2,026.11
Baja	38,125.76	41,614.13	40,765.24
Mediana	294,028.36	300,775.89	298,847.63
Buena	326,347.99	246,697.48	241,562.42
Muy Buena	439,179.77	507,365.86	515,186.14

Aunque de manera similar a lo observado en los escenarios A en los escenarios de la familia B se puede ver los menores aumentos entre los cuatro escenarios, presentando las menores reducciones en la categoría de Buena y los menores aumentos en la categoría “Muy Buena”, principalmente en B1; también presenta un porcentaje mayor de cambio en “Mediana” con respecto a los otros escenarios, este cambio se aprecia al igual que en los escenarios de la familia A en la región Suroeste del Estado (Figura 19 y Cuadro 10).

Modelo HADGEN

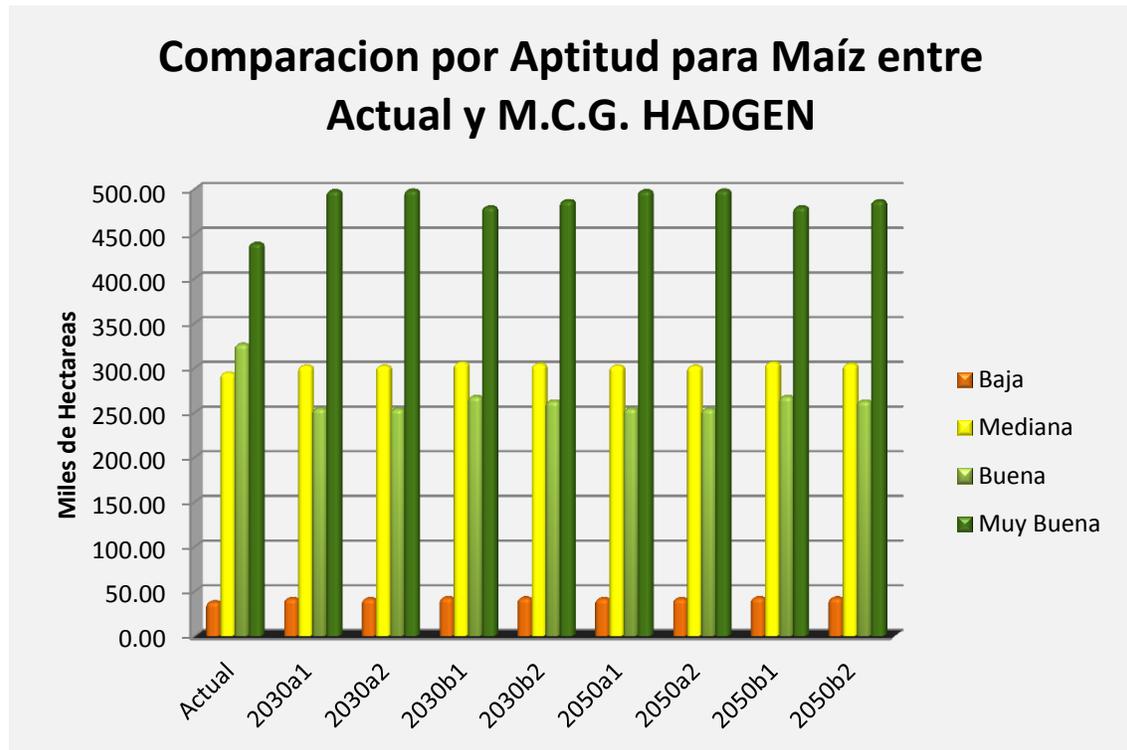


Figura 20. Comparación de Aptitudes para Maíz entre los escenarios del M.C.G. HADGEN y actualidad.

Cuadro 11. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Maíz del M.C.G. HADGEN respecto al Actual.

Escenario	No Apto	Baja	Mediana	Buena	Muy Buena
2030a1	187.70	9.56	2.71	-22.01	13.41
2030a2	187.70	9.35	2.66	-22.16	13.57
2030b1	216.51	12.16	3.89	-17.91	9.30
2030b2	199.64	11.36	3.38	-19.45	10.88
2050a1	187.70	9.56	2.71	-22.01	13.41
2050a2	187.70	9.35	2.66	-22.16	13.57
2050b1	216.51	12.16	3.89	-17.91	9.30
2050b2	199.64	11.36	3.38	-19.45	10.88

De igual forma que en el cuadro del M.C.G. GFDL2.0 en el M.C.G. HADGEN (Figura 20), se observa un aumento en la proporción de área en la Aptitud de “Muy Buena” aunque con valores menores que en el modelo anterior; semejante a lo observado, un aumento en las otras columnas, excepto en la categoría de “Buena” que

presenta una reducción en sus áreas de alrededor de 20% (Figura 20. Comparación de Aptitudes para Maíz entre los escenarios del M.C.G. HADGEN y actualidad.).

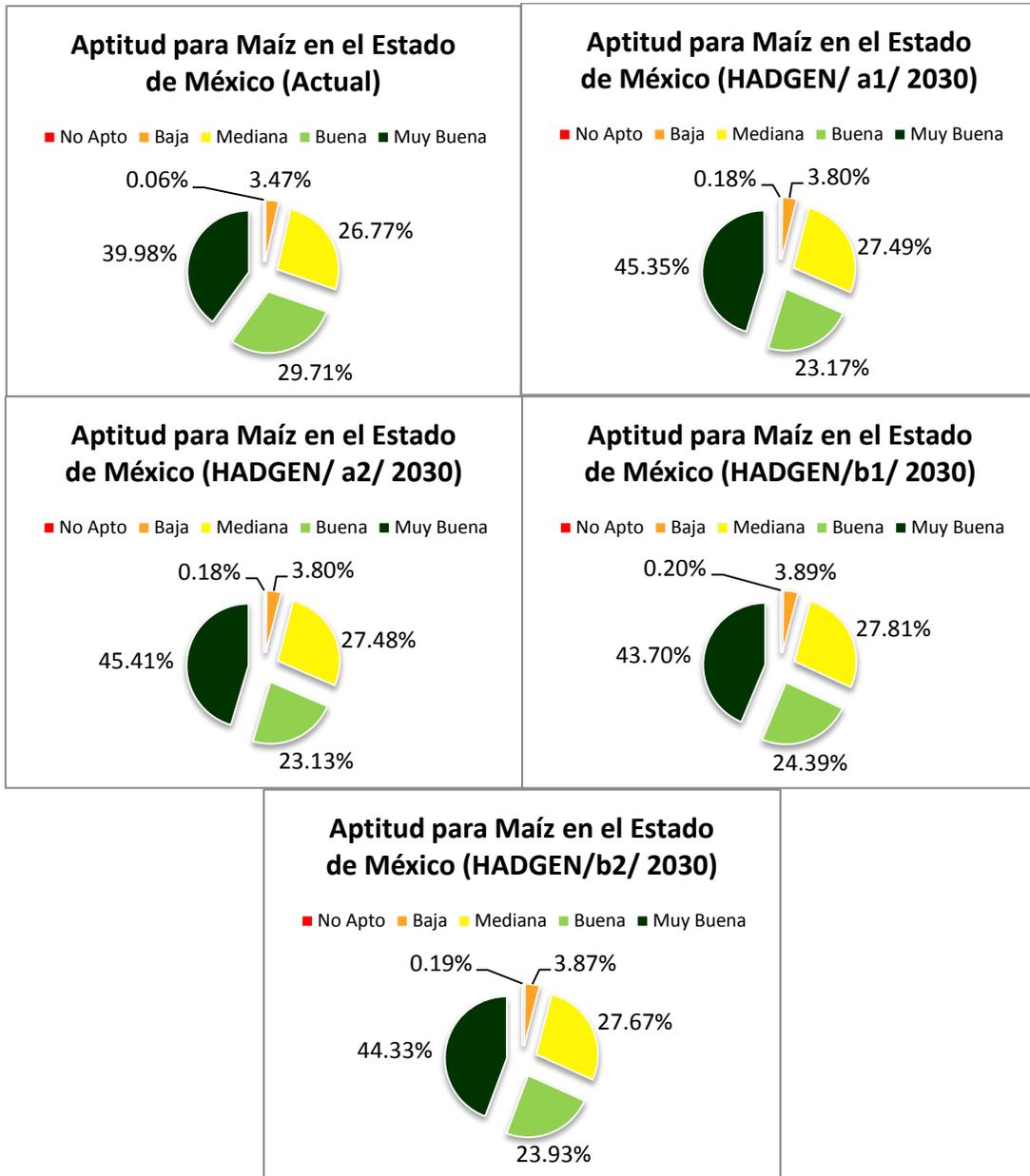


Figura 21. Distribución por escenario M.C.G. HADGEN y actual del área de las Aptitudes para los escenarios A1, A2, B1 y B2.

Como se puede apreciar en los diferentes escenarios de este modelo (Figura 21), se presenta un aumento de entre 3.72 al 5.43% del total de área agrícola en la categoría de “Muy Buena”, con una reducción de alrededor el 6% en la categoría de “Buena” y un aumento general del 1% en la categoría de “Mediana”.

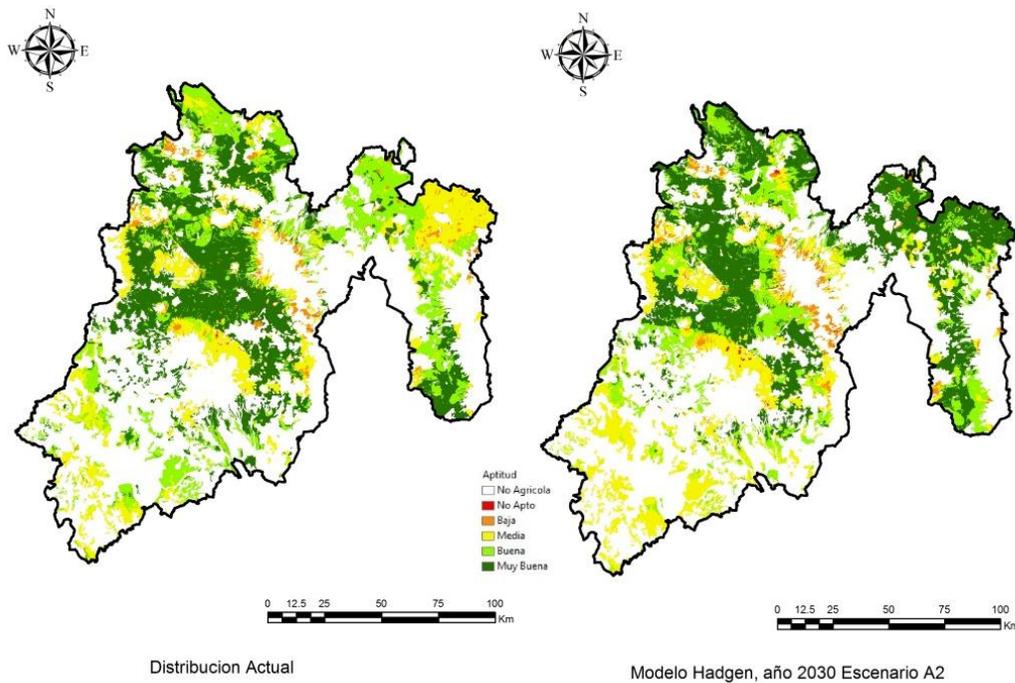


Figura 22. Comparación de distribución de la aptitud para el Cultivo de Maíz (*Zea mays*) en el Estado de México, actual y Modelo Hadgen/2030/A2.

Cuadro 12. Comparación de la distribución de la aptitud, Modelo Hadgen, para el Cultivo de Maíz (*Zea mays*) en hectáreas para el Estado de México (Escenarios A).

Categoría	Actual	2030a1	2030a2
No Apto	705.66	2,030.16	2,030.16
Baja	38,125.76	41,769.79	41,690.40
Mediana	294,028.36	301,990.08	301,862.89
Buena	326,347.99	254,514.62	254,013.96
Muy Buena	439,179.77	498,082.89	498,790.12

De igual forma con el modelo GFDL2.0 podemos observar incremento en los valores de la categoría “Muy Buena” con una reducción en la categoría “Buena” aunque tasas de cambio dentro de este modelo se encuentran en una unas 30,000 hectáreas, menor en el Rango de “Muy Buena”, una reducción menor en 20,000 y una aumento en la categoría de “Mediana” 5,000 hectáreas más que en los escenarios de la familia A del modelo GFDL2.0; esto se observa en la región central del estado en la cual el aumento del área que se incorpora con categoría “Muy Buena”, la cual es menor (Figura 22); otra característica que podemos observar es que el desarrollo de áreas con categoría “Muy Buena” en la zona Noreste y Noroeste es similar; también a pesar de poseer un valor más alto en la categoría “Mediana” no se observa la aparición de nuevas áreas con esta categoría, lo cual confirma de que

solo aumenta el tamaño de las áreas con esta categoría y que hasta cierto punto no existieron cambios súbitos en la aptitud del área (Cuadro 12).

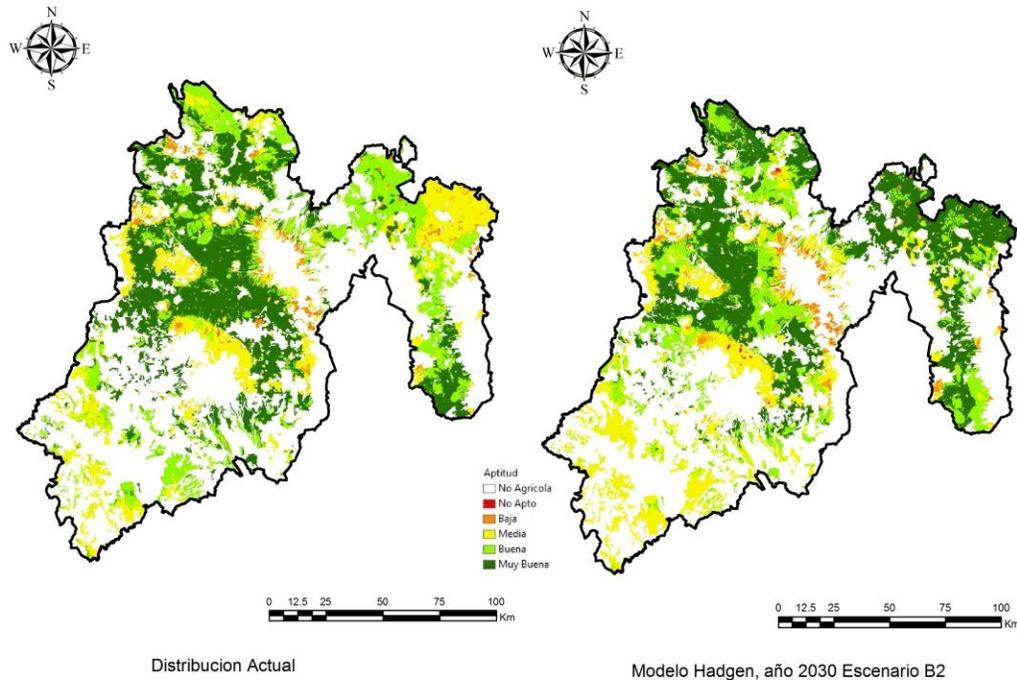


Figura 23. Comparación de distribución de la aptitud para el Cultivo de Maíz (*Zea mays*) en el Estado de México, actual y Modelo Hadgen/2030/B2.

Cuadro 13. Comparación de la distribución de la Aptitud, Modelo Hadgen, para maíz (*Zea mays*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).

Categoría	Actual	2030b1	2030b2
No Apto	705.66	2,233.50	2,114.41
Baja	38,125.76	42,761.38	42,455.15
Mediana	294,028.36	305,455.78	303,963.54
Buena	326,347.99	267,893.75	262,888.02
Muy Buena	439,179.77	480,043.14	486,966.42

Podemos observar el fenómeno que se repite al desarrollar las áreas en la zona noreste y noroeste; sin embargo, al comparar con el modelo actual se observa que las áreas con categoría Mediana se presentan en el centro y oeste del estado hasta cierto punto (Figura 23); sin embargo, las áreas que en esta región eran catalogadas como “Muy Buenas” tienden a reducirse y cambiar a la categoría de “Buena”. Fenómeno que se repite en casi todos los modelos de este estudio analizados Cuadro 13.

Modelo MPIECHAM 5

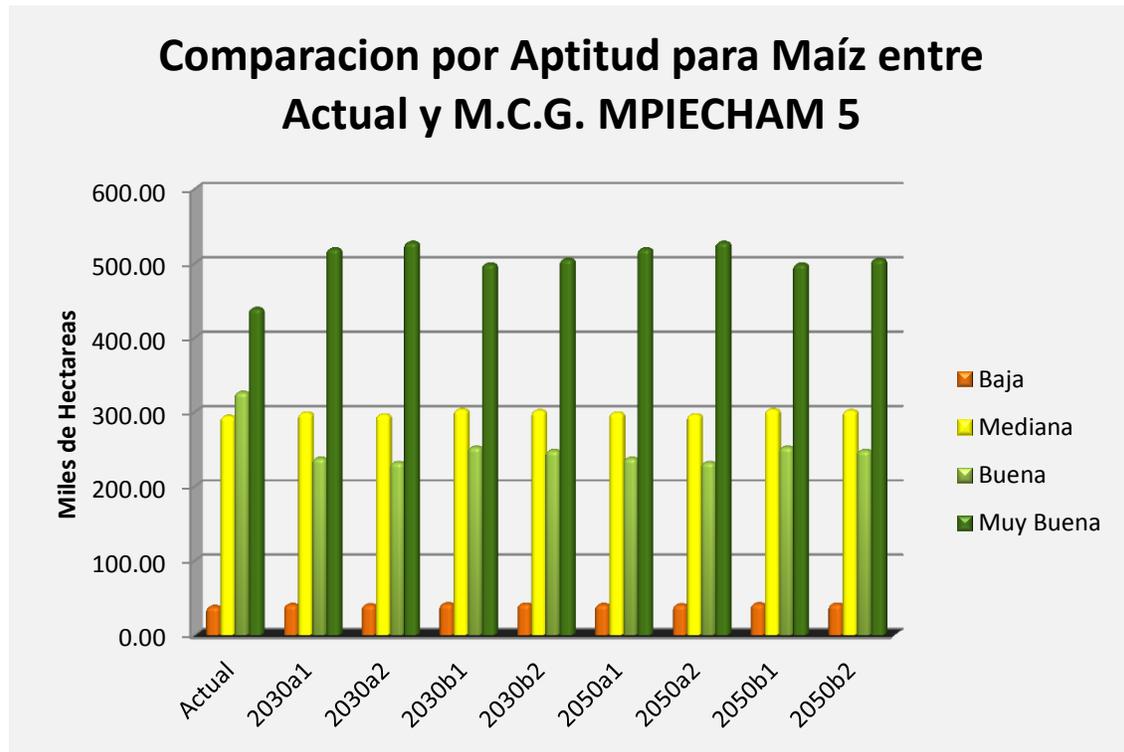


Figura 24. Comparación de Aptitudes para Maíz entre los escenarios del M.C.G. MPIECHAM 5 y la actualidad.

Cuadro 14. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para maíz del M.C.G. MPIECHAM 5 respecto al actual a nivel estado.

Escenario	No Apto	Baja	Mediana	Buena	Muy Buena
2030a1	162.32	7.06	1.54	-27.14	18.27
2030a2	151.68	6.27	0.71	-28.92	20.23
2030b1	168.56	9.88	3.05	-22.57	13.60
2030b2	166.71	8.79	2.59	-23.95	15.04
2050a1	162.32	7.06	1.54	-27.14	18.27
2050a2	151.68	6.27	0.71	-28.92	20.23
2050b1	168.56	9.88	3.05	-22.57	13.60
2050b2	166.71	8.79	2.59	-23.95	15.04

Como se puede observar, este modelo presenta un comportamiento similar a los dos modelos previos para el caso del maíz, el cual presenta aumentos similares a el GFDL 2.0 en las categorías de “No Apto” y “Baja” y reducciones en la clase “Buena” aunque sus aumentos en la clase “Muy Buena” se encuentran en un rango menor al GFDL 2.0 pero mayores al HADGEN (Figura 24). También, presenta la menor tasa

de cambio en la categoría “Mediana” presentando aumentos menores en casi todos los escenarios exceptuando los pertenecientes al grupo A2 (Cuadro 14).

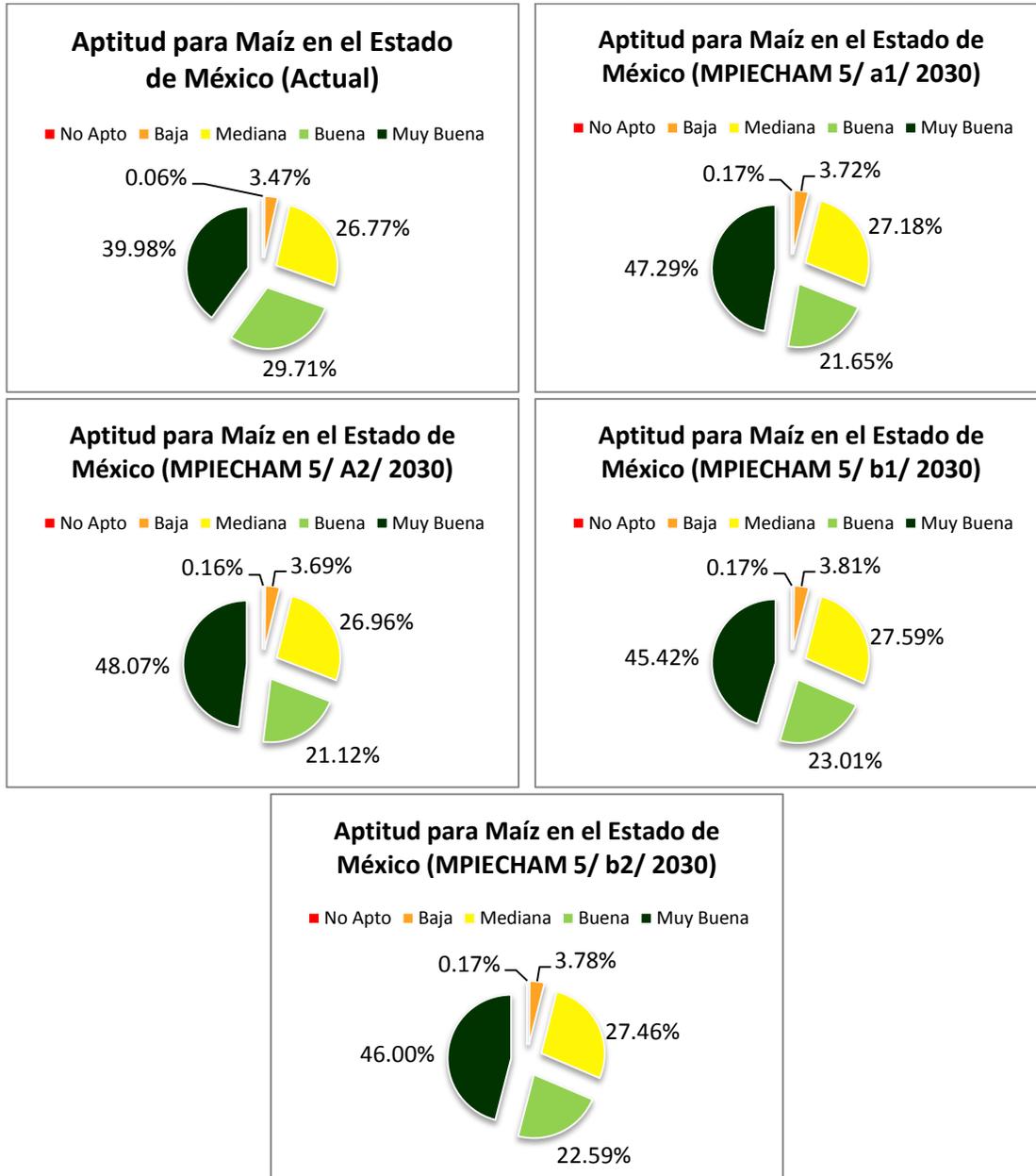


Figura 25. Distribución por escenario M.C.G. MPIECHAM 5 y actual del área de las aptitudes para maíz.

El Conjunto de graficas anteriores podemos observar los cambios en distribución por cada escenario de este cultivo (*Zea mays*) y pese a que en este tipos de gráficos no se observan cambios mayores al 10% en distribución de las aptitudes; el cambio más grande se da en la Aptitud “Muy Buena” en los escenarios de tipo A, ya que

presentan incrementos de alrededor de 8 y 9%, unas 80,000 hectáreas (Figura 25. Distribución por escenario M.C.G. MPIECHAM 5 y actual del área de las aptitudes para maíz.).

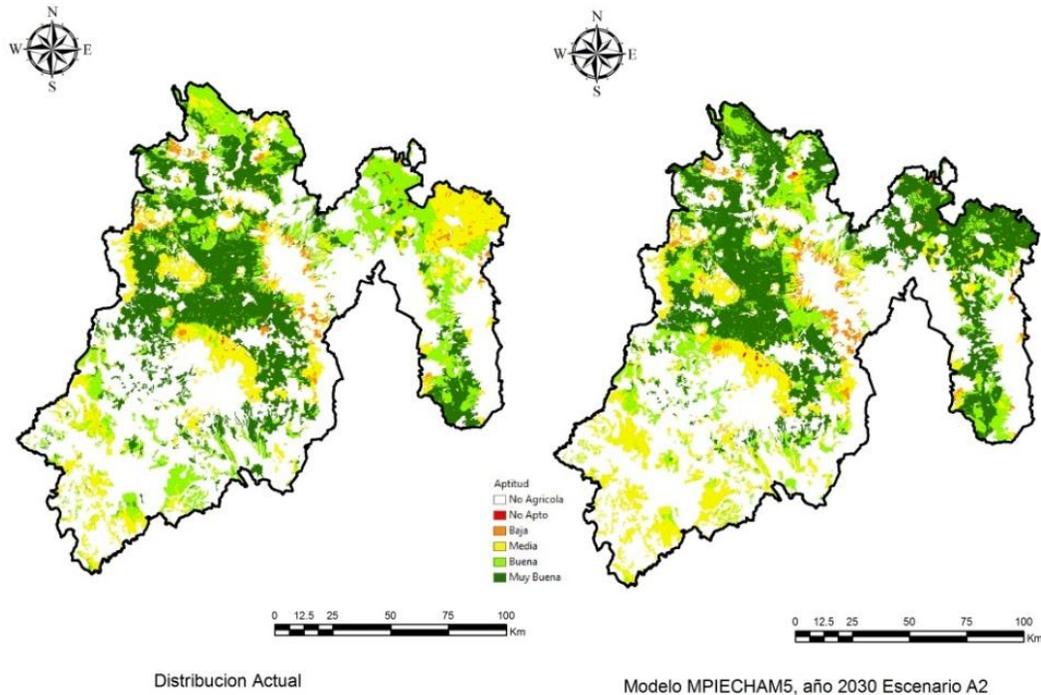


Figura 26. Comparación de distribución de la aptitud para maíz en el Estado de México, actual y Modelo MPIECHAM5/2030/A2.

Cuadro 15. Comparación de la distribución de la aptitud, Modelo MPIECHAM5, para maíz en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).

Categoría	Actual	2030a1	2030a2
No Apto	705.66	1,851.11	1,775.99
Baja	38,125.76	40,816.57	40,516.50
Mediana	294,028.36	298,546.46	296,111.87
Buena	326,347.99	237,773.17	231,963.39
Muy Buena	439,179.77	519,400.23	528,019.79

Si siguiendo el fenómeno observado en los modelos anteriores, podemos observar un incremento del área con aptitud “Muy Buena” de entre 80,000 y 90,000 hectáreas; además, una reducción de alrededor de 100,000 hectáreas con categoría “Buena” con cierto nivel de estabilidad en categorías “Baja” y “Mediana”, con incremento mayor en el escenario A2 (Figura 26 y

Cuadro 15. Comparación de la distribución de la aptitud, Modelo MPIECHAM5, para maíz en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).

Cuadro 15).

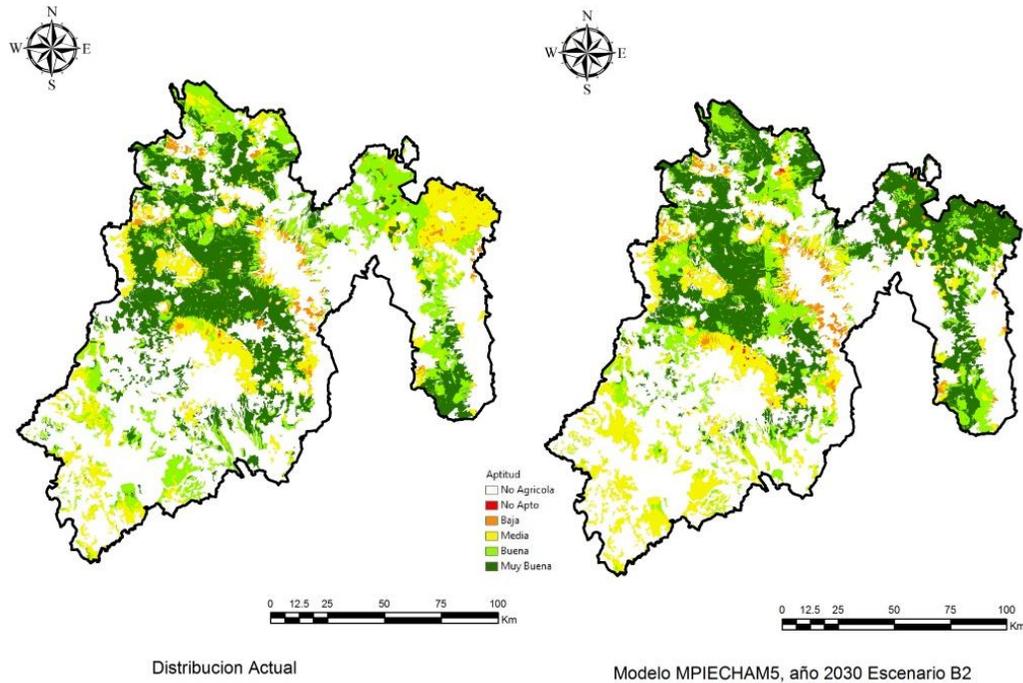


Figura 27. Comparación de distribución de la aptitud para maíz en el Estado de México, actual y Modelo MPIECHAM5/2030/B2.

Cuadro 16. Comparación de la distribución de la aptitud, Modelo MPIECHAM5, para maíz en hectáreas para el Estado de México (Escenarios B).

Categoría	Actual	2030b1	2030b2
No Apto	705.66	1,895.09	1,882.04
Baja	38,125.76	41,891.93	41,476.69
Mediana	294,028.36	302,995.55	301,629.10
Buena	326,347.99	252,696.85	248,176.52
Muy Buena	439,179.77	498,908.11	505,223.19

Cumpliendo la condición de los modelos antes vistos en los casos de los escenarios de la familia B, se cumple con el desarrollo menor que en el caso de los pertenecientes a la familia A, en comparación con los otros modelos y escenarios de la misma familia (Figura 27). Este modelo presento un aumento mayor catalogado como “Muy Buena” en comparación con la misma categoría en el modelo Hadgen, en comparación al encontrado en el Modelo GFDL2.0; sin embargo, todos muestran un desarrollo marcado en la zona norte del Estado (Cuadro 16).

En los informes del IPCC y FAO señalan que globalmente se dará un aumento en el rendimiento y la producción, si la temperatura no supera los 2 °C como se espera y proyecta en los Modelos de Circulación General (MCG) para el Estado de México y en caso de aumentar más de 2 °C se verá una disminución. Los MGC empleados en este estudio proyectan un aumento en el área con aptitud categorizada como Muy Buena para la producción de maíz (*Zea mays*) en general en el Estado de México aunque que va desde los escenarios B1 en los cuales los aumentos en esta categoría se encuentran desde los 40,863 hectáreas presentadas en los escenarios B1 del modelo Hadgen hasta 91,774 en escenarios A2 del modelo GFDL2.0, también en este modelo y escenario se presentó la reducción más grande en área catalogada como “Buena” del orden de 95,199 hectáreas lo cual podemos indicar que a nivel estado de esta cantidad un aproximado del 96% se incorpora a la Aptitud “Muy Buena” aunque no en la misma región.

Observando los presentando en el 2001 por Islas & Islas los cuales evidencian en su estudio que pese a que el Estado de México presentaba la mayor productividad de maíz por hectárea de la zona central de México, presento un decremento en la producción de los años de 1990 a 1997 provocado por la perdida de zonas agrícolas por el cambio de uso de suelo derivado en gran parte por el crecimiento de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México; por lo anterior es de considerar que de presentarse como lo estiman los modelos un desplazamiento de las zonas de mejor aptitud para este cultivo hacia el norte y noreste del estado se vería afectado este sector al ser esta zona la que ha presentado una en la ultima década el segundo lugar en crecimiento de la metrópoli.

Por otra parte Conde (Conde, Ferrer, Gay, & Araujo, 2003) hace nos muestra, en la sección de Estudios para México de impactos del CC para la Agricultura, hace referencia a un mapa del país elaborado por Flores en 1996 en el que se muestra el cambio de la aptitud bajo un escenario de cambio CCCM (Canadian Climate Center Model), coincidiendo con el presente estudio en que la zona sur del Estado de México presentara cambios negativos y la zona noreste cambios positivos.

Y finalmente comparando los resultados obtenidos con los mostrados por el estudio de Velásquez (2010), en el cual se emplearon los modelos HadCM 3 y CGCM 2, se observa de igual forma que los escenarios que presentan mayor variabilidad son los A2; sin embargo los valores presentados en el modelo CGCM 2 de ese estudio, muestran solo en los escenarios pertenecientes al año 2030 valores mayores a 500,000 ha para la categoría “Muy Buena” y después una decadencia; en cambio en el presente se muestra una constancia en estos valores para el año 2050; también se presentan valores similares en las categorías “Buena” y “Mediana” para los escenarios en el año 2030, aunque en lo reportado por Velásquez se muestra

posteriormente un aumento en estas categorías determinado por la reducción superficial de la categoría “Muy Buena”.

Respecto al modelo HadCM 3 Velásquez muestra constancia en los valores de la categoría “Muy Buena” similar a este estudio, también presenta constancia en la categoría “Buena”; sin embargo, los valores de su estudio son superiores a este en casi 200,000 ha, ya que en este se presenta una reducción de superficie en esa categoría también contrasta la reducción en el estudio de Velásquez en la categoría “Mediana” mientras que en el presente es la categoría que presenta una tasa de cambio porcentual menor.

En lo que concierne a la distribución geográfica Velásquez muestra para el modelo CGCM 2 una distribución similar a la del escenario actual en este estudio; no obstante en el modelo HadCM 3 el cambio de distribución es similar a los presentados en los modelos de este estudio, donde aumenta la aptitud de la región noreste del Estado.

4.3. Aptitud del Frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Modelo GFDL2.0

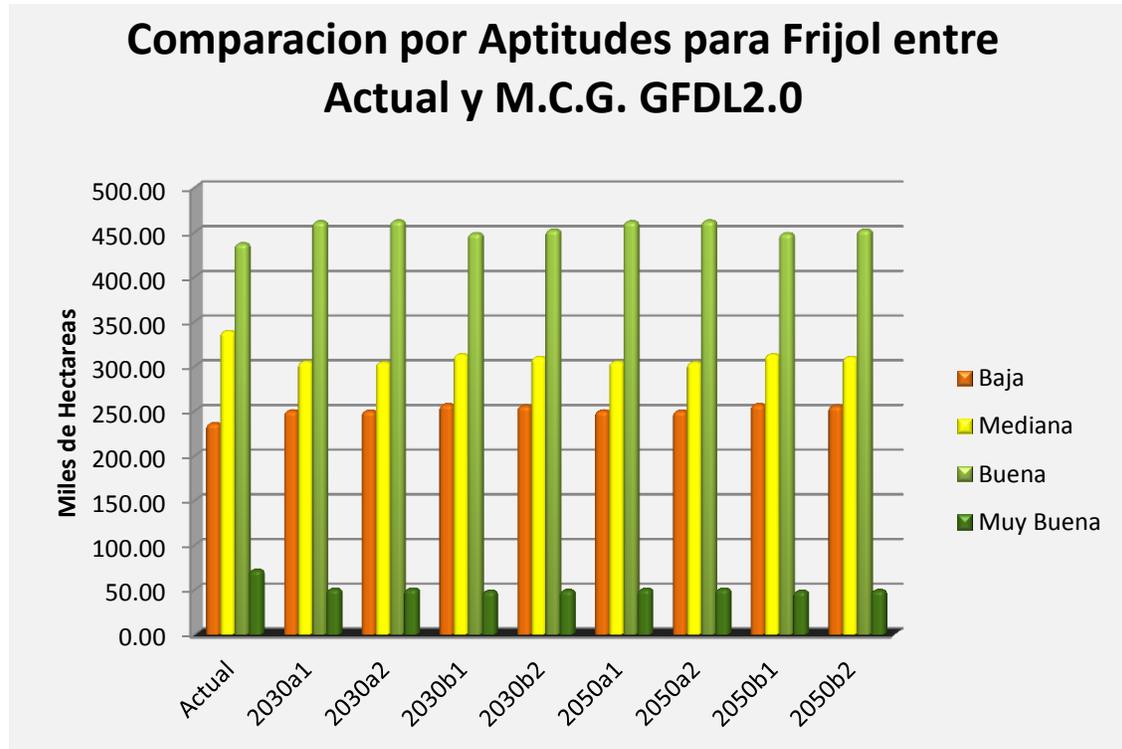


Figura 28. Comparación de Aptitudes para Frijol entre los escenarios del M.C.G. GFDL2.0 y actualidad.

Cuadro 17. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Frijol del M.C.G. GFDL 2.0 respecto al Actual.

Escenario	No Apto	Baja	Mediana	Buena	Muy Buena
2030a1	239.17	6.00	-10.06	5.62	-29.56
2030a2	238.78	5.90	-10.29	5.82	-29.32
2030b1	244.64	9.00	-7.69	2.60	-32.69
2030b2	239.75	8.31	-8.54	3.50	-31.51
2050a1	239.17	6.00	-10.06	5.62	-29.56
2050a2	238.78	5.90	-10.29	5.82	-29.32
2050b1	244.64	9.00	-7.69	2.60	-32.69
2050b2	239.75	8.31	-8.54	3.50	-31.51

Contrastando en los resultados del maíz (*Zea mays*) se puede observar un decremento en el área con aptitud “Muy Buena”, perdiendo en todos los escenarios alrededor de una tercera parte del territorio catalogado en el escenario actual con esta denominación. A su vez en la categoría “Buena” se observa un aumento mínimo de 2.60% (escenario B1) y un máximo de 5.82% (escenario A2), lo que nos

indica un área de alrededor de unas 11,000 ha como mínimo y 25,000 como máximo presentaron una conversión a esta categoría, fenómeno contrario al observado en la categoría “Baja” en la cual el mayor aumento de área se presentó en el escenario B1 y el mínimo en el A2 presentándose un aumento de alrededor de 21,000 y 14,000 hectáreas respectivamente, lo que nos indica que las hectáreas que perdieron la categoría de “Muy Buena” y “Mediana” una gran parte pudo presentar una conversión a la categoría “Baja” para el caso del escenario B1 y en caso del A2 a la categoría “Buena”.

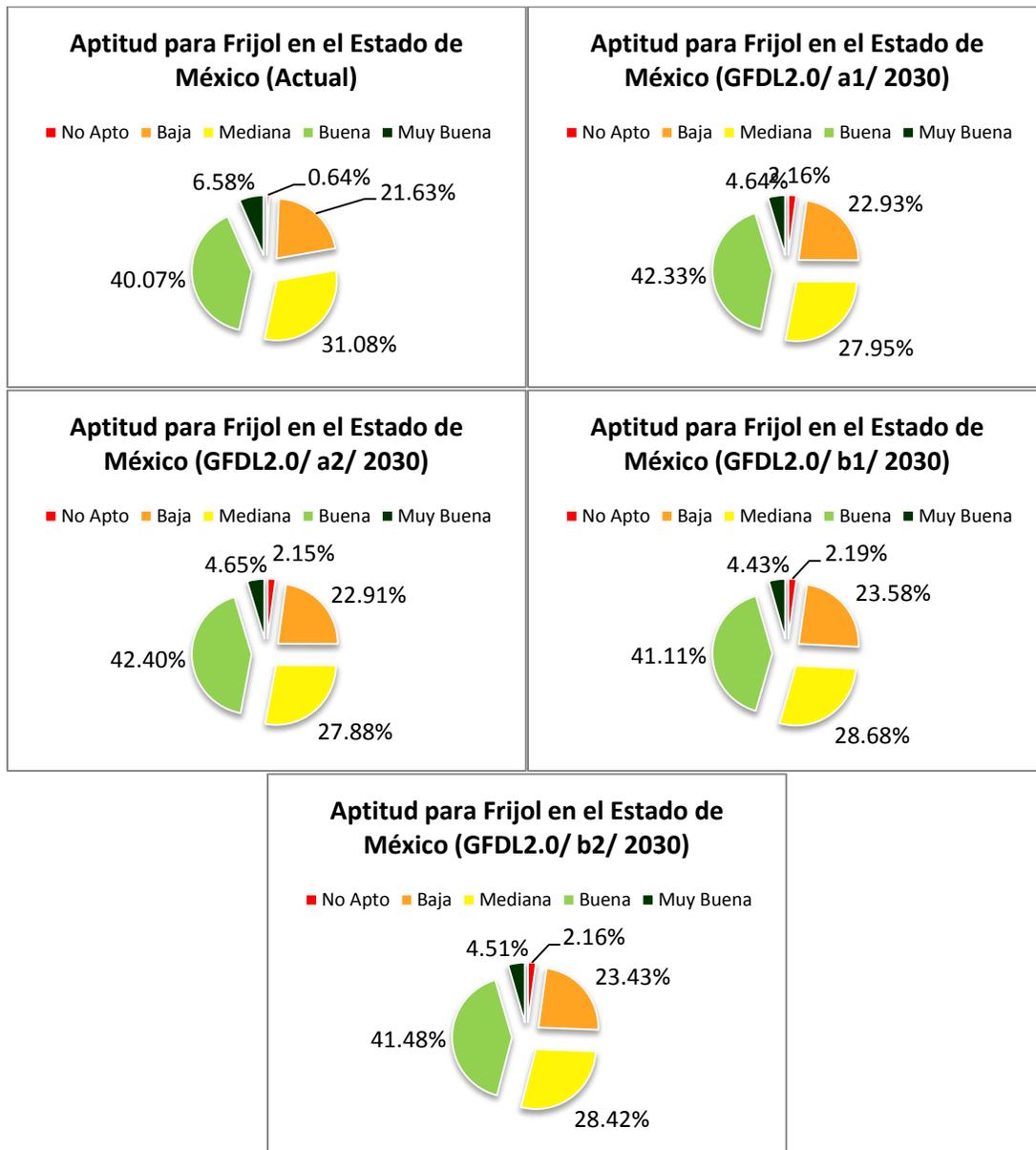


Figura 29. Distribución porcentual para Frijol por escenario de M.C.G. GFDL 2.0 y actual del área de las Aptitudes.

En lo correspondiente al análisis proporcional podemos observar una reducción general de más de 2% de la superficie catalogada como “Muy Buena”, este valor es similar al aumento; la cantidad de superficie del estado que se cataloga como “No apta” la cual es de alrededor de 1.5% unas 15,000 hectáreas, las cuales se verán afectadas en su aptitud hacia este cultivo. Otra afectación visible en las gráficas porcentuales es la disminución de superficie catalogada con aptitud “Mediana”, la cual en todos los escenarios presenta una disminución de alrededor de 3 unidades porcentuales mismas unidades que probablemente se distribuyeron en las categorías de “Buena” y “Baja”, las cuales presentaron aumentos de dos y uno por ciento respectivamente.

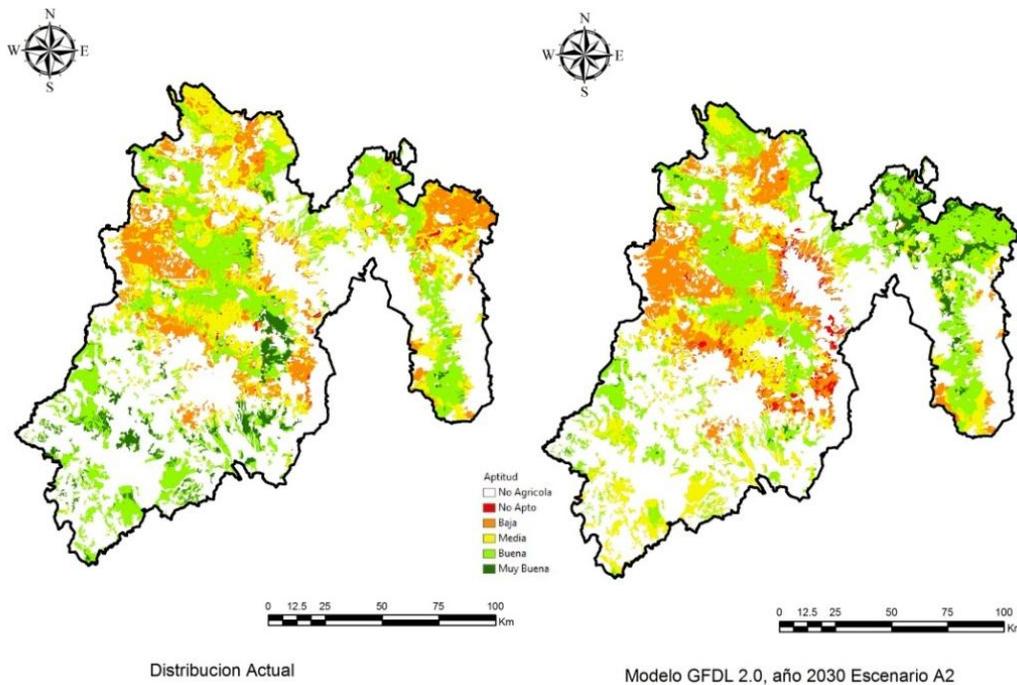
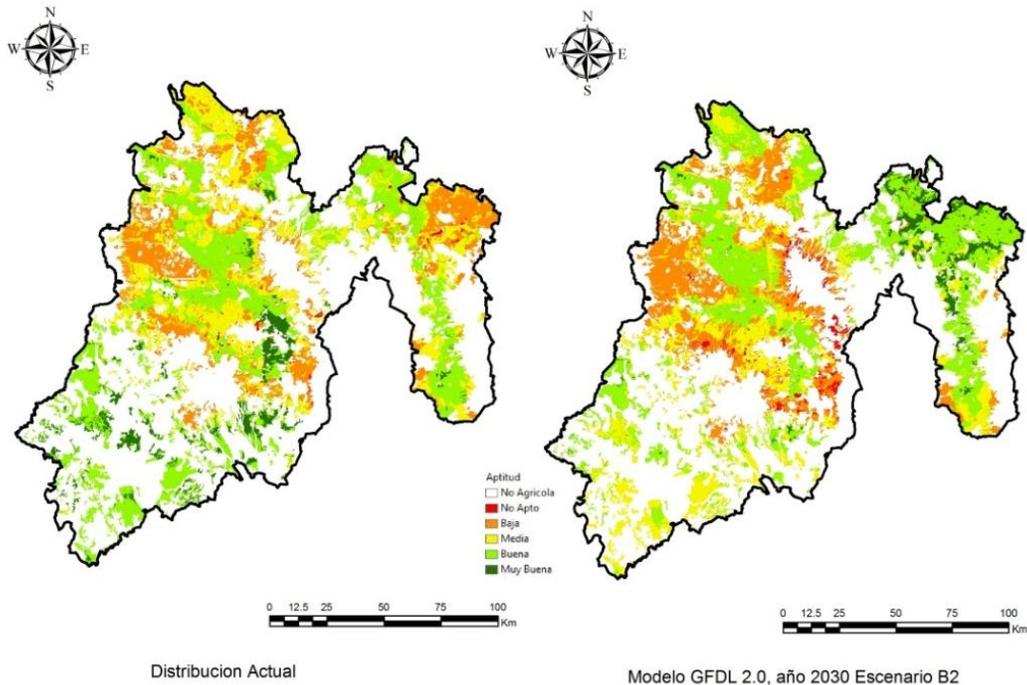


Figura 30. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo GFDL2.0/2030/A2.

Cuadro 18. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).

Categoría	Actual	2030a1	2030a2
No Apto	6,935.02	23,521.76	23,494.42
Baja	235,923.13	250,069.63	249,854.09
Mediana	338,909.12	304,820.24	304,036.10
Buena	437,034.73	461,612.69	462,461.97
Muy Buena	71,782.00	50,559.69	50,737.42

Al observar más a detalle los escenarios pertenecientes a la familia A se puede observar un aumento general en la categoría “Buena” aumentando más de 24 mil hectáreas con esta categoría esto se puede observar en la porción norte del estado evidenciándose principalmente en la zona Noreste (Figura 30), sin embargo, otra cosa que se muestra de manera similar a la mostrada en el caso del maíz es el desplazamiento de la categoría “Muy Buena” de la zona central del estado al Noreste del mismo. También se puede observar una conversión de terreno en la región suroeste del estado de categoría “Buena” y “Muy Buena” a zonas categorizadas como “Mediana” (Cuadro 18).

**Figura 31. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo GFDL2.0/2030/B2.**

Cuadro 19. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).

Categoría	Actual	2030b1	2030b2
No Apto	6,935.02	23,900.60	23,561.45
Baja	235,923.13	257,144.91	255,536.96
Mediana	338,909.12	312,833.14	309,976.36
Buena	437,034.73	448,386.21	452,344.86
Muy Buena	71,782.00	48,319.15	49,164.37

En el mapa antes vistos (Figura 31) y el Cuadro 19 se puede observar un desarrollo o aumento de las áreas con respecto al escenario actual en las categorías “Buena” “Baja” y “No Apto” tanto del modelo B1 y B2, resaltando esta última categoría en el aumento en ambos escenarios, donde su valor es superior al 300%, y junto con la categoría de “Baja” representa un incremento de alrededor de 37,000 hectáreas con un decremento en su potencial, resaltando aunque se presenta un aumento superior a las 11,000 y 15,000 hectáreas en la categoría “Buena”, para los escenarios B1 y B2 respectivamente; estos son cercanos al 30 y 50% de hectáreas perdidas que poseen una aptitud “Muy Buena” en la actualidad.

De igual forma a lo observado en los escenarios A1 y A2, y en el cultivo de maíz se puede apreciar una reducción de categoría en las zonas centro y sur del estado, y un incremento de categoría en las áreas norte y este del estado para el frijol.

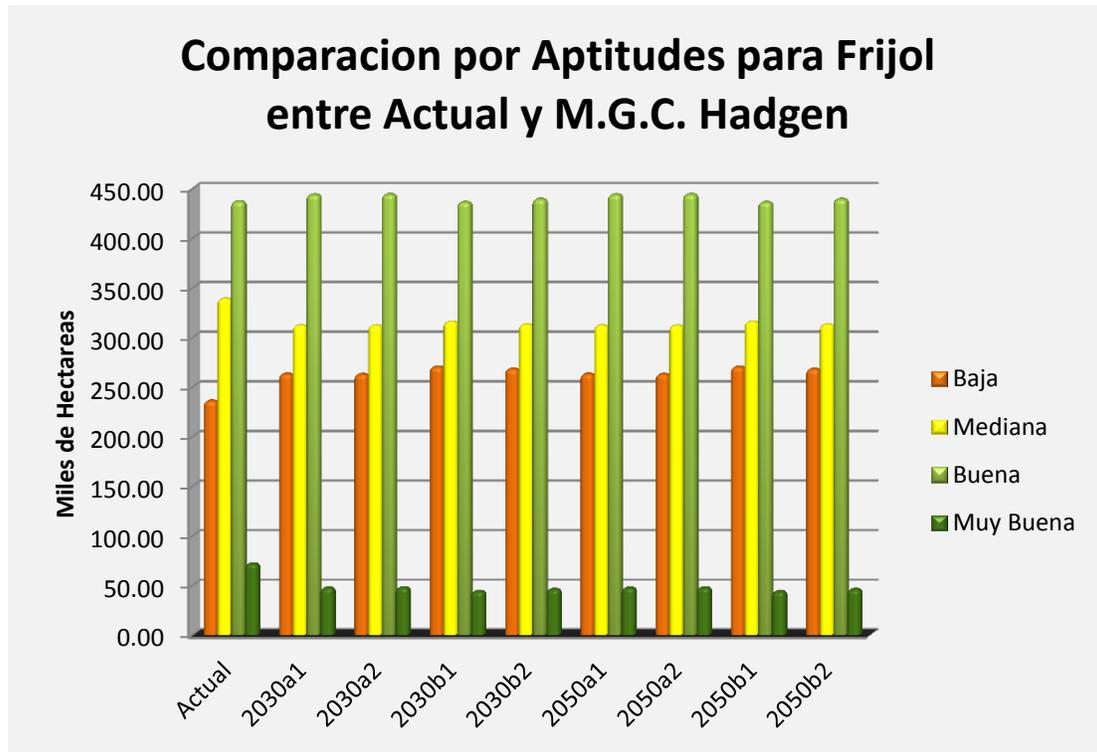
Modelo Hadgen

Figura 32. Comparación de Aptitudes para Frijol entre los escenarios del M.C.G. Hadgen y actualidad.

Cuadro 20. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Frijol del M.C.G. Hadgen respecto al Actual.

Escenario	No Apto	Baja	Mediana	Buena	Muy Buena
2030a1	247.06	11.54	-7.96	1.58	-33.87
2030a2	246.77	11.41	-7.99	1.64	-33.60
2030b1	253.36	14.54	-6.88	-0.16	-38.76
2030b2	251.10	13.61	-7.70	0.53	-35.90
2050a1	247.06	11.54	-7.96	1.58	-33.87
2050a2	246.77	11.41	-7.99	1.64	-33.60
2050b1	253.36	14.54	-6.88	-0.16	-38.76
2050b2	251.10	13.61	-7.70	0.53	-35.90

En el Modelo Hadgen se observa un decremento en la aptitud “Muy Buena” aunque en este modelo las reducciones en los escenarios se encuentran entre 33.6 y 38.76% (superior a los valores mayores a los presentados en el modelo antes visto) (Figura 32), también se presenta una conversión mayor en las categorías “Baja” y “No Apto” llegando a ser el cambio casi del doble de lo presentado en el M.C.G.

GFDL 2.0 por otra parte en las categoría “Buena” se presenta aumentos menores a los presentado en el modelo previo inclusive presentándose valores negativos en el caso particular de los escenarios B1, en la aptitud “Mediana” podemos ver cambios porcentuales menores a los presentados en GFDL 2.0 (Cuadro 20).

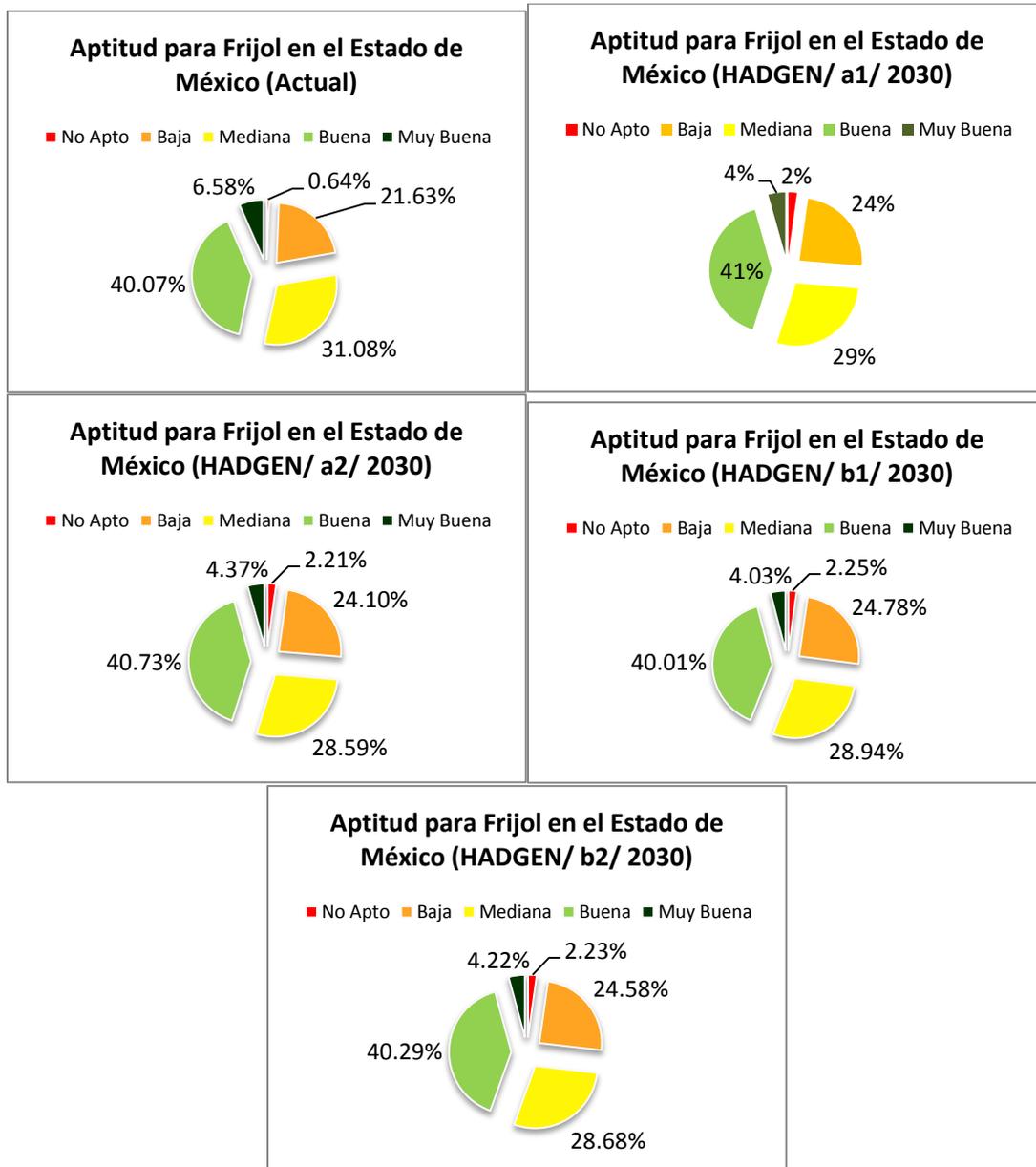


Figura 33. Distribución de área porcentual para Frijol por escenario de M.C.G. Hadgen y actual.

Al apreciar las gráficas porcentuales del modelo Hadgen comparadas con la proporción actual podemos apreciar que en lo que compete al frijol se presentan cambios que podrían parecer mínimos ya que el mayor decremento se presenta en la categoría “Mediana” el cual es de alrededor de 2.5% y el mayor aumento en el la

categoría “Baja” en valores similares, también se presenta un aumento en la aptitud “No Apto” cercano al 1.5% que al convertirlo a medidas superficiales es de 1,500 hectáreas esto nos hace considerar que a pesar de los cambios porcentuales pequeños se presenta un incremento en categorías bajas y decremento en categorías altas (Figura 33).

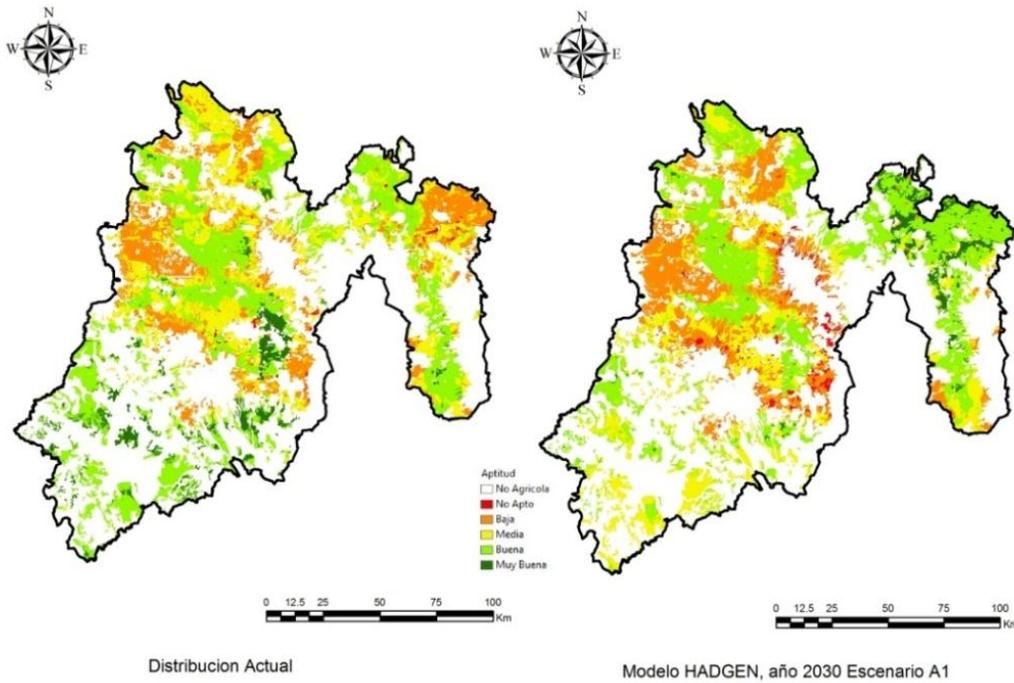


Figura 34. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo HADGEN/2030/A1.

Cuadro 21. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).

Categoría	Actual	2030a1	2030a2
No Apto	6,935.02	24,068.34	24,048.90
Baja	235,923.13	263,159.28	262,836.09
Mediana	338,909.12	311,947.20	311,825.70
Buena	437,034.73	443,940.75	444,210.48
Muy Buena	71,782.00	47,468.43	47,662.83

Los datos obtenidos en los escenarios de familia A y aunque en este modelo presentan las menores reducciones de la categoría “Muy Buena” estas son mayores a 25,000 hectáreas pero menores a las más de 27,000 hectáreas que aumentaron en la categoría “Baja” (Figura 34, y Cuadro 21), otro valor que se debe considerar son las más de 17,000 hectáreas que aumentaron en la categoría de “No Apto”, por su

parte la aptitud “Buena” conservo un número similar de hectáreas; sin embargo, solo la parte central-noroeste del estado fue la región más grande en conservar esta categoría y la parte sur-suroeste la que más perdió su potencial.

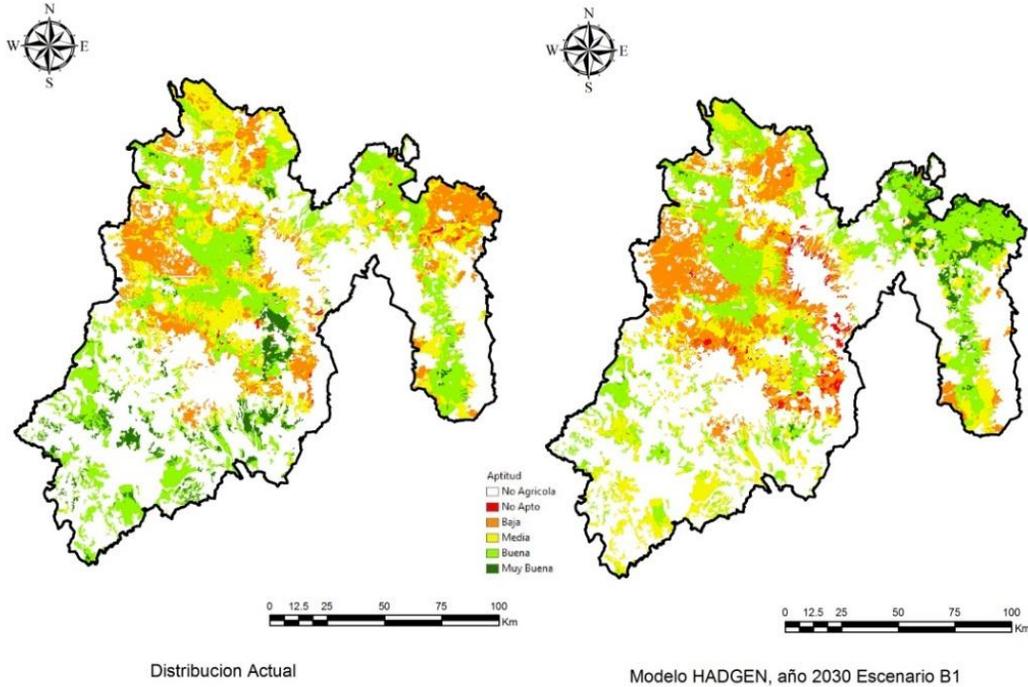


Figura 35. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo HADGEN/2030/B1.

Cuadro 22. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).

Categoría	Actual	2030b1	2030b2
No Apto	6,935.02	24,505.74	24,348.60
Baja	235,923.13	270,221.67	268,038.72
Mediana	338,909.12	315,583.29	312,822.81
Buena	437,034.73	436,315.41	439,363.44
Muy Buena	71,782.00	43,957.89	46,010.43

Respecto a los escenarios de la familia B se aprecian los valores de pérdida más grandes en la categoría de “Muy Buena” presentándose en el escenario B1 una pérdida de hectáreas cercana a las 28,000 (Figura 35 y Cuadro 22); también se presentó en este mismo escenario el aumento más grande en las categorías “No Apto” y “Baja”, por el contrario en la categoría “Buena” se presentó el menor aumento y la única reducción en todos los escenarios de este modelo y más aun de este cultivo, en general esta familia presento los aumentos más grande en las

categorías bajas y reducciones mayores en la categoría superior, así como la categorías centrales presentaron los menores cambios en cuanto a superficie.

Siguiendo la misma tendencia del cultivo en este modelo se observa una reducción de categorías en la zona sur y un aumento en la norte-noreste.

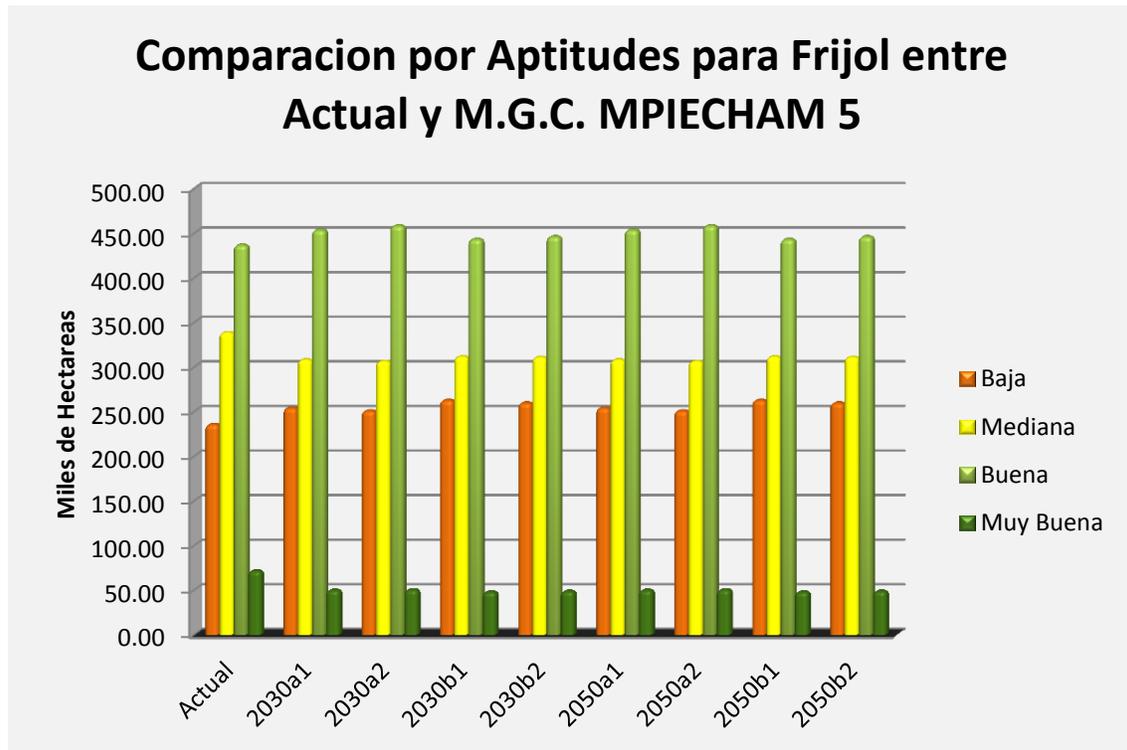
Modelo Mpicham5

Figura 36. Comparación de Aptitudes para Frijol entre los escenarios del M.C.G. MPIECHAM 5 y actualidad.

Cuadro 23. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Frijol del M.C.G. MPIECHAM 5 respecto al Actual.

Escenario	No Apto	Baja	Mediana	Buena	Muy Buena
2030a1	241.40	7.85	-9.00	3.87	-30.19
2030a2	238.31	6.48	-9.52	4.94	-29.45
2030b1	246.75	11.51	-8.00	1.48	-32.88
2030b2	245.02	10.21	-8.17	2.15	-31.77
2050a1	241.40	7.85	-9.00	3.87	-30.19
2050a2	238.31	6.48	-9.52	4.94	-29.45
2050b1	246.75	11.51	-8.00	1.48	-32.88
2050b2	245.02	10.21	-8.17	2.15	-31.77

Este modelo siguió la misma tendencia de los modelos antes descritos; sin embargo, presento valores en las tasas de cambio intermedios a los modelos anteriores, pero más próximos al modelo GFDL 2.0; esto se observa claramente en el cambio porcentual mostrado en la categoría “Muy Buena” en la cual las diferencia máxima entre ambos modelos fue de 0.63% en el escenario A1 y la mínima de 0.13% en el

escenario A2 (Figura 36Figura 36. Comparación de Aptitudes para Frijol entre los escenarios del M.C.G. MPIECHAM 5 y actualidad.); sin embargo, se siguió observando la mayor y menor reducción en la categoría “Muy Buena”, el mayor y menor aumento en las categorías “No Apto” y “Baja para los escenarios B1 y A2 respectivamente para cada una de las categorías mencionadas (Cuadro 23).

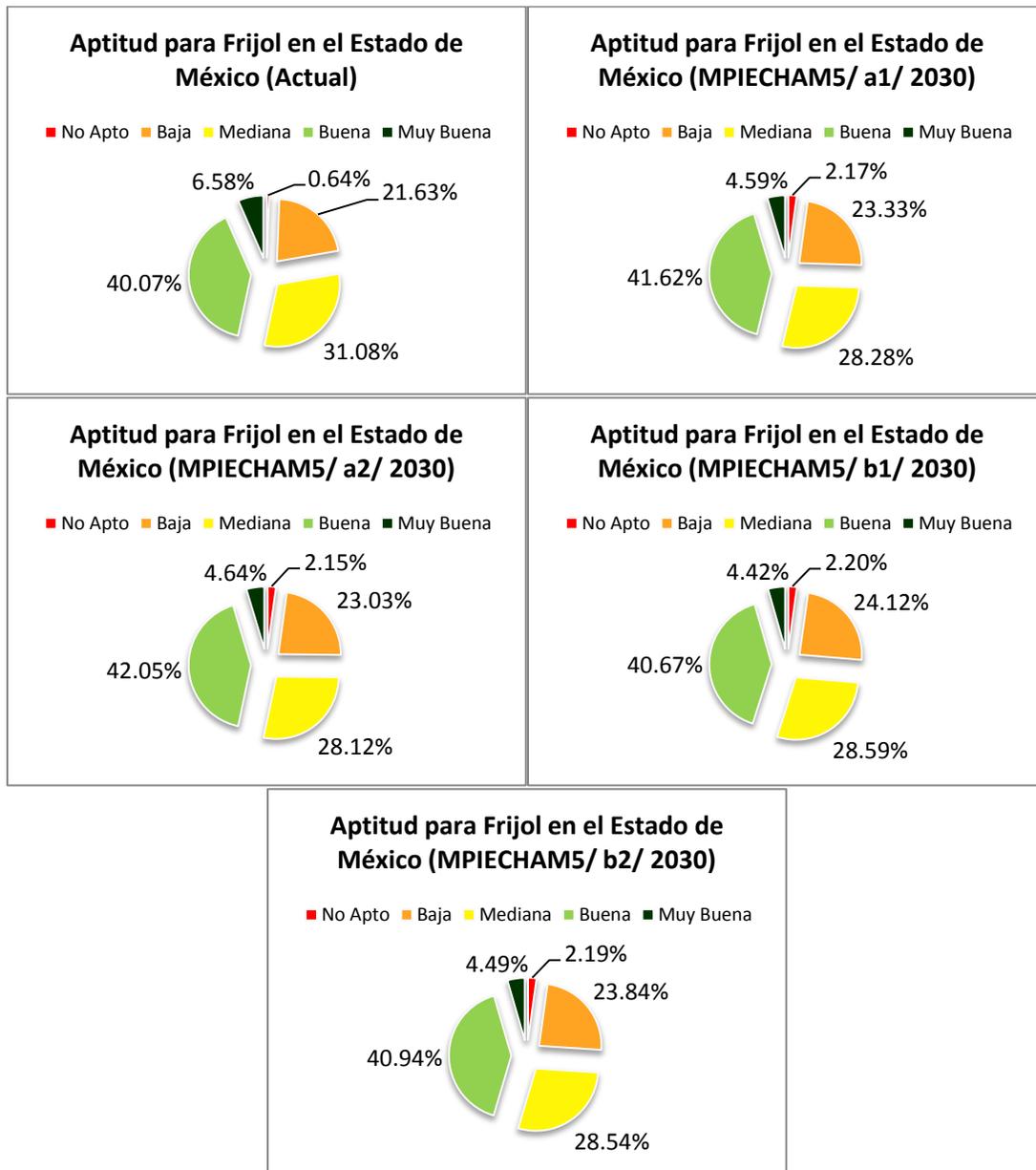


Figura 37. Distribución de área porcentual para Frijol por escenario de M.C.G. MPIECHAM 5 y actual.

Los cambios en este modelo a pesar que fueron se presentan valores mayores a los mostrados en los escenarios del modelo Hadgen en la categoría mediana registrándose decrementos cercanos a 3%; sin embargo, en este modelo se

presentó un incremento en todos los escenarios en la categoría “Buena” similar a lo mostrado en el modelos GFDL 2.0, aumentando alrededor de 2,000 hectáreas esto en el escenario A2, con un aumento mínimo en esta categoría para el escenario B1, de tan solo 0.6%, de igual manera que en escenarios anteriores se ve un aumento de hectáreas en categorías bajas, aunque en menor cantidad al modelo Hadgen (Figura 37).

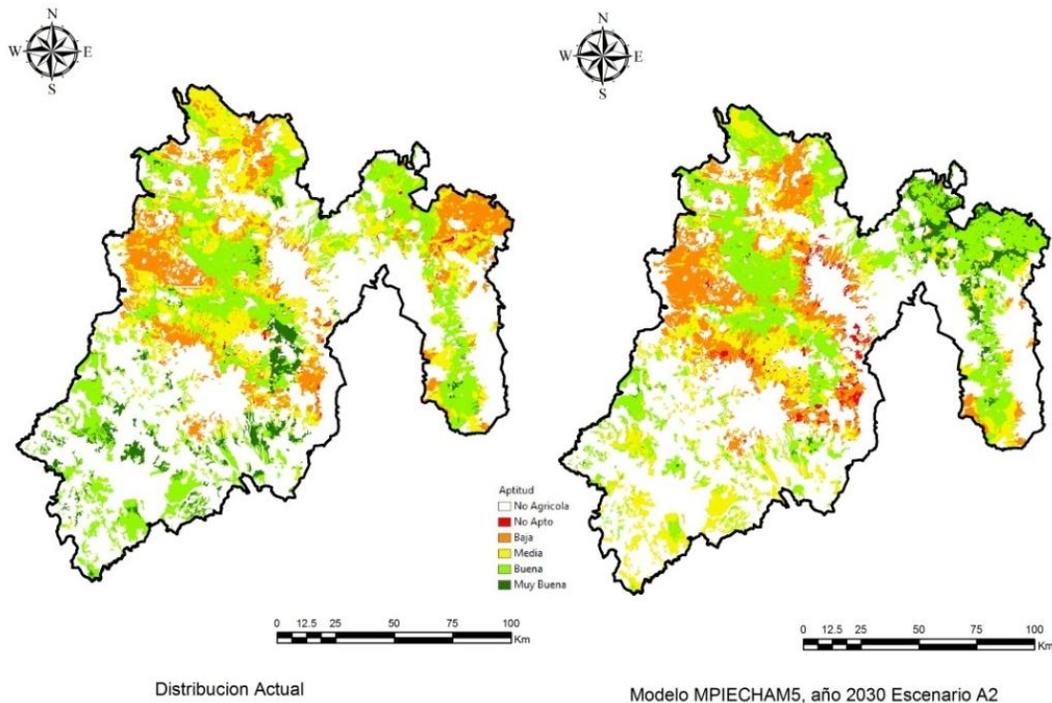


Figura 38. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo MPECHAM5/2030/A2.

Cuadro 24. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).

Categoría	Actual	2030a1	2030a2
No Apto	6,935.02	23,676.35	23,461.65
Baja	235,923.13	254,435.12	251,215.02
Mediana	338,909.12	308,416.29	306,628.74
Buena	437,034.73	453,945.38	458,639.01
Muy Buena	71,782.00	50,110.85	50,639.58

Los escenarios de este modelo pertenecientes a la familia A presentaron una pérdida de superficie en la categoría “Muy Buena” superior a las 20,000 ha pese a lo anterior se presentó una superficie mayor en cerca de 3,000 unidades a el modelo Hadgen en esta familia para el caso del frijol; también se presentó un aumento superior a 16,000 ha en la categoría “Buena” mayor en este modelo al presentado en modelo Hadgen aunque menor a de GFDL 2.0 en más de 7,000 ha; sin embargo,

los máximos cambios se presentaron en la categoría “Mediana” con pérdidas del orden de más de 30,000 unidades (Cuadro 24). Las dos categorías de menor aptitud en conjunto para este cultivo muestran un aumento de más de 36,500 ha, 16,500 en “No Apto” y 20,000 en “Baja”. En cuanto a la distribución continua, la tendencia mostrada en modelos anteriores hay reducciones de categoría en las zonas centro y sur y mejora la aptitud en la región norte- noreste.

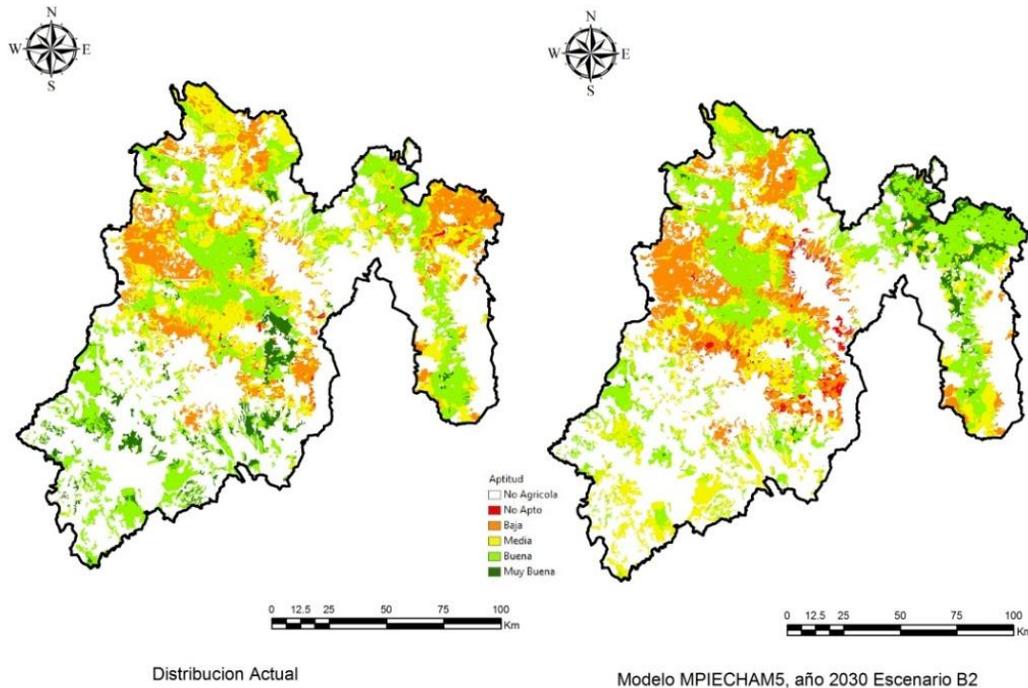


Figura 39. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Estado de México; Actual y Modelo MPIECHAM5/2030/B2.

Cuadro 25. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).

Categoría	Actual	2030b1	2030b2
No Apto	6,935.02	24,047.28	23,927.40
Baja	235,923.13	263,085.57	260,009.19
Mediana	338,909.12	311,785.20	311,220.63
Buena	437,034.73	443,486.34	446,451.75
Muy Buena	71,782.00	48,179.61	48,975.03

La familia B del modelo MPIECHAM 5 en el caso del frijol presento un comportamiento similar a los anteriores modelos descritos para este cultivo y familia (Cuadro 25), de igual forma presenta valores similares a los del modelo GFDL 2.0

presentando pérdidas ligeramente menores en las categorías “Muy Buena” y “Mediana”, como aumentos igual menores en las categorías “No Apto” “Baja” y “Buena” a los de GFDL 2.0, en cuanto la distribución espacial la tendencia sigue siendo la misma reducciones en categoría de zonas central y sur y aumentos en zonas norte-noreste (Figura 39).

Otra cosa que se debe considerar es que en los modelos analizados para el cultivo de frijol se observó consistencia o similitud de los valores dentro de cada familia A y B para los modelos GFDL 2.0 y MPIECHAM 5 mostrando las diferencias mayores en una familia y las menores en otra según la categoría que se observara; esto es si en la categoría “Muy Buena” se presentaban los valores de pérdida de mayor a menor en escenario B1, B2, A1, A2 en la categoría que se presentara una mayor pérdida fue en el escenario A2, el cual seguía la secuencia inversa hasta llegar al B1 por ejemplo la categoría “Mediana”. En el caso del modelo Hadgen se observó que las pérdidas en categorías altas eran más grandes y los aumentos mínimos o nulos a los otros dos modelos, y en las categorías bajas lo contrario.

Sin embargo, algo consistente en todos los modelos para este cultivo fue el aumento marcado en las categorías “Baja” y “No Apto” respectivamente y la pérdida de superficie en la categoría “Muy Buena” con muy pocos aumentos de área en la categoría “Buena”, contrastando esto totalmente a lo presentado en el caso del Maíz, el cual presentó grandes aumentos en la categoría “Muy Buena” y pérdidas en “Buena”. También se debe considerar los aumentos de superficie en las categorías “Baja” y “No Apto” esto genera en ambos cultivos para todos los modelos; aunque los valores fueron superiores para el cultivo del Frijol que para Maíz, en cuanto a cantidad de hectáreas, pero en tasa de conversión de la categoría “Baja” se muestran valores similares en el maíz y frijol en todos los modelos.

4.4. Aptitud de Papa (*Solanum tuberosum*)

Modelo GFDL 2.0

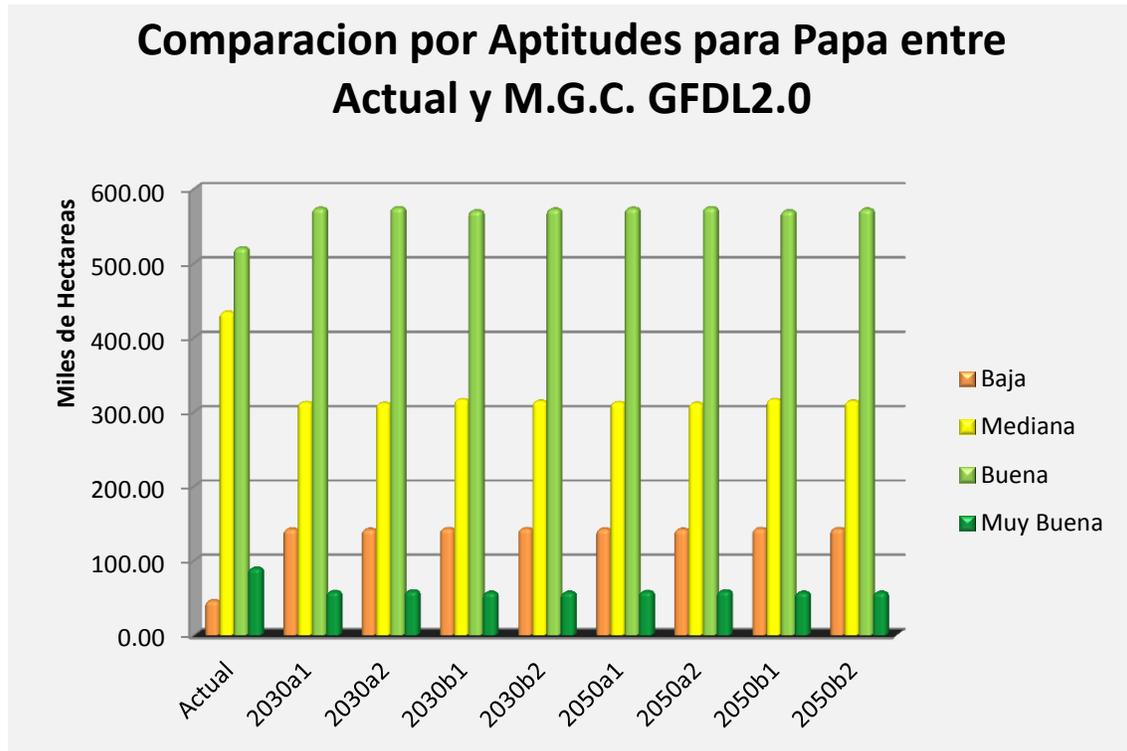


Figura 40. Comparación de Aptitudes para Papa entre los escenarios del M.C.G. GFDL2.0 y actualidad.

En la gráfica anterior (Figura 40) se puede observar el comportamiento de las diversas categorías de aptitud en lo que refiere al cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*), donde se muestra la cantidad de área por categoría en el Estado de México, la cual está expresada en miles de hectáreas. En general podemos observar un aumento en la categoría de “Buena” de casi 50 mil hectáreas, superando en todos los escenarios las 570 mil hectáreas; en cambio, en la categoría de “Muy Buena” la reducción es superior a las 30 mil hectáreas, sin embargo, se aprecian los mayores aumentos y reducciones en las categorías “Baja” y “Mediana” respectivamente, en ambos casos cercanas, e incluso superiores a las 100 mil hectáreas.

Cuadro 26. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Papa del M.C.G. GFDL2.0 respecto al Actual.

Escenario	No Apto	Baja	Mediana	Buena	Muy Buena
2030a1	979.27	209.00	-27.96	10.24	-34.93
2030a2	960.10	208.00	-28.20	10.39	-34.07
2030b1	1,059.58	210.16	-27.07	9.55	-36.15
2030b2	1,022.83	210.14	-27.58	10.00	-36.13
2050a1	979.27	209.00	-27.96	10.24	-34.93
2050a2	960.10	208.00	-28.20	10.39	-34.07
2050b1	1,059.58	210.16	-27.07	9.55	-36.15
2050b2	1,022.83	210.14	-27.58	10.00	-36.13

Al observar el Cuadro 26 referente a la superficie actual comparada con la presentada en el modelo GFDL 2.0 para el cultivo de Papa se aprecia una reducción en el área catalogada como “Muy Buena”, esta reducción se encuentra entre un 34.07% para el escenario A2 y 36.15% para el B1; también se aprecia reducciones en la categoría “Mediana” superiores al 27% de forma inversa se aprecia aumentos de área en las categorías inferiores “No Apto” y “Baja” aumentando esta segunda en un 200% su área actual, de igual forma en la categoría “Buena” se presenta aumentos generales en cada una de las categorías alrededor de 10% (Figura 40).

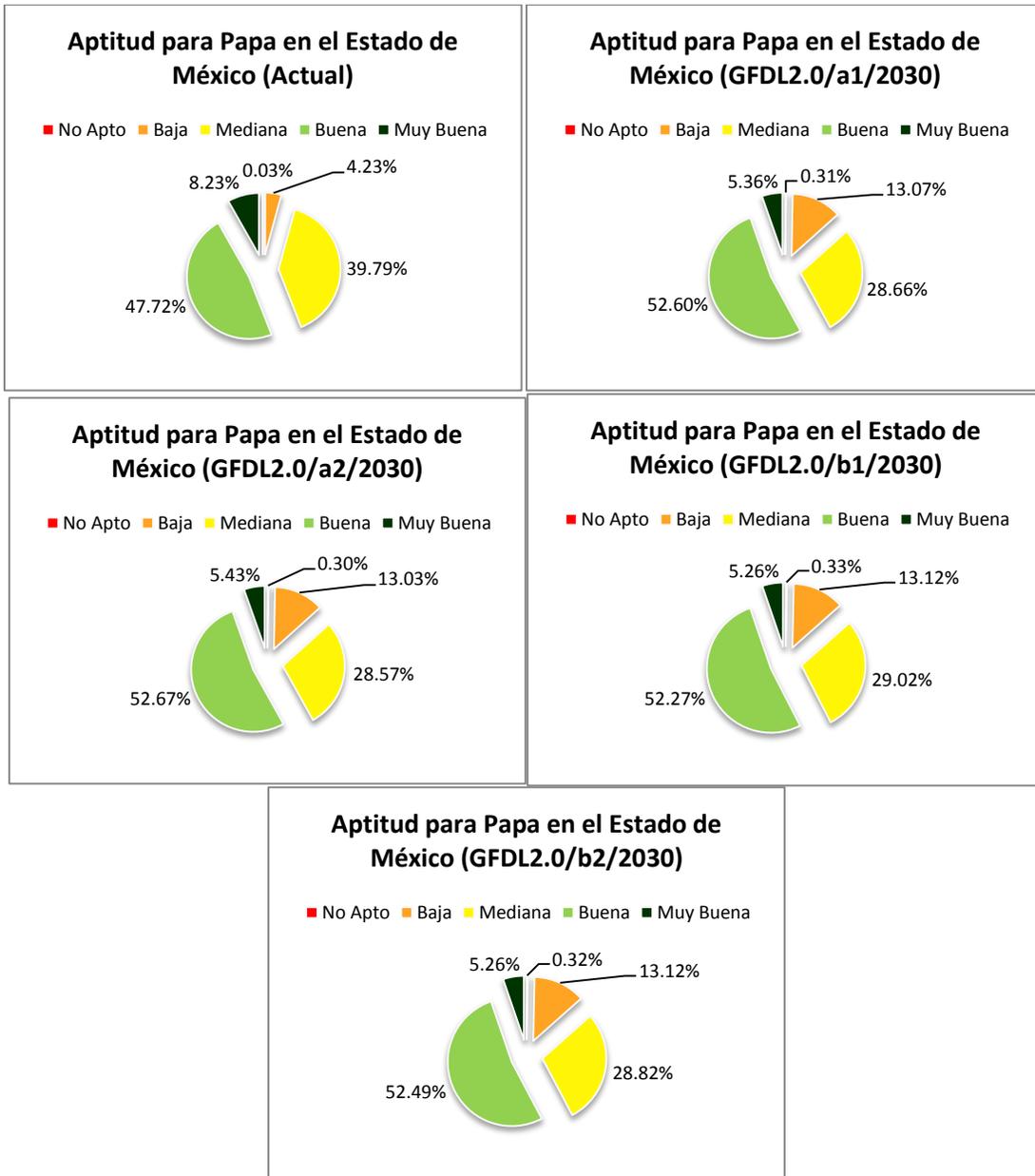


Figura 41. Distribución de área porcentual para Papa por escenario de M.C.G. GFDL2.0 y actual.

En el Conjunto de graficas anteriores (Figura 41) podemos observar los cambios en distribución por cada escenario de este cultivo (*Solanum tuberosum*) presentándose cambios en la distribución de área mayores al 10% en las aptitudes “Baja” y “Mediana”, aumento y reducción respectivamente y en categorías superiores “Buena” con aumento del 4% y “Muy Buena” reducción de 3%, sin olvidar que cada unidad porcentual es del orden de 11 mil hectáreas.

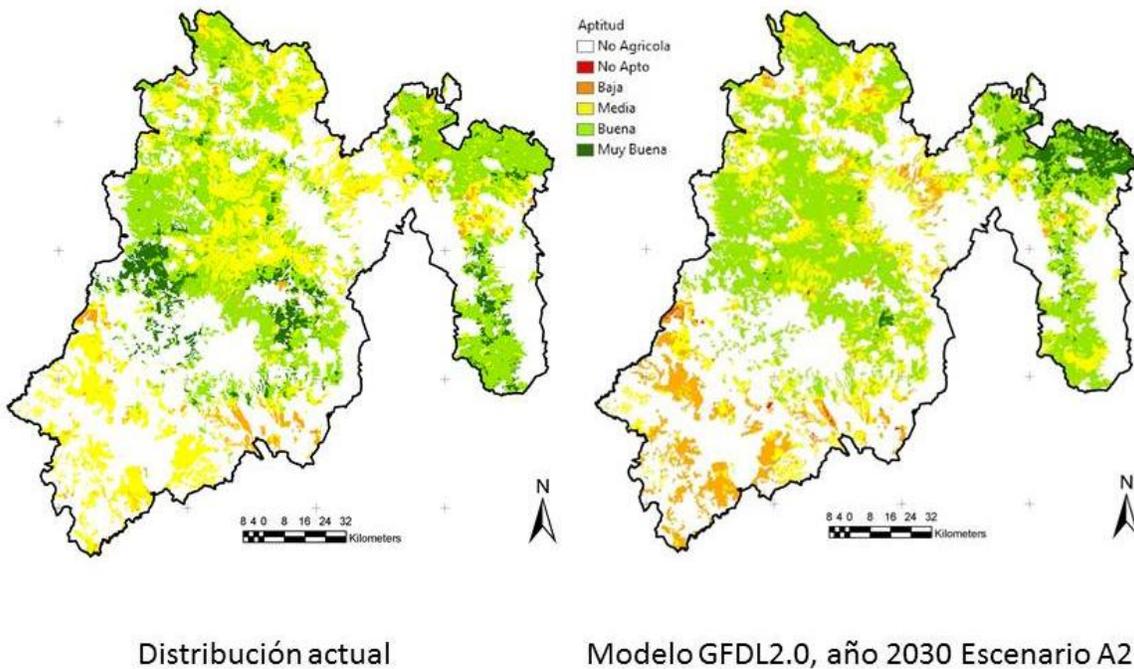


Figura 42. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México; Actual y Modelo GFDL2.0/2030/A2.

Cuadro 27. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).

Categoría	Actual	2030a1	2030a2
No Apto	306	3,331	3,272
Baja	46,154	142,699	142,237
Mediana	434,176	312,951	311,936
Buena	520,624	574,281	575,043
Muy Buena	89,843	58,495	59,269

En los escenarios de la familia A del modelo GFDL 2.0 podemos observar incremento en los valores de la categoría “Buena” con una reducción en la categoría “Muy Buena” en tasas de cambio cercanas a 55,000 y 30,000 hectáreas respectivamente (Cuadro 27), de igual forma se aprecia una reducción superior a las 120,000 hectáreas en la categoría de “Mediana”, 96,000 para la categoría “Baja” y aproximadamente 3,000 hectáreas perdieron la aptitud para este cultivo de forma grafica podemos apreciar el cambio de categoría “Mediana” a “Baja” en la zona suroeste, norte y noroeste del estado; también la perdida de zonas con categoría “Muy Buena” en el centro del estado y la aparición de zonas con esta misma

categoría en la Zona Noreste siguiendo la tendencia de los otros cultivos antes analizados y descritos.

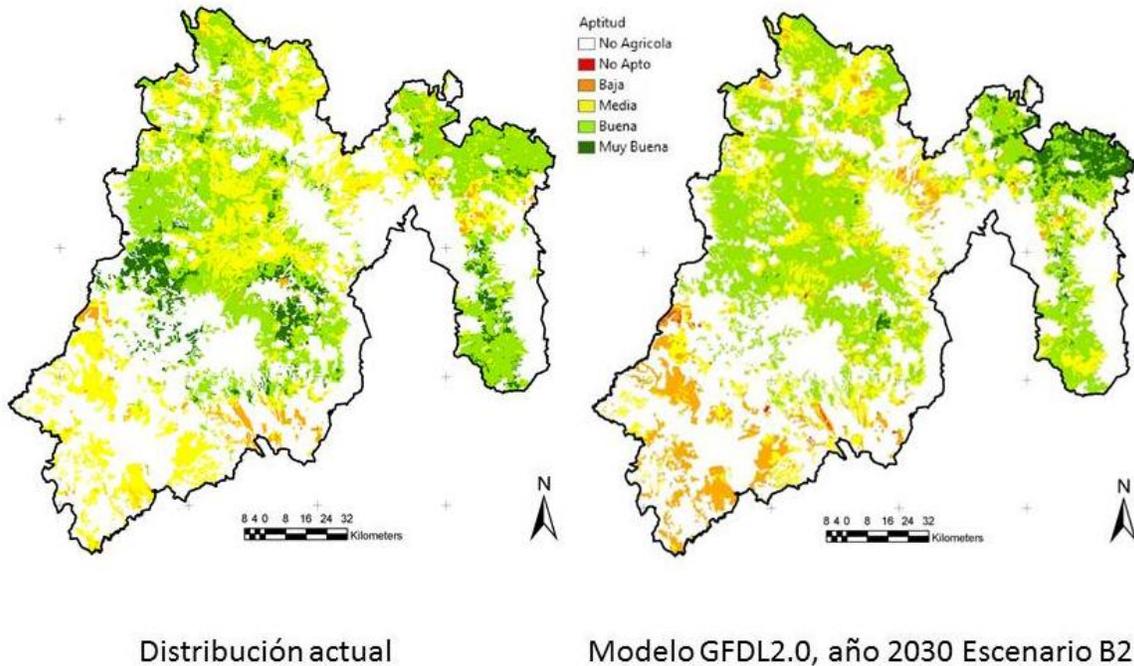


Figura 43. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México; Actual y Modelo GFDL2.0/2030/B2.

Cuadro 28. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).

Categoría	Actual	2030b1	2030b2
No Apto	306	3,579	3,465
Baja	46,154	143,235	143,226
Mediana	434,176	316,833	314,609
Buena	520,624	570,711	573,042
Muy Buena	89,843	57,400	57,415

En los escenarios de la familia B del modelo GFDL 2.0 de igual forma podemos observar incremento en los valores de la categoría “Buena” aunque unas 5,000 hectáreas menor al apreciado en los escenarios de la familia A (Cuadro 28), en el caso de la categoría “Muy Buena” se aprecian tasas de cambio próximas a 32,000 hectáreas superiores a la familia A, de igual forma se aprecia una reducción cercana a las 120,000 hectáreas en la categoría de “Mediana” y una cantidad superior a las 3,000 hectáreas perdieron la aptitud para este cultivo; en general podemos observar tasas de cambio mayores en categorías extremas y menores en categorías centrales

a lo apreciado en la familia A, en lo que respecta a la forma grafica se aprecian cambios similares a los de la familia A con cambios de categoría “Mediana” a “Baja” en la zona suroeste, Norte y Noroeste del estado también la perdida de zonas con categoría “Muy Buena” en el centro del estado y la aparición de zonas en la Noreste (Figura 63).

Modelo HADGEN

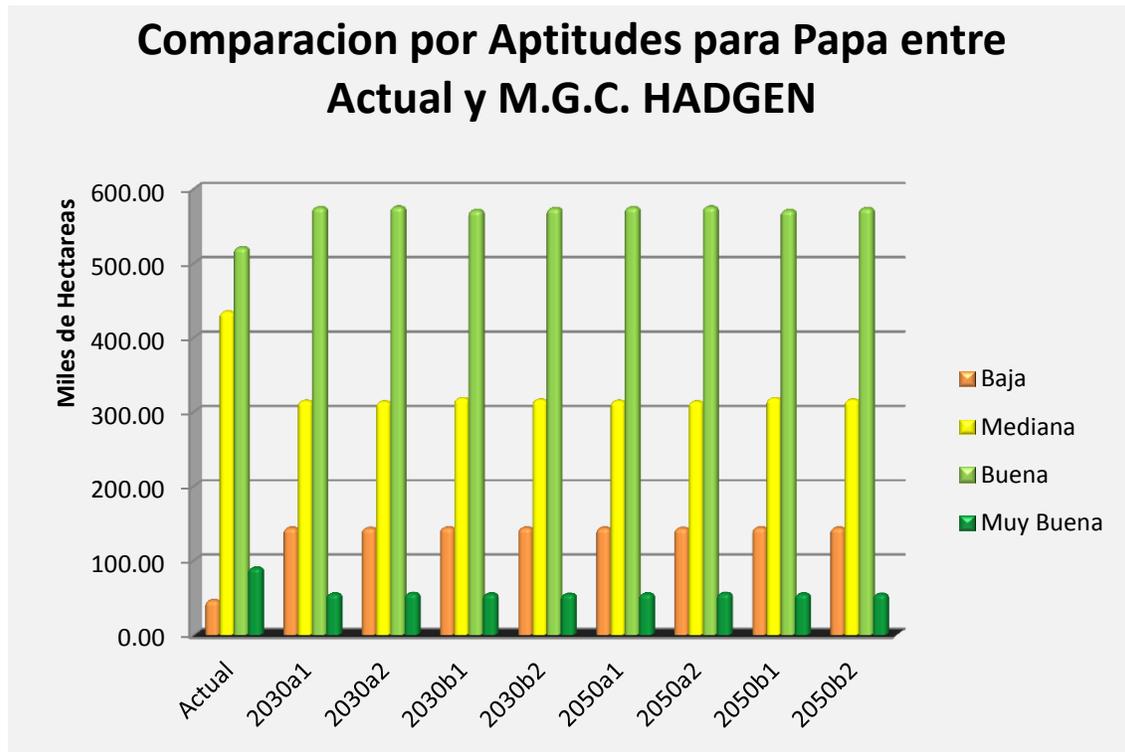


Figura 44. Comparación de Aptitudes para Papa entre los escenarios del M.C.G. Hadgen y actualidad.

En la gráfica anterior (Figura 44) se puede observar el comportamiento de los diversos escenarios del modelo Hadgen para las categorías de aptitud del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), donde se muestra la cantidad de área por categoría en la que se distribuye en el Estado de México, expresada en miles de hectáreas. Se observa aumento en la categoría “Buena” de casi 50 mil hectáreas, los cuales de igual forma que en el modelo GFDL 2.0 superan las 570 mil hectáreas, de igual forma la categoría de “Muy Buena” presenta reducciones superiores a las 30 mil hectáreas, observando que los mayores aumentos y reducciones se presentan en la categorías “Baja” y “Mediana” respectivamente, de orden superiores a 97,000 y 116,000 hectáreas respectivamente.

Cuadro 29. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Papa del M.C.G. Hadgen respecto al Actual.

Escenario	No Apto	Baja	Mediana	Buena	Muy Buena
2030a1	1,067.98	211.23	-27.62	10.36	-38.73
2030a2	1,059.58	210.44	-27.86	10.50	-37.94
2030b1	1,118.37	211.75	-26.81	9.62	-38.80
2030b2	1,076.12	211.41	-27.26	10.12	-39.20
2050a1	1,067.98	211.23	-27.62	10.36	-38.73
2050a2	1,059.58	210.44	-27.86	10.50	-37.94
2050b1	1,118.37	211.75	-26.81	9.62	-38.80
2050b2	1,076.12	211.41	-27.26	10.12	-39.20

En el cuadro anterior del modelo Hadgen para la Papa se aprecia una reducción en el área catalogada como “Muy Buena” superiores a las presentadas en el modelo GFDL 2.0, dichas reducciones se encuentran entre un 37.94% para el escenario A2 y 39.92% para el B2 que son superiores en alrededor de 3% a lo del modelo anterior; también se aprecia reducciones en la categoría “Mediana” cercanas al 27%; de forma inversa se aprecia aumentos de área en las categorías inferiores “No Apto” y “Baja” con aumentos de esta segunda superiores a un 210% de su área actual; de manera similar al modelo anterior en la categoría “Buena” se presenta aumentos generales en cada una de las categorías alrededor de 10%.

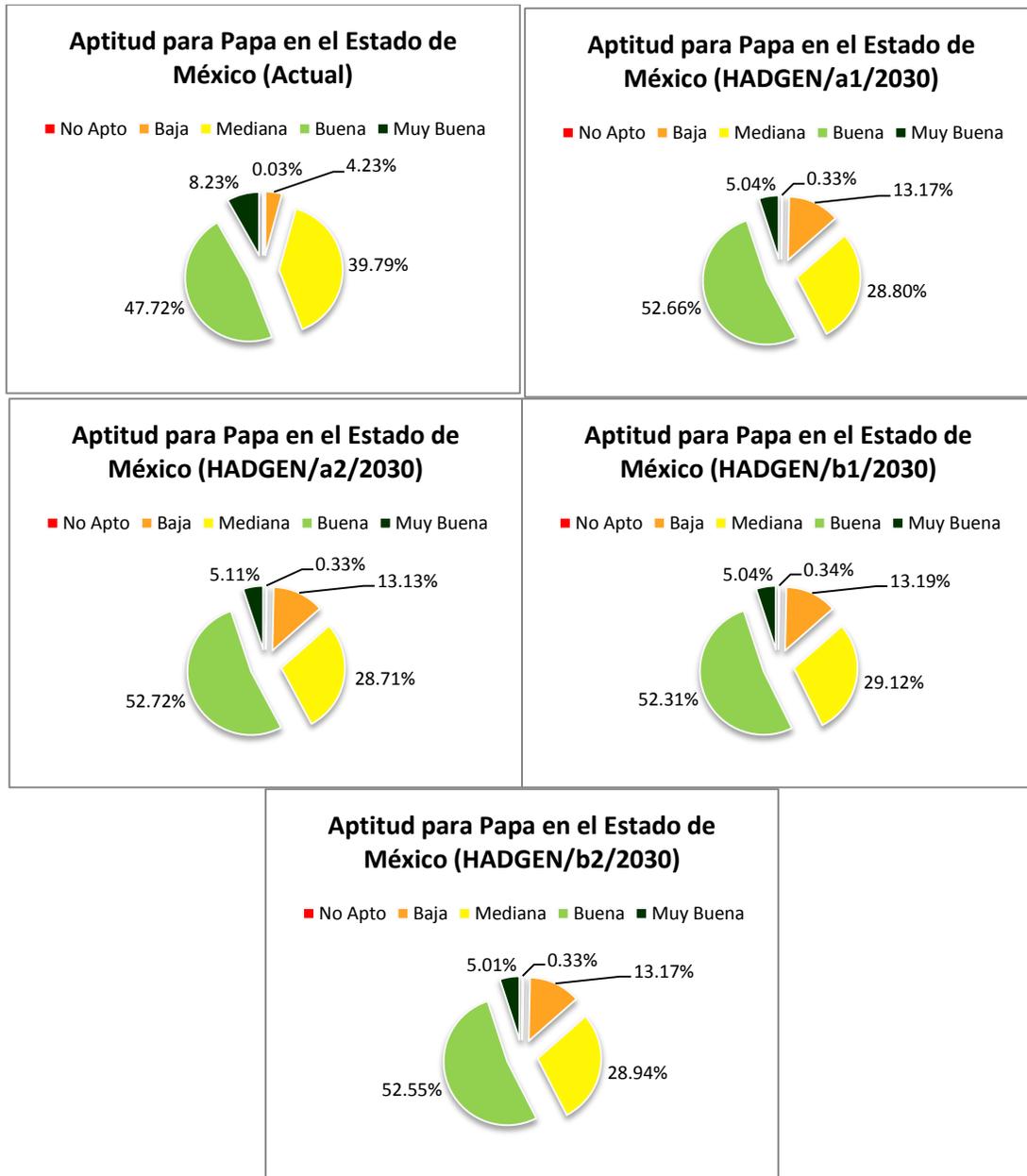


Figura 45. Distribución de área porcentual para Papa por escenario de M.C.G. Hadgen y actual.

En el Conjunto de graficas anteriores (Figura 46Figura 45), podemos observar los cambios en la distribución del modelo Hadgen por cada escenario de este cultivo (*Solanum tuberosum*) presentándose aumentos en la distribución de área con categoría “Baja” cercanas al 9% y en la aptitud “Mediana” reducciones del orden 10 y 11%; en lo que confiere a categorías superiores se aprecia como en la categoría “Buena” aumentos cercanos al 5% y “Muy Buena” reducción de 3% mas de 3 mil hectáreas para esta ultima categoría cambios similares a lo apreciado en el modelo GFDL 2.0.

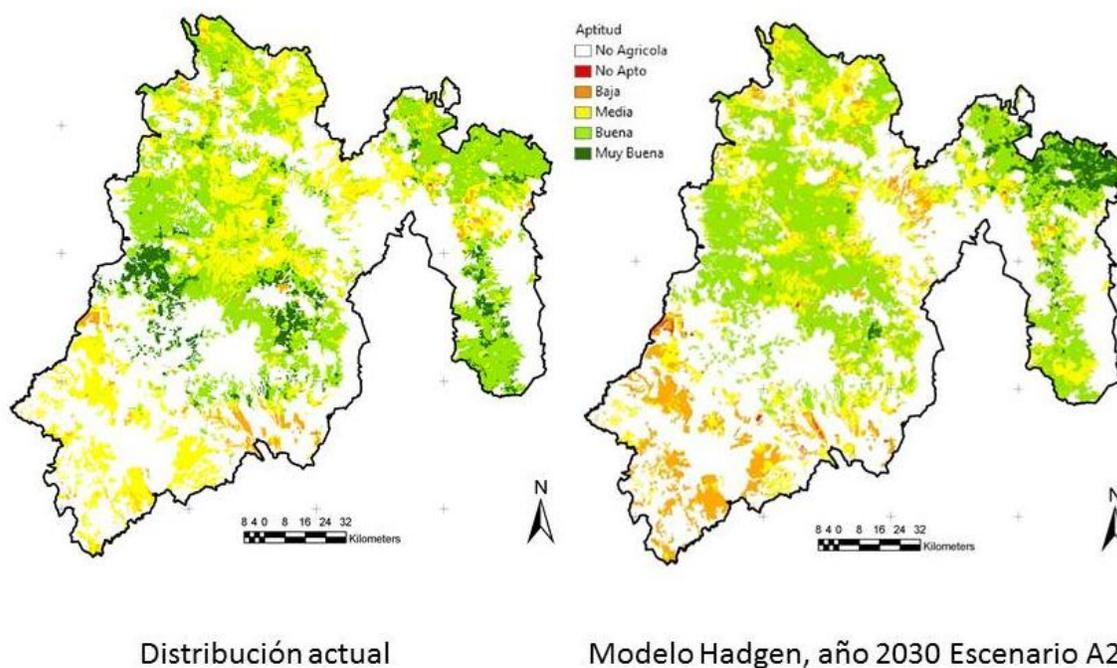


Figura 46. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México; Actual y Modelo Hadgen/2030/A2.

Cuadro 30. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).

Categoría	Actual	2030a1	2030a2
No Apto	306	3,605	3,579
Baja	46,154	143,732	143,367
Mediana	434,176	314,440	313,404
Buena	520,624	574,902	575,619
Muy Buena	89,843	55,078	55,788

En los escenarios de la familia A del modelo Hadgen podemos observar incremento en los valores de la categoría “Buena” con una reducción en la categoría “Muy Buena” en tasas de cambio cercanas a 55,000 y 34,000 hectáreas respectivamente (Cuadro 30), de igual forma se aprecian reducciones cercanas a las 120,000 hectáreas en la categoría de “Mediana”, con aumentos de 97,000 hectáreas para la categoría “Baja” y aproximadamente 3,300 hectáreas perdieron la aptitud para el cultivo de la papa. En lo referente a la forma grafica se pueden apreciar los mismos cambios en la distribución del modelo previo destacando el cambio de aptitud a categorías superiores como “Buena” en la zona central del estado y “Muy Buena” en la región noreste (Figura 46).

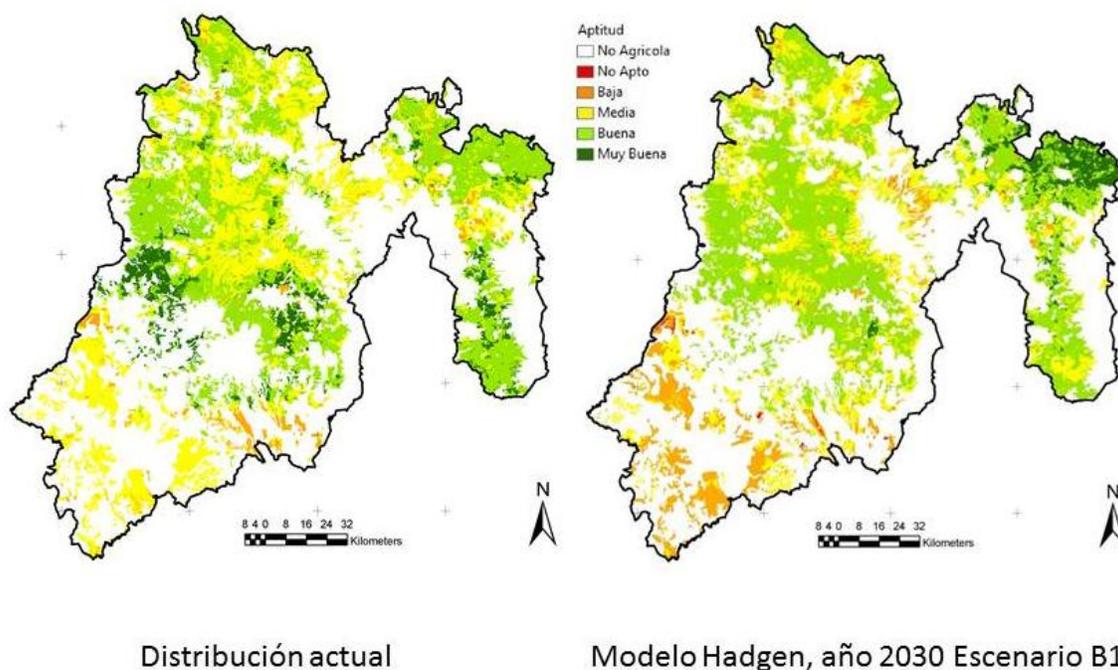


Figura 47. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México; Actual y Modelo Hadgen/2030/B1.

Cuadro 31. Comparación de la distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).

Categoría	Actual	2030b1	2030b2
No Apto	306	3,760	3,630
Baja	46,154	143,970	143,813
Mediana	434,176	317,965	315,993
Buena	520,624	571,048	573,667
Muy Buena	89,843	55,014	54,654

En los escenarios de la familia B del modelo Hadgen podemos observar incremento en los valores de la categoría “Buena” aunque casi 2,000 unidades menores a la familia A en el caso de la reducción en la categoría “Muy Buena” el cambio en numero de hectáreas es similar al observado en los escenarios “A” y mayores a los del modelo GFDL 2.0 (Cuadro 31); algo que se aprecia similar en ambos modelos son las reducciones cercanas a las 120,000 hectáreas en la categoría de “Mediana” junto con los aumentos de alrededor de 97,000 hectáreas para la categoría de “Baja” y aproximadamente 3,000 hectáreas que se incorporaron a la categoría “No apto” para el cultivo de la papa. En la forma grafica se aprecian los mismos cambios en la distribución de los diversos escenarios y modelo previamente analizado (Figura 47).

Modelo MPIECHAM 5

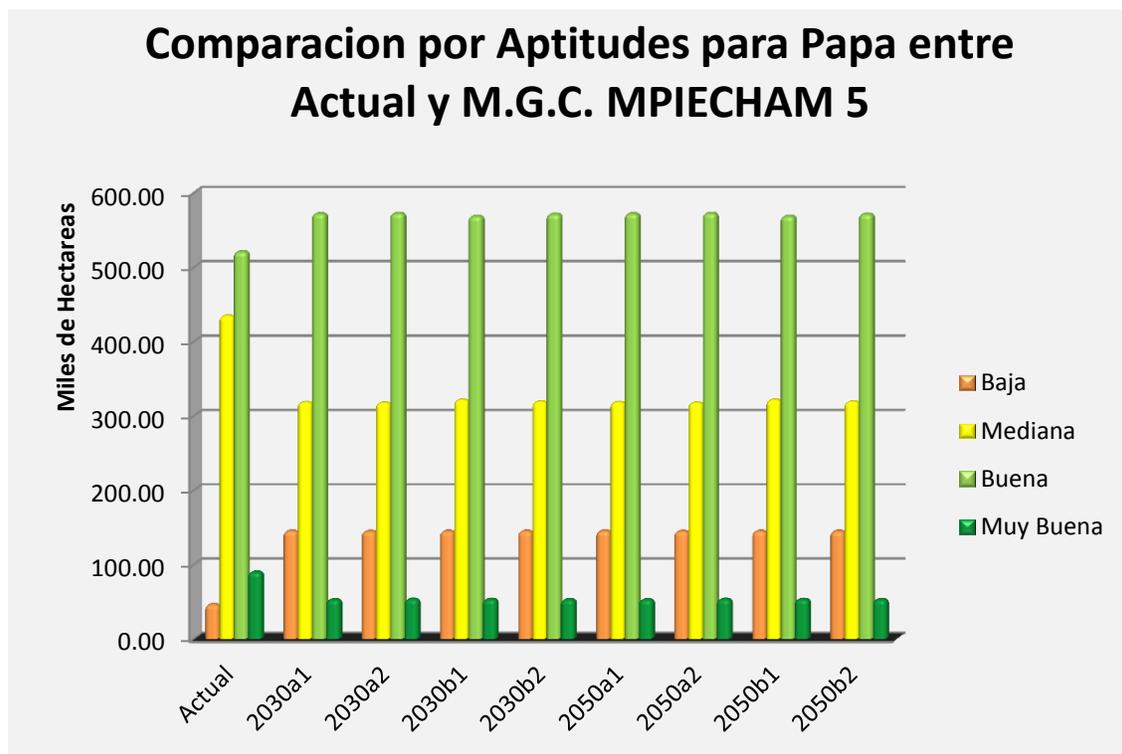


Figura 48. Comparación de Aptitudes para Papa entre los escenarios del M.C.G. MPIECHAM 5 y actualidad.

En la figura anterior (Figura 48) se muestra el comportamiento de las diversas categorías de aptitud para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en el modelo MPIECHAM 5, mostrando la cantidad de área por categoría en la que se distribuye en el Estado de México, la cual es expresada en miles de hectáreas. En general se conserva la tendencia de aumento en la categoría de “Buena” de casi 50 mil hectáreas, donde se obtienen valores cercanos a las 570 mil hectáreas en los diversos escenarios; en cambio, la categoría de “Muy Buena” presenta la mayor reducción que en los otros modelos, la cual es superior a las 36 mil hectáreas; también se aprecian mayores aumentos en la categorías “Baja” y “No Apto” que en los otros modelos; aunque en la categoría “Mediana” presento los menores cambios aun así superaron los 112,000 ha en el mejor de los casos.

Cuadro 32. Cambio Porcentual del Área por Aptitud para Papa del M.C.G. MPIECHAM 5 respecto al Actual.

Escenario	No Apto	Baja	Mediana	Buena	Muy Buena
2030a1	1,109.97	214.19	-26.77	9.82	-41.40
2030a2	1,102.89	213.40	-26.93	9.92	-40.72
2030b1	1,139.63	213.59	-26.05	9.16	-40.87
2030b2	1,108.40	213.75	-26.61	9.70	-41.25
2050a1	1,109.97	214.19	-26.77	9.82	-41.40
2050a2	1,102.89	213.40	-26.93	9.92	-40.72
2050b1	1,139.63	213.59	-26.05	9.16	-40.87
2050b2	1,108.40	213.75	-26.61	9.70	-41.25

Observando Cuadro 32, la superficie actual comparada con la presentada en el modelo Mpiecham 5 para el cultivo de Papa se aprecia una reducción en el área catalogada como “Muy Buena” cercana al 41%, donde el cambio mayor se presenta en el escenario a1 y el menor en el b1; también se aprecia reducciones en la categoría “Mediana” superiores al 26% de forma inversa se aprecia aumentos de área en las categorías inferiores “No Apto” y “Baja” aumentando esta segunda con porcentajes superiores a un 213% de su área actual; de igual forma en la categoría “Buena” se presentan aumentos generales en cada una de las categorías entre un 9 y 10% inferiores a los otros modelos.

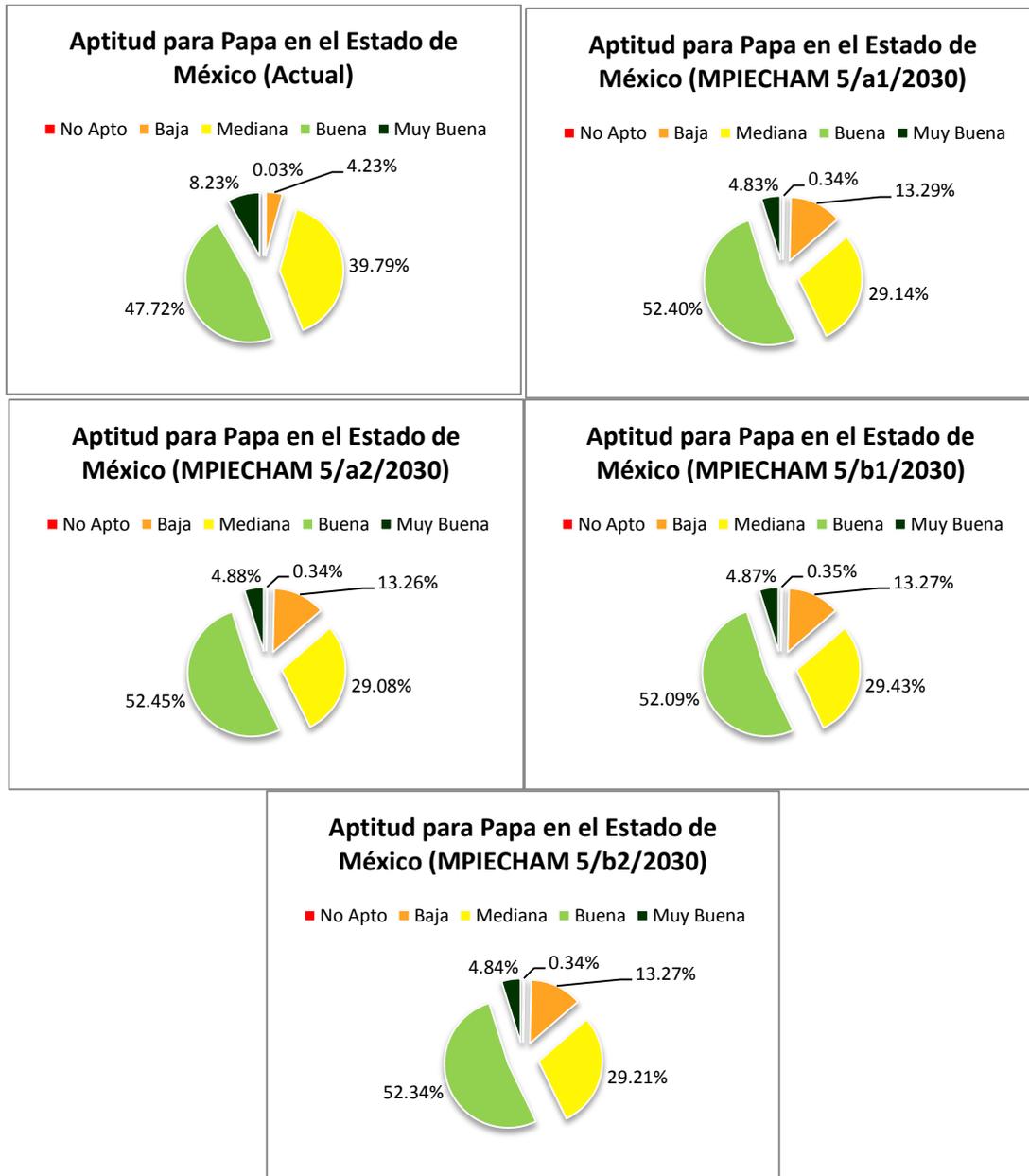


Figura 49. Distribución de área porcentual para Papa por escenario de M.C.G. MPIECHAM 5 y actual.

Al apreciar el conjunto de graficas anteriores (Figura 49; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) podemos observar los cambios en distribución por cada escenario de este cultivo (*Solanum tuberosum*) del modelo MPIECHAM 5, cual presenta cambios en la distribución de área mayores al 10% en la aptitud “Mediana” con una reducción; aumento del 9% en categoría “Baja” y en categorías superiores “Buena” con aumento del 4% y “Muy Buena” reducción cercana al 4%, donde destaca que los cambios mayores y menores en categoría “Baja” y “Muy Buena” se

presentan en escenarios de una misma familia y no entre familias como se aprecia en modelos anteriores.

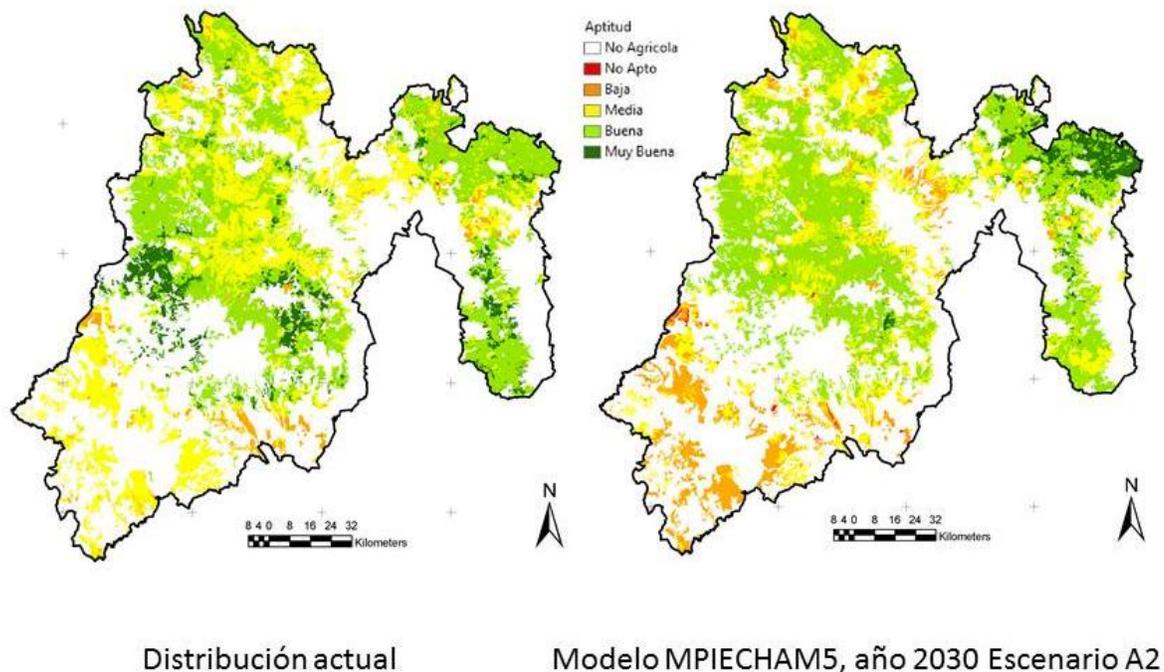


Figura 50. Comparación de distribución de la Aptitud para el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México; Actual y Modelo MPIECHAM 5/2030/A2.

Cuadro 33. Comparación de la distribución de la Aptitud para Papa (*Solanum tuberosum*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios A).

Categoría	Actual	2030a1	2030a2
No Apto	306	3,734	3,712
Baja	46,154	145,097	144,732
Mediana	434,176	318,149	317,435
Buena	520,624	572,095	572,589
Muy Buena	89,843	52,682	53,289

Los escenarios de la familia A del modelo Mpiecham 5 presentan un incremento en los valores de la categoría “Buena” superior a las 51,000 ha con una reducción en la categoría “Muy Buena” con las mayores reducciones, de 36,000 hectáreas (Cuadro 33); de igual forma se aprecia la misma reducción cercana a las 116,000 hectáreas en la categoría de “Mediana”, valores próximos a 98,000 para la categoría “Baja” y más de 3,300 hectáreas perdieron la aptitud para este cultivo. En forma grafica

podemos apreciar que el cambio sigue la tendencia de los cultivos antes analizados y descritos (Figura 50).

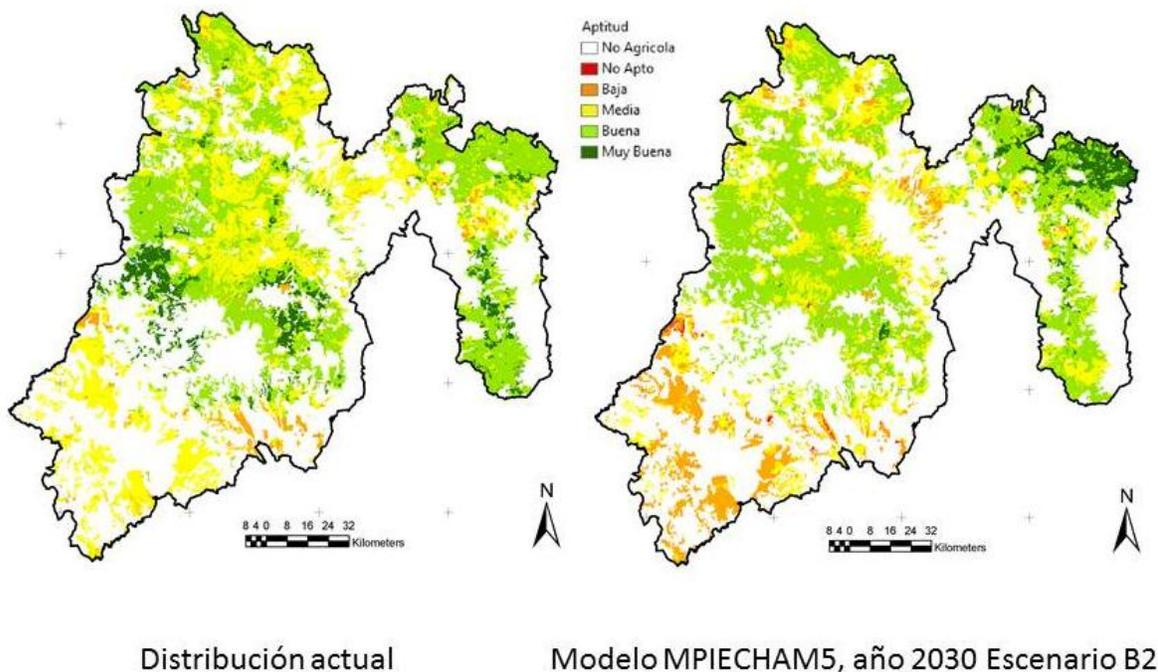


Figura 51. Comparación de distribución de la Aptitud para Papa (*Solanum tuberosum*) en el Estado de México, Actual y Modelo MPIECHAM 5/2030/B2.

Cuadro 34. Comparación de la distribución de la Aptitud para Papa (*Solanum tuberosum*) en hectáreas, para el Estado de México (Escenarios B).

Categoría	Actual	2030b1	2030b2
No Apto	306	3,826	3,729
Baja	46,154	144,822	144,895
Mediana	434,176	321,272	318,854
Buena	520,624	568,678	571,467
Muy Buena	89,843	53,159	52,811

En los escenarios de la familia B del modelo Mpiecham 5 se observan incrementos en los valores de la categoría “Buena” que van desde las 48,000 hasta las casi 51,000 siendo estos los menores incrementos de todos los modelos en esta categoría (Cuadro 34); en la categoría “Muy Buena” se presentaron reducciones con valores similares a los presentes en la familia A de igual forma se aprecia la misma reducción en la categoría “Mediana” aunque las menores de todos los modelos apenas alcanzando las 115,000 hectáreas, en la categoría “Baja” se conservaron

valores próximos a 98,000 y se presentaron el mayor número de hectáreas con pérdida de aptitud con este cultivo con 3,826. En forma gráfica se conservó la tendencia de cambio del cultivo en escenarios y modelos antes analizados y descritos (Figura 51).

Tanto el IPCC como la FAO en sus comunicados señalan que globalmente se dará un aumento en el rendimiento y la producción, si la temperatura no supera los 2 °C como se espera y proyecta en los Modelos de Circulación General (MCG) para el Estado de México y en caso de aumentar más de 2 °C se verá una disminución. Los MGC empleados en este estudio proyectan una reducción en el área con aptitud categorizada como Muy Buena para la producción de maíz (*Zea mays*) en general en el Estado de México.

Algo consistente en todos los modelos para este cultivo fue el aumento marcado en las categorías “Baja” y “No Apto” respectivamente y la pérdida de superficie en la categoría “Muy Buena” con muy pocos aumentos de área en la categoría “Buena”; algo similar se observó en los escenarios para el cultivo de frijol aunque en menores dimensiones y contrastando esto totalmente a lo presentado en el caso del Maíz, el cual presentó grandes aumentos en la categoría “Muy Buena” y pérdidas en “Buena”.

También se debe considerar los aumentos de superficie en las categorías “Baja” y “No Apto”; esto en general para todos los cultivos y en todos los modelos aunque los valores fueron superiores para el cultivo del Frijol e inferiores en el caso del Maíz en cuanto a cantidad de hectáreas, pero en tasa de conversión de la categoría “Baja” se muestran valores similares en el maíz y frijol en todos los modelos.

Comparando este estudio con lo mostrado por Velásquez (2010), en el cual los modelos del cultivo de papa presentan cambios menos bruscos en superficies aptas para sus diversos modelos, las zonas potenciales buenas dominan para todos los años y para ambos escenarios, se sigue un mismo patrón debido a que la superficie de aptitud “Muy Buena” se reduce en comparación con la actual, lo cual puede ocasionar pérdidas de producción estatal como cita el autor.

CONCLUSIONES

Entre las conclusiones podemos decir que los diferentes modelos de evaporación son buenos para estimar la evaporación promedio al utilizar variables como son la altura, precipitación y temperatura media.

La evaporación presentó una amplitud de valores menor que la que se presenta en la actualidad al aumentar la cantidad de precipitación un porcentaje considerable y los aumentos en temperatura se encuentren en menos de 2 °C.

En el modelaje de la aptitud de los cultivos de maíz, frijol y papa, se observa que la categorización y ponderación mediante la metodología de Turrent modificada que se emplea en este estudio muestra una buena representación de las condiciones productivas actuales en las diferentes regiones del Estado de México.

En general podemos observar en los diferentes mapas y modelos de aptitud del cultivo del maíz similitud entre las afectaciones de los diferentes escenarios entre modelos, aunque con diferente magnitud, por el contrario a lo reportado por muchos autores y estudios los cuales reportan pérdida de la capacidad para el cultivo de maíz esto no se cumple en el presente estudio

Aunque se podría considerar que las afectaciones serían benéficas en el cultivo de maíz, al aumentar significativamente el número de hectáreas con aptitud "Muy Buena"; también se debe considerar la reducción en categoría en la zona suroeste del estado en gran cantidad de hectáreas.

El cultivo de la papa en general en la región central del estado presenta una constancia en la aptitud en los diferentes escenarios con aumentos de categoría de "Mediana" a "Buena" y algunas reducciones de "Muy Buena" a "Buena".

Los escenarios del cultivo del frijol son los que presentan una mayor pérdida de áreas con aptitud benéfica para el cultivo, aumentando considerablemente la superficie que presenta categorías inferiores como Bajo y No apto.

En general, se puede mostrar cierta constancia en la distribución espacial de los diversos escenarios mostrando afectaciones negativas en el suroeste del estado y mejorando las aptitudes de la región noreste. Sin embargo, no debemos de olvidar que toda generación de escenarios climáticos lleva consigo cierto grado de incertidumbre y dependiendo la metodología se presentan variaciones en las proyecciones.

Las bases de datos climáticas son parte fundamentales en este tipo de estudios siendo relevante los criterios de selección y edición de valores, esto en casos de falta de datos en periodos de tiempo considerables o mal funcionamiento de las estaciones climáticas.

El empleo de herramientas tecnológicas como software y equipo computacional en este caso de tipo estadístico y Sistemas de Información Geográfica, requiere de conocimiento más especializado; sin embargo, facilita la manipulación y edición de grandes cantidades de información que no es posible manejar y manipular en papelería convencional.

La gran cantidad de datos generados en el estudio al desarrollarse con resolución meso escala o escala media dificulta un análisis estadístico más profundo por la gran cantidad de recursos necesarios para esto; sin embargo, en medida de lo posible se recomienda como posteriores procesos de estudio un análisis con metodología geoestadística.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

Food Agricultur Organization of the United Nations. (2008). Retrieved 2010, from www.fao.org

Ecoaldea. (2009). Retrieved Marzo 2010, from <http://www.ecoaldea.com/plmd/maiz.htm>

Aceves, N. L., Juárez, L. J., Palma, L. D., Rivera, H. B., Rincón, R. J., Morales, C. R., et al. (2009). *Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del Maiz(Zea Mays L.) en el estado de Tabasco*. INIFAP- Gobierno de Tabasco.

Aizpiri, A. G. (2005, Verano). El Cambio Climático como motor de un modelo distinto de desarrollo. *Tiempo de Paz*(77), 5-9.

Altamirado del Carmen, M. A. (2008). Efectos del Cambio Climático y su Impacto Potencial en el sector Hídrico de México. (G. d. Climático, Ed.) Jiutepec, Morelos, Mexico: INE- SEMARNAT.

Altamirano del Carmen, M. A. (2008). "*Efectos del Cambio Climático y su impacto potencial en el sector hídrico de México*" Informe de la Subdirección de Estudios sobre la Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático y Co-beneficios. Morelos, México: Estrategia Nacional de Accion Climatica. Instituto Nacional de Ecología.

Altamirano del Carmen, M. A. (2008, Julio 1). Adaptacion al cambio climático: Hermosillo, Sonora, estudio de caso. *Efectos del Cambio climático y su Impacto Potencial en el sector Hídrico de México*. Jiutepec, Morelos, México: INE- SEMARNAT.

Altieri, M. (2009). Biotecnología agrícola en el mundo en desarrollo mitos, riesgos y alternativas. *Ciencias*, 100-113.

Arquitectura Justo Sierra. (2007). *Arquitectura Justo Sierra*. Retrieved Diciembre 2010, from Diseño Arquitectonico V para entornos diversos: <http://arq-js.blogspot.com/2007/10/estado-de-mexico-orografia-hidrografia.html>

Arreguín, C. F. (2008, Enero). La Política Pública y el cambio climático: el ciclo hidrológico de México. *Efectos del cambio climático y su impacto potencial en los recursos hídricos de México*. México, Distrito Federal, México: Asociación Mexicana de Hidráulica, Comisión Nacional del Agua.

Arroyo, N. (2001). El impacto del Cambio Climatico en la produccion de hortalizas, el caso del tomate rojo. *Datos Publicacion*, México.

Athenhortúa, G. L. (2007, Julio-Diciembre). Bioagricultura urbana y cambio climático. *Produccion +limpia*, 2(2), 72-89.

- Avila, M., Arellano, J., Virgen, J., & Gámez, A. (2009). H-52 Híbrido de Maíz para Valles Altos de la Mesa Central de México. *Agricultura Técnica en México*, Vol. 35, Núm.2, 237-240.
- Banxico. (2011, Febrero). *Banco de México*. Retrieved Mayo 20, 2011, from www.bancomex.com.mx
- Barrera, T. M. (2007, Mayo 25). El Presidente Calderón en la Estrategia Nacional de Cambio Climático. *Sala de Prensa de Presidencia de la Republica*.
- Barrios, E., & López, C. (2009). Temperatura base y tasa de extensión foliar en Frijol. *Agrociencia*, Vol.43 Núm.1, 29-35.
- Bono, E. (2008). Cambio climático y sustentabilidad económica y social: implicaciones sobre el bienestar social. *Revista Economía*(61), 51-72.
- Bosque, S. J. (2004). SIG y evaluación multicriterio. México, Distrito Federal.
- Carabias, J., & Landa, R. (2005). Vulnerabilidad Información Climática y Riesgos Hidrometeorológicos. In J. Carabias, R. Landa, J. Collado, & P. Martinez, *Agua, Medio Ambiente y Sociedad. Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México* (pp. 106-117). México: UNAM, COLMEX, Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London. (2001). *Can Geocomputation Save Urban Simulation? Throw some agents into the mixture, simmer and wait...* Londres: UCL Working Papers Series.
- Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM. (2008). *Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático a escala Regional*. México, D.F.: UNAM.
- Comisión Intersectorial de Cambio Climático. (2007). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. México, D.F.: SEGOB.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. (1988). *Nuestro Futuro Común*. Madrid: Alianza.
- Comite Intersecretarial sobre Cambio Climático. (2000). *Estrategia Nacional de Acción Climática*. México: CICC.
- Comité Intersecretarial sobre Cambio Climático. (2001). *México. 2a Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. México: INE- SEMARNAT.
- Conde, C., & Gay, C. (2008). *Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático a Escala Regional*. México, D.F.: Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM.
- Conde, C., Ferrer, R. M., Gay, C., & Araujo, R. (2003). Impactos del cambio climático en la agricultura de México. *Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM*.

- Cornell Road Sustainability Coalition. (2010). *Cornell road Sustainability Coalition Vision Statement*. Portland.
- Costa, P. C. (2007). La Adaptación al Cambio Climático en Colombia. *Revista de Ingeniería*.
- Díaz, A., Alvarado, M., Cantu, M., & Garza, I. (2005). Fertilización Biológica y Producción de maíz en la región semiárida del norte de Tamaulipas, México. *Agricultura Técnica en México Vol. 31 Núm. 002*, 153-163.
- Duarte, C. (2006). *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre la Tierra*. Madrid: CISC.
- Educadores por la sostenibilidad. (2008). Cambio Climático: Una Innegable y Preocupante Realidad. *Eureka. Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 237-242.
- Enciclopedia libre universal en Español. (2008). *WIKIPEDIA*. Retrieved Marzo 2010, from <http://es.wikipedia.org/wiki/Maiz>
- Espinosa, A., Tadeo, M., Turrent, A., Gómez, N., Sierra, M., Palafox, A., et al. (2009). El potencial de las variedades nativas y mejoramiento de maíz. *Ciencias, Núm. 92-93*, 118-125.
- FAO. (2007). *Food and Agriculture Organization of United Nations*. Retrieved Diciembre 2009, from <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home>
- FAO. (2009). Cosechando los múltiples beneficios de la agricultura: Mitigación, Adaptación, Desarrollo y Seguridad Alimentaria. *Sumario de Política*.
- Flores, H. E., & Ruiz, C. J. (1998). Estimación de la Humedad del Suelo para Maíz de Temporal Mediante un Balance Hídrico. *TERRA Latinoamericana*, 219-229.
- García, V. J. (2007). La necesidad de incorporar el Cambio Climático en las Políticas de desarrollo. *Cuadernos de Difusión*, 97-113.
- Gobierno del Estado de México. (2010, Julio). *Portal del Estado de México*. Retrieved septiembre 2010, from Portal del Estado de México: www.edomex.gob.mx
- Gobierno del Estado de México. (2010). *Secretaría del Medio Ambiente*. Retrieved Noviembre 2010, from <http://www.edomex.gob.mx/medioambiente>
- Godenau, D., Hernández, L. M., & Febles, R. M. (2004). Tipificación de zonas rurales a través del análisis multivariante de información extraída de sistemas de información geográfica. El caso Tenerife. *Estudios Agrosociales y Pesqueros*(203), 85-109.
- Gonzalez, C. J. (2008, Julio). Impacto del cambio climático en la agricultura. *Efectos del Cambio Climático y su Impacto Potencial en el Sector Hídrico de México*. Jiutepec, Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

- Gonzalez, C. J., Mailhol, J. C., & Ruget, F. (2008). Impactos locales esperados del aumento de CO2 en la Atmosfera sobre la Productividad del Maiz en la Cuenca del Rodano, Francia. *Irrigation and Drainage*(57), 229-243.
- Gore, A. (2007). *Una verdad incomoda*. Barcelona: Gedisa S.A.
- Grupo de Trabajo para Estrategias y Políticas de Adaptación, de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático y Programas Estatales de Cambio Climático. (2009). *Política ambiental en materia de Cambio Climático*. México: Comisión Intersecretarial de Cambio Climático.
- Guerra, A. R. (2008, Junio). Difusión de la Información sobre Cambio Climático. Jiutepec, Morelos, México.
- Hasen, J., Sato, M., Masson-Delmotte, V., Pagani, M., Raymo, M., Kharecha, P., et al. (2008). Target Atmospheric CO2; Where Should Humanity Aim? *Open Atmospheric Science Journal*, 2, 217-231.
- Hernandez, B. L., Álvarez, J. A., Perez, M. M., Martínez, A. P., Ojeda, B. W., & Patiño, G. C. (2006). Efectos del Cambio Climático en la Planeación de los Sistemas de Recursos Hídricos en la Cuenca del Jucar, España. In *"Efectos del Cambio Climático en las Demandas Agrícolas en el Mediterráneo Español"*. España.
- Hijmans, R. T., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*(25), 1965-1978.
- Huaxia, Y., Terakawa, A., & Michio, H. (1997). Predicting future changes in climate and evaporation by a stepwise regression method. *Proceedings of Rabat Symposium S1* (pp. 339-346). Rabat: IAHS Publ.
- INE- SEMARNAT. (2004). *Adaptacion al Cambio Climático: Hermosillo, Sonora, Un Caso de Estudio*. México: Stratus Consulting, Inc., UNAM y Colegio de Sonora. INE-SEMARNAT.
- INE- SEMARNAT. (2006). *EL CAMBIO CLIMATICO. EL dia que me cambio el Clima*. México: SEGOB.
- INE SEMARNAT. (2006). *Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México, D.F.: INE, SEMARNAT, PNUD México, EPA, Global Environment Facility.
- INE- SEMARNAT. (2008). *Comunicación y Difusión en materia de Cambio Climático*. México: INE-SEMARNAT.
- INEGI. (1999). *Cuaderno Estadístico del Estado de México*. México D.F. : INEGI.
- INEGI. (2010). *Cuentame*. Retrieved Septiembre 2010, from <http://cuentame.inegi.org.mx>

- INEGI. (2010). *INEGI*. Retrieved Diciembre 2010, from <http://mapserver.inegi.gob.mx/>
- INEGI. (2010). *INEGI Servidor Cartografico*. Retrieved Diciembre 2010, from <http://mapserver.inegi.gob.mx>
- INE-SEMARNAT. (2003). *Avances de México en Materia de Cambio Climatico 2001-2002*. México, D.F.: SEGOB.
- INIFAP, CENID-COMEF. (2009). *Metodologia para Acciones Climaticas*. Mexico, D.F.: INIFAP.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. IPCC.
- IPCC. (2007). *Working Group II Contributon to the Intergovernment Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, Climate Change 2007, Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers*. IPCC.
- Islas, J., & Islas, F. (2001). Rentabilidad de los cultivos de amaranto y maíz para grano en la zona central de México. *Agricultura Técnica en México, Vol.27 Núm. 002*, 143-151.
- Jimenez, R. A., & Menredey, R. L. (2004, enero-junio). Modificaciones del Ciclo del Agua en la cuenca del Rio Panuco ante el cambio climatico global. *Revista Geografica*(135).
- Lobell, D. B., & Field, C. B. (2008). Estimation of carbon dioxide (CO₂) fertilization effect using growth rate anomalies of CO₂ and crop yields since 1961. *Global Change Biology*(14), 39-45.
- López, C. I., Ramírez, A. A., Ojeda, B. W., & Rojano, A. A. (2008). *Modelación Biológica como herramienta para estudiar el comportamiento de cultivos bajo escenarios de cambio climático*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Magaña, R. V., & Gay, G. C. (2002). Vulnerabilidad y adaptación regional ante el Cambio Climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica*(065), 7-23.
- Magaña, V., & Ambrizzi, T. (2005). Dynamics of subtropical vertical motios over the Americas during El Niño boreal winters. *Atmosfera*(18), 211-234.
- Manning, J. A., & Garton, E. O. (2012). Reconstructing historical snow depth surfaces to evaluate changes in critical demographic rates and habitat components of snow-dependent and snow-restricted species. *Methods in Ecology and Evolution*(3), 71-80.
- Martinez, J., & Fernandez, B. A. (2004). *Cambio Climático una visión desde México*. México: INE-SEMARNAT.
- Matías, J. (2006). *Introducción a la Ciencia del Clima*. México: UNAM.

- Montero, M. M., & Perez, L. J. (2008). *Regionalización de proyecciones climáticas en México de precipitación y temperatura en superficie usando el método REA para el siglo XXI*. México: INE-SEMARNAT.
- Mora, M., Ordaz, V., & Castellanos, J. (2003). Rendimiento de maíz y frijol en dos tipos de labranza en un suelo Vertisol. *Agricultura Técnica en México*, 179-192.
- Nebojsa, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., et al. (2000). *Special Report of Emissions Scenarios (SRES)*. IPCC.
- NEOfrontera. (2008, Noviembre 12). *Neofrontera*. Retrieved Noviembre 2009, from <http://www.neofrontera.com>
- Ojeda, B. W. (2008, Julio). Repercusiones del cambio climático en la agricultura. *Taller de cambio climático*. México, Distrito Federal, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Ojeda, B. W., Martínez, A. P., & Hernández, B. L. (2008). Repercusiones del cambio climático en la agricultura de riego. In IMTA, *Efectos del Cambio Climático en los recursos hídricos de México*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Pearce, F. (2007). *La última generación*. Benasque: Barrabes.
- Perez, L. J., & Solís, A. J. (2008). *Avances en la implementación de un método de reducción de escala (downscaling) dinámico utilizando las salidas del modelo CCSM3*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Presidencia de la República. (2007, Mayo 25). Diversas intervenciones en el evento Estrategia Nacional de Cambio Climático. *Sala de Prensa de Presidencia de la República*.
- Ramírez, A. J. (2008). Respuesta de los cultivos ante el cambio climático. *Reunión sobre efectos del cambio climático*. Chapingo, Estado de México, México: Asociación Mexicana de Hidráulica.
- Rojano, A., & Waldo, O. (2008, Julio). Planes y Acciones en la Agricultura. Chapingo, Estado de México, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Rojano, A., Salazar, R., Ojeda, W., & López, I. (2008). Agricultura y cambio climático. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Rosales, R., Ochoa, R., & Acosta, J. (2001). Fenología y rendimiento del Frijol en el altiplano de México y su respuesta al fotoperiodo. *Agrociencia*, 513-523.
- Rubio, C. O., Almeyda, L. I., Ireta, M. J., Sánchez, S. J., Fernández, S. R., Borbón, S. J., et al. (2006, Mayo- Agosto). Distribución de la punta morada y bactericera cockerelli sulc. en las principales zonas productoras de papa en México. *Agricultura Técnica en México*, 32(002), 201-211.

- Ruiz, C. J., Ramírez, D. J., Flores, M. F., & Sánchez, G. J. (2000). Cambio Climático y efectos sobre las áreas potenciales para Maíz en Jalisco, Mexico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 183-193.
- Ruiz, R. M. (2007). El Impacto del Cambio Climático en los Sistemas Agrarios de los Países en Desarrollo. *Tiempo de Paz*, España.
- Sáenz, R. C., Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Duval, P., St-Amant, R., Beaulieu, J., et al. (2009). Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for México and their use in understanding climate-change impacts on vegetation. *Climatic Change*.
- SAGARPA-SIAP. (2009). *SIAP*. Retrieved Abril 2010, from <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- SAGARPA-SIAP. (2009). *SIAP*. Retrieved Abril 2010, from <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- SAGARPA-SIAP. (2010). *SIAP*. Retrieved Junio 2010, from <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- Sanchez, C. E. (2008, Junio- Julio). Programa Nacional Hídrico (PNH) y el Cambio Climático (CC). *Efectos del Cambio Climático y su Impacto Potencial en el Sector Hídrico de México*. Jiutepec, Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Subcoordinación de Gestión Integrada del Agua.
- Sanchez, K., Jimenez, F., Velásquez, S., Piedra, M., & Romero, E. (2004). Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. *Comunicación Técnica*, 88-95.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2010). *Gobierno del Estado de México*. Retrieved Noviembre 2010, from <http://www.edomex.gob.mx/medioambiente>
- Segura, J. (2002). *Manual de SAS para Principiante*. México, D.F.: Garcia Ediciones.
- Soria, R. J. (2009). *Superficies cultivadas y mapeo de rendimientos del maíz a nivel municipal Estado de México*. Toluca, Mexico: INIFAP CIR Centro.
- Sotelo, E., Gutiérrez, M. d., Ortiz, C., & Acosta, J. (2004). Zonificación Agro-ecológica para Frijol con información edafológica generada por clasificación campesina de tierras. *Agricultura Técnica en México*, 183-190.
- Sotelo, E., Ortiz, C., & Rizo, M. (2000). Generación de un modelo matemático para calcular la evaporación en el Estado de México. *Agricultura Técnica en México*, 151-158.
- Sotelo, N. J. (2005). Los contextos del Cambio Climático, en el ámbito del desarrollo sostenido. *Tiempo de Paz*(77), 14-26.
- Sotelo, R. E., Gutiérrez, C. M., Ortiz, S. C., & Acosta, G. J. (2004). Zonificación Agro-ecológica para Frijol con información Edafológica generada por la clasificación campesina de tierras. *Agricultura Técnica en México*, 30(002), 183-190.

- Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. (2008). *Acciones de México de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático Global*. México: SEMARNAT.
- Tait, A., Henderson, R., Turner, R., & Zheng, X. (2006). Thin plate smoothing spline interpolation of daily rainfall for New Zealand using a climatological rainfall surface. *International Journal of Climatology*(26), 2097-2115.
- Talavera, R. A. (2008, Julio). Análisis FODA sobre Cambio Climático en el Sector Hídrico y planteamiento de estrategias. *Curso- Taller sobre Cambio Climático*. México, Distrito Federal, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Tinoco, C., Ramírez, A., Villareal, E., & Ruiz, A. (2008). Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento. *Agricultura Técnica en México, Vol. 34, Núm.3*, 271-278.
- Torriani, D., Calanca, P., Lips, M., Ammann, H., Beniston, M., & Fuhrer, J. (2007). Regional assessment of climate change impacts on maize productivity and associated production risk in Switzerland. *Regional Environ Change*(7), 209-221.
- Turrent, A. (2009). El potencial productivo del maíz. *Ciencias Núm.92-93* , 126-129.
- Turrent, A., Laird, R., Cortes, J., & Barrios, A. (2005). Revisiting Agrosystem Productivity: II Validity for Adapting technology to Maize in México. *Agrociencia Vol.39 Núm. 002*, 149-159.
- Turrent, F. A. (1986). Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana. *Colegio de Postgraduados*.
- Turrent, F. A., Laird, R. J., Cortés, F. J., & Barrios, A. A. (2005, Marzo-Abril). Revisiting Agrosystem Productivity: II Validity for Adapting Technology to Maize in México. *Agrociencia, 39*(002), 149-159.
- U.C.M. Servicios Informáticos de Apoyo a Docencia e Investigación. (2004). *Curso de Introducción a la Programación SAS v8*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Urbina, S. J., & Martínez, F. J. (2006). *MÁS ALLA DEL CAMBIO CLIMÁTICO. Las dimensiones Psicosociales del cambio ambiental Global*. México: SEMARNAT, INE, UNAM Facultad de Psicología.
- Valpreda, E. C. (2007). Sistema de Información Geográfica (SIG)- Teledetección y evaluación multicriterio (EMC) en un estudio de evaluación de impacto ambiental (EIA). *CIFOT*.
- Vargas, V. M., Maruaga, M. J., Pérez, H. P., Gill, L. H., Esquivel, E. G., Martínez, D. M., et al. (2008, Octubre-Noviembre). Caracterización Morfoagronómica de la colección núcleo de la forma cultivada de Frijol común del INIFAP. *Agrociencia, 42*(7), 787-797.

Velasco, A. E. (2010). *Impactos y consecuencias en las actividades pecuarias a causa del Cambio Climático en el Estado de México*. México, D.F.: UNAM; Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía.

Velazquez Alfaro, V. E. (2010). *Efectos del Cambio Climático en el sector primario de dos especies de importancia económica para el Estado de México*. Mexico D.F.: Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras; UNAM.

Wilby, R. L., Dawson, C. W., & Barrow, E. M. (2002). SDSM- a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 145-157.

Paginas web

<http://www.ecoaldea.com/plmd/maiz.htm>

<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>

<http://es.wikioedia.org>

<http://www.apac-eureka.org/revista>.

<http://www.fao.org/documents/index.asp?lang=es>

<http://www.fao.org/docrep/008/a0015s/a0015s00.htm#Contents>

<http://www.fao.org/docrep/003/w1358s/w1358s00.htm#TopOfPage>

<http://www2.ine.gob.mx/emapas/>