



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**“IMPACTOS Y CONSECUENCIAS EN LAS ACTIVIDADES
PECUARIAS A CAUSA DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN EL ESTADO DE MÉXICO”.**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

Presenta:

ELIZABETH LIZ VELASCO ALCÁNTARA

ASESOR:
M.C FRANCISCO MORENO SÁNCHEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. 2010



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.

CON TODO MI AMOR A ELÍAS VELASCO GARCÍA

OPPA!!!

¡GRACIAS POR TODO LO QUE HICISTE POR MÍ, POR APOYARME, ESCUCHARME,
QUERERME TANTO Y SOPORTARME.

PORQUE JUNTOS COMPARTIMOS IDEAS, ILUSIONES, SUEÑOS, TRISTEZAS Y
MUCHO, MUCHO MÁS!!!

POR SER LO MÁS IMPORTANTE EN MI VIDA Y PORQUE NUESTROS CORAZONES
ESTARÁN CERCA SIEMPRE EN ESTA Y EN OTRA VIDA.

GRACIAS



AGRADECIMIENTOS

A mi abuelita Alejandra por haber sido una mujer increíble, porque me quiso tanto como yo a ella y porque me dejó muchas enseñanzas que no olvido. A mi papá por estar siempre a mi lado, los que nunca están de acuerdo conmigo: Maribel, Azucena, Rafael, Erik y el pequeño Elías y sin embargo estamos juntos familia.

A mi tías Margarita y Ma. Elena por su apoyo y porque siempre me consienten, en especial tía Victoria por estar siempre cerca de nosotros y dispuesta a apoyarnos. A Rocío por enseñarme cosas útiles y ser un gran ejemplo para mí.

A Francisco Moreno Sánchez por ayudarme a desarrollar el trabajo de tesis, calmarme en momentos de histeria, tenerme paciencia y sobre todo brindarme su ayuda en momentos difíciles, mil gracias, aprendí mucho.

Agradezco a José Santos Morales Hernández, Ma. Teresa López Castro, José Mario F. Esquivel Mota y Angélica Margarita Franco González por haber aceptado ser parte del sínodo de esta Tesis, porque sus comentarios mejoraron mucho el trabajo y sobre todo porque en sus clase aprendí que la Geografía tiene muchos caminos y más allá de los libros mantener una relación con la naturaleza y el medio, por darme palabras de aliento para seguir y cada día aprender algo más.

Al laboratorio de Geomática de INIFAP y a CONACYT por brindarme la oportunidad de realizar esta Tesis, a Antonio González H. por explicarme con manzanitas cuando tenía dudas en el manejo de SIG.

A Elisa y Susy por estar en las buenas y en las malas pero siempre juntas y aunque las tres somos bien diferentes y vemos varios enfoques, seguimos y seguiremos unidas, por algo somos grandes amigas. A las chicas: Miriam, Mine, Cintia, Telly y Adri porque vivimos muchas aventuras y anécdotas increíbles, las quiero muchísimo☺, a mis amigos Erick aunque aparece y desaparece lo quiero y a mi mejor amigo Omar por siempre hacerme reír, ayudarme y confiar en mí. A Erika y Mariana porque compartimos estrés, chime, dudas y soluciones en nuestras respectivas tesis.

Y por supuesto a la Universidad Nacional Autónoma de México por ser parte de la comunidad estudiantil, apoyar mi formación y mantener una identidad universitaria.

INDICE	Página
Introducción	10
Justificación	13
Objetivos	13
Hipótesis	14
Supuestos	14
Antecedentes	14
REVISIÓN DE LA LITERATURA	
CAPITULO I. CAMBIO CLIMÁTICO Y ESCENARIOS CLIMATICO	
1.1 Definición de Cambio Climático	17
1.2 Causas externas del Cambio Climático	17
1.3 Causas internas del Cambio Climático	18
1.4 Impactos del Cambio Climático	20
1.5 Cambio Climático en México	21
1.6 Cambio Climático en la agricultura	22
1.7 Modelos Climáticos	23
1.8. Modelos de Circulación General (MCG)	24
1.8.1 Modelo climático GFDL2	24
1.8.2 Modelo climático HADGEM	24
1.8.3 Modelo climático ECHAM 5	25
1.9 Escenarios de Cambio Climático	25
CAPITULO II. ZONAS AGROECOLÓGICAS, POTENCIAL PRODUCTIVO Y REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS	
2.1 Zonas Agroecológicas	30
2.2 Factores que determinan la Zonificación Agroecológica	31
2.3 Potencial Productivo	33
2.4 Requerimientos agroecológicos de los cultivos forrajeros	34
2.4.1 Alfalfa	34
2.4.2 Avena	35
2.4.3 Cebada	36
2.4.4 Maíz	38
2.4.5 Pastos	41
2.4.6 Sorgo	44
CAPITULO III. ÁREA DE ESTUDIO: Generalidades del Estado de México	
3.1 Ubicación del área de estudio	46
3.2 Hidrografía y relieve	47
3.3 Geología	48
3.4 Clima	49
3.5 Suelo	50
3.6 Vegetación	51
3.7 Uso potencial de la tierra	52
3.8 Aspectos económicos y sociales del Estado de México	52

CAPITULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Sistemas de Información Geográfica	54
4.2 Selección de especies forrajeras	55
4.3 Clasificación de aptitud	55
4.4 Reclasificación de Temperaturas y precipitaciones actuales	55
4.5 Altitud	56
4.6 Pendiente	56
4.7 Tipo de suelo	56
4.8 Cuerpos de agua y zonas urbanas	56
4.9 Modelos GFDL2, HADGEM y ECHAM5	56
4.10 Reclasificación para los escenarios GFDL2, HadGEM y ECHAM5	58
4.11 Suma de variables en Arc Gis 9.3	59
4.12 Determinación de áreas potenciales	59

CAPITULO V. RESULTADOS

5.1 Modelo GFDL2	60
5.2 Modelo HadGEM	63
5.3 Modelo ECHAM5	65
5.4 Áreas potenciales por cultivo	67
5.4.1 Alfalfa	67
5.4.2 Maíz	94
5.4.3 Pastos	119
5.4.4 Eliminación del cultivo de avena, cebada y sorgo de los MCG	145
Otras Consideraciones	149
Conclusiones	150
Recomendaciones	154
Fuentes	160

INDICE DE FIGURAS

	Página
1 Escenarios SRES	28
2 Familias de escenarios, su historia narrativa y sus características principales	29
3 Localización del Estado de México	46
4 Hidrografía del Estado de México	47
5 Geología del Estado de México	48
6 Climas del Estado de México	49
7 Suelos del Estado de México	50
8 Vegetación y agricultura del Estado de México	51
9 Modelos CGM ajustados por la UNAM a 10 km.	57
10 Obtención de mapas para cambio climático	58
11 Aptitud actual para el cultivo de alfalfa en el Estado de México	68
12 Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo GFDL2, año 2030	70
13 Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo GFDL2, año 2050	70
14 Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2030	72

15	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2050	72
16	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2030	74
17	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2050	74
18	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2030	76
19	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2050	76
20	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo HADGEM, año 2030	78
21	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo HADGEM, año 2050	78
22	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo HADGEM, año 2030	80
23	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo HADGEM, año 2050	80
24	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo HADGEM, año 2030	82
25	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo HADGEM, año 2050	82
26	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo HADGEM, año 2030	84
27	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo HADGEM, año 2050	84
28	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2030	86
29	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2050	86
30	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo ECHAM5, año 2030	88
31	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo ECHAM5, año 2050	88
32	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2030	90
33	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2050	90
34	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2030	92
35	Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2050	92
36	Aptitud actual para el cultivo de maíz en el Estado de México	95
37	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo GFDL2, año 2030	96
38	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo GFDL2, año 2050	97
39	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2030	98
40	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2050	99
41	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2030	100
42	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2050	101
43	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2030	102
44	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2050	102
45	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo HADGEM, año 2030	104
46	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo HADGEM, año 2050	104
47	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo HADGEM, año 2030	106
48	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo HADGEM, año 2050	106
49	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo HADGEM, año 2030	108
50	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo HADGEM, año 2050	108
51	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo HADGEM, año 2030	110
52	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo HADGEM, año 2050	111
53	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2030	112
54	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2050	113
55	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo ECHAM5, año 2030	114
56	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo ECHAM5, año 2050	115
57	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2030	116
58	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2050	117
59	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2030	118
60	Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2050	119

61	Aptitud actual para el cultivo de pastos en el Estado de México	121
62	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo GFDL2, año 2030	122
63	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo GFDL2, año 2050	123
64	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2030	124
65	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2050	125
66	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2030	126
67	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2050	127
68	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2030	128
69	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2050	129
70	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo HADGEM, año 2030	130
71	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo HADGEM, año 2050	131
72	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo HADGEM, año 2030	132
73	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo HADGEM, año 2050	133
74	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo HADGEM, año 2030	134
75	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo HADGEM, año 2050	135
76	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo HADGEM, año 2030	136
77	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo HADGEM, año 2050	137
78	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2030	138
79	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2050	139
80	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo ECHAM5, año 2030	140
81	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo ECHAM5, año 2050	141
82	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2030	142
83	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2050	143
84	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2030	144
85	Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2050	145
86	Aptitud actual para el cultivo de avena en el Estado de México	147
87	Aptitud actual para el cultivo de cebada en el Estado de México	148
88	Aptitud actual para el cultivo de sorgo en el Estado de México	149

INDICE DE GRÁFICAS

	Página
1. Índice de rendimiento por hectárea de maíz forrajero en el Estado de México.	41
2. Comparación de temperaturas medias anuales en el Estado de México, entre la actual y el modelo GFDL2	60
3. Incrementos de temperatura para el año 2030 y 2050 en el modelo GFDL2.	61
4. Incrementos de precipitación para el año 2030 y 2050 en el modelo GFDL2.	62
5. Incrementos de temperatura para el año 2030 y 2050 en el modelo HadGEM	63
6. Incrementos de precipitación para el año 2030 y 2050 en el modelo HadGEM	64
7. Incrementos de temperatura para el año 2030 y 2050 en el modelo ECHAM	66
8. Incrementos de precipitación para el año 2030 y 2050 en el modelo ECHAM	67

9. Aptitud del terreno actual, para el cultivo de alfalfa (Superficie en porcentaje)	67
10. Aptitud del terreno actual, para el cultivo de maíz, superficie en porcentaje (%)	94
11. Aptitud del terreno actual, para el cultivo de pastos superficie en porcentaje (%)	120
12. Aptitud del terreno actual para el cultivo de avena Superficie en porcentaje	147

INDICE DE TABLAS

	Página
1. Taxonomía de la Alfalfa	34
2. Taxonomía de la Avena	35
3. Taxonomía de Cebada	37
4. Taxonomía de Maíz	38
5. Taxonomía de Pastos	41
6. Taxonomía de Sorgo	44
7. Incrementos de temperatura para el año 2030 y 2050 con el modelo GFDL2	61
8. Incrementos de precipitación para el año 2030 y 2050 con el modelo GFDL2	62
9. Incrementos de temperatura para el año 2030 y 2050 con el modelo HadGEM	63
10. Incrementos de precipitación para el año 2030 y 2050 con el modelo HadGEM	64
11. Incrementos de temperatura para el año 2030 y 2050 con el modelo ECHAM	65
12. Incrementos de precipitación para el año 2030 y 2050 con el modelo ECHAM5	66
13. Aptitud del terreno actual para el cultivo de Alfalfa	67
14. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	69
15. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	71
16. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	73
17. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	75
18. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	77
19. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	79
20. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	81
21. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	83
22. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	85
23. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	87
24. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	89
25. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)	91
26. Aptitud del terreno actual para el cultivo de Maíz	94
27. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de maíz (hectáreas)	96
28. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de maíz (hectáreas)	98
29. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de maíz (hectáreas)	100
30. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de maíz (hectáreas)	101
31. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de maíz (hectáreas)	103
32. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de maíz (hectáreas)	105
33. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de maíz (hectáreas)	107
34. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de maíz (hectáreas)	109
35. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de maíz (hectáreas)	111

36. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de maíz (hectáreas)	113
37. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de maíz (hectáreas)	115
38. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de maíz (hectáreas)	117
39. Aptitud del terreno actual para el cultivo de Pastos	120
40. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de pastos (hectáreas)	122
41. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de pastos (hectáreas)	124
42. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de pastos (hectáreas)	126
43. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de pastos (hectáreas)	128
44. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de pastos (hectáreas)	130
45. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de pastos (hectáreas)	132
46. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de pastos (hectáreas)	134
47. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de pastos (hectáreas)	136
48. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de pastos (hectáreas)	138
49. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de pastos (hectáreas)	140
50. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de pastos (hectáreas)	142
51. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de pastos (hectáreas)	144
52. Aptitud del terreno actual para el cultivo de Avena	147
53. Aptitud del terreno actual para el cultivo de Cebada	148
54. Aptitud del terreno actual para el cultivo de Sorgo	149

Abreviaturas	
CC	Cambio Climático
ECHAM5	Nombre del modelo alemán del Instituto Max Planck de quinta generación
GFDL 2	Nombre del modelo del Geophysical Fluid Dynamics Laboratory segunda generación
HadGEM	Nombre del modelo inglés del Centro Hadley primera generación.
MCG	Modelos de Circulación General
Pma	Precipitación media anual
SIG	Sistemas de Información Geográfica
Tma	Temperatura media anual
ha.	Hectáreas

INTRODUCCIÓN

Independientemente de las diferentes explicaciones existentes sobre la naturaleza del Cambio Climático (CC), por factores naturales o causados por las actividades humanas; casi todas las publicaciones pronostican un calentamiento global al final del siglo XXI (IPCC, 2001; IPCC, 2007a). La mayoría de los escenarios del Cambio Climático global están relacionados con el crecimiento continuo del contenido de dióxido de carbono en la atmósfera (Hansen, 2004; Hansen *et al.*, 2005; IPCC, 2007a).

Existe evidencia de que los cambios en el clima regional, que se espera durante el siglo XXI, puede afectar de manera significativa la productividad agrícola y causar alteraciones en diferentes recursos naturales, incluyendo el suelo (Bazzaz y Sombroek, 1996; Reddy y Hodges, 2000; Bhatti *et al.*, 2006; Newton *et al.*, 2007). No obstante, la vulnerabilidad de los principales cultivos al Cambio Climático en México se ha estudiado todavía poco, y las publicaciones sobre este tema son escasas (Conde *et al.*, 1998; Gay, 2003, Gay, 2006).

El pronóstico de rendimientos de los cultivos en función de los escenarios de Cambio Climático se realiza, por lo general, con modelos matemáticos de diferentes grados de complejidad, los cuales consideran el efecto de la concentración de CO₂ en la atmósfera, radiación fotosintéticamente activa (RFA), temperatura del aire (T) y precipitación (P). Los factores tales como CO₂, RFA, T y P definen el rendimiento máximo o potencial; entendido éste como el rendimiento de un cultivo que crece en un ambiente al cual se ha adaptado, estando controlados de manera efectiva otros factores de estrés (plagas y enfermedades, nutrientes y agua) (Evans y Fischer, 1999; FAO-IIASA, 2000).

Con frecuencia los modelos complejos de simulación de la productividad potencial tienen dificultades para su aplicación por la escasa disponibilidad de información confiable sobre sus parámetros. La confiabilidad de tales pronósticos disminuye cuando el período considerado aumenta (Ruelle, 1989).

El presente trabajo expone impactos y consecuencias del Cambio Climático sobre seis de los principales cultivos forrajeros en el Estado de México como son: alfalfa, avena, cebada, maíz, pastos y sorgo.

Los forrajes son definidos como un conjunto de plantas herbáceas o de vegetales que sirven para alimentar a los animales como parte de las actividades pecuarias realizadas en la entidad, de cada una de las especies vegetales se utilizan los requerimientos agroecológicos como temperatura, precipitación, suelo, altitud y pendiente para determinar las superficies de aptitud de cada cultivo.

De los seis forrajes utilizados, se calcularon por medio de Sistemas de Información Geográfica las superficies óptimas, sub-óptimas y no aptas resultantes para el periodo actual y posteriormente para los modelos GFDL 2, HADGEM y ECHAM 5 en cuatro escenarios climáticos cada uno (A1, A2, B1 y B2) de los que se obtuvieron resultados diferentes según las condiciones de temperatura y precipitación estimadas para cada escenario en los años 2030 y 2050.

El capítulo I del trabajo engloba una descripción sobre qué es Cambio Climático y conceptos que son convenientes explicar para un mejor entendimiento, las causas y los impactos de este tanto para México como para la agricultura, así como las principales características de los modelos climáticos utilizados.

El capítulo II, hace referencia a los factores que se toman en cuenta para determinar una zonificación agroecológica, el concepto de potencial productivo y los requerimientos agroclimáticos para el cultivo de alfalfa, avena, cebada, maíz, pastos y sorgo.

La siguiente parte identifica el área de estudio, es decir las generalidades geográficas del Estado de México en cuanto a ubicación, hidrografía, relieve, geología, clima, suelo, vegetación, uso potencial de la tierra y aspectos económicos y sociales en la entidad.

En cuanto al capítulo IV, aborda los materiales y métodos utilizados para la generación de superficies de potencial productivo por cada una de las especies vegetales en donde se explica la utilidad de los SIG, la selección de las especies forrajeras evaluadas, la clasificación de la aptitud, la reclasificación de los mapas temáticos por cada una de las variables utilizadas tanto para la aptitud actual como para los modelos, las sobre posiciones hechas en Arc Gis 9.3 y la determinación de áreas potenciales de cada cultivo en el Estado de México.

Posteriormente el capítulo V, presenta los resultados obtenidos, donde se muestran los incrementos de temperatura y precipitación para los años 2030 y 2050 en los tres modelos utilizados, además de las superficies y distribución de las áreas potenciales para el cultivo de alfalfa, avena, cebada, maíz, pastos y sorgo tanto actual como para cada uno de los modelos y escenarios en los años 2030 y 2050.

Por último se muestra en un apartado algunas consideraciones que se deben tomar al emplear los Modelos de Circulación General (MCG) y aspectos que influyeron en la realización de esta tesis. Las conclusiones describen el análisis final del trabajo y las recomendaciones, son propuestas para enfrentar los impactos venideros a causa del Cambio Climático en el sector pecuario de producción de forrajes.

Si bien se estima una disminución de las superficies potenciales, al tener en cuenta las variaciones de temperatura y precipitación y al suponer que en determinadas condiciones se

llegaran a efectuar, el Estado de México tendría un impacto negativo en cuanto a producción forrajera, que a su vez afectarían la producción ganadera de la entidad, sin embargo los resultados obtenidos son sólo una de las múltiples posibilidades para el futuro.

Por su parte la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS), mantienen un registro del avance productivo de cada cultivo por entidad federativa, datos que pueden ser comparados con las superficies aptas actuales y las estimaciones a futuro. Hay que tomar en cuenta que los resultados obtenidos para evaluar el área potencial se estima en condiciones naturales para el cultivo, sin tomar en cuenta prácticas agrícolas y uso de tecnologías.

Aunque, al evaluar el impacto de Cambio Climático para seis forrajes en el Estado de México, se muestra una pérdida de superficies y por lo tanto de producción, las principales causas son atribuidas a la presencia de fenómenos extremos cada vez más fuertes y más constantes; signo de un desequilibrio, que si algunos científicos dicen que es propio de la naturaleza otros mantienen que éste se acelera como resultado de la actividad antrópica sobre el planeta.

Ante estos cambios climáticos es necesario realizar estudios de “Potencial Productivo de Especies Vegetales”. En México se han realizado diferentes estudios de este tipo por diferentes instituciones tanto gubernamentales, educativas y privadas, muchos de estos estudios son parte de la estrategias de modernización de campo y reconversión de la agricultura propuestas en el Plan Nacional de Desarrollo, con los objetivos de caracterizar las condiciones edafo-climáticas y altitudinales en que se produce e identificar áreas potenciales para la producción de diversos cultivos de uso agrícola, pecuario y forestal.

Los años 2030 y 2050 fueron los establecidos en el proyecto realizado para CONACYT por parte de INIFAP.

JUSTIFICACIÓN

México ha mostrado su interés por los efectos adversos que el Cambio Climático podría tener en el desarrollo económico de la sociedad, así como en la estabilidad de los ecosistemas naturales, esto propició la creación de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), conformado por 7 secretarías de Estado y 23 expertos en el tema, los cuales han propuesto una serie de acciones ante el Cambio Climático. Por su parte el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 impulsa medidas de adaptación, estrategias, desarrollo de escenarios climáticos regionales, evaluación de los impactos, vulnerabilidad y adaptación en diferentes sectores tanto ecológicos como sociales y económicos, con la finalidad de contar con información a nivel nacional.

La presente investigación proporciona información sobre la distribución de áreas potenciales actuales y bajo escenarios de Cambio Climático, para algunas especies vegetales en el Estado de México. Éste tipo de información puede ser utilizada como base para la creación de políticas, así como para identificar y definir acciones que minimicen o aprovechen los efectos del Cambio Climático, por lo que se muestra una representación de las condiciones climáticas a través de tres distintos modelos de circulación de la atmosfera, resaltando el impacto de un clima cambiante sobre el Estado de México, de manera que se puedan analizar las condiciones agrologicas actuales con las posibles modificaciones futuras de diferentes escenarios para los años 2030 y 2050, establecidos en el proyecto para CONACYT. Geográficamente es importante evaluar los cambios de distribución en las superficies potenciales para los forrajes a través de mapas que representen el área de estudio en aptitud actual, para 20 y 40 años.

OBJETIVOS.

Objetivo general

Identificar la aptitud de terreno actual, para seis cultivos pecuarios en el Estado de México, y los efectos del Cambio Climático en cuanto a su distribución espacial, evaluando 3 Modelos de Circulación General y 4 escenarios.

Objetivos particulares

- Identificar los principales cultivos forrajeros en el Estado de México y sus requerimientos agroecológicos.
- Determinar la distribución de áreas potenciales bajo tres escenarios de Cambio Climático para las especies vegetales de mayor importancia pecuaria en el Estado de México.

-
- Proponer adaptaciones que mitiguen problemas consecuentes a los cambios venideros y recomendaciones para mejorar la productividad de los cultivos forrajeros.

HIPÓTESIS

Las áreas potenciales actuales para las especies de cultivos vegetales se verán modificadas por el efecto de Cambio Climático, debido a una aparente variación de temperatura y precipitación en el área de estudio.

SUPUESTOS

La evaluación de la aptitud del terreno para este estudio se basa, en los supuestos siguientes:

- No existe un límite de dinero, ni una restricción para el cambio de suelo.
- No existirá un crecimiento urbano para el periodo de estudio.
- No existe un aumento o decremento en la superficie de cuerpos de agua
- Se toman como referencia, los mismos requerimientos agroclimáticos para cada especie forrajera.

ANTECEDENTES

En los últimos años mucho se ha hablado de Cambio Climático y la alteración de los procesos naturales debidos a una sobreexplotación de la naturaleza y producción antrópica de contaminantes, creando una concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera que se ha venido incrementando a partir de principios del siglo XIX. Como consecuencia de esto se habla de una modificación en los ciclos naturales, que a su vez modifican procesos como la agricultura.

A principios del siglo XX, los investigadores se referían a “Cambio Climático” para describir las variaciones climáticas pasadas, presentes y futuras, tanto naturales como inducidas por el hombre a escala global, regional y local. Posteriormente cuando se empezó a tomar conciencia del riesgo global, fue necesario un término adecuado para describirlo y para los años 80 en la revista Science apareció el término calentamiento global. Para finales del siglo pasado los gobiernos del mundo se interesaron por el tema y en 1988 se creó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en Ingles). Para 1990 se produjo su primer reporte alertando sobre el calentamiento global como detonante del Cambio Climático, definiendo el Cambio Climático como la variabilidad de parámetros meteorológicos inducida por forzamientos externos e internos del planeta. (López, 2009).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), expone las consecuencias de un clima variable, al igual que las incertidumbres que esto acarrea a los agricultores en América Latina, así como las diversas actividades humanas que aceleran el Cambio Climático. (FAO, 2004)

En México el Plan Nacional de Desarrollo considera entre sus objetivos al Medio Ambiente, por lo que SAGARPA crea dos programas relacionados: el Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC) encargado de estrategias de adaptación ante la mayor incidencia de fenómenos extremos, en donde se protege a productores de menores recursos y el Programa Especial de Cambio Climático (PECC), encargado de la mitigación y acciones para la sustentabilidad. Entre otros trabajos realizados por esta secretaria se encuentran los estudios sobre efectos del CC en el sector rural; las tendencias en aplicación de medidas de mitigación al CC relacionadas con el comercio; tecnologías de mitigación; el Cambio Climático y la seguridad alimentaria entre otros. SAGARPA es parte de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), creada por el gobierno Federal para fungir como órgano de comunicación entre dependencias con el fin de optimizar recursos y maximizar resultados para coordinar acciones relacionadas al Cambio Climático. (SAGARPA, 2010)

El Instituto Nacional de Ecología (INE), promueve y coordina actividades de investigación sobre Cambio Climático a Nivel Nacional tanto para especies animales como para especies vegetales, crea talleres de medidas de mitigación y sobre la importancia de mejorar la eficiencia energética; estudia bajo el modelo GFDL_R30 la vulnerabilidad del maíz de temporal al CC y presenta los resultados de la Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). (INE, 2010)

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a través del Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos hace un estudio de Cambio Climático sobre poblaciones de encino. (INE-SEMARNAT, 2006)

Así como estas, diversas instituciones federales, locales y privadas, estudian el tema en diferentes regiones del país, no sólo para conocer los posibles cambios, sino para evaluar diversos aspectos sociales, económicos, políticos y culturales que se modificarían con estos cambios.

Por su parte la Universidad Nacional Autónoma de México a través del Centro de Ciencias de la Atmósfera ha presentado el resultado de los posibles efectos del Cambio Climático en la producción de maíz de temporal, generando escenarios de Cambio Climático en diferentes regiones de México, utilizando los modelos de circulación de la atmósfera GFDL-R30 creado por el Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos de la

Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Princeton Estados Unidos y el Centro Climático del Servicio Meteorológico de Canadá (CCC).

Otros de los estudios realizados con relación a los impactos de Cambio Climático, lo han trabajado en el Norte de México, el Colegio de la Frontera Norte evaluando los riesgos del Cambio Climático junto con los costos de una rehabilitación. (Osnaya, 2003)

CAPÍTULO 1

CAMBIO CLIMÁTICO Y ESCENARIOS CLIMATICOS

1.1 Definición de Cambio Climático

El IPCC define el Cambio Climático como “cualquier cambio del clima en el transcurso del tiempo, por causas naturales o como resultado de actividades humanas” (IPCC-WGI, 2007).

El Marco de Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), en el artículo 1 publicado en 1992, menciona que el Cambio Climático es “el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables.” (UNFCCC, 2009)

Al llegar a excederse las perturbaciones con duración prolongada, se dice que hay un Cambio Climático, que trae como consecuencia el calentamiento de la Tierra. Las causas del Cambio Climático, se ven aceleradas por la variación de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), el uso de aerosoles, la cubierta terrestre y la radiación solar.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, señala que la principal causa del Calentamiento de la Tierra tiene que ver con las actividades antrópicas debido a las altas concentraciones de bióxido de carbono, metano, óxido nitroso y gases provenientes de la quema de combustibles fósiles, las cuales se han incrementado considerablemente en los últimos años, por lo que también se ha incrementado la temperatura en un periodo corto de tiempo, debido a que estas emisiones se quedan atrapadas en la atmosfera no dejando escapar el calor y así incrementando las temperaturas del planeta. (UNFCCC, 2009)

1.2 Causas externas del Cambio Climático

Científicos interesados en el tema, han propuesto teorías sobre un Cambio Climático influenciado por fenómenos astronómicos, a los que han llamado causas externas del CC:

- *Variaciones de Milankovitch:* Se refiere a la teoría astronómica de las variaciones climáticas, la cual consiste en un intento por relacionar las variaciones climáticas con los parámetros cambiantes de la órbita de la Tierra que se ven reflejados en los cambios de excentricidad, en los cambios de oblicuidad y en la precisión orbital de la Tierra.

-
- *Actividad solar*: las variaciones en el clima se han relacionado con el ciclo de las manchas solares, que es una posible causa del Cambio Climático, produciéndose con una periodicidad de 22 años. Aunque no se ha demostrado que exista ninguna relación entre la actividad de las manchas solares y las condiciones de la superficie de la Tierra, pues las correlaciones entre el clima y las manchas solares suelen fracasar, cuando se tienen en cuenta las condiciones globales.
 - *Órbita de la Tierra*: la variación de la órbita terrestre es responsable de un grupo de ciclos de larga ocurrencia, y cada uno de esos ciclos afecta el clima, en función de la cantidad de luz solar y de la radiación recibida por la Tierra. Algunos científicos consideran que las variaciones orbitales podrían controlar el inicio y término de las edades de Hielo, aunque aún se discute que fenómenos pueden intervenir en los ciclos climáticos, éste tiene una estrecha relación con la existencia de las cuatro estaciones del año, las cuales se deben a la inclinación orbital de la Tierra. (López, 2009)
 - *Más factores externos*: también se han propuesto como causas de las fluctuaciones climáticas las colisiones de cometas con la Tierra y los impactos de grandes meteoritos. Muchas de las perturbaciones que estos impactos provocarían, como son el incremento de los aerosoles estratosféricos y troposféricos.

1.3 Causas internas del Cambio Climático

Un cambio interno en el sistema climático impondrá una perturbación climática, por lo que la preocupación se centra en los efectos que se puedan producir, en perjuicio del hombre y que se estima serán reflejados a corto plazo. Algunos de ellos son:

- *Erupciones volcánicas*: los volcanes influyen en el clima mediante la proyección de grandes cantidades de materia particulada y gases de la atmósfera, debido a que producen anomalías térmicas evaluadas en unas cuantas décimas de grado. El efecto del aerosol introducido en el balance de radiación y la cuestión de si se producirá un calentamiento o un enfriamiento dependerán en gran medida de la altura de la inyección en la atmósfera.
- *Ozono estratosférico y dióxido de carbono troposférico*: se piensa que las emisiones de polución gaseosa alteran la capa de ozono de la estratosfera inferior, siendo la principal preocupación los clorofluorocarbonos, pues se ha demostrado que si permanecen en la troposfera absorben luz infrarroja, lo cual significa que de forma creciente contribuirán al efecto invernadero a medida que vaya aumentando su concentración. Se piensa que el efecto inmediato de la concentración global de CO₂ atmosférico estará reflejado en el incremento de la temperatura superficial, debido

al efecto invernadero. La magnitud del incremento de la temperatura dependerá de la naturaleza de la interacción entre todos los mecanismos de retroalimentación implicados, otros de los llamados gases de efecto invernadero como: el metano (CH₄), los hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos, el óxido nitroso y el hexafluoruro de azufre. (IPCC, 2008)

- *Corrientes Marinas*: se considera como un retroalimentador del calentamiento global, ya que participa como distribuidora de calor alrededor del mundo, afectando el movimiento de grandes masas de agua que influyen tanto superficialmente (agua cálida) como en las profundidades (agua fría), conectando de esta manera a todos los océanos del planeta.
- *Desertificación*: al degradarse la tierra en regiones áridas, semiáridas, y subhúmedas secas, como resultados de los cambios relativamente menores en el clima, es causa de una disminución en la vegetación; la exposición del suelo desnudo disminuye en el almacenamiento de agua, lo que significa un menor flujo de calor, lo cual provocará un aumento de la temperatura en la superficie.
- *Deforestación*: la tala de bosques con fines agrícolas marcan cambios en la naturaleza de la superficie, este cambio es notable cuando los bosques son sustituidos por campos de cultivo. El cambio importante en la deforestación se produce en las características hidrológicas de la superficie, debido a que la evapotranspiración de un área arbolada es mucho mayor que la del suelo adyacente despejado. (López, 2009)
- *Cambio de uso de suelo*: los ecosistemas son alterados por el cambio de uso de suelo causado por la producción de bienes y servicios: urbanos, rurales, ganaderos, forestales, agrícolas, industriales etc., que han intensificado el deterioro ambiental. El cambio de uso de suelo es uno de los factores más importantes, visto a través de la agricultura y la ganadería tanto en México como en el Mundo. La actividad pecuaria genera la reducción de bosques y selvas por deforestación, en matorrales y pastizales por la apertura de terrenos para la cría de ganado. (CONABIO, 2008.)

1.4 Impactos del Cambio Climático

El IPCC indica que el Cambio Climático ya ha afectado a diversos conjuntos de sistemas físicos y biológicos, entre ellos el retroceso de los glaciares, el aumento e intensidad de las precipitaciones, el alargamiento de las temporadas de crecimiento y el adelanto de las fechas de floración de los árboles, aparición de insectos y desfase en ciclos reproductivos de diversos animales. (IPCC, 2001)

El impacto tiene que ver con el grado de respuesta ante el Cambio Climático, pues no se altera a todo el sistema, sólo unas variables presentan anomalías, por lo que el impacto se refiere a las consecuencias o respuestas ante el CC, en distintos ámbitos; en lo que se refiere a las actividades humanas ya sea en el sector social, salud, migraciones, en oferta y demanda de agua, alimentos, energía etc.; en el sector económico: alza de precios en productos básicos, agrícolas, en el cambio de uso de suelo y en adaptación de nuevos cultivos; o en el sector político: decretos y acuerdos internacionales de protección y moderación ambiental etc.

La sensibilidad y el impacto en distintos ámbitos puede ser afectado positiva o negativamente, por los eventos climáticos, el efecto de estos eventos puede ser directo (cambios en los rendimientos en respuesta a los cambios de temperatura), o indirectos (daños causados por un aumento en la frecuencia de las inundaciones costeras y por aumento en el nivel del mar)” (Conde, 2003)

Los impactos del Cambio Climático podrían ser desiguales, también afectados por la menor capacidad de adaptación de los países en desarrollo. Es posible que la mayoría de la población resulte negativamente afectada en los escenarios de Cambio Climático, pues con aumentos de la temperatura, los beneficios tienden a decrecer y los daños a aumentar, de modo que el cambio neto en el bienestar mundial resulta negativo. Independientemente de los modelos de Cambio Climático utilizados, el principal impacto del CC es la estacionalidad marcada en la disponibilidad de humedad en el suelo, para el desarrollo de las actividades agropecuarias y forestales. (Monterroso y Díaz, 2003)

1.5 Cambio Climático en México

Con el calentamiento global se prevé la reducción de los suministros de agua en algunas zonas como: lagos, corrientes de agua y acuíferos de algunas áreas, que han proporcionado agua a los ecosistemas, cultivos y ciudades durante siglos reduciéndose o secándose. (Tyler, 2002)

Monterroso, a través del Modelo Canadiense de Cambio Climático (CCCM), pronostica para la República Mexicana donde un fuerte incremento de las temperaturas y una drástica disminución de la precipitación, con menor impacto en las partes altas de las sierra, el impacto llega a tal grado que prácticamente todo México a excepción de Tabasco, Veracruz, Chiapas, Quintana Roo, así como porciones de Oaxaca, Estado de México, Puebla, Hidalgo, Michoacán y Guerrero, presentan graves riesgos de seguridad social. (Monterroso y Díaz, 2003)

Dependiendo de la magnitud del Cambio Climático, al modificarse la temperatura y los niveles de precipitación, se esperan efectos importantes en las áreas de los ecosistemas y en

el grado de almacenamiento de carbón en la vegetación por lo que las especies animales y vegetales cambian su distribución geográfica. (Isaza y Campos, 2007)

López señala: “para el caso específico de México, por su ubicación geográfica, topográfica y aspectos socioeconómicos, es especialmente vulnerable a los impactos de Cambio Climático” pronostica un clima más cálido, principalmente para el norte del país, donde dice: “podría haber disminución en las lluvias, así como cambios en su distribución temporal. El ciclo hidrológico podría volverse más intenso, lo que propiciaría aumentó en el número de tormentas severas y sequías por períodos más prolongados, además la temperatura superficial del mar Caribe, Golfo de México y Pacífico mexicano podrían aumentar entre 1 y 2°C, lo que incrementaría la potencia de los ciclones tropicales, que le permitiría alcanzar categorías mayores. (López, 2009)

1.6 Cambio Climático en la agricultura

De los posibles efectos del CC, uno de los más importantes es la producción de alimentos que podría incrementarse en algunas zonas y decaer en otras. Las evidencias arqueológicas y los modelos informáticos indican que las bandas climáticas podrían variar de 100-150 km en dirección norte o 150 metros de altitud por cada grado centígrado de aumentó en la temperatura. Los modelos climáticos actuales calculan un declive de 10% al 70% en el rendimiento mundial de las cosechas de alimentos y una pérdida del 10 al 50% de las superficies actuales de cultivo especialmente en los países pobres. (Tyler, 2002)

En México se han hecho algunos esfuerzos por generar escenarios climáticos, los cuales traten de reflejar el impacto que tiene éste cambio en la agricultura, ya que gran parte de la población depende directamente de esta actividad, un ejemplo del impacto en la agricultura en México fue el realizado por Conde, donde por medio de los modelos CCCM y el GFDL, se estudió la vulnerabilidad de la producción de maíz de temporal particularmente en los ciclos de primavera-verano. En el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004) se generaron mapas del efecto del Cambio Climático en la distribución de tierras aptas para el cultivo de maíz.

La falta de agua en los cultivos les genera un desequilibrio negativo, ya que requiere más agua de la que su sistema radicular y parte aérea puede proporcionarle, cuando las plantas ya no pueden absorber agua del suelo por estar agotada la reserva, es entonces cuando la cosecha se reduce, pierde calidad o se aniquila en amplias áreas, por lo que con el Cambio Climático la disponibilidad de agua para las zonas agrícolas se verá modificada. (Ledesma, 2000)

El Manual de la Ciudadanía Ambiental Global, menciona que la agricultura impone una gran presión sobre el suelo debido al uso de agroquímicos, la eliminación y el remplazo de

la vegetación nativa, las técnicas intensivas de cultivo y monocultivo, así como la degradación del suelo son condiciones que se agregan a los impactos producidos por el Cambio Climático y las regiones del Estado de México, que dependen en gran medida de esta actividad podrían verse gravemente afectados. (PNUMA, 2005)

La agricultura y la ganadería son sectores clave para la sobrevivencia, por ser el productor de la mayor parte de alimentos. Al analizar los impactos que ocasionará el Cambio Climático, se concluye que abra tanto aspectos negativos como positivos. La concentración de dióxido de carbono y la prolongación de los períodos vegetativos derivados del aumento de la temperatura ocasionarán un aumentó en la productividad agrícola. Una situación similar podría ocurrir en la ganadería, no obstante el aumento de temperaturas también deshidratará los suelos, por lo que los cultivos no tendrán suficiente humedad y eso también puede ocasionar disminución de la biodiversidad.

Se prevé que los países más afectados debido al Cambio Climático serán los países en desarrollo, pues se espera una reducción importante en los rendimientos de sus cultivos, lo que implica que la agricultura de temporal se enfrentaría a grandes pérdidas o debería de sufrir grandes transformaciones para adaptarse.

Balanceando los impactos positivos y negativos, la productividad en general de la agricultura y la ganadería podría disminuir debido a las condiciones atmosféricas extremas, ya que se presentarían fuertes precipitaciones pluviales que proporcionaría inundaciones y erosión en los suelos, así como sequias frecuentes y prolongadas. (López, 2009)

1.7 Modelos Climáticos

De manera científica se ha probado el Cambio Climático, con la evidencia del aumentó del promedio mundial de temperatura en el aire, el océano y el deshielo, sin embargo lo que no se ha probado y dónde muchos científicos siguen escépticos, es la influencia que tiene el hombre en este cambio, debido a que se argumenta, que los modelos de Cambio Climático son insuficientes y carecen de elementos para representar la dinámica de la atmosfera.

Los modelos climáticos son sistemas de ecuaciones que intentan reproducir el comportamiento del mundo real. Los procesos del sistema climático no se conocen completamente debido a su complejidad, además de interactuar entre sí, produciendo una retroalimentación de manera que cualquier solución implica muchos cálculos. Las soluciones que se obtienen, parten de un estado inicial de investigación y las condiciones límites se fijan a partir de los datos de observación, pero estos datos, rara vez, son completos o lo suficientemente exactos, como para especificar por entero las condiciones medioambientales, de modo que no puede ser preciso en los resultados. Cualquier clima pronosticado tendrá variaciones con respecto al medio, lo mismo sucede con el actual, las

simplificaciones que deban hacerse para las leyes que rigen los procesos climáticos pueden abordarse de diversas maneras. (IPCC-WGI, 2007)

Una de las simplificaciones de los modelos de Cambio Climático es la resolución, tanto en el tiempo como en el espacio, aunque en cuanto mejor sea la resolución espacial, más factibles serán los resultados. Las limitaciones de la disponibilidad de datos y el tiempo de cálculo podrían dictar en que un modelo debería tener, como datos básicos de entrada valores medios de la latitud según lo requiera la escala de trabajo. Si bien, los modelos están diseñados para ayudar a pronosticar los climas futuros, su funcionamiento sólo puede ser probado con respecto al clima pasado o actual. Posteriormente puede ser usado para simular climas.

Aunque cualquier modelo climático intenta simular los múltiples procesos que produce el clima, el objetivo es comprender estos procesos y predecir los efectos de los cambios y las interacciones. La simulación se realiza mediante la descripción del sistema climático, por lo tanto, un modelo está compuesto por una serie de ecuaciones. La utilización de los modelos climáticos puede ser lenta y costosa y los resultados pueden ser sólo aproximados. (Silva, 2008)

En estos últimos años, una sensación urgente viene alimentando la investigación sobre la modelización del sistema climático, importante para el análisis de la vulnerabilidad ante el Cambio Climático y determinar las estrategias de adaptación. (IPCC, 1997)

1.8 Modelos de Circulación General (MCG)

Existe una gran variedad de modelos del CC, sin embargo, los modelos más generales que utiliza el IPCC, son los Modelos de Circulación General de la atmósfera-océano (MCGAO), ya que se pueden establecer criterios basados en principios físicos que relacionan las condiciones de gran escala con el clima regional. Los MCG Atmósfera-Océano, son tridimensionales, simulan a la atmósfera, a los océanos y al continente a nivel global. En la atmósfera se incluyen los vientos, la humedad, las nubes y la concentración de los diversos gases que la componen, analizando variaciones temporales y altura. En el océano, estos modelos consideran las corrientes marinas, la temperatura y salinidad. Los Modelos de Circulación de la Atmósfera, también tienen que modelar la temperatura en la superficie terrestre, los cuerpos de agua y en ocasiones y de manera simplificada la orografía continental. (McGuffie; 1997, citado por Conde et al., 1998)

Los MCG se utilizan para obtener proyecciones de temperatura, precipitación y de otras variables climáticas. Hoy en día son la herramienta más útil para generar escenarios físicamente realistas del clima. Aunque la confiabilidad de los resultados al utilizar un

MCG, aun es incierta debido a que los modelos presentan diferencias, los resultados pueden ser más precisos en unas variables que en otras. (Campos, 1999)

Los resultados obtenidos por estos MCG, cuando se aplican en condiciones de Cambio Climático, particularmente para el caso en que la concentración de gases de efecto invernadero se viera duplicada, dan lugar a la construcción de escenarios de Cambio Climático para diversas variables y proyectados hacia diferentes horizontes. Las variables sobre las que se presta más atención, por su indiscutible importancia, son la temperatura de superficie y la precipitación, comúnmente, los horizontes proyectados se extienden hasta el 2100.

1.8.1 Modelo climático GFDL2

El modelo fue desarrollado en Estados Unidos por el Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, uno de los líderes mundiales en la modelización del clima y la simulación, el cual utiliza modelos matemáticos y simulaciones para mejorar nuestra comprensión y predicción del comportamiento de la atmosfera, los océanos y el clima. El modelo GFDL tiene una resolución espectral tipo romboidal truncado en el número de onda 30, y sus cuatro componentes principales son: un modelo de circulación general espectral, un modelo de circulación oceánica y dos modelos relativamente simples de hielo marino y de procesos de superficie terrestre. (CCA, 2008)

El componente atmosférico del modelo GFDL es de 24 atmosferas funcionales en una resolución variable según lo requiera cada estudio, tanto para Este-Oeste como para la dirección Norte-Sur, el modelo realiza una simulación de las nubes y los aerosoles que juegan un papel importante en el transporte de calor y agua, así como la concentración de CO₂. El componente de la superficie terrestre simula las características superficiales como la vegetación, la cubierta de nieve, el agua del subsuelo, ríos, almacenes de carbono, etc. El componente oceánico es un océano de 50 niveles en una resolución de igual forma variable tanto en latitud Norte y Sur como en longitud Este y Oeste según lo requiera cada estudio; el componente oceánico simula las corrientes marinas y la mezcla bioquímica de los océanos, además del componente del hielo, que modela, la absorción de la radiación solar, del calor del aire y el intercambio de agua. (GFDL, 2010)

Desde 1955 dicho laboratorio parte de su investigación es dedicada a la modelización del Cambio Climático mundial, desempeñando un papel importante en estudios de impacto, aunque el modelo es deficiente en cuanto a temperaturas.

1.8.2 Modelo climático HADGEM

El modelo HadGEM es el primero de una nueva generación de modelos climáticos, representa una versión del Centro Hadley para el Medio Ambiente Mundial, desarrollado

en 2006 y utilizado en el Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático IPCC.

El modelo de origen inglés, se ha creado gracias a un avance tecnológico que ha permitido el desarrollo de complejos modelos numéricos que simulan el sistema climático y permiten analizar las interacciones entre los distintos componentes del sistema y las posibles consecuencias debidas a modificaciones dentro del mismo.

El componente de la atmósfera tiene 38 niveles que se extienden a 40 kilómetros de altura, la principal diferencia en esta configuración climática es el uso de un núcleo de Nueva Dinámica el cual es un número hidrostático comprensible, la formulación de la atmosfera profunda con un régimen semi-implícito e integración del esquema semi-Lagrange. Este Núcleo Dinámico se puede utilizar en una amplia gama de escalas temporales y espaciales de muy alta resolución. El componente oceánico utiliza una cuadrícula con una resolución longitudinal de 1° y 1° de latitud entre los polos y 30° Norte/Sur, de la que aumenta paulatinamente a un tercio de grado en el ecuador, esto aplicado a escala global. (Centro Hadley, 2010)

1.8.3 Modelo climático ECHAM 5

Modelo alemán, creado principalmente por el Max Planck Institut for Meteorologie y el European Center for Medium Range Weather Forecast, es la quinta generación del Modelo de Circulación Atmosférica ECHAM, el cual es utilizado para realizar predicciones climáticas en Europa. Expertos concuerdan en que el modelo ECHAM5 es más flexible en comparación con sus predecesores debido a que se ha mejorado en formulaciones, de régimen de variables concretas y ecuaciones continuas, se ha modificado el código de radiación de onda larga, cubierta de nubes, efectos orográficos, efectos en la superficie terrestre, resolución vertical, parámetros orbitales de la Tierra, el modelo estándar de ozono, un sistema de coordenadas híbridas, por mencionar algunos. (Roeckner, 2003)

El MCG es utilizado por tener un buen desempeño a nivel global y para la región de México, por lo tanto en uno de los que tiene un mejor ranking general, además de tener una buena resolución espacial de 90 metros para este estudio.

Tanto el modelo de circulación general GFDL2, como el HadGEM y el ECHAM5, han sido seleccionados porque se cree que representan mejor el clima regional, además de que están siendo usados por otros países de la misma región geográfica de México

1.9 Escenarios de Cambio Climático

Los escenarios de emisiones son el componente central de cualquier evaluación del Cambio Climático, estos escenarios se agrupan en cuatro familias diferentes e incluyen su impacto

estimado en el clima (Nakicenovic et al, 2000). Los escenarios de se basan en proyecciones de las condiciones tecnológicas, económicas, de población, de energía, de uso de suelo, de agricultura etc. Dos de los escenarios enfatizan en la riqueza material y los otros dos en la sostenibilidad y equidad. Adicionalmente dos escenarios enfatizan en globalización y dos en regionalización. (Silva, 2008)

Un escenario climático es una descripción posible de un futuro estado del mundo, no es un pronóstico, sino que cada escenario es una imagen alternativa de cómo el futuro pueda desarrollarse. Una proyección puede servir como materia prima para un escenario, pero a menudo requieren de información adicional. Un conjunto de escenarios a menudo se adoptan para reflejar lo mejor posible el rango de incertidumbre en las proyecciones. (IPCC, 2010)

Las proyecciones climáticas por medio de modelos informáticos sirven a menudo como materia para la creación de escenarios climáticos, pero éstos suelen requerir información adicional, como datos sobre el clima observado en la actualidad, emisiones futuras de gases de efecto invernadero (las cuales responden a determinadas fuerzas del entorno como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico y los cambios tecnológicos).

La construcción e implementación de escenarios de Cambio Climático es una de las primeras acciones para realizar evaluaciones de impactos, vulnerabilidad y adaptación al Cambio Climático, especialmente en el contexto de los impactos potenciales en los sectores clave de un país o una región. (IMN, 2007)

En las evaluaciones de los impactos, se han empleado tres tipos distintos de escenarios climáticos:

- Escenarios incrementales: son simples incrementos arbitrarios de las variables climáticas básicas. Estos escenarios pueden ofrecer una asistencia valiosa para ensayar la sensibilidad del sistema al clima. Y debido a que son ajustes arbitrarios, existe la posibilidad de que no sean realistas.
- Escenarios analógicos: la representación analógica de un clima que ha cambiado a partir de registros o de otras regiones puede ser difícil de identificar y casi no se aplica, aunque algunas veces puede proporcionar detalles útiles de los impactos de las condiciones climáticas fuera de la gama de actualidad.
- Escenarios del clima basados en modelos: los escenarios más comunes emplean resultados de MCG y por lo general se construyen ajustando un clima de referencia (normalmente basado en observaciones regionales del clima durante un periodo de referencia como 1961-1990) en función del

cambio absoluto o proporcional entre los climas simulados, presentes y futuros. La gran mayoría de los escenarios representan cambios en el clima medio; algunos escenarios recientes han incorporado cambios en la variabilidad y en los sucesos climáticos extremos, que pueden tener impactos en algunos sistemas. (IPPC-WGII, 2001)

Cada modelo climático está compuesto por escenarios y cada uno de los escenarios representan una interpretación cuantitativa específica de cuatro líneas evolutivas diferentes denominadas “familias”, que para efectos prácticos se les llama A1, A2, B1 y B2.

A1 enfatiza:

- Rápido crecimiento económico.
- El crecimiento poblacional alcanza su máximo para mediados del siglo XXI, por lo que tiene una baja tasa de crecimiento poblacional.
- Mantiene un elevado desarrollo tecnológico.
- Hay una importante reducción en las diferencias regionales del ingreso per cápita.
- Se prevé un bienestar personal más que ambiental y toma en cuenta el uso de combustibles fósiles y no fósiles.

A2 enfatiza:

- Descripción de un mundo heterogéneo.
- Con autosuficiencia y conservación de la identidades locales
- Una población de continuo crecimiento.
- El desarrollo económico es diferenciado, aunque es alto a nivel global, además de un crecimiento económico por habitante.
- Con un cambio de tecnología diferencial y lento.

B1 enfatiza:

- Uso de tecnologías limpias y eficientes.
- Reducción del consumo material, soluciones globales a problemas económicos y medioambientales.

- Mejor distribución de la riqueza, proponiendo la desmaterialización y aumentó de la igualdad.
- El crecimiento poblacional alcanza su máximo para mediados del siglo XXI

B2 enfatiza:

- Cambios graduales y desarrollo menos extremo en todos los aspectos, incluyendo geopolíticos, demográficos, crecimiento de la productividad, dinámica tecnológica, etc.
- Un mundo donde hay soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental.
- La población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2
- Un desarrollo económico intermedio.
- Un cambio tecnológico menos rápido y más diverso.
- Dedicación a la protección del medio ambiente y a la igualdad social (a nivel local y regional)

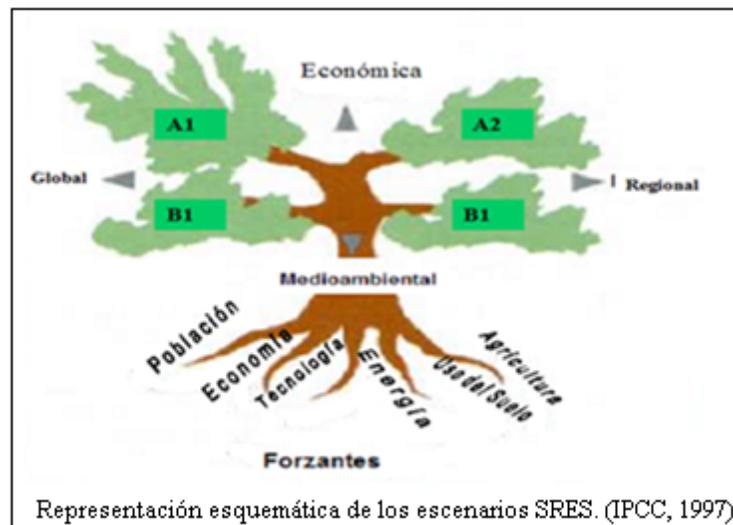


Figura 1. Escenarios SRES

Por otra parte las incertidumbres asociadas a estos escenarios, traen serias dificultades para la toma de decisiones y la elaboración de políticas para enfrentar al posible Cambio Climático futuro. Hasta ahora, el esfuerzo internacional por reducir o limitar las emisiones de gases de efecto invernadero difícilmente se ha visto reflejado en políticas nacionales para disminuir la vulnerabilidad futura y aumentar la capacidad adaptativa de los sectores

productivos o áreas naturales más relevantes, en especial en los países en desarrollo. (IPCC-WGI, 2001)

Historia (familia)	Descripción
A1	Rápido crecimiento económico, baja tasa de crecimiento de la población y rápido cambio hacia tecnologías más eficientes. Ocurre una convergencia entre regiones y se reducen sustancialmente las diferencias en ingreso personal. Esta familia se divide en tres grupos, cada uno diferente en términos del sistema energético a utilizar: A1F, A1T y A1B. .
A2	Un mundo heterogéneo, autosuficiente y que mantiene las identidades locales. Las tasas de crecimiento de la población convergen lentamente, lo cual resulta en un elevado crecimiento de la población. Crecimiento económico per capita es más lento y fragmentado que en otras familias.
B1	Es un mundo convergente, con bajo crecimiento de la población y con rápidos cambios en las estructuras económicas. Ocurre un movimiento hacia una economía basada en los servicios y en la tecnología de la información y se reduce la intensidad en el uso de materiales, y se introducen tecnologías limpias y eficientes. El énfasis es en soluciones globales para la sostenibilidad ambiental, económica y social, incluyendo aumentos en la equidad.
B2	Esta historia describe un mundo con énfasis en soluciones locales a la sostenibilidad ambiental, social y económica. El crecimiento de la población, y el desarrollo económico, son moderados y el cambio tecnológico es menos rápido pero más diverso que en B1 y A1. Y aunque está orientado a la protección ambiental y equidad social, se enfoca en los niveles regional y local.

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, "Escenarios de Cambio Climático".

Figura 2. Familias de escenarios y sus características.

CAPÍTULO II

ZONAS AGROECOLÓGICAS, POTENCIAL PRODUCTIVO Y REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS.

2.1 Zonas Agroecológicas

A pesar de los esfuerzos que la tecnología ha realizado para elevar las respuestas productivas de los cultivos a la aplicación de insumos, es innegable que las fluctuaciones en menor o mayor grado de los distintos elementos que conforman el entorno ambiental de las plantas son parte fundamental de la problemática agrícola.

No es sencillo proponer cultivos para una región por los requerimientos que tienen, sin embargo muchos suelos vírgenes, no tienen todos los elementos esenciales ni son adecuados para el buen rendimiento de las plantas. Ante esto es evidente la importancia que presenta, para una correcta planeación agrícola el delimitar zonas en base a las diferencias ambientales existentes en una región y dentro de las cuales los cultivos responden a un mismo patrón de comportamiento. (Aragón, 1995)

El concepto de zonificación aborda conceptos tales como factores del clima (luz, temperatura, presión), características del suelo, fisiografía, coeficiente de crecimiento del cultivo, etc. Existen numerosas metodologías para poder llevar a cabo una zonificación agroecológica y estas pueden variar de acuerdo a la información disponible, los cultivos que se van a analizar y las características de una región en dónde se realiza el estudio.

La meteorología agrícola se ha convertido en una herramienta para planificar y detectar las zonas más aptas para el establecimiento de nuevos cultivos o de la expansión de los ya existentes (Romo, 1989). Al realizar un trabajo de zonificación se plantean dos casos fundamentales con base en una lista de cultivos que se pretenden fomentar por las condiciones socioeconómicas, primero, se deben determinar las mejores áreas para su establecimiento y segundo, teniendo un área geográfica dada, se deben determinar los cultivos más aptos que se puedan desarrollar en dicha área (García, 1979).

La zonificación deductiva, parte de la hipótesis fundamental de que los cultivos darán la misma respuesta en cualquier área con climas y suelos similares y consiste en caracterizar los cultivos por sus requerimientos agroclimáticos y edáficos, para su posterior ubicación en los espacios geográficos que mejor cubran estos requerimientos. Con este tipo de zonificación se responde al ¿dónde? y ¿cuándo sembrar?, pero el ¿cuánto se puede obtener? es difícil contestar por lo que se tiene que recurrir a un proceso inductivo (Romo, 1985; León, 2005).

La zonificación inductiva o también llamada cuantitativa, consiste en obtener una función de producción en áreas más o menos restringidas, pero con un rango de variación suficiente y extrapolar dicha función a áreas geográficas más extensas cuantificando el incremento o abatimiento del rendimiento siguiendo un proceso de lo particular a lo general (García, 1979).

Las zonificaciones agroclimáticas (análisis del complejo clima-cultivo), al conjugarlas con las cartas edafológicas genera una caracterización agroecológica (clima-suelo-cultivo, si se complementa con un estudio tecnológico (factores agro técnicos) se puede lograr una zonificación agrícola integral, que sería el tipo de zonificación ideal (Romo, 1985).

2.2 Factores que determinan la Zonificación Agroecológica

Temperatura

La temperatura tiene gran importancia en el desarrollo de las plantas así como en su distribución geográfica. Graham y Petterson (1982); citados por Gutiérrez (1992) consideran que la temperatura es una de las principales limitantes ambientales que gobiernan la distribución de las plantas silvestres y cultivadas.

Salisbury y Rose (1978) citados por Gutiérrez (1992), señala que aunque la productividad de los ecosistemas del mundo está limitada principalmente por agua, las temperaturas bajas y altas, son quizá los más importantes elementos para la distribución de las plantas.

Chang Jen-Hu, (1968) y Ortiz, (1987) citados por Gutiérrez, (1992) señalan que cada especie vegetal tiene ciertas temperaturas críticas que determinan los requerimientos de calor necesario para su crecimiento y desarrollo. Estas temperaturas generalmente incluyen los valores mínimos (la temperatura más baja en la que crece), los valores óptimos (la temperatura a la cual el desarrollo es más grande) y valores máximos (la temperatura más alta a la cual la planta crece).

Precipitación

La precipitación es la principal fuente de agua para mantener la humedad del suelo y, probablemente, el factor más importante en la determinación de la productividad de los cultivos (si llueve más hay más producción y viceversa). Un cambio en el clima puede producir cambios en la precipitación, tanto para aumentarla como para disminuirla.

Zonas en donde las características edafológicas son las idóneas pero por condiciones de topografías, acceso, lejanía a cuerpos de agua, el agua no está disponible, el cultivo dependerá su éxito de la precipitación que se presente en la zona durante su desarrollo. El efecto del agua sobre el rendimiento no puede considerarse aisladamente de los otros

factores agrícolas como la fertilización, pH, temperatura; por lo que estos factores determinan también la medida en que el rendimiento real se aproxima a al rendimiento máximo de una especie (Doorembos y Kassam, 1979)

Salinidad

Un suelo salino es aquel que posee una elevada cantidad de sales solubles, este tipo de sales son las que están en la disolución del suelo. También se encuentran sales insolubles las cuales precipitan y no causan problemas para las plantas (Russell, 1992)

Las principales sales solubles son: cloruro y sulfato de sodio, magnesio, carbonatos de sodio y calcio. Los suelos salinos se encuentran en zonas de climas áridos y secos, en los que la evaporación es mayor que la precipitación y no suelen encontrarse en climas cálidos y húmedos.

Algunos efectos de la salinidad en los cultivos, son:

- Problemas en la absorción de agua: Al haber altas concentraciones salinas, se impide una adecuada absorción del agua por medio de las raíces.
- Problemas de toxicidad: Debido a ciertos iones en grandes concentraciones que pueden afectar a rutas metabólicas.
- Problemas en la estructura del suelo: El exceso de sales favorece la aparición de costras que ocasionan la asfixia radicular. La existencia de ion sodio ocasiona la dispersión de la materia orgánica y de las arcillas, consiguiendo así la pérdida de estructura.

Profundidad

La profundidad de los suelos influye en el desarrollo de los cultivos, en suelos profundos la planta tiene mayor área de exploración en busca de nutrientes y al mismo tiempo tendrá un mejor anclaje ante fuerzas exteriores (Loomis, 2002).

La profundidad del suelo está determinada por los factores de formación del suelo como clima, topografía, roca madre, organismos y tiempo. (Fitzpatrick, 1984).

Potencial de hidrogeno (pH)

El pH varía de una región a otra e incluso en una misma región, el pH se refiere a la concentración de H⁺ en el suelo. El pH del suelo aporta una información de suma importancia en diversos ámbitos de la edafología. Uno de los más importantes deriva del hecho de que las plantas tan sólo pueden absorber los minerales disueltos en el agua,

mientras que la variación del pH modifica el grado de solubilidad de los minerales (Daubenmire, 1982).

Textura

Es la relación que existe en el suelo de arena, limo y arcilla; la diferencia de textura en el suelo está relacionada significativamente con muchas de las propiedades del suelo.

Daubenmire, (1982) menciona que la textura tiene efectos en:

- Resistencia relativa a penetración de las raíces: Un suelo con textura fina hace más difícil el crecimiento radicular.
- Infiltración: Suelos con textura gruesa tienen una mayor capacidad de infiltrar el agua, sin embargo la pierden de una forma más rápida que un suelo de textura fina.
- Capacidad de retención de agua: Suelos más arcillosos acumulan una mayor cantidad de agua sin embargo una gran parte no está disponible por la planta.
- Fertilidad: Los suelos arcillosos presenta una mayor fertilidad ya que su CIC es mayor que la de suelos con una textura arenosa.

2.3 Potencial Productivo

El potencial productivo puede definirse como la capacidad productiva de una especie vegetal en un sitio geográfico determinado, donde la planta puede aprovechar al máximo todos los factores ambientales disponibles para promover su desarrollo y rendimiento (Turrent, 1986).

La selección de especies con potencial agroecológico para una región implica ventajas en el manejo del cultivo, ya que producir una especie fuera de su ambiente óptimo encarece las tecnologías de producción (Chang, 1981; citado por González *et al.*, 2002), o bien simplemente reduce el rendimiento por la presencia de condiciones de estrés ambiental (Ruiz, 1996; citado por González *et al.*, 2002); siendo las principales causas de éste estrés, las variaciones extremas de factores tales como altas o bajas temperaturas y sequía o exceso de humedad (Barfield, 1979; citado por González *et al.*, 2002). Va implícito el riesgo de que cuando se produce un cultivo bajo condiciones ambientales no óptimas, no sólo afecta su rendimiento, sino también la calidad de su cosecha.

El conocimiento del potencial de uso de los terrenos es una herramienta para el desarrollo de una agricultura menos vulnerable y con mayores probabilidades de éxito, sobre todo en las áreas donde se produce en condiciones de temporal (Ruiz et al, 1997).

El potencial productivo de una planta además de ser influido por las características climáticas y edáficas de una región, también se considera el factor económico social el cual influirá en la tecnología empleada para establecimiento y manejo de la especie cultivada.

2.4 Requerimientos agroecológicos de los cultivos forrajeros

2.4.1 Alfalfa

Para el desarrollo óptimo de cada una de las especies vegetales, influyen diversos factores tanto geográficos como climáticos; a continuación se describen cuáles son los rangos de cada uno de esos factores para algunas especies.

La alfalfa es un cultivo de ciclo perenne, con un periodo fenológico que varía según la especie de 70 a 90 días para el primer corte. (Ver tabla 1) Es resistente a las sequias, entrando en un periodo de latencia y no tolera demasiada humedad.

Tabla 1. Taxonomía de la Alfalfa	
Nombre científico	<i>Medicago sativa</i>
Familia	Fabaceae
Origen	Asia central
Distribución	Es condicionante del clima, principalmente en zonas áridas, semiáridas y húmedas.
Adaptación	Varia conforme a la variedad
Ciclo vegetativo	Perenne inercial de 70 a 90 días para el primer corte.

Altitud: Se cultiva en altitudes que varían de 700 a 2600 msnm (Jímenez, 1989). En México su cultivo empieza a partir de los 500msnm (Robles, 1983)

Temperatura: el cultivo germina con una temperatura de 2 a 3°C, con aumentó de la temperatura la germinación es más rápida 28-30°C, pero mayor a 38°C resulta letal. Algunas variedades toleran hasta -10°C y hasta 54.5°C, la temperatura media anual recomendable como óptimo va de 15 a 28°C. (SIAP, 2010)

Precipitación: Los requerimientos básicos de agua son 500 mm por metro cuadrado y de 500 a 1000 mm de precipitación media anual (Pma), en períodos de sequía la planta entra en períodos de latencia y no resiste exceso de humedad (SIAP, 2010)

Suelo: se cultiva en suelos diversos por sus notables diferencias de adaptación; resiste la acidez del suelo aunque el pH óptimo es de 6.5 a 7.5, es relativamente tolerante a suelos alcalinos ricos en fosforo y potasio, subsanados con abonos minerales. Se produce bien en terrenos fértiles de subsuelo profundo mayor a 1 metro y poroso, calizos o calcáreos, y buen drenaje. (Aguilar, 2008)

Pendiente: De 0 a 2%, como nivel óptimo (Infoagro, 2010)

La alfalfa es uno de los principales cultivos forrajeros del Estado de México. OEIDRUS, (2010) publica que en el año 2000 se sembraron 12476 ha, obteniendo una producción de 949109 toneladas de forraje verde; para el año 2009 reporta que se sembraron 8186.25 hectáreas con una producción de 638097.6 toneladas, lo que indica que en nueve años, la superficie sembrada se redujo 4289.75 hectáreas y aunque en este lapso de tiempo el rendimiento mejoro 1.88 ton/ha, la reducción de hectáreas cultivadas fue de 32% del año 2000 al 2009, en cuanto a producción esta disminuyó 311.11.4 toneladas, es decir, 32.77%.

2.4.2 Avena

Debido a que su uso es forrajero, el ciclo de siembra es otoño-invierno. La avena, es una buena alternativa para mantener el equilibrio en la producción de forraje fresco a través del año, especialmente en invierno, que es cuando la producción regional de alfalfa disminuye (SARH, 1981). Los meses de siembra en el Estado de México varían del 15 de octubre al 15 de noviembre, tiene un ciclo vegetativo de 100 a 120 días, según la variedad. Las fases fenológicas corresponden a las gramíneas. Es un cultivo de alto coeficiente de transpiración, y no tolera heladas intensas. La tabla 2 muestra algunas características taxonómicas de la avena.

Tabla 2. Taxonomía de la Avena	
Nombre científico	<i>Avena sativa L.</i>
Familia	Poaceae
Origen	Asia central (Chapman y Carter, 1976)
Distribución	20S-60N. Quinto cereal de mayor importancia en el mundo principalmente en climas fríos del hemisferio norte. (Infoagro, 2010)
Adaptación	Prefiere la zonas que presentan climas frescos y húmedos para la época de verano, para variedades de invierno prefiere zonas con inviernos suaves (ECOCROP-FAO, 2009).

Ciclo vegetativo	Anual de 100 a 120 días (Robles, 1983) 110-275 días.
Tipo Fotosintético:	C3

Altitud: El rango óptimo para la siembra se encuentra de 1000 a 3000 msnm, aunque tiene una amplia adaptabilidad, (Hughes, 1976) mayor a 1500 m en zonas tropicales y subtropicales, desde el nivel del mar en zonas templadas (ECOCROP-FAO, 2009).

Temperatura: los rangos óptimos de cultivo es de 15 a 28°C, teniendo como límite mínimo de 4 a 6°C y como máximo más de 30°C (López, 1991). En cuanto a luz prefiere los días despejados y brillantes, de fotoperiodo neutral de 12-14 horas y algunos de día largo >14 horas.

Precipitación: la precipitación media anual óptima corresponde de 500 a 800 mm. Los requerimientos por ciclo corresponden de 350 a 900 mm (López, 1991). Prefiere atmósferas relativamente secas, ya que la alta humedad relativa es un importante factor promotor de enfermedades.

Suelo: prefiere suelos con texturas arcilloso-limosas o franco-arcillosos, no calcáreos y con buena retención de humedad (Benacchio, 1982). Se desarrolla en suelos que presentan una profundidad absoluta de 20 a 50 cm pero su óptimo se encuentra en suelos con profundidad de 50 a 150 cm. Es sensible a la salinidad, presenta su óptimo desarrollo en suelos inferiores a los 4 ds/m, en suelos con conductividad superior a los cuatro puede presentar problemas. El rango óptimo del pH en el que la avena prosperan es de 5 - 6, aunque el rango absoluto se encuentra entre 4.5 – 7.5 (ECOCROP-FAO, 2009). Requiere suelos con buen drenaje para evitar problemas de pudrición y/o enfermedades.

Pendiente: Lo óptimo es de 0 a 8% y hasta 40% (Infoagro, 2010), pero puede desarrollarse en los diferentes grados de pendientes aunque esta influirá en las prácticas agrícolas.

Debido a los buenos rendimientos de avena, su tolerancia a bajas temperaturas, a las plagas y a las enfermedades; así como a su amplio rango de adaptación, la avena es uno de los principales cultivos forrajeros de invierno para el Valle de México.

En el año 2000 en el Estado de México se sembraron 41886 ha de avena forrajera, mismas que tuvieron una producción de 823638.84 toneladas, al año 2009 se sembraron 63897.7 ha con una producción de 1320371.8 toneladas. En este caso la avena forrajera aumentó tanto en superficie sembrada como en producción, del año 2000 al 2009 la superficie sembrada aumentó 22011.7 ha, y en producción 496732.96 toneladas, es decir, 52.55% más de superficie y 60.31% de producción. (OEIDRUS, 2010)

2.4.3 Cebada

La cebada es un cultivo de siembra del 20 de mayo al 20 de junio en el Estado de México (SARH, 1981), requiere pocas unidades calor, tiene pocas exigencias con respecto al clima y el ciclo vegetativo va de 100 a 130 días, según la variedad.

Nombre científico	<i>Hordeum vulgare L.</i>
Familia	Poaceae (Gramineae)
Origen	Sudeste de Asia y África septentrional (Martínez, 1979)
Distribución	Amplia adaptación ecológica. 70°N- 64°S,
Adaptación	Climas templados. Regiones subtropicales con invierno definido. Regiones áridas y semiáridas templadas bajo riego, regiones subhúmedas con estación seca, climas cálidos, semicálidos, templados y semifríos (Aragón, 1995; citado por Ruíz, 1997).
Ciclo vegetativo	Anual de 100 a 130 días según la variedad y condiciones agroecológicas.
Tipo fotosintético	C3

Altitud: La cebada se adapta a altas latitudes y altitudes, de 0-3500 msnm (Ruíz, 1997). Robles, (1983) señala que la cebada puede cultivarse en altitudes de 0 a 4500 msnm, siendo el óptimo 2500.

Temperatura: La cebada para germinar necesita una temperatura mínima de 6°C, florece a los 16°C y madura a los 20°C, tolera bajas temperaturas llegando a soportar hasta -10°C En general la temperatura mínima es de 3 a 4°C, la óptima se encuentra a los 15 a 28°C y la máxima 40°C. (Robles, 1983), en cuestión de fotoperiodo esta especie acepta amplios rangos, se puede cultivar en períodos de días cortos y días largos

Precipitación: Se recomienda el cultivo para lugares de precipitación media anual de 500 a 1000 mm y como requerimiento para todo el ciclo vegetativo necesita 400 a 1300 mm (Robles, 1983). Una alta humedad del aire limita el cultivo.

Suelo: Se adapta a diferentes tipos de suelo, crece bien en suelos profundos o delgados, de textura media como: migajón-arcillosa a migajón-arenosa con buena fertilidad, buen drenaje profundo y aireados. Es muy tolerante a los suelos salinos, pero poco tolerantes a los suelos ácidos, se desarrolla en un pH de 6 a 8.5 como máximo siendo 7 lo óptimo (Russell, 1968)

Pendiente: De 2 a 15%, como óptimo hasta muy pronunciadas. (Infoagro, 2010)

La cebada es uno de los cultivos de temporal, importantes como alternativa en siembras tardías y ofrece mayor seguridad a la cosecha. OEIDRUS, (2010) informa que en el año 2000 el cultivo de cebada forrajera en verde ocupó 125 ha, con producción de 1996 toneladas; al año 2009 sólo se registraron 4 ha de superficie sembrada con producción de 48 toneladas. Aunque la producción del año 2009 disminuyó 96.8% con respecto al año 2000, esta ha variado año con año

2.4.4 Maíz

El maíz es de los forrajes más importantes de verano, y de amplio cultivo, se adapta a diferentes condiciones climáticas, necesitando de 10 a 16 unidades calor por día. En el Estado de México se siembra de abril a junio y el ciclo vegetativo dura de 160 a 180 días según la variedad. (SARH, 1981)

Tabla 4. Taxonomía de Maíz	
Nombre científico	<i>Zea mays L.</i>
Familia	Poaceae
Origen	México y Centro América (González, 1984; citado por Ruiz, 1997)
Distribución	Latitud de 50°N a 40°S.
Adaptación	Dispersa en diferentes climas por las distintas razas. En climas cálidos y templados. (ECOCROP-FAO, 2009)
Ciclo vegetativo	Anual de 100 a 140 días (Doorenbos y Kassam, 1979). 80-140 días (Benacchio, 1982). 160-180 días (SARH, 1981)
Tipo Fotosintético	C4

Altitud: presenta un amplio rango sobre el cual se cultiva, pudiéndose adaptar desde los 0 hasta los 4000 msnm 1000 a 2500 msnm (ECOCROP-FAO, 2009) y de 0 a 3300 msnm (González, 1984; Purseglove, 1985).

Temperatura: al existir una amplia gama de razas de maíz que se pueden adaptar a las diferentes temperaturas. En temperaturas cálidas de las zonas tropicales, el maíz presenta un rápido desarrollo y el periodo de maduración se hace más corto comparado con las zonas más frías. La temperatura óptima para germinación está entre 18 y 21°C; por debajo de 13°C se reduce significativamente y de 10°C hacia abajo no se presenta germinación (Purseglove, 1985)

Según Llanos (1984) menciona que la temperatura optima para el desarrollo del cultivo de maíz en el meses de junio es de 18°C y en julio y agosto es de 22°C en ambos meses con una variación de ± 7 a ± 8 °C. Sin embargo tanto fotosíntesis como desarrollo de maíz son muy lentos a 10°C y alcanza su valor máximo de 30 a 33°C (Duncan, 1975)

Estudios del departamento de Agronomía de la Universidad Autónoma de Chapingo, el rango óptimo del cultivo de maíz para el Estado se encuentra entre los 15 y 30°C de temperatura media anual, mínima de 10°C y máxima de 34°C. La mayoría de la variedades prefiere una buena luminosidad ya que son sensibles a la sombra, necesitan abundante insolación para máximos rendimientos (Baradas, 1994).

Precipitación: El rango de precipitación media anual óptima es de 700 a 1100 mm y en todo el ciclo vegetativo necesita de 500 a 800 mm (Andrade, 1997). De 600 a 1200 mm se desarrolla de manera óptima con un mínimo de 400 mm (ECOCROP-FAO, 2009)

El periodo más crítico por requerimiento hídrico es el que abarca 30 días antes de la polinización, ahí se requieren de 100 a 125 mm de lluvia. Con menos de esta humedad y con altas temperaturas se presenta asincronía floral y pérdida parcial o total de la viabilidad del polen (Purseglove, 1985).

Se desarrolla mejor en una humedad ambiental moderada, ya que de estar el aire muy seco provoca el cierre de estomas ocasionando mayor daño en hojas viejas, por lo que lo mejor es una atmósfera moderadamente húmeda.

Suelo: Prospera bien en suelos de textura mediana como: franco, franco arenosa, franco arcillo arenosa y franco arcilloso; tiene algunos inconvenientes en suelos arcillosos y arenosos por la condición de humedad que se presenta, lo cual provoca excesos o deficiencias que a la postre, afectan de alguna manera al cultivo. (González, 2002)

Aunque en suelos profundos las raíces pueden llegar hasta 2 m, la mayor parte se sitúa en la capa superior de 0.8 a 1 m, produciéndose cerca del 80% de absorción del agua del suelo

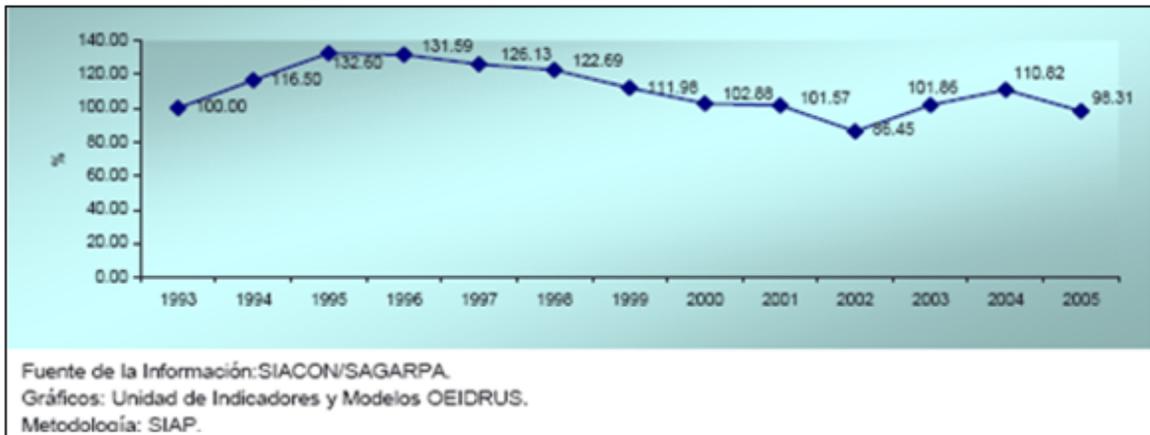
dentro de esta capa. Normalmente el 100% del agua se absorbe de una profundidad de 1 a 1.7 m (Doorenbos y Kassam, 1979).

Con respecto a la salinidad presenta su mejor desarrollo en suelos con una CE menor a 4 ds/m aunque puede llegar a presentar algunos efectos poco considerables a 10 ds/m (ECOCROP-FAO, 2009) El rango óptimo de pH óptimo es de entre 5 y 7, aunque el rango absoluto se encuentra entre 4.5-8.5 (ECOCROP-FAO, 2009). En suelos que presentan un pH ácido es muy probable que presente deficiencias de fósforo ante el exceso de aluminio activo. Requiere un buen drenaje ya que no tolera encharcamientos (Doorenbos y Kassam, 1979)

Pendiente: Lo óptimo recomendable es de 0-15% llegando hasta un máximo de 60% (SARH, 1981). No obstante puede desarrollarse en los diferentes grados de pendientes esta influirá en las prácticas agrícolas. En parcelas que presenten una pendiente elevada es necesario realizar algún tipo de obra de conservación para evitar la pérdida de suelo como terrazas, surcos a nivel, intercalado con algunas otras especies. Los terrenos planos deben estar nivelados con una ligera pendiente para evitar los encharcamientos que puede ocasionar la muerte de las plantas.

El maíz es uno de los forrajes más utilizados en el mundo, por su rápido desarrollo y alto rendimiento, es uno de los cultivos forrajeros de verano más importantes, además, la factibilidad con que puede conservarse mediante el proceso de ensilaje, permite disponer de altos volúmenes de alimento para el ganado durante el invierno, que es cuando hay mayor escasez de forraje. La mayor parte de maíz de temporal se destina a la producción de grano, pero ocasionalmente cuando las condiciones de temporal son desfavorables, este cultivo se corta para forraje (SARH, 1981).

OEIDRUS, (2010) informa que en el Estado de México bajo la modalidad de riego y temporal se sembraron 22703 hectáreas de maíz forrajero, de las cuales se obtuvo una producción de 1087591.60 toneladas en el año 2000; para el año 2009 se sembraron 21499.9 hectáreas, que produjeron 1063867.74 toneladas. El área sembrada de maíz forrajero se redujo 1203.1 hectáreas en estos años, equivalente a un 5.3% de la superficie sembrada en el año 2000. La gráfica 1 muestra el índice de rendimiento por hectárea del año 1993 al 2005, afectado por factores climáticos, por la utilización de fertilizantes y/o plaguicidas y no así directamente por la cantidad de superficie cosechada de maíz forrajero.



Gráfica 1. Índice de rendimiento por hectárea de maíz forrajero en el Estado de México

2.4.5 Pastos

Aunque tiene buena capacidad de adaptación, el rendimiento de los pastizales varía según la especie y clima en el que se siembre. El ciclo vegetativo varía según la especie dividido en pastos cortos y largos, estos últimos con varios cortes al año, resiste la sequía y se recomienda una rotación de cultivos. Los pastizales son de amplios niveles de adaptación por lo que tiene pocas exigencias para su cultivo.

Nombre científico	<i>Aristida divaricata</i> (zacate)/ <i>Bouteloua curtipendula</i> (zacate banderita)/ <i>Bouteloua gracilis</i> (navajita)/ <i>Buchloe dactyloides</i> (zacate chino)/ <i>Cenchrus ciliaris</i> L. (zacate buffel)/ <i>Muhlenbergia rigida</i> (zacatón). (INEGI, 2005)
Familia	Poaceae
Origen	Difiere según la variedad.
Distribución	Amplia distribución mundial, según cada una de las especies
Adaptación	En la llanura, praderas y cerros rocosos del norte y centro de México.
Ciclo vegetativo	Perenne, o anual dependiendo de su utilidad y variedad.

Altitud: De 200 a 3500 msnm, a estas altitudes se encuentran los pastizales en el mundo, aunque varía según la especie; por ejemplo: el zacate banderita se encuentra entre 900 y 2300 msnm según el Comité Estatal de Ganadería de Sonora (1972), sin embargo la ECROP-FAO dice que se puede desarrollar hasta una altitud de 2700 msnm. El pasto navajita se desarrolla a 2000 msnm como altitud máxima igual que el zacate buffel (ECOCROP-FAO, 2009).

Temperatura: lo adecuado para el cultivo es de 16 a 27°C, con un mínimo de 5 a 6°C y un máximo aproximado de 30°C (Galván, 2006). En general se desarrolla adecuadamente en temperaturas frescas de 13 a 22°C y un intervalo de temperaturas absolutas de 4 a 27°C (ECOCROP-FAO, 2009).

En el caso del pasto navajita se desarrolla bien en zonas áridas y templadas. (Galván, 2006) de 12 a 27°C en un intervalo de 2 a 32°C. El fotoperiodo varía conforme la estación del año y conforme a las especies en este caso de 12 a 14 horas y algún día corto menor a 12 horas (Gillet, 1984).

El zacate banderita crece bien en temperaturas de 13 a 22°C en un intervalo de temperatura absoluta de 4 a 27°C, prefiriendo días despejados y muy brillantes (ECOCROP-FAO, 2009)

El zacate buffel se desarrolla en regiones en donde la temperatura es cálida con óptimo entre 22°C y 37°C, con una temperatura absoluta de 5 y 42°C (ECOCROP-FAO).

Precipitación: la precipitación media anual óptima requerida para los pastizales es de 600 a 2000 mm y los requerimientos de agua para todo el ciclo es de 100 a 300 mm en pastos cortos y de 300 a 600 mm en pastos largos (León, 1955). Se adapta a una humedad ambiental de moderada a seca.

El zacate banderita tiene un nivel óptimo de precipitación de 600 a 1000 mm, aunque con 350 mm puede completar su desarrollo. En el caso de los pastos navajita crecen bien con una precipitación media anual de 500 a 900 mm en el centro del país. El zacate buffel requiere una precipitación de 400 a 1000 mm, y una humedad ambiental de moderada a seca (ECOCROP-FAO, 2009), hay que tener en cuenta que la cantidad de precipitación requerida depende de la variedad de pasto y de los cortes.

Suelo: El cultivo tiene buena capacidad de adaptación a distintos tipos de suelos, se desarrolla adecuadamente en suelos con textura franca y franco-arenosa, con una capa superficial fina de 4 cm y 20 cm de profundidad, su óptimo desarrollo es en suelos inferiores a los 4 ds/m en suelos con conductividad superior a los cuatro comienza a limitar su crecimiento (ECOCROP-FAO, 2009). Los pastos son poco exigentes con respecto al aire y poros de la tierra, requiere un pH de 6 a 7, sin embargo el absoluto se encuentra entre

5 y 7.8. Requiere un drenaje de bueno a regular, aunque tolera suelos inundados (León, 1955).

El zacate banderita prefiere suelos con textura franco a franco-arenosa, de 20 cm de profundidad, con salinidad inferior a 4 ds/m y un pH de 6 a 7 aunque soporta de 5.5 a 7.8.

El pasto navajita crece bien en suelos con textura areno-arcillosa y arenosa, con profundidad absoluta de 20-50 cm y óptima de 50-150 cm, con salinidad de 4 ds/m o menor, prefiere suelos ligeramente alcalinos de un pH de 5-, aunque crece entre valores de 4.5 a 8.5 de pH (ECOCROP-FAO, 2009).

El zacate buffel se adapta a un amplio rango de tipos de suelo pero los ideales son los de textura franca, franco-arenosa y franco-arcillosa, crece a profundidades absolutas del suelo de 20-50 cm, con un óptimo de 150 cm, presenta una ligera tolerancia a los suelos con una conductividad de 10 ds/m y el pH adecuado es de 6.5 a 8 aunque crece en un pH de 5.5 a 8.5 (ECOCROP-FAO, 2009).

Pendiente: Los pastos se desarrollan en cualquier tipo de pendiente, aunque Gillet, (1984) recomienda una pendiente optima de 0-15% para los pastizales.

El zacate banderita se desarrolla en cualquier tipo de pendiente, al igual que el zacate navajita y el zacate buffel, no siendo una limitante la pendiente (ECOCROP-FAO, 2009)

Los pastos y las praderas a partir de la actividad humana se aprovechan con fines forrajeros, estas áreas se asocian a las regiones con vocación ganadera, pues son el soporte de la alimentación de la ganadería muchas veces extensiva, son usados para proporcionar forraje henificado, ensilaje y de pastoreo, a pesar de que su riqueza en nutrientes no puede considerarse alta. En México el principal consumo es el pastoreo de ganado mayor o menor, aunque también se aprovecha toda la planta, cuando se deja crecer para realizarle cortes cada mes o mes y medio, se comercializa en verde, seco, acicalado. (SIAP, 2010)

En el año 2000, la superficie sembrada de pastos fue de 97945.3 hectáreas en el Estado de México, que produjeron 2746861.9 toneladas. Hacia el año 2009 la superficie sembrada fue de 81003 hectáreas que produjeron 2437292.5 toneladas de pastos (OEIDRUS, 2010). Comparar estos dos períodos de producción nos demuestra una disminución de 16942.3 hectáreas y 309569.4 toneladas, sin embargo, la superficies sembrada de pastos ha variado año con año.

2.4.6 Sorgo

Es un forraje de verano, en el que se recomienda una rotación de cultivos, la época de siembra es del 25 de marzo al 20 de abril, el ciclo vegetativo dura de 130 a 140 días y es un cultivo resistente a las sequías. (SARH, 1981)

Tabla 6. Taxonomía de Sorgo	
Nombre científico	<i>Sorghum vulgare</i>
Familia	Poaceae (Gramineae)
Origen	Originario de África central de Etiopía – Sudán (González, 1984).
Distribución	Latitud 40°N a 40°S (Purseglove, 1985). 20° Sur – 60° Norte (infoagro, 2010)
Adaptación	Regiones templadas y subtropicales (Ruiz, 1997). Tropical seco y húmedo (Aw), estepa o semiárido (Bs), subtropicales secos de verano (Cs).
Ciclo vegetativo	Anual, de 85-110 días (Benacchio, 1982). 100-115 días (Baradas, 1994). 130-140 días (SARH, 1981)
Tipo Fotosintético	C4

Altitud: El sorgo prospera en altitudes de 0-1700 msnm (Ruíz et. al, 1997)

Temperatura: Para el crecimiento necesita temperaturas cálidas entre 26.7 y 29.4°C, mientras que la mínima para germinación es de 7.2-10°C y la mínima para crecimiento es de 15.6°C. Temperaturas arriba de 38°C son dañinas. Tolera el calor y la sequía mejor que el maíz (Baradas, 1994). Por su parte ECOCROP- FAO sugieren que su rango óptimo es entre 22 y 35 °C.

Las temperaturas que sean por debajo de 8°C propicia que en la planta se acumule ácido cianhídrico y esto trae consecuencias para los animales ya que los intoxica, también es posible producir sorgo a temperaturas de hasta 40 °C siempre y cuando exista una buena humedad en el suelo (Chapman y Carter, 1976). En cuanto a luz prospera con días despejados y alta radiación.

El rango óptimo para el Estado de México va de 24 a 30°C, teniendo como mínimo 16°C y como máximo 37°C, aunque germina a los 7°C. (SARH, 1981; López, 1991)

Precipitación: La precipitación media anual recomendada es de 600 a 1000 mm, y por ciclo se requiere de 450 a 650 mm para su buen desarrollo (Robles, 1983)

El sorgo es un cultivo que tienen requerimientos hídricos bajos, se puede desarrollar adecuadamente con poca precipitación siempre y cuando esta se distribuya durante el ciclo, sin embargo, también puede desarrollarse desde una precipitación mínima de 300 mm (ECOCROP-FAO, 2009).

Suelo: Se adapta en suelos que van desde texturas medianas a gruesas, prefiriendo suelos de textura ligera a mediana (Doorenbos y Kassam, 1979). Puede desarrollarse bien a una profundidad entre 20 y 50 cm, sin embargo su óptimo se presenta en suelos con profundidad cercana a los 50 cm. Es moderadamente tolerante a la salinidad su óptimo desarrollo es en suelos inferiores a los 4 ds/m, sin embargo pueden desarrollar hasta una conductividad de 10 ds/m (ECOCROP-FAO, 2009). El pH va de 5.5 a 8.0 con un óptimo de 7.0 (FAO, 1994), y requiere suelos con buen drenaje para evitar problemas de pudrición y/o enfermedades.

Pendiente: Es considerado óptimo una pendiente de 2% para cultivo mecanizado y 45% para semi-mecanizado o manual (Infoagro, 2010). Se adapta a suelos que se encuentran en planicies, pero debido a los pocos requerimientos de agua de este cultivo se puede desarrollar en zonas de lomeríos.

En el Valle de México, el sorgo se contempla como una alternativa para la producción de forraje de verano, ya que cuando se le da más de un corte puede superar en rendimiento al maíz. Su utilización puede ser como forraje verde, ensilado o henificado (SARH, 1981).

En el año 2000 se sembraron 99 ha de sorgo forrajero que produjeron 2821.6 toneladas, para el año 2009 la siembra fue de 147.85 ha que produjeron 5148.1 toneladas de este forraje. Al comparar el año 2000 con el 2009 la superficie sembrada aumentó 48.5 ha de siembra y 2326.5 toneladas de producto (OEIDRUS, 2010).

CAPÍTULO III

ÁREA DE ESTUDIO:

Generalidades del Estado de México

3.1 Ubicación del área de estudio

El Estado de México se ubica en la zona central de la República Mexicana, en la parte oriental de la mesa de Anáhuac, entre las coordenadas geográficas: de 18°22' a 20°17' latitud Norte; y de 98°36' a 100°37' de longitud Oeste.

La extensión territorial del Estado es de, 22,357 kilómetros cuadrados, cifra que representa el 1.09 % del total del país y ocupa el lugar 25 en extensión territorial, respecto a los demás Estados. Políticamente está dividido en 125 municipios de los cuales la capital es Toluca de Lerdo. (INEGI, 2005)

Sus colindancias son: al Norte con Michoacán de Ocampo, Querétaro de Arteaga e Hidalgo; al Este con Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Morelos y el Distrito Federal; al Sur con Morelos y Guerrero; al oeste con Guerrero y Michoacán de Ocampo. La figura 3 muestra la localización del Estado de México en la República Mexicana.

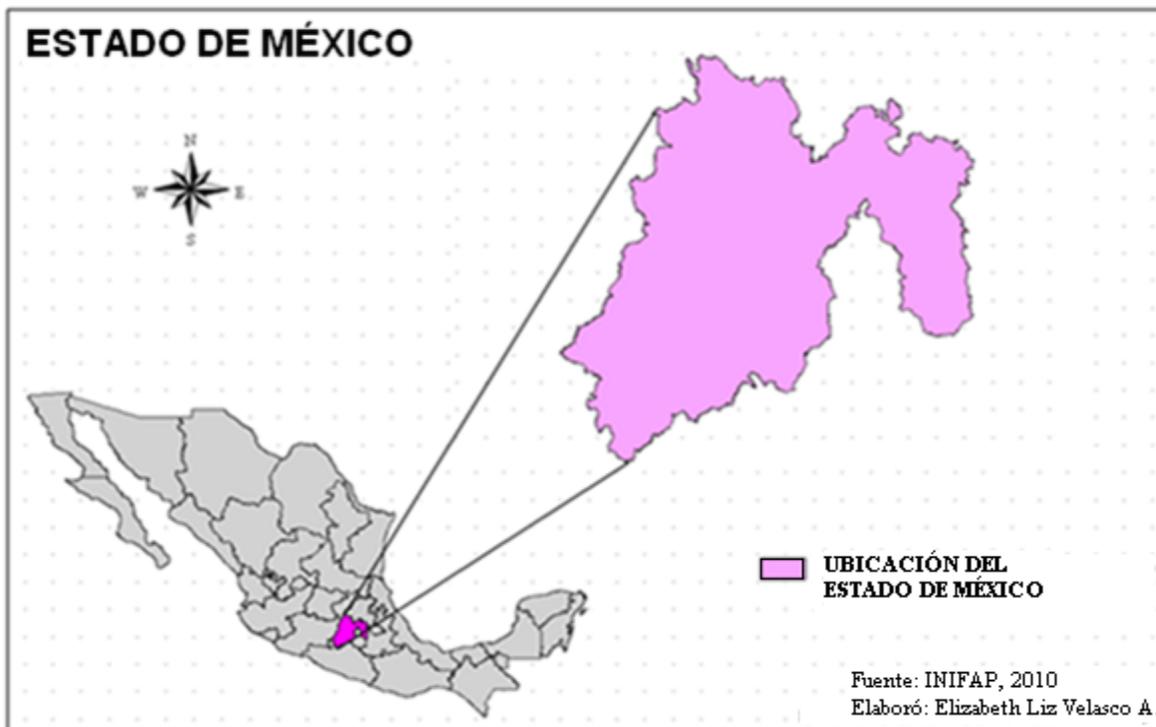


Figura 3. Localización del Estado de México

3.2 Hidrografía y relieve

El Estado abarca tres regiones hidrológicas importantes: el Lerma-Santiago que baña el 23.09% de la superficie estatal, el Balsas que recorre el 40.65% de la superficie estatal y el Panuco baña el 35.45% debido a que se nutren de varios ríos, corrientes y cuerpos de agua. Entre los cuerpos de agua más importantes se encuentran la presa Valle de Bravo, Valle Victoria, Huapango, Tepetitlán y Guadalupe. Y entre las corrientes más importantes están: Lerma, San Felipe, Temascaltepec, Sultepec, Tejalpa, Pungaracho, La Asunción, La Venta y San Juan del Río. La figura 4 muestra las corrientes perennes de la entidad.

En lo que corresponde al medio físico, el relieve es muy accidentado, destacan 21 elevaciones entre las que se encuentran el Volcán Popocatepetl e Iztaccíhuatl, el Nevado de Toluca (Volcán Xinantécatl), el Cerro Telapón, el Cerro Atlamasha entre otros, el primero se eleva a 5.482 m de altitud, convirtiéndolo en la elevación más alta del Estado, seguido por una altitud de 5220 msnm, 4680 msnm, 4060 msnm, y 3,980 msnm respectivamente. Además de formar pequeños valles y planicies, los valles más importantes son Valle de México y Valle de Toluca, y las Ciénagas de Lerma. (INEGI, 2005).

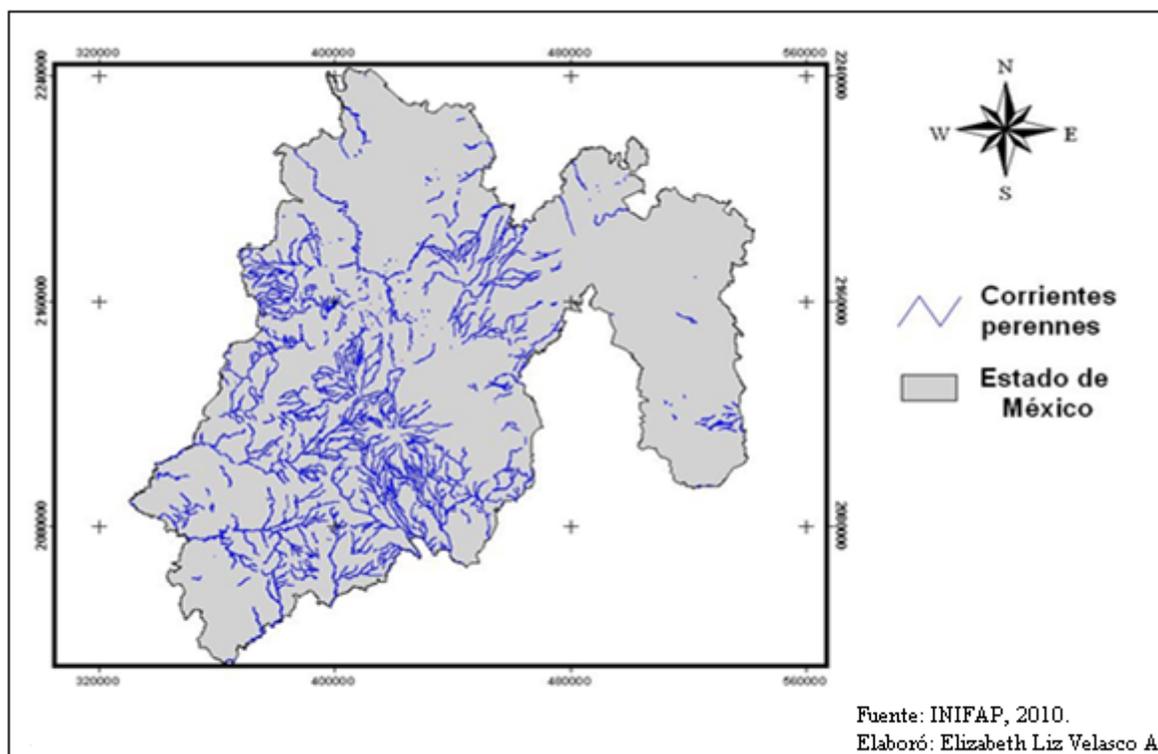


Figura 4. Hidrografía del Estado de México

3.3 Geología

Comprendido entre dos zonas fisiográficas importantes, el sistema Volcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur se localiza el Estado de México, compuesto de afloramientos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, siendo las rocas ígneas extrusivas las que ocupan una mayor extensión. Son dos eras Geológicas las que comprenden el Estado de México, el Cenozoico y Mesozoico, en el primero, el periodo cuaternario identifica rocas ígneas extrusivas en el 21.63% del territorio estatal y de suelo el 9.7%, mientras que la mayor cantidad de roca ígnea extrusiva con 39.92% del territorio es del periodo Terciario, de este mismo periodo el 17.55% es roca sedimentaria. En cuanto a las rocas de la era Mesozoica, la ígneas ocupan el 0.59% del territorio, las sedimentarias el 0.09%, las metamórficas el 8.81% y las sedimentarias del periodo Cretácico el 1.71% del territorio estatal. (INEGI, Carta Geológica 1:1000 000). Las principales estructuras geológicas que se presentan son aparatos volcánicos, algunos de los cuales son los más notables del país: el Popocatepetl, el Iztacihuatl y el Nevado de Toluca. Además existen fracturas y fallas regionales, asociadas a los fenómenos de vulcanismo y mineralización.

La figura 5, representa la Geología de la entidad en base a la cartografía de INEGI escala de referencia 1: 1 000 000.

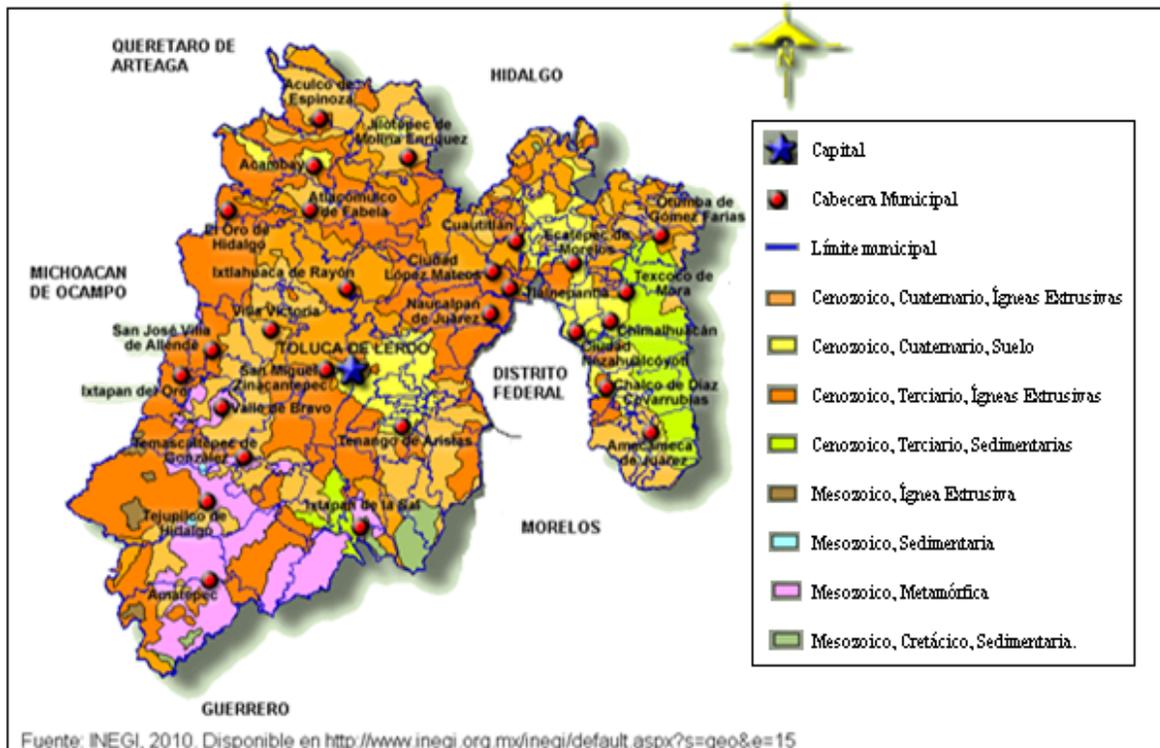


Figura 5. Geología del Estado de México

3.4 Clima

La distribución de los climas es variado, según el sistema modificado de Köppen en su mayoría prevalece un clima Templado subhúmedo con lluvias en verano el cual ocupa el 61.03% de la superficie Estatal; el clima Cálido subhúmedo con lluvias en verano ocupa el 11.46%; el clima Semifrío subhúmedo con lluvias en verano el 11.02% del Estado, el Semicálido subhúmedo con lluvias en verano ocupa un 10.42%; el Semiseco templado un 5.28%; el Semifrío húmedo con lluvias en verano ocupa el 0.58% y el clima Frío ocupa un 0.21% del territorio estatal. Los climas templados se concentran en los valles altos de la parte Norte, Centro y Este de la entidad, particularmente en las inmediaciones del Valle de México. Le sigue en importancia, por su influencia y extensión, el clima semifrío, que se encuentra distribuido en las regiones del centro y este, principalmente en las cercanías de Toluca. En menor grado se encuentran los climas cálidos y semicálidos, los cuales se localizan en el extremo sur, esto es, en los límites con el Estado de Guerrero. El clima frío rige sólo en algunas zonas pequeñas en las partes más elevadas de la entidad como son el Nevado de Toluca y el Popocatepetl. (Véase figura 6) En algunas regiones, la agricultura está expuesta a heladas tempranas o tardías, las cuales impiden levantar más de una cosecha al año. (INEGI, Carta de Climas 1:1000 000)

A lo largo del año se presentan vientos dominantes de Sur a Norte con mayor intensidad en los meses de febrero y marzo, de la misma manera que varían las temperaturas también varían las precipitaciones, las que se encuentran entre 500-1500mm anuales.

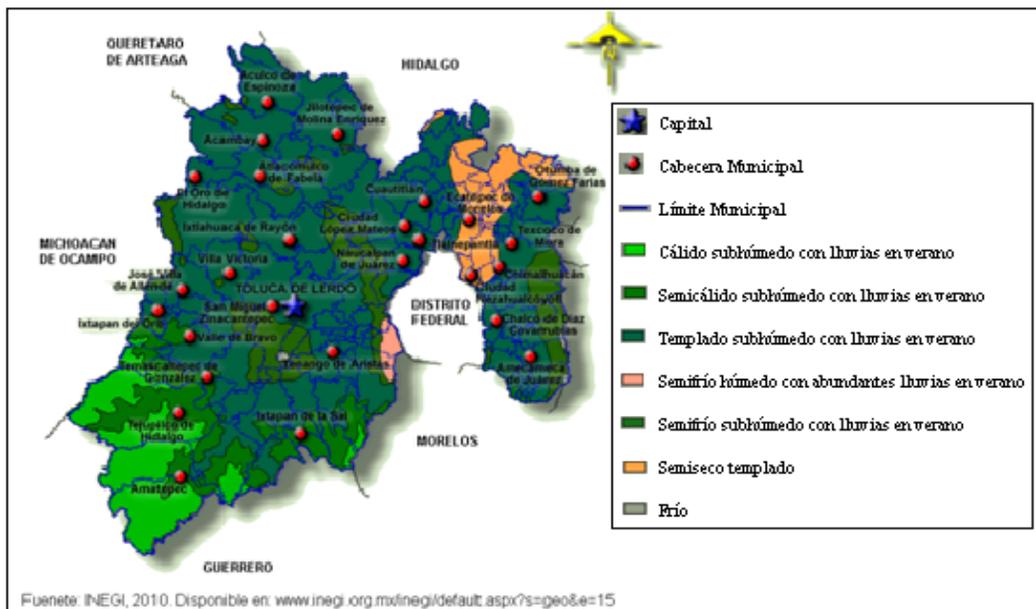


Figura 6. Climas en el Estado de México

3.5 Suelo

Debido a la influencia de diversos factores ambientales, en el Estado de México se cuenta una variada gama de suelos, entre los que según la base de datos de INEGI se encuentran: Acrisoles, Arenosoles Cambisoles, Fluvisoles, Gleysoles, Histosoles, Leptosoles, Litosols, Luvisoles, Phaeozems, Planosoles, Podzoles Regosoles, Vertisoles, entre otros, con variados procesos físicos y químicos, diferenciándose en horizontes, entre los principales están: dístrico, éútrico, ócrico, flúvico, húmico, cálcico, sódico, hístico, salino, haplico, vitrico, gléyico, pélico, crómico, lúvico, gipsico, etc.(Carta edafológica, 1:1 000 000)

La figura 7 muestra la distribución de los tipos de suelo en el Estado de México, según la cobertura digital de INEGI, tomada de las cartas edáficas de 1977 y 1988 en una escala de referencia de 1: 1 000 000.

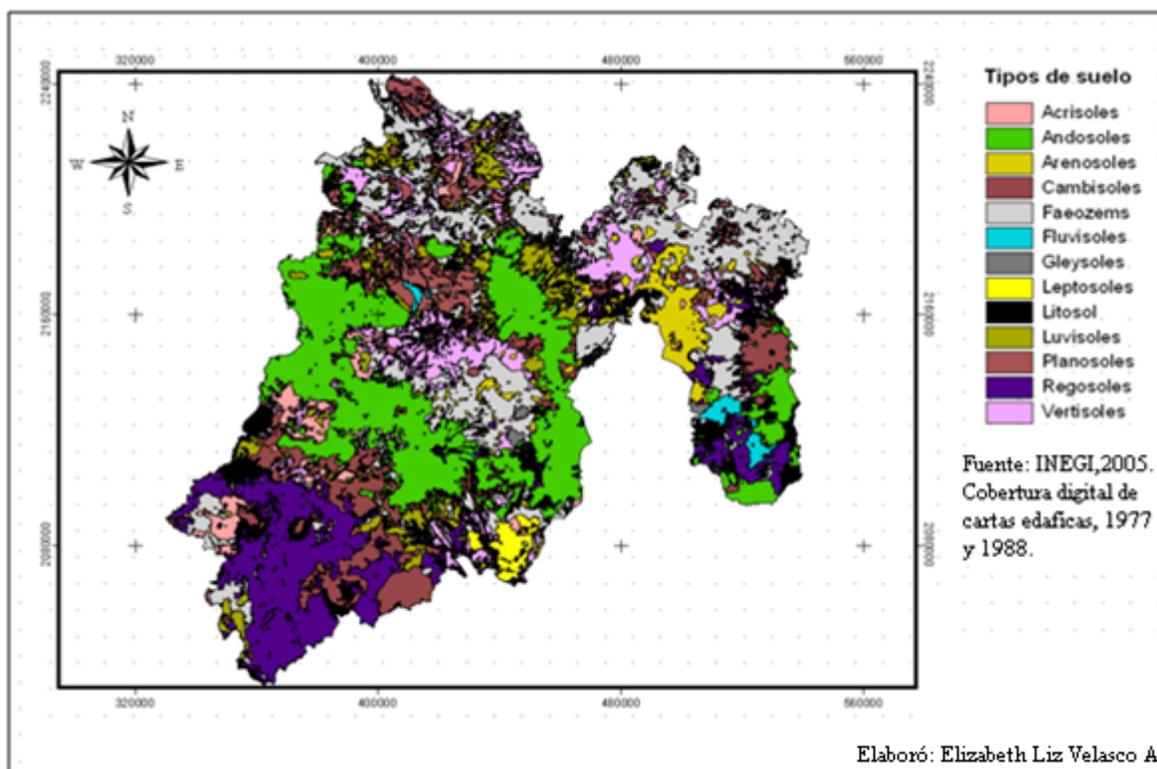


Figura 7. Suelos del Estado de México

3.6 Vegetación

La vegetación del Estado es muy diversa, desde las zonas áridas hasta los páramos de alta montaña. En las sierras hay pino, encino, cedro blanco, oyamel y zacatonal; en los valles, pastizales, vara dulce, nopal, damiana, ocotillo, uña de gato, huizache, cazahuate, sotol, copal y guajes. El bosque del poniente de la entidad es favorable para la hibernación de la mariposa monarca. INEGI, 2007 marca el 47.43% de la superficie estatal como agrícola, el 14.47% es pastizal, el 27.81% de la superficie es bosque, 5.67% selva, 0.90% es matorral y 3.72% lo ocupan otros tipos de vegetación menores. (Carta de uso de suelo y Vegetación, 1:1000 000 y 1:250 000)

De manera más general el Instituto Nacional de Ecología (INE), en la carta de Vegetación y Uso de Suelo 2000 del Estado de México, clasifica la vegetación en once tipos: Bosque se Coníferas, Bosque de Latifoliadas, Bosque de Coníferas y Latifoliadas, Bosque mesófilo de Montaña, Selva caducifolia y subcaducifolia, Matorral xerófilo, Pastizal natural, Pastizal inducido y cultivado, Plantación Forestal, Vegetación hidrófila y Vegetación halófila y gipsófila. (Véase figura 8)

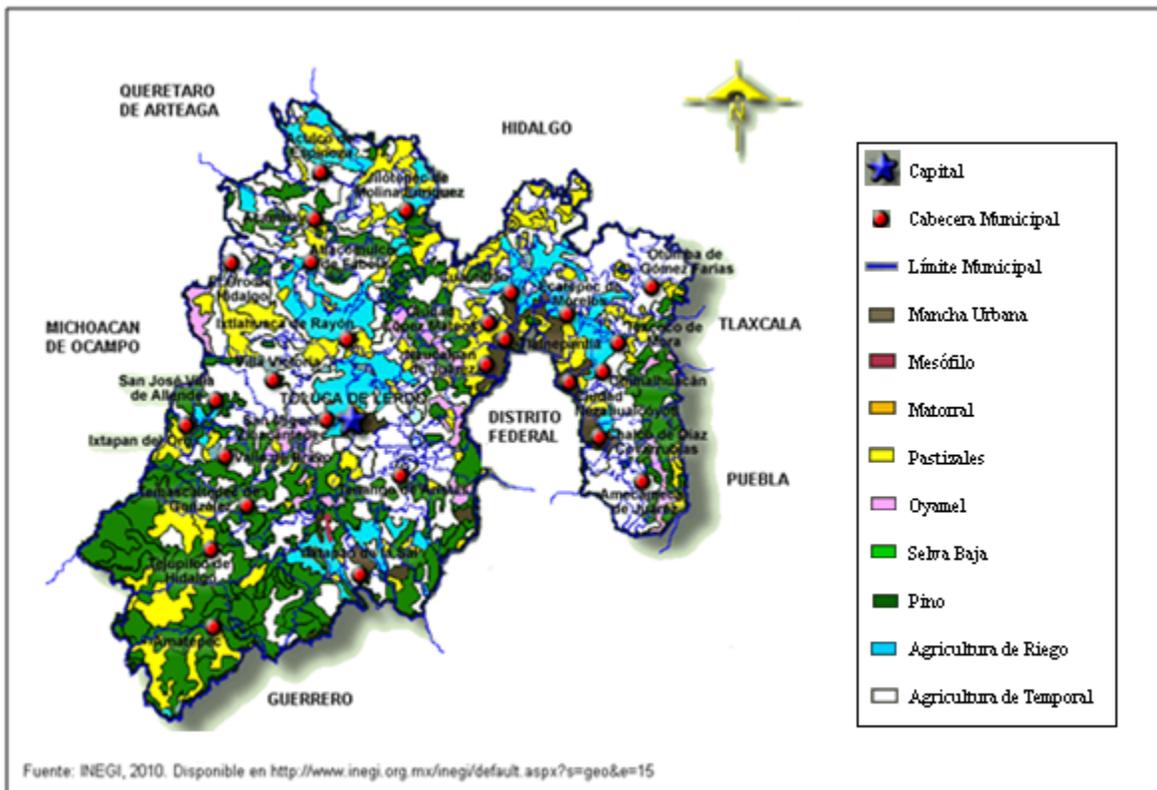


Figura 8. Vegetación y Agricultura del Estado de México

3.7 Uso potencial de la tierra

El uso potencial de la tierra tanto agrícola como pecuaria, abarca distintos conceptos representativos. El uso potencial agrícola está representado por la actividad mecanizada continua en un 37.14% del total, seguido por la manual continua con 33.81% y de menor importancia le siguen la manual estacional, la no apta para la agricultura, mecanizada estacional o de tracción animal continua y de tracción animal estacional. (INEGI, 2005)

Del uso pecuario total en el Estado de México por actividad, esta clasificado de la siguiente manera: el 36.96% es para el desarrollo de praderas cultivadas, el 2.04% corresponde a el aprovechamiento de la vegetación de pastizal, el 13.99% a el aprovechamiento de la vegetación natural diferente de pastizal, 39.24% el más importante es para el aprovechamiento de la vegetación natural únicamente por el ganado caprino y el 7.77 son tierras no aptas para uso pecuario (INEGI, Uso potencial, Ganadería, 1:100 000)

El oriente de la entidad está marcado por una variabilidad agrícola por cultivos de chile, calabaza, ejote, frijol, jitomate, sorgo, soya entre otros; en el aspecto pecuario es factible la crianza de de bovinos de carne, bovinos de leche, caprinos y ovinos de diferentes razas; por lo que respecta al uso forestal es factible la explotación industrial de recursos maderable y no maderables, así como la explotación forestal para uso doméstico.

En la parte norte se distingue una versatilidad agrícola de hortalizas, forrajes, árboles frutales, huertos etc., con respecto al área pecuaria es factible criar mediante pastoreo extensivo a ganado caprino, bovino de carne y bovino de leche de diferentes razas. En el oriente de la entidad es factible la crianza de bovinos de carne, bovinos de leche, caprinos y ovinos de diferentes razas. En cuanto a la explotación forestal se puede dar de tipo industrial, comercial y domestico.

En la parte de los Lagos y Volcanes de Anáhuac el potencial agrícola es de temporal y riego, la actividad pecuaria es factible para la cría de bovinos, caprinos y ovinos; en cuanto al uso forestal se puede explotar de manera industrial, comercial y de uso domestico. De manera similar ocurre con las subprovincias de la Depresión del Balsas, las Sierras y Valles Guerrerenses dónde es factible criar ganado de diferentes razas. (INEGI, Carta de Uso Potencial 1: 1000 000)

3.8 Aspectos económicos y sociales del Estado de México

El sector primario dejo de ser la base económica en el Estado de México hace algunos años, sustituida por las actividades comerciales e industriales pues aportan la mayor parte de ingresos y empleos para la población. Aunque el sector primario es importante para

abastecer el sector alimentario de la población, una gran superficie de dicho territorio se sigue destinando a las actividades agropecuarias.

Con el paso del tiempo la situación del campo se ha visto afectada por múltiples situaciones como la migración, la falta de oportunidades o inversión, que lo han venido debilitando, haciéndolo poco rentable para los campesinos. En el año 2006 el aporte del Estado de México al PIB en este rubro fue de 1.3%, siendo uno de los más importantes en el área pecuaria. (INEGI, 2007)

La capital del Estado de México es un importante centro industrial y comercial que centraliza la actividad económica de las numerosas poblaciones que integran la meseta Anáhuac, parte integrante de la altiplanicie Mexicana. Los principales productos agrícolas de la entidad son: maíz, chícharo verde, cebada, frijol, papa, alfalfa, trigo, aguacate, guayaba, manzana y perón. Las cabañas ganaderas más extendidas son la bovina, la porcina y la ovina, y, en menores proporciones, la caprina, la caballar y la mular. Entre las actividades industriales y mineras del Estado de México destacan la extracción de plata, zinc, cobre, oro, hierro y plomo (sobre todo en Ixtlahuaca, El Oro y Sultepec), así como la industria automotriz (en el valle de Toluca y la zona aledaña al Distrito Federal), de cartón y papel, textil, alimentaria, química, de productos metálicos y eléctricos, y de hule y plástico. En los últimos años se está promocionando el turismo; posee atractivos naturales, históricos, arqueológicos, arquitectónicos, poblados típicos y artesanías tradicionales.

En lo que se refiere al desarrollo de las comunicaciones, éste ha sido relevante, ocupa uno de los primeros lugares a nivel nacional en cuanto a la red viaria; ejemplo de ello son las tres autopistas que recorren el Estado ; Hay unos 9.950 km de carreteras, de los cuales unos 5.284 están pavimentados. El viario férreo alcanza los 1.284 km. La entidad cuenta con 2 aeropuertos, y 2 aeródromos.

El desarrollo urbano de la entidad muestra su principal característica en la desigual distribución geográfico-municipal de los asentamientos humanos, es decir, se incrementa la población urbana en unas cuantas ciudades y permanece la dispersión de los asentamientos rurales. (INEGI, 2000)

En el año 2008 la entidad aportó al PIB 796 426 291 miles de pesos, de los cuales en el sector primario se obtuvo 13 708 804 miles de pesos y en el sector secundario 269 154 381 miles de pesos. (INEGI, 2010)

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se definen como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Los SIG, permiten realizar diferentes tipos de análisis como: (Humboldt, 2010)

- Acceso y consulta de datos: búsqueda selectiva, manipulación, extracción de información que no requiere de modificar la localización geográfica de los objetos involucrados.
- Superposiciones de mapas útiles para encontrar la relación o diferencias entre atributos temáticos de una cierta región,
- Transformaciones de escala, y representación gráfica.
- Realizar pruebas analíticas, complejas, rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial, sin la necesidad de repetir actividades redundantes o tediosas.

En este trabajo se utilizaron los SIG, al generar y manipular información para determinar áreas potenciales de especies forrajeras (alfalfa, avena, cebada, maíz, pastos y sorgo). Al relacionar las variables de temperatura, precipitación, altitud, pendiente, tipo de suelo, cuerpos de agua y zonas urbanas disponibles en bancos de datos de la entidad, la información se procesa mediante las funciones de análisis de los Software (Arcview 3.2 y ArcGis 9.3) de los cuales podemos obtener dichas áreas.

La utilidad y calidad de los resultados que arroje un SIG depende directamente de la calidad y tipo de información que se utilice como insumo y del conocimiento y creatividad del personal en su manejo.

Para este estudio los programas de SIG utilizados fueron ArcInfo, ArcView versión 3.2 y ArcGis versión 9.3, creados por el Environmental Systems Research Institute (ESRI) en los Estados Unidos de América.

4.2 Selección de especies forrajeras

Se determino evaluar el impacto de Cambio Climático en actividades pecuarias, a través de seis de las especies forrajeras de mayor importancia para el Estado de México en los últimos años, según SAGARPA, estos forrajes han sido los de mayor superficie cultivada, satisfaciendo necesidades alimenticias ganaderas. Estas especies son: alfalfa, avena, cebada, maíz, pastos y sorgo. (Ver capítulo 2)

4.3 Clasificación de aptitud

La aptitud correspondiente a zonas óptimas, sub-óptimas y no aptas; fueron el resultado de una revisión bibliográfica y trabajos del personal académico de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), para el cultivo de estas especies en el Estado de México. La clasificación “óptima” comprende el rango en que mejor se desarrolla la especie en cuanto a temperatura, precipitación, altitud, tipo de suelo y pendiente, además de no haber cuerpos de agua o zonas urbanas que impidan la siembra. La clasificación “sub-óptima”, indica zonas en dónde la planta se desarrollaría bien, sin embargo, alguna variable está por debajo o sobrepasa lo requerido por la planta, lo que merma el rendimiento. En cuanto a la clasificación “no apta” indica la carencia de uno o varios elementos agroecológicos que impiden un buen desarrollo del cultivo en condiciones naturales.

Cada una de las variables utilizadas son factores que definen el rendimiento máximo o potencial, entendiendo este como el rendimiento de un cultivo que crece en un ambiente al cual se ha adaptado, estando controlados de manera efectiva otros factores restrictivos como plagas y enfermedades.

4.4 Reclasificación de Temperaturas y precipitaciones actuales

Debido a que las coberturas iniciales se encontraban en datos mensuales, por medio de ArcInfo se generaron coberturas de temperatura media anual (Tma), y precipitación media anual (Pma), las cuales se reclasificaron en ArcView 3.2 en la tabla de atributos, generando una nueva columna con los rangos requeridos de cada uno de los cultivos tanto de temperatura como precipitación, el resultado fue la distribución espacial en tres categorías: óptimo, sub-óptimo y no apto para cada uno de los cultivos.

Las coberturas fueron hechas de una base de datos climatológicos con información diaria a nivel nacional actualizada al año 2003, por medio de un sistema de procesamiento, análisis y visualización de información climática que origino la disposición de un banco cartográfico raster de precipitación mensual y media anual con márgenes de error entre 27 y 33 mm a una resolución de pixel de 90 m. También se dispone de mapas de temperatura tanto mensual como anual con márgenes de error entre los 0.5 y 0.8°C a resolución de pixel de 90 m.

4.5 Altitud

Este mapa fue tomado del Modelo de Elevación Digital (MED), generado en base a las curvas de nivel a cada 50 metros de INEGI, en escala de referencia 1:50000, el cual se convirtió en grid, en ArcGis 9.3 y se reclasificó, habiéndose generado seis mapas diferentes, según la exigencia de altitud de cada especie vegetal.

4.6 Pendiente

Desplegado el modelo de elevación digital en ArcGis 9.3 y con la herramienta Slope de Spatial Analysis se generó un mapa de pendientes en formato raster. Debido a que los datos a reclasificar se encontraban en porcentaje, el mapa de pendiente también se generó en porcentaje; este nuevo grid se hizo permanente y posteriormente fue la base para realizar seis clasificaciones correspondientes para cada cultivo.

4.7 Tipo de suelo

La cartografía fue tomada de la cobertura generada por las cartas edáficas de INEGI a escala 1:50000 tanto de 1977 como de 1988. De la tabla de atributos se obtuvo la simbología de cada tipo de suelo en el Estado de México, posteriormente se cotejó con la clasificación de la FAO-UNESCO y las características principales tanto físicas como químicas, para posteriormente identificarlas con los requerimientos del suelo de cada especie vegetal y así determinar la aptitud de suelo por cada forraje.

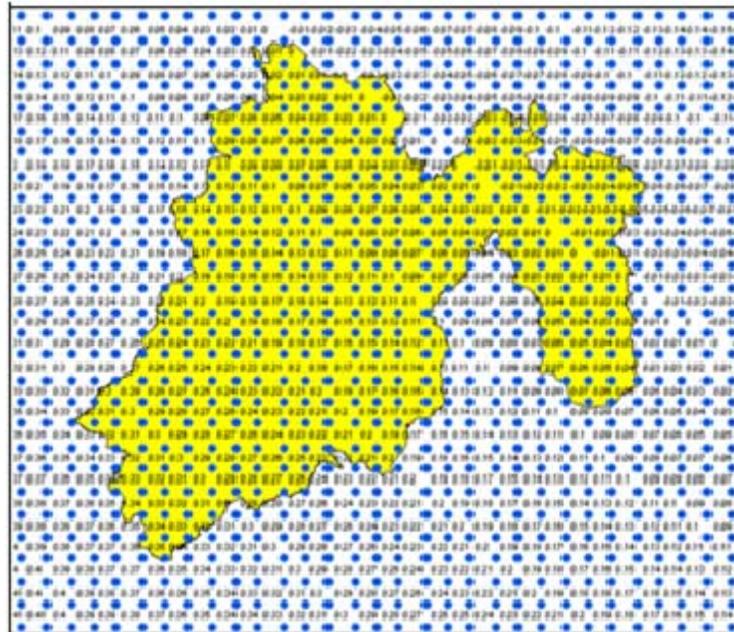
4.8 Cuerpos de agua y zonas urbanas

Estas coberturas son el resultado de una digitalización por percepción remota de los cuerpos de agua existentes en el Estado de México la cual usa el laboratorio de Geomática de INIFAP. La cobertura de zonas urbanas del Estado de México se extrajo de la información de INEGI por municipios 2005; ambas se unieron para generar un sólo mapa raster de clasificación "0" que identifica cuerpos de agua y zonas urbanas, y "1" que identifica el resto del territorio para a su vez sumarlos a los demás mapas y obtener el potencial productivo.

4.9 Modelos GFDL2, HADGEM y ECHAM5

En este trabajo se utilizaron los mapas generados por el Laboratorio de Geomática de INIFAP, resultado de un proceso que partió de escenarios iniciales de baja resolución y que se ajustaron a las necesidades en cuanto a variables de resolución espacial y temporal, requerida. En principio, las bases de climatología y los escenarios de Cambio Climático a baja resolución para las variables de temperatura y precipitación, con frecuencia mensual y para los horizontes 2030 y 2050, se pusieron a disposición de los grupos encargados de las estimaciones de impactos.

La UNAM construyó escenarios de Cambio Climático para las 18 regiones de Douglas utilizando todos los modelos disponibles, sin embargo para los estudios de impactos como es nuestro caso sólo se usaron los modelos GFDL2, HADGEM y ECHAM5 con resoluciones de 10x10 km, disponibles en la página del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.



Fuente: INIFAP, 2010.

Figura 9. Modelos CGM ajustados por la UNAM a 10 km.

Los datos se bajan de dicha página de internet y se conjuntan en uno sólo para convertirse en archivos shape en ArcGis y posteriormente a cobertura en ArcInfo.

Una vez convertidos a cobertura de puntos se interpolan utilizando el método de interpolación IDW (Inverso del Cuadrado de la Distancia) con 8 puntos vecinos y con un tamaño de pixel de 90 m por 90 m, generándose así los mapas de anomalías de Cambio Climático en las variables de temperatura media y precipitación esta ultima obtenida en porcentaje (%) la cual se transforma a mm totales.

Posteriormente a las líneas base de clima tanto de temperatura como precipitación mensual de INIFAP 2003, se le sumaron las anomalías de temperatura o precipitación de acuerdo a cada MCG según el caso, para obtener la temperatura media con Cambio Climático para el periodo 2030 y 2050. Un ejemplo de los pasos para obtener los mapas finales de escenarios climáticos se muestra en la figura 10.

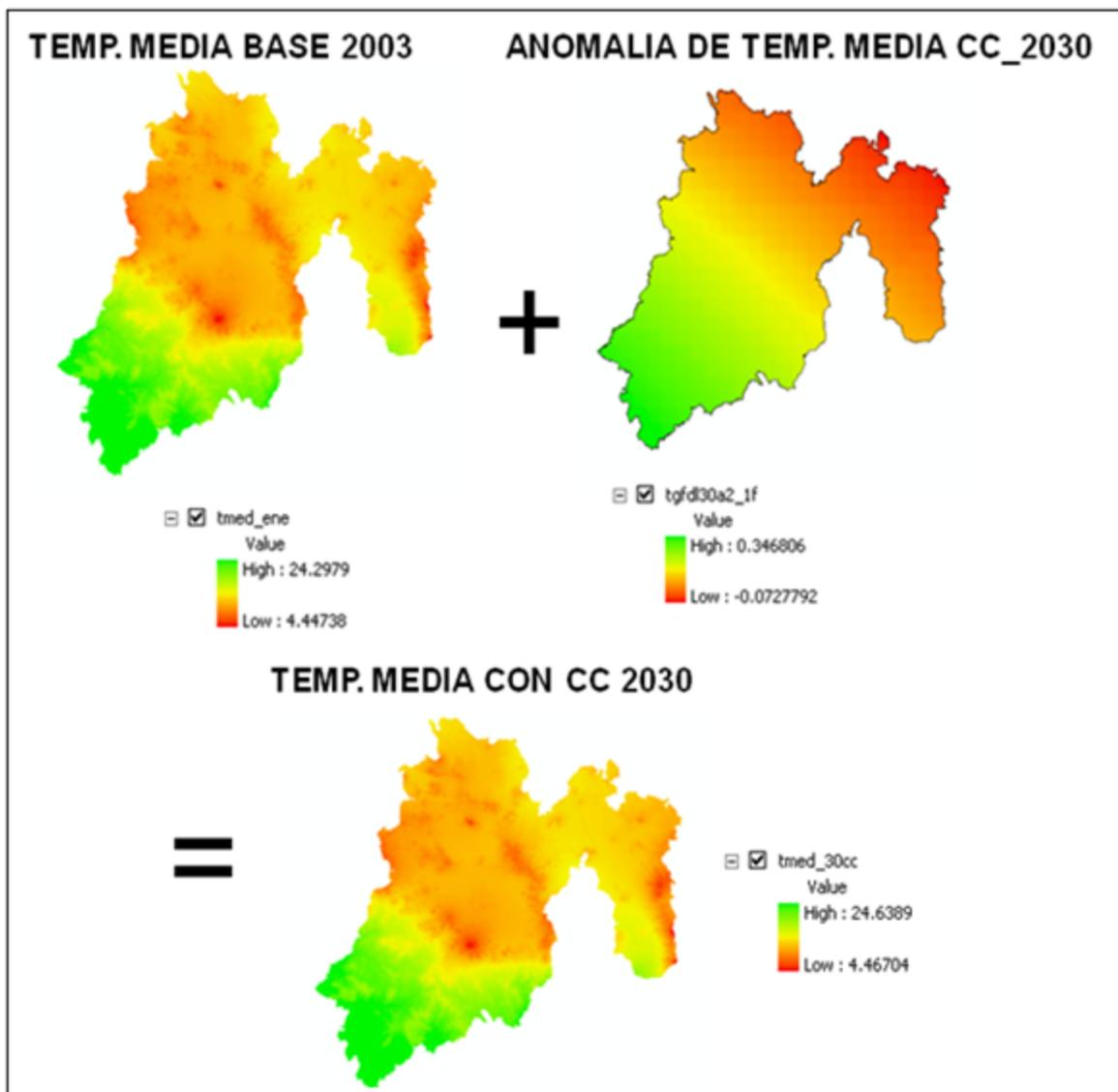


Figura 10. Obtención de mapas para cambio climático

Habiendo obtenido los mapas de temperatura y precipitación con Cambio Climático para los años 2030 y 2050 se obtuvo un promedio de todas las coberturas mensuales para obtener los mapas con la media anual para los tres modelos de cuatro escenarios cada uno por medio de comandos en ARCIINFO.

4.10 Reclasificación para los escenarios GFDL2, HadGEM y ECHAM5

Al obtener los mapas con la media anual en formato raster, en ArcGis 9.3 se reclasificaron los valores según los requerimientos de cada cultivo para las variables de temperatura y precipitación (mismas que se utilizaron para generar los mapas actuales), obteniendo 72

mapas de temperatura media anual y 72 mapas de precipitación media anual, en una resolución de pixel de 90 metros.

4.11 Suma de las variables en Arc Gis 9.3

En ArcGis 9.3 se desplegaron los raster reclasificados de temperatura media anual, precipitación media anual tipo de suelo, altitud, pendiente, cuerpos de agua y zonas urbanas para cada uno de los cultivos. A través de la función Raster Calculator de Spatial Analysis se sumaron los mapas, de uno a uno para posteriormente el resultado volverlo a clasificar con números que identificarán aptitud óptima, sub-óptima y no apta; lo mismo para cada uno de los cultivos.

El resultado de las sumas en raster obtuvo un mapa final el cual mostraba la distribución espacial de las superficies aptas para el cultivo de alfalfa, avena, cebada, maíz, pastos y sorgo en condiciones naturales, para los cuatro escenarios climáticos (A1, A2, B1 y B2) en los tres MCG.

Hay que mencionar que la aptitud del terreno se refiere a las características inherentes en las que un cultivo se desarrolla de manera adecuada o no, sólo tomando las condiciones naturales de cada región, dejando de lado las prácticas agrícolas que se podrían modificar y la inversión para el cultivo.

4.12 Determinación de áreas potenciales

Generado el mapa de Aptitud para cada cultivo forrajero, clasificado en óptimo “1”, sub-óptimo “2” y no apto “0”, en ArcGis 9.3, se agrego una nueva columna en la tabla de atributos y con la opción Fiel Calculator se agrego la operación a realizar, es decir, la columna con el conteo de cada uno de los pixeles multiplicado por 8100 debido a que la resolución del pixel es de 90 x 90 metros, dividido entre 10000 para obtener la superficie en hectáreas. el resultado es el área total de cada clasificación según el raster utilizado. Este mismo procedimiento se realizo para los mapas finales.

Frecuentemente, los modelos complejos de simulación de la productividad potencial tienen dificultades para su aplicación por la escasa disponibilidad de información confiable sobre sus parámetros. Por esta razón, en este trabajo se propone utilizar una metodología de complejidad media, inicialmente utilizada por la FAO-IIASA (2000) para evaluar el potencial agroclimático mundial para el escenario climático actual. Esta metodología se fundamenta en principios agroecológicos y utiliza un número reducido de variables y tiene amplia difusión en el mundo.

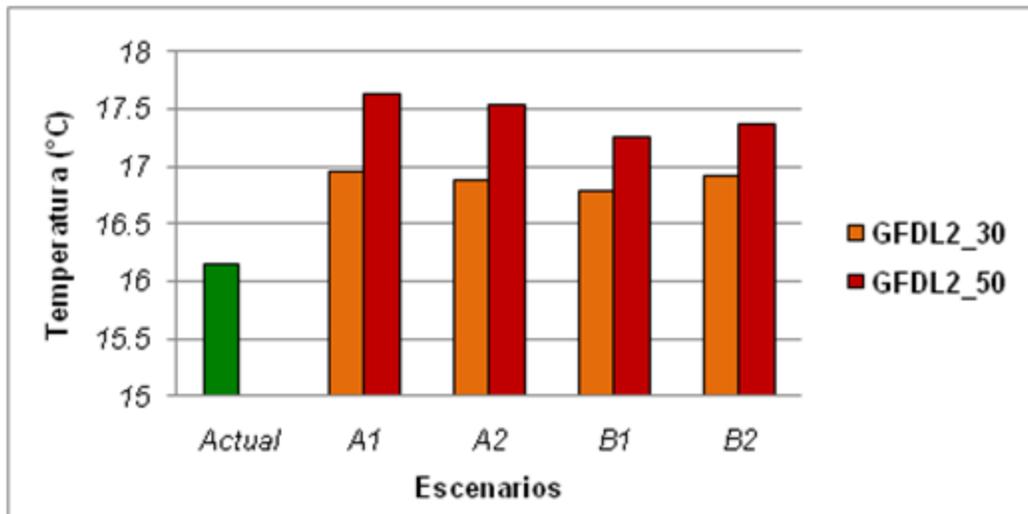
CAPÍTULO V

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al determinar las áreas de aptitud para las especies de uso forrajero en el Estado de México tanto actuales como para el año 2030 y 2050. Se hace una comparación por modelo de los incrementos de temperatura y precipitación para los dos períodos con respecto a los datos actuales, para seguir con las diferencias de distribución por cultivo en cada uno de los años, modelos y escenarios climáticos utilizados, así como las variaciones en superficie.

5.1 Modelo GFDL2

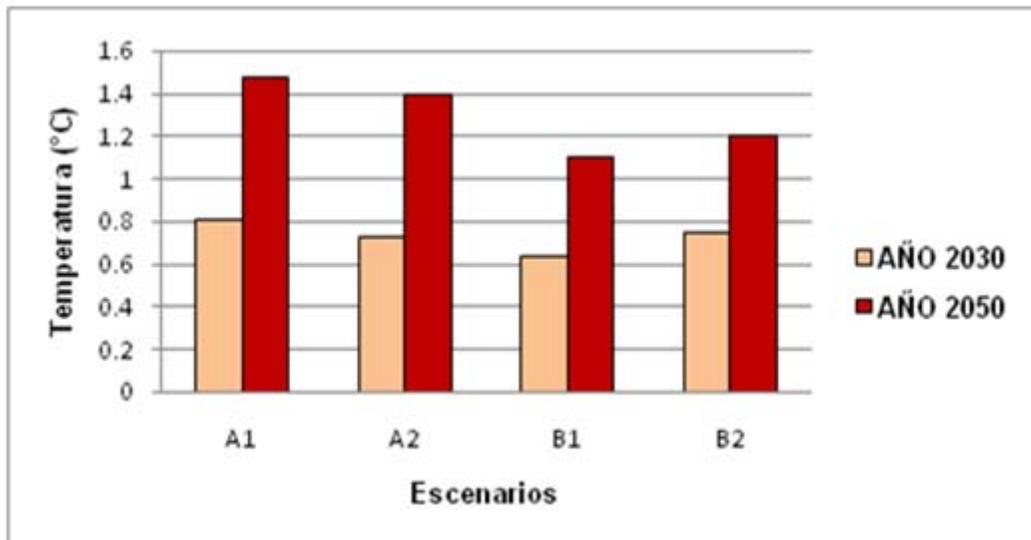
En general los MCG proyectan un aumento de temperatura y precipitación en cada uno de los escenarios climáticos para los años 2030 y 2050. La gráfica 2 muestra la variación de temperaturas medias anuales mínimas y máximas, tanto actuales como para el modelo GFDL2 en los cuatro escenarios A1, A2, B1 y B2, para el año 2030 y 2050. En el escenario A1 el incremento de temperatura proyectada es de 0.81°C , en el escenario A2 es de 0.73°C , en el B1 de 0.64°C y para el escenario B2 el incremento es de 0.77°C , esto considerando que la temperatura media anual actual es de 16.14°C .



Gráfica 2. Comparación de temperaturas medias anuales en el Estado de México, entre la actual y el modelo GFDL 2

Para el año 2050 y bajo el mismo modelo (GFDL2), los escenarios muestran un incremento de temperatura de 1.48°C para el escenario A1, de 1.4°C para el escenario A2, 1.1°C para el escenario B1 y 1.2°C para el escenario B2. La tabla 7 y la gráfica 3 muestran los incrementos de temperatura para los dos períodos 2030 y 2050 con respecto a la actual.

Tabla 7. Incrementos de temperatura para el año 2030 y 2050 con el modelo GFDL2					
Escenario	Tma actual (°C)	Tma 2030 (°C)	Incrementó al año 2030 (°C)	Tma 2050 (°C)	Incrementó al año 2050 (°C)
A1	16.14	16.96	0.82°C	17.62	1.48°C
A2		16.88	0.74°C	17.5	1.36°C
B1		16.79	0.65°C	17.25	1.1°C
B2		16.92	0.78°C	17.38	1.2°C



Gráfica 3. Incremento de temperaturas para el año 2030 y 2050, en el modelo GFDL 2

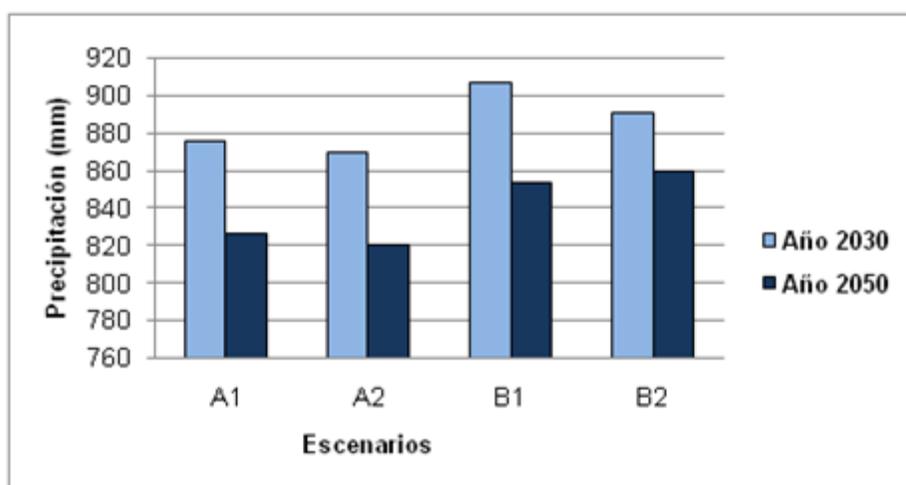
Con respecto a precipitaciones, para el año 2030 en el escenario A1 esta sería de 1 817 mm, 875.5 mm más que la precipitación media actual. En el escenario A2 llegaría a 1 811 mm equivalente a 869.51 mm más. El escenario B1 tendría una Pma de 1848 mm, igual a 906.51 mm más. Con el escenario B2 habría una Pma de 1 832.5 mm, es decir 891.01 mm más, considerando que la precipitación media actual es de 941.5 mm, el aumento es de más del 90%.

Para el año 2050 el modelo indica condiciones similares. En el escenario A1, la precipitación media anual (Pma) sería de 1 768 mm, igual a 826.5 mm más; en el escenario A2 la Pma sería de 1 762 mm, 820.5 mm más que la actual; en el escenario B1 la precipitación llegaría a 1 795.5 mm, 854 mm más y en el B2 1 801, elevándose 859.5 mm

más que la precipitación media actual. La tabla 8, muestra las precipitaciones medias anuales de cada escenario y el incremento con respecto a la precipitación actual de 941.5 mm, cabe señalar que para el año 2050 las precipitaciones disminuirán con respecto al año 2030 aproximadamente un 5%.

La gráfica 4, muestra los incrementos de precipitación para los años 2030 y 2050 a través del modelo GFDL2.

Escenario	Pma actual (mm)	Pma 2030 (mm)	Incrementó al año 2030 (mm)	Pma 2050 (mm)	Incrementó al año 2050 (mm)
A1	941.5	1 817	875.5	1 768	826.5
A2		1 811	869.51	1 762	820.5
B1		1 848	906.51	1 795.5	854
B2		1 832.5	891.01	1 801	859.5



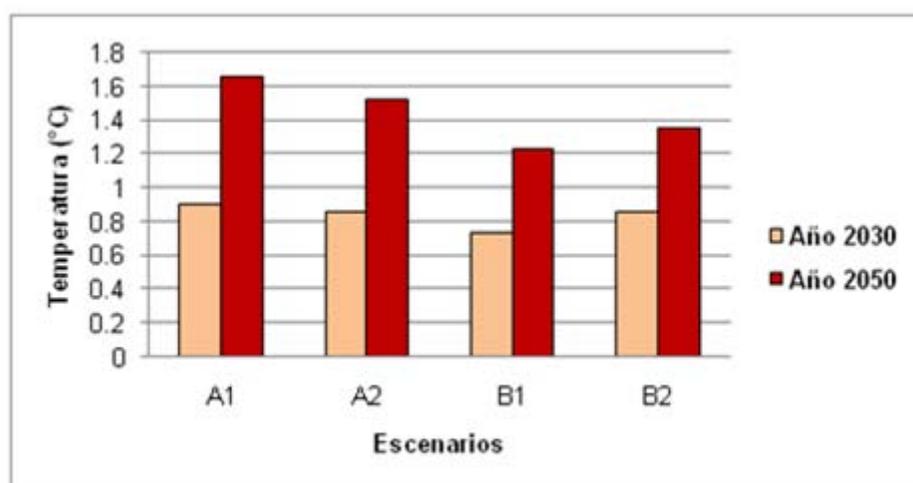
Gráfica 4. Incrementos de precipitación para el año 2030 y 2050, en el modelo GFDL 2

El modelo GFDL2 presenta un impacto de Cambio Climático negativo para el Estado de México, las temperaturas se incrementan en ambos períodos y las precipitaciones aumentan par el año 2030 y disminuyen para el 2050, lo que afectará las áreas potenciales para el cultivo de las especies forrajeras.

5.2 Modelo HadGEM

Este modelo presenta un aumento de la temperatura de 0.89°C, 0.85°C, 0.72°C y 0.85°C para los escenarios A1, A2, B1 y B2 respectivamente en el año 2030 y para el año 2050 se estima de 1.6°C para el escenario A1; de 1.5°C para el escenario A2; 1.2°C para el B1 y 1.3°C para el escenario B2, con respecto a la temperatura media anual, lo que sugiere un aumento progresivo en cada periodo estimado, de la temperatura actual al año 2030 y de éste al 2050. El modelo muestra escenarios de mayor impacto de Cambio Climático, con respecto al modelo GFDL2. La tabla 9, muestra las Tma para cada uno de los escenarios, así como los incrementos esperados según el modelo HAdGEM con respecto a la temperatura media actual, en los años 2030 y 2050. La gráfica 5, muestra los incrementos de temperatura obtenidos con el modelo.

Escenario	Tma actual	Tma 2030 (°C)	Incremento al año 2030 (°C)	Tma 2050 (°C)	Incremento al año 2050 (°C)
A1	16.14°C	17.04	0.8975	17.7915	1.649
A2		16.995	0.8525	17.665	1.5225
B1		16.8715	0.729	17.3715	1.229
B2		16.995	0.8525	17.495	1.3525



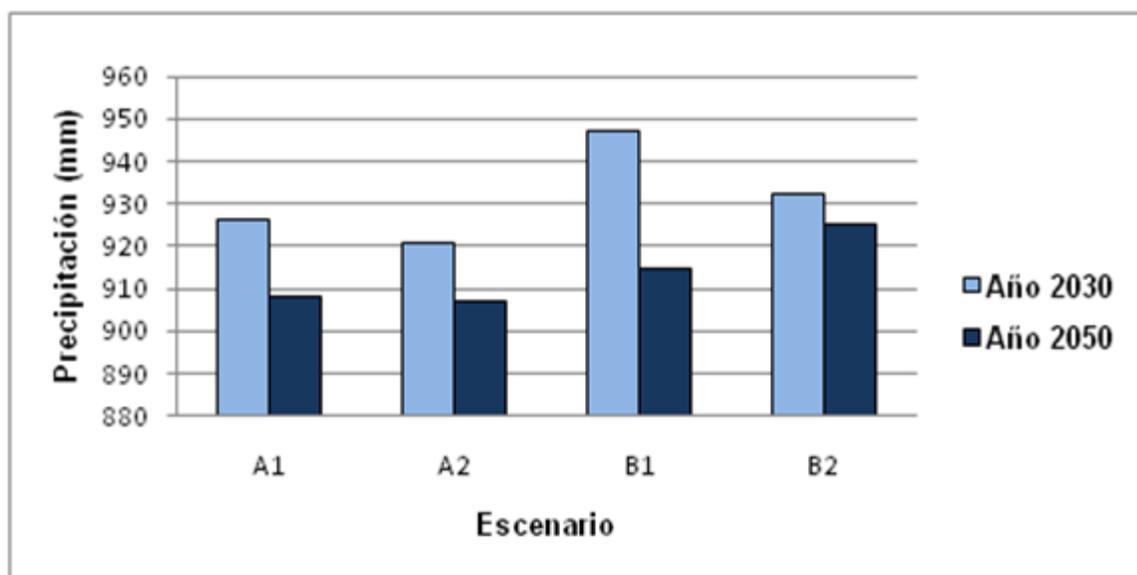
Gráfica 5. Incrementos de la temperatura para el año 2030 y 2050, en el modelo HadGEM

Los valores obtenidos con respecto a la precipitación fueron: para el periodo de 2030 en el escenario A1, 926.5 mm más que la actual; para el escenario A2, 921 mm; para el escenario B1 947.5 mm; y para el escenario B2 932.5 mm. Para el periodo 2050 los valores de incrementó son los siguientes: 908 mm para el escenario A1; 907 mm para el A2; 914.5 mm para el escenario B1 y 925.5 para el escenario B2. (Ver tabla 10).

La gráfica 6, muestra los valores de incrementó de la precipitación para el año 2030 y 2050,

Escenario	Pma actual (mm)	Pma 2030 (mm)	Incrementó al año 2030 (mm)	Pma 2050 (mm)	Incrementó al año 2050 (mm)
A1	941.5	1 868	926.513	1 849.5	908.013
A2		1 862.5	921.013	1 848.5	907.013
B1		1 889	947.513	1 856	914.513
B2		1 874	932.513	1 867	925.513

en el modelo HadGEM en cuatro escenarios climáticos.



Gráfica 6. Incrementos de precipitación para el año 2030 y 2050, en el modelo HadGEM

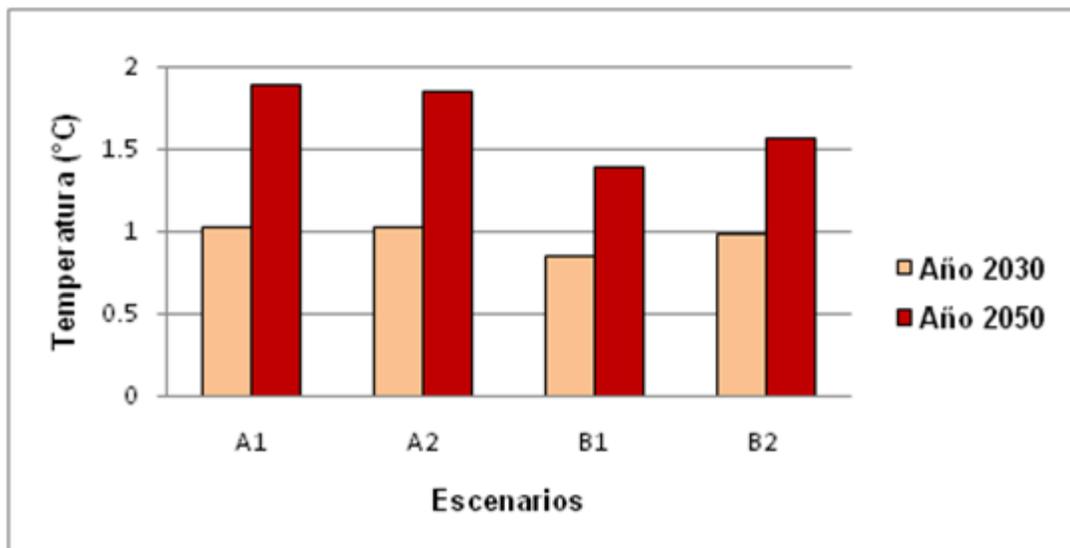
A través de este modelo, se aprecia una variabilidad, tanto en temperatura como en precipitación. Se prevé que las temperaturas seguirán aumentando tanto para el año 2030 como para el 2050, en el caso de las precipitaciones estas se incrementarán para el periodo 2030 y comenzarán a disminuir para el año 2050 con respecto a los otros dos períodos. Estos cambios se verán reflejados tanto en distribución como en aumentó o reducción de las superficies potenciales para cada cultivo.

5.3 Modelo ECHAM5

El aumentó de temperaturas medias anuales bajo el modelo ECHAM5 es el siguiente: para el escenario A1 y A2 en el año 2030 es de 17.16°C, para el escenario B1 es de 16.99°C y para el B2 de 17.1°C, aumentando 1.25°C, 0.85°C y 0.9°C respectivamente. Para el año 2050 la Tma seguirá subiendo, pues con el escenario A1y A2 habría una temperatura de 18°C, con el escenario B1 de 17.5°C y con el escenario B2 17.7°C, creando aumentos mayores a 1°C con respecto a la temperatura actual.

La Tabla 11, muestra las temperaturas medias anuales estimadas para el año 2030 y 2050 en cada escenario climático, así como los incrementos con respecto a la temperatura media actual, mientras que la gráfica 7, representa el incrementó por temperatura estimado para el año 2030 y 2050 bajo el escenario ECHAM, con respecto a la temperatura actual.

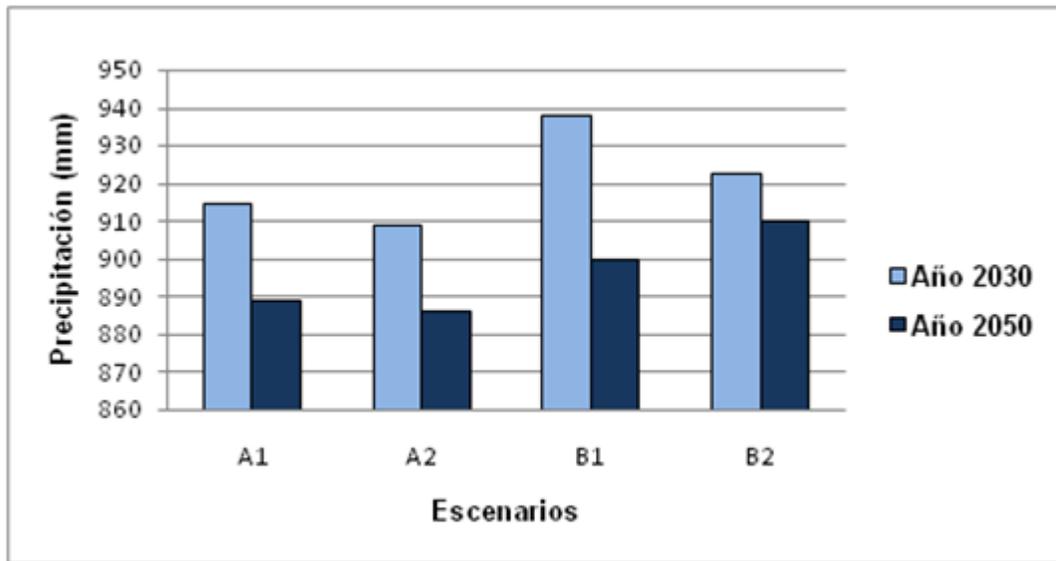
Tabla 11. Incrementos de temperatura para el año 2030 y 2050 con el modelo ECHAM					
Escenario	Tma actual	Tma 2030 (°C)	Incrementó al año 2030 (°C)	Tma 2050 (°C)	Incrementó al año 2050 (°C)
A1	16.14°C	17.165	1.0225	18.04	1.8975
A2		17.165	1.0225	17.995	1.8525
B1		16.995	0.8525	17.54	1.3975
B2		17.123	0.9805	17.708	1.5655



Gráfica 7. Incrementos de Temperatura para el año 2030 y 2050, en el modelo ECHAM 5

Las precipitaciones medias anuales bajo este modelo estiman un incremento de más del 95% para el año 2030, y para el año 2050 aunque bajan los niveles siguen siendo 90% más que la actual. Para el año 2030 los escenarios evalúan una Pma de 914.5 mm, para el escenario A1; 909 mm para el A2; 938 mm para el B1 y 922.5 mm para el B2 más que la Pma actual. Al año 2050 serán: 889 mm, 886 mm, 900 mm, 910 mm respectivamente para los escenarios A1, A2, B1 y B2 más que la actual. A continuación la Tabla 12, refleja las precipitaciones medias anuales y los incrementos estimados para el año 2030 y 2050 con el modelo ECHAM5 seguidos de la Gráfica 8, donde se aprecia el incremento de precipitaciones para los dos períodos.

Escenario	Pma actual (mm)	Pma 2030 (mm)	Incrementó al año 2030 (mm)	Pma 2050 (mm)	Incrementó al año 2050 (mm)
A1	941.5	1 856	914.513	1 830.5	889.013
A2		1 850.5	909.013	1 827.5	886.013
B1		1 879.5	938.013	1 841.5	900.013
B2		1 864	922.513	1 851.5	910.013



Gráfica 8. Incrementos de precipitación para el año 2030 y 2050, en el modelo ECHAM 5

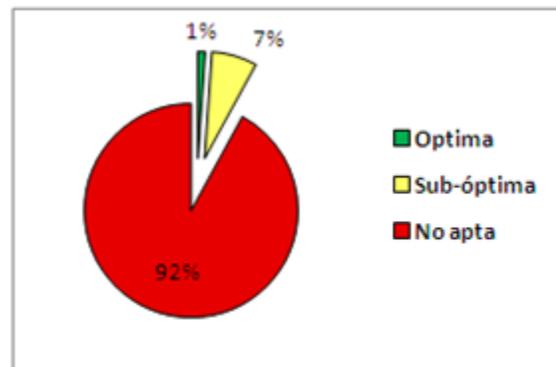
El modelo ECHAM5 estima el mayor aumento de temperaturas tanto para el año 2030 como para el 2050, con respecto a los modelos GFDL2 y HadGEM. En precipitaciones el aumento es mayor en el periodo 2030 y aunque merma para el 2050 seguirán siendo mayores en un 90% con respecto a la actual, en cuestión de potencial productivo las superficies apropiadas para cultivos forrajeros se verán afectadas tanto en desplazamiento como en distribución.

5.4 ÁREAS POTENCIALES POR CULTIVO

5.4.1 Alfalfa

Aptitud actual

Clasificación	Superficie en hectáreas
Óptima	24 227.91
Sub-óptima	154 280.703
No apta	2 065 992.5



Gráfica 9. Aptitud del terreno actual para el cultivo de alfalfa (superficie en porcentaje)

Al analizar la aptitud del terreno actual por medio de los SIG, los resultados obtenidos estiman que existen 24 227.91 hectáreas (ha.), de superficie óptima y 154 280.703 ha. sub-óptimas, mayores de las que actualmente se siembran, sin embargo no significa que se destine su uso al cultivo de esta especie.

La tabla 13, muestra las superficies de aptitud del terreno actual, mientras que la gráfica 9 representa los mismos valores en porcentaje de acuerdo a la superficie total del Estado de México, esto implica que existe un potencial de crecimiento de hectáreas para alfalfa y por lo tanto para el desarrollo del sector ganadero al existir un mayor número de superficie óptima de la que actualmente se utiliza para producir este forraje.

La figura 11 refleja la distribución de las áreas según la aptitud del terreno actual, para el cultivo de alfalfa en el Estado de México, en tres diferentes categorías: óptima, sub-óptima y no apta.

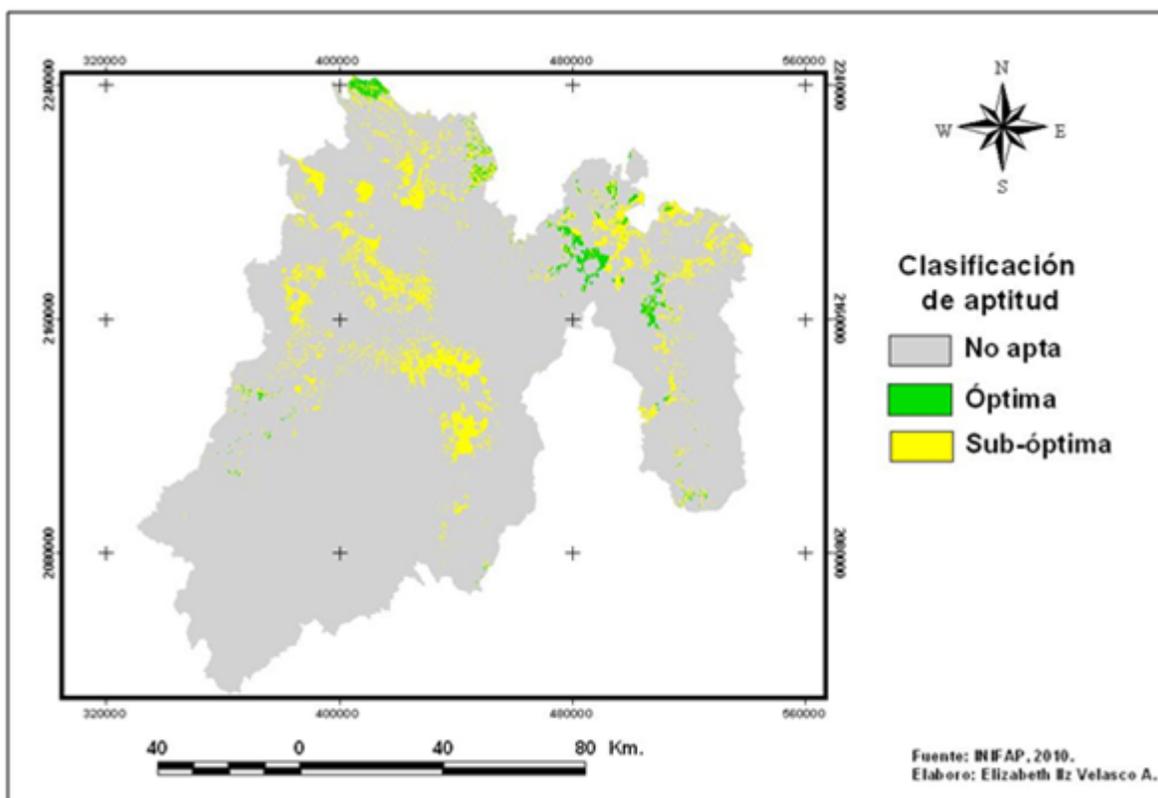


Figura 11. Aptitud actual para el cultivo de alfalfa en el Estado de México.

Modelo GFDL2

A través del modelo estadounidense GFDL2 se calcula que habrá sólo 3.240 ha. óptimas y 23 287.5 ha. sub-óptimas para el escenario A1, desplazando la distribución del cultivo al extremo noreste de la entidad, para el año 2030. Los resultados del modelo para el año

2050, en el mismo escenario muestran un área óptima de 414.72 ha. y 1 065.15 ha. sub-óptimas, la cual aumentó con respecto al mismo escenario en el año 2030, como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030)	GFDL2 (2050)
		A1	A1
Óptimo	24 227.91	3.24	414.72
Sub-óptimo	154 280.703	23 287.5	1 065.15
No apto	2 065 992.5	2 221 197.5	2 243 008.25

Aunque aumenta el número de áreas óptimas del año 2030 al 2050 en la porción noreste del Estado debido a una disminución de precipitación, las áreas sub-óptimas siguen disminuyendo, si bien se registró un aumento de 411.5 ha. óptimas del año 2030 al 2050, la superficie sub-óptima disminuye 130 993.2 ha. de superficie actual al 2030 y 22 222.4 ha., del 2030 al 2050.

La disminución de las áreas potenciales a través del escenario A1, significa un mayor impacto para el cultivo de alfalfa, debido a que es mayor el número de hectáreas que se pierden de las que se ganan de los años 2030 al 2050.

En las figuras 12 y 13 se muestra la distribución espacial del escenario A1 para los años 2030 y 2050.

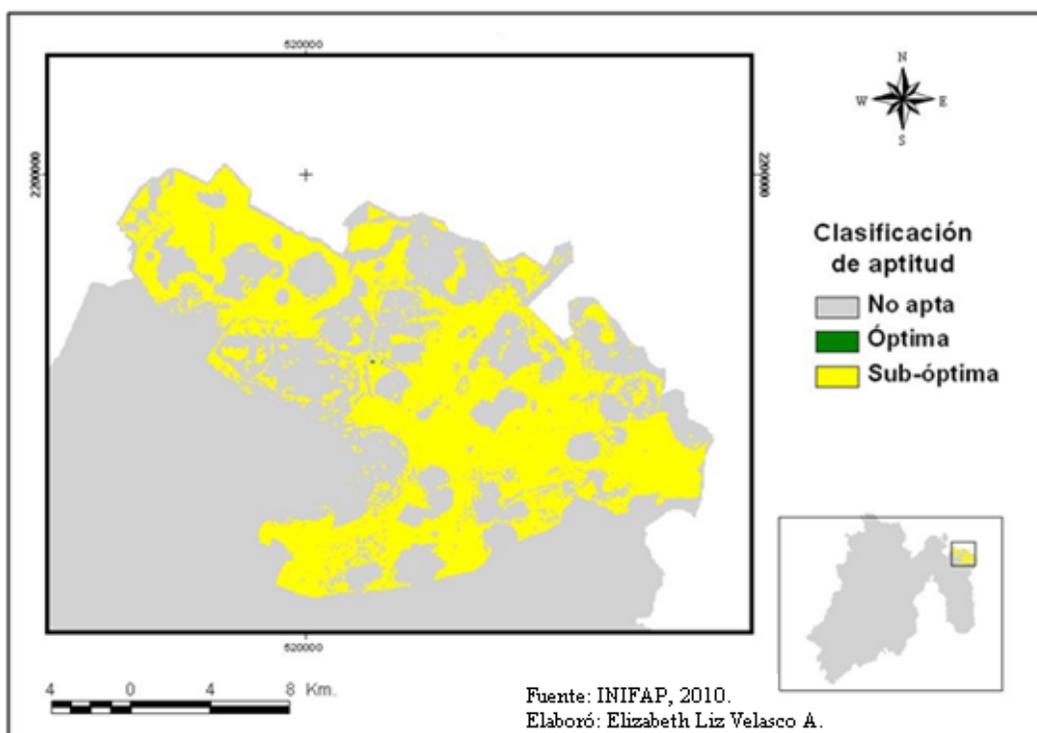


Figura 12. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo GFDL2, año 2030

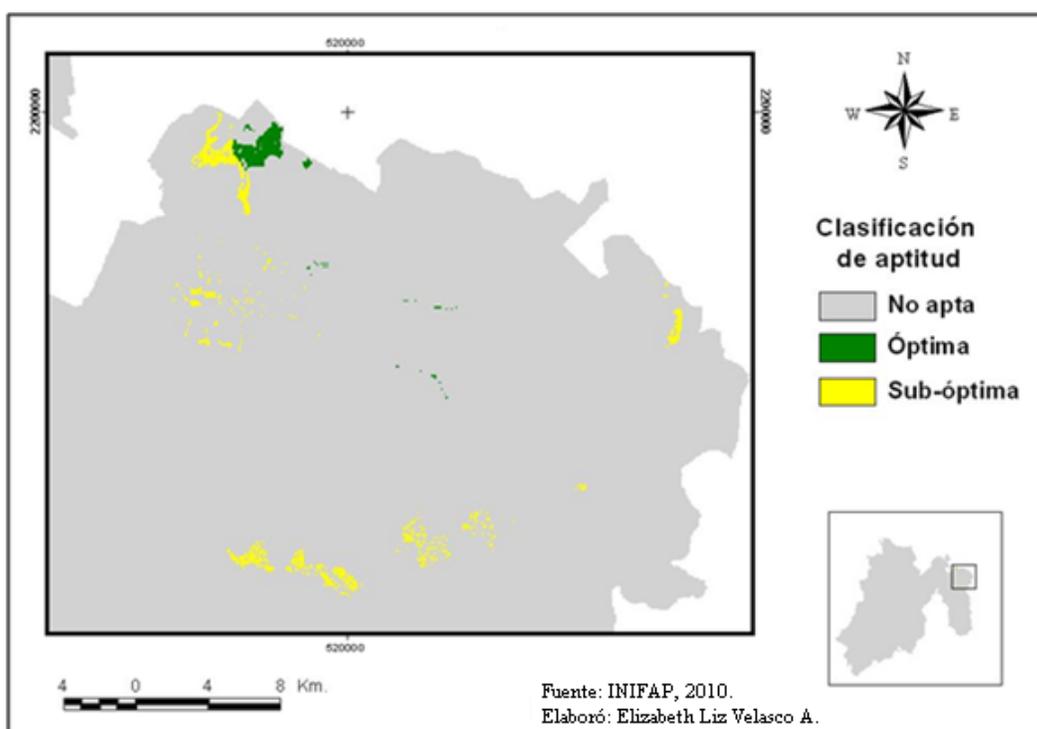


Figura 13. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo GFDL2, año 2050

Con el escenario A2, el área evaluada como óptima es de 13.77 ha. y sub-óptimas 24 251.4 hectáreas al año 2030, mientras que para el año 2050, las hectáreas óptimas son de 699.03 y 1 532.52 sub-óptimas (Ver tabla 15), al igual que el escenario A1 aumenta el número de hectáreas óptimas y disminuye la superficie sub-óptima por disminución de la precipitación.

Tabla 15. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030)	GFDL (2050)
		A2	A2
Óptimo	24 227.91	13.77	699.03
Sub-óptimo	154 280.703	24 251.4	1 532.52
No apto	2 065 992.5	2 220 223	2 242 256.5

El escenario A2, estima superficies óptimas mínimas para ambos períodos y una disminución gradual para las superficies sub-óptimas que se traducen en un impacto negativo para la producción de alfalfa y actividades pecuarias en el Estado de México. (Ver figura 14 y 15)

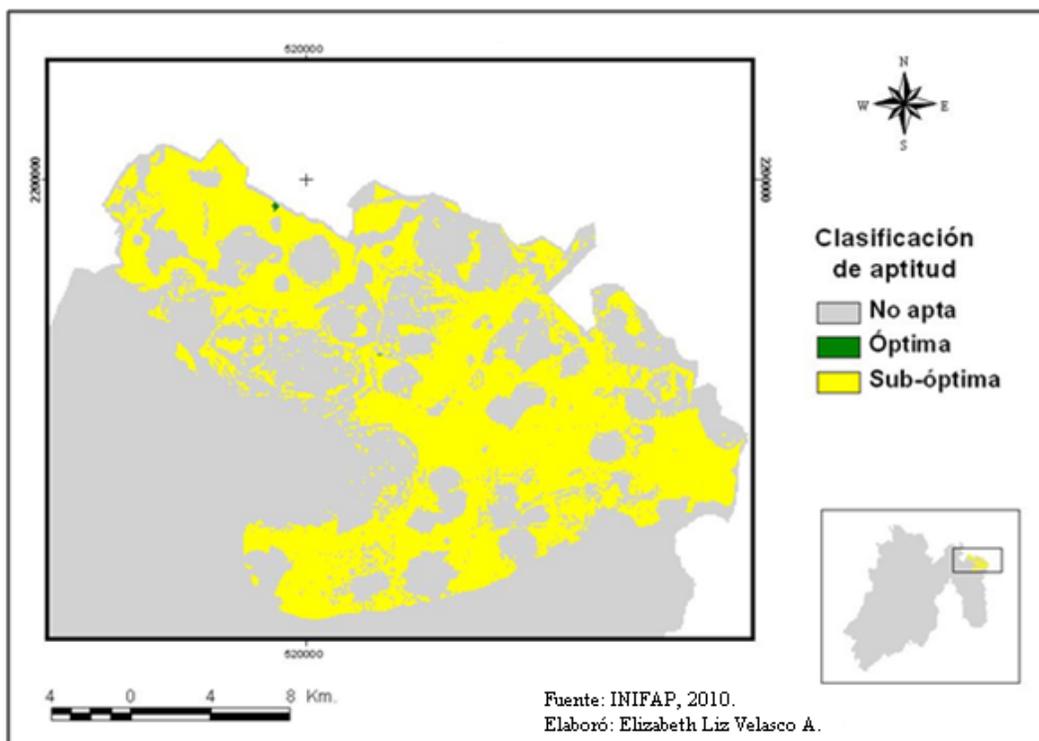


Figura 14. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2030

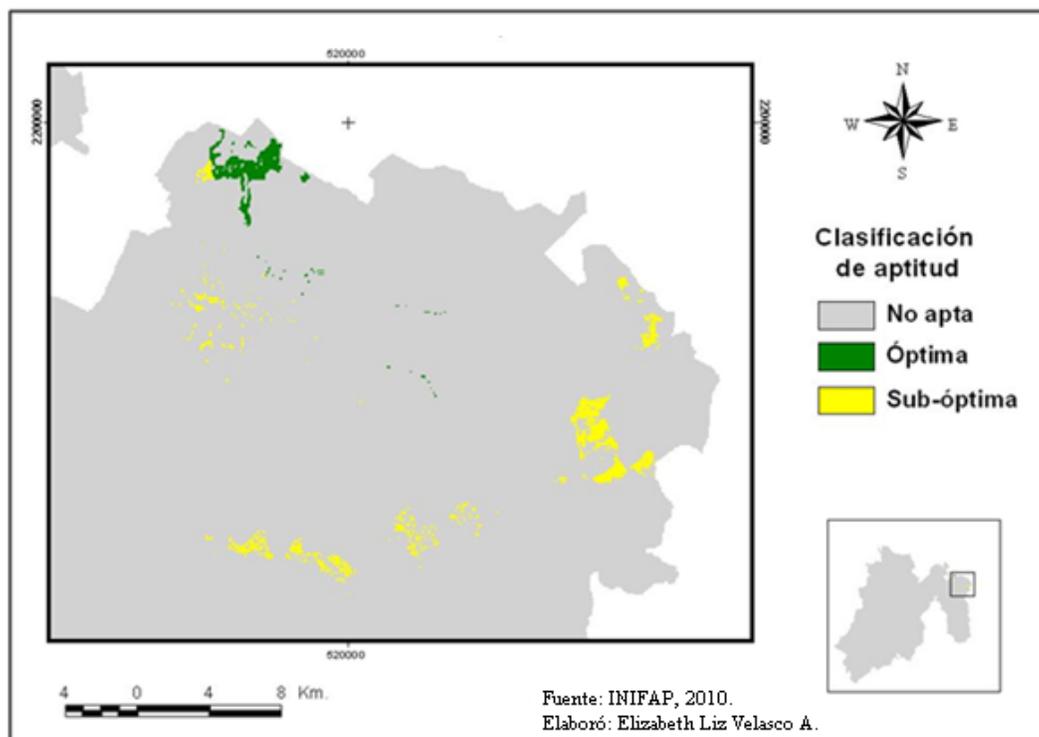


Figura 15. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2050

En el escenario B1 desaparecen las zonas óptimas y las sub-óptimas son de 17 874.27 hectáreas en el año 2030, para el año 2050 las zonas aptas son de 32.4 ha. y las sub-óptimas de 26 158.949 ha., como se muestra en la tabla 16, para el año 2050 hay un aumentó en las superficies óptimas y sub-óptimas, debido a que disminuye la precipitación y hace que estas áreas entren en el rango requerido para el cultivo de alfalfa.

Tabla 16. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030)	GFDL (2050)
		B1	B1
Óptimo	24 227.91	0	32.4
Sub-óptimo	154 280.703	17 874.27	26 158.949
No apto	2 065 992.5	2 226 613.75	2 218 296.75

Este escenario presenta una desaparición de áreas óptimas para el cultivo de alfalfa en el año 2030, mientras la superficie sub-óptima disminuye 88.4%. Para el año 2050 el área óptima aumenta 0.1% de la cantidad actual y la sub-óptima aumenta un 46.4% con respecto al 2030. En consecuencia el escenario B1 presenta el mayor punto crítico en el periodo 2030, al haber menor área potencial para el cultivo de alfalfa y para el año 2050 se empiezan a recobrar superficies potenciales. (Ver figura 16 y 17)

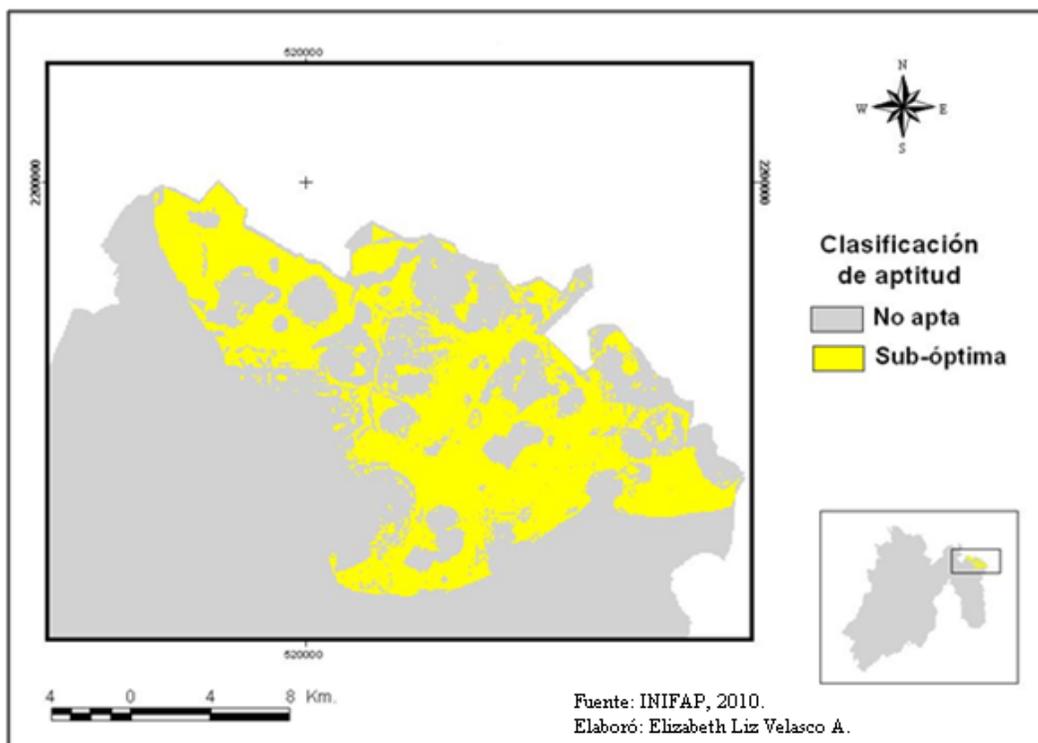


Figura 16. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2030

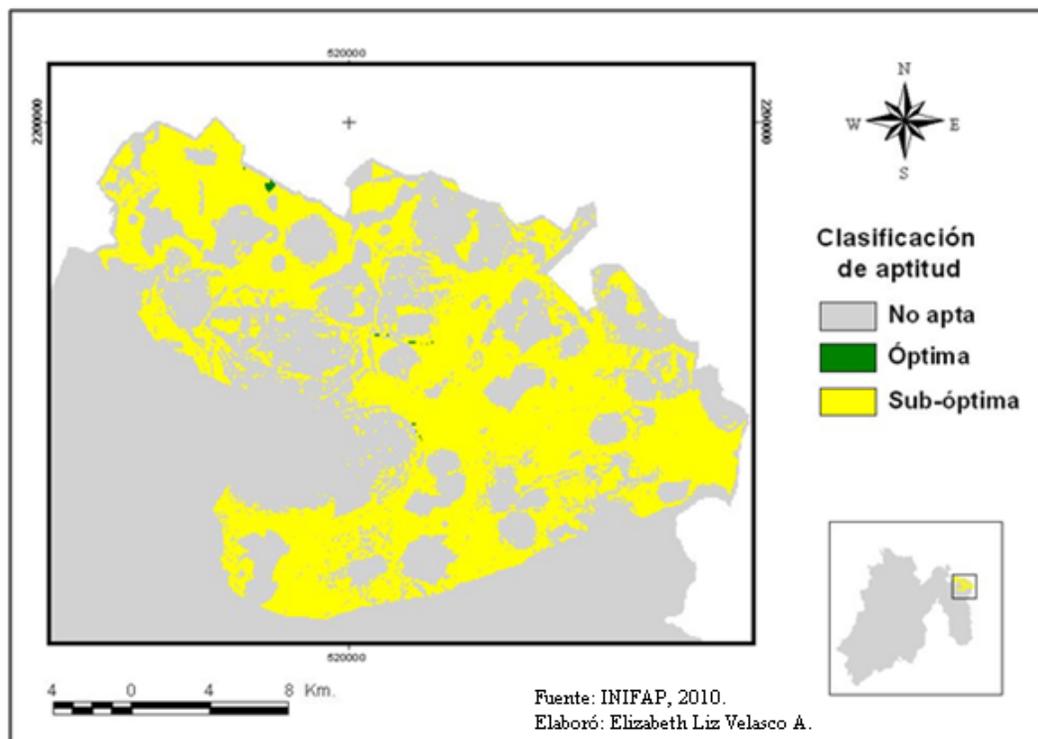


Figura 17. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2050

En el escenario B2 no aparecen áreas óptimas, la superficie sub-óptimas es de 19 953.539 hectáreas y 2 224 534.5 ha., no son aptas para el cultivo de alfalfa en el año 2030. Bajo el mismo escenario al año 2050 se calculan 21.9 hectáreas óptimas y 25041.15 hectáreas sub-óptimas, la cual aumentó en un 25% con respecto al año 2030.

A continuación la tabla 17, compara las diferencias de superficie entre la actual y los años 2030 y 2050 en el escenario B2, donde se muestran los valores de aptitud del terreno calculado en hectáreas.

Tabla 17. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030)	GFDL (2050)
		B2	B2
Óptimo	24 227.91	0	21.87
Sub-óptimo	154 280.703	19 953.539	25 041.15
No apto	2 065 992.5	2 224 534.5	2 219 425

El escenario B2 presenta un mayor impacto en el periodo 2030 tanto en zonas óptimas como sub-óptimas, recuperándose levemente para el año 2050, lo que implica que en 30 años el potencial se verá afectado y en 50 años aumentará el área adecuada para el cultivo de alfalfa, (Ver figuras 18 y 19)

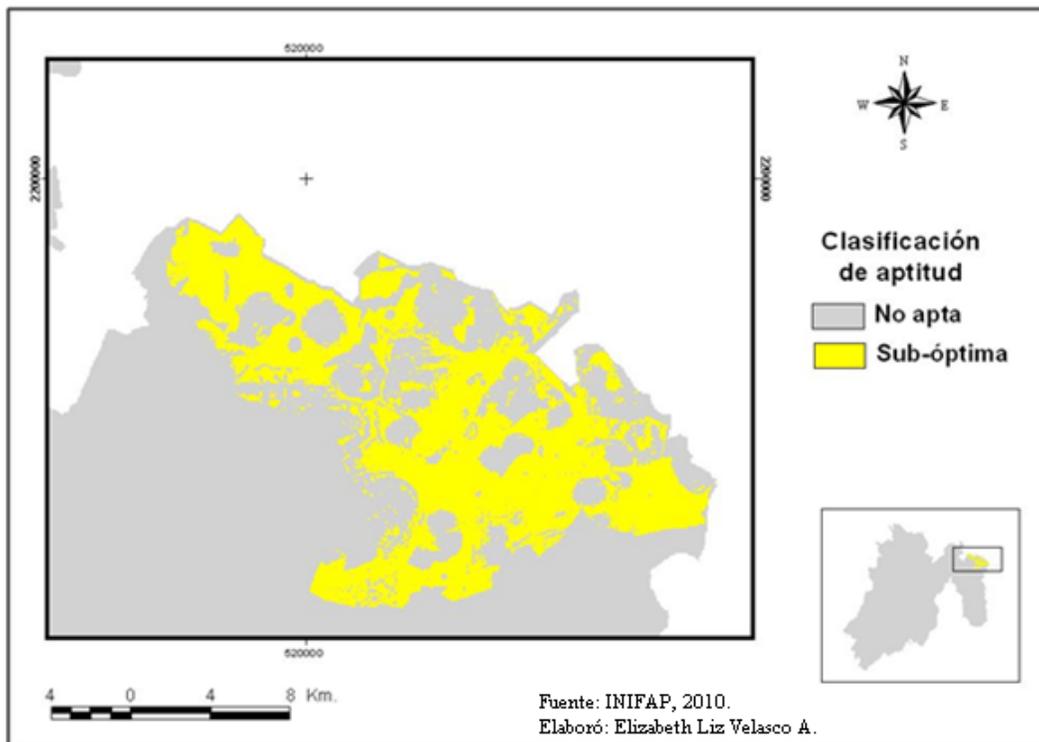


Figura 18. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2030

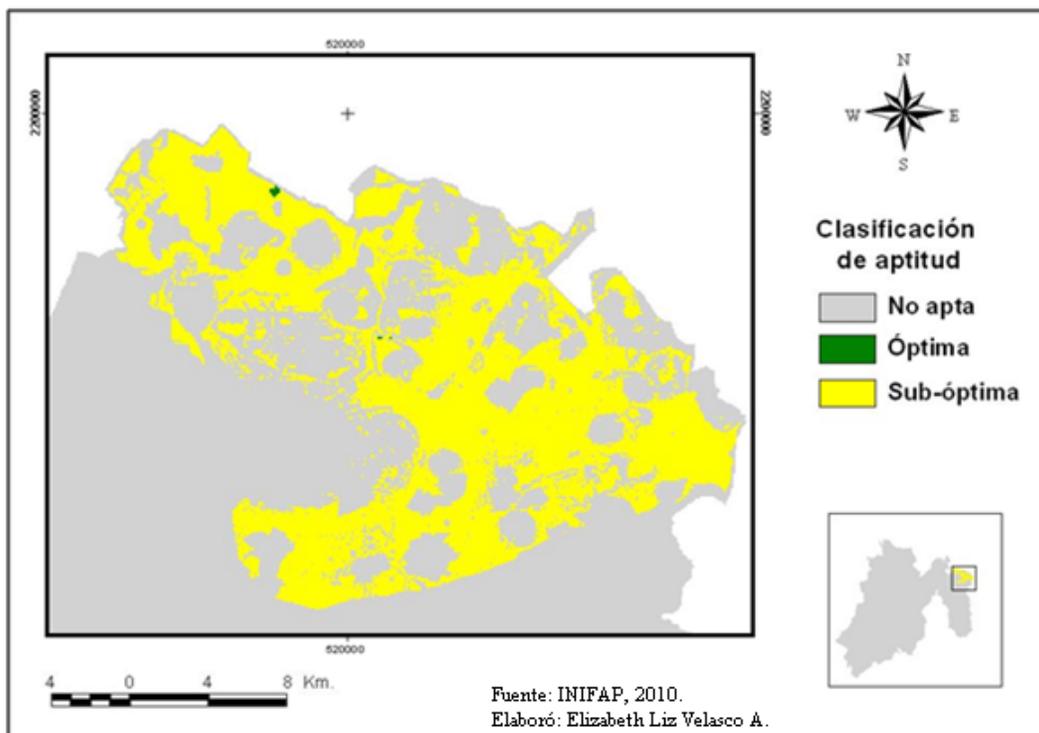


Figura 19. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2050

Modelo HadGEM

A través del modelo inglés, el escenario A1 muestra que no habrá áreas óptimas para el año 2030 y habrá 13 435.47 ha. sub-óptimas. Los resultados al año 2050, en el mismo escenario disminuyen, se mantiene en “0” las zonas aptas y se calculan 660.96 ha. sub-óptimas, viéndose totalmente afectadas las áreas óptimas y en las sub-óptimas disminuiría la superficie un 91.3% al año 2030 y un 99.5% al año 2050 con respecto a las superficies de aptitud actual.

La tabla 18, muestra las variaciones de superficie para los tres períodos (actual, 2030 y 2050), en el escenario A1 del modelo HadGEM.

Tabla 18. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030)	HadGEM (2050)
		A1	A1
Óptimo	24 227.91	0	0
Sub-óptimo	154 280.703	13 435.47	660.96
No apto	2 065 992.5	2 231 052.75	2 243 827.25

Esto implica que de una superficie potencial de 178 508.6 ha., pasará a 13 435.47 ha. en 30 años y a 660.9 ha. en 50 años lo que implica un riesgo para la sustentabilidad de los hatos en el Estado si sigue el esquema de explotación actual.

La superficie sub-óptima se distribuye en la parte noreste del Estado de México como se muestra en las figuras 20 y 21.

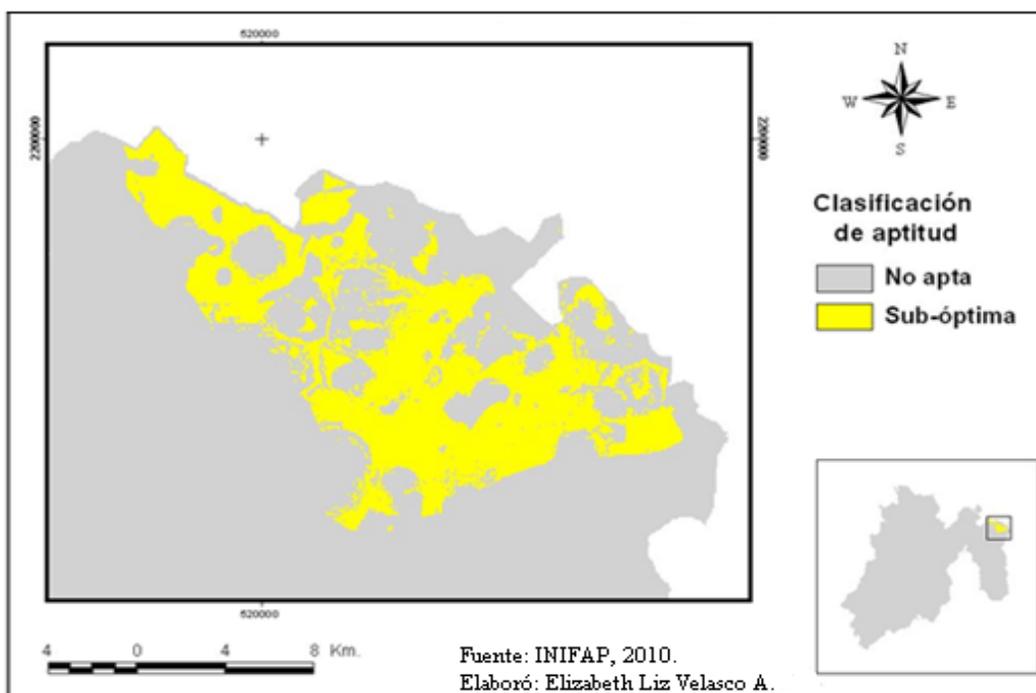


Figura 20. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo HadGEM, año 2030

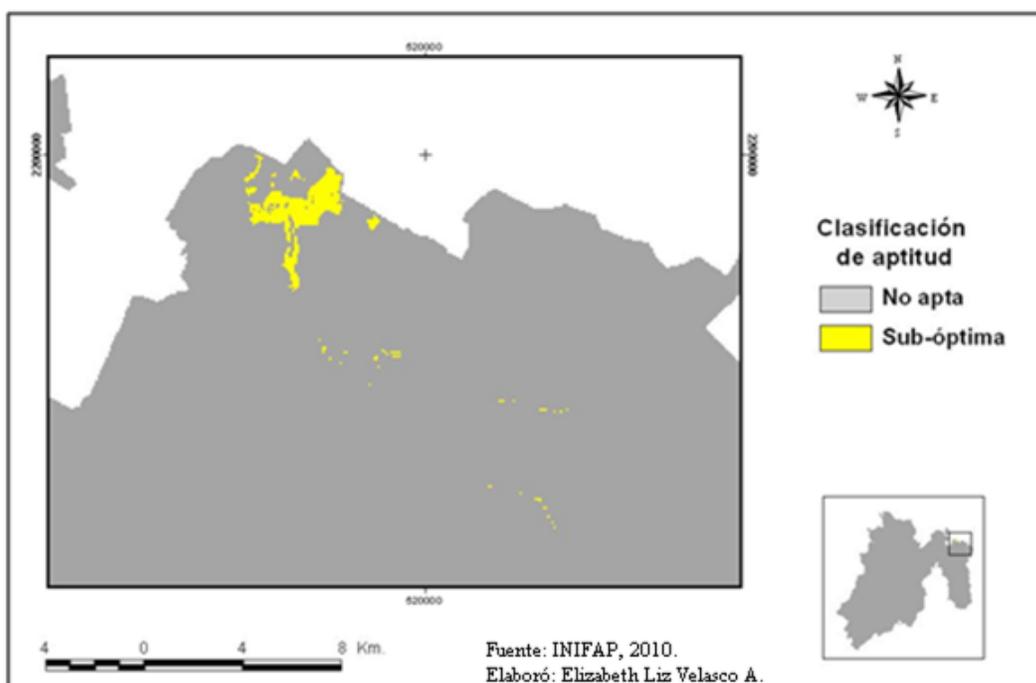


Figura 21. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo HadGEM, año 2050

Con el escenario A2 el área evaluada como óptima desaparece en los dos períodos, las zonas sub-óptimas son de 15 586.02 ha. en el año 2030 y 756.54 ha. en el 2050 (véase tabla 19). Bajo este escenario la superficie apta disminuye progresivamente, de la superficie actual al 2030 se merma un 90.1% y de la actual al 2050 se reduce en un 99.5%, resultando sólo adecuadas las superficies que se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030)	HadGEM (2050)
		A2	A2
Óptimo	24 227.91	0	0
Sub-óptimo	154 280.703	15 586.02	756.54
No apto	2 065 992.5	2 228 902	2 243 731.5

Estos resultados implican una disminución paulatina de superficies potenciales en las que al año 2030 disminuyen 138 694.6 ha., quedando sólo 1 586.02 ha. y al año 2050 se reducen otras 14 829.48 ha. año en el que hay 756.54 ha. potenciales.

A continuación las figuras 22 y 23 presentan el escenario A2 correspondientes a los dos períodos, donde se muestra la distribución espacial simulada por el modelo HadGEM.

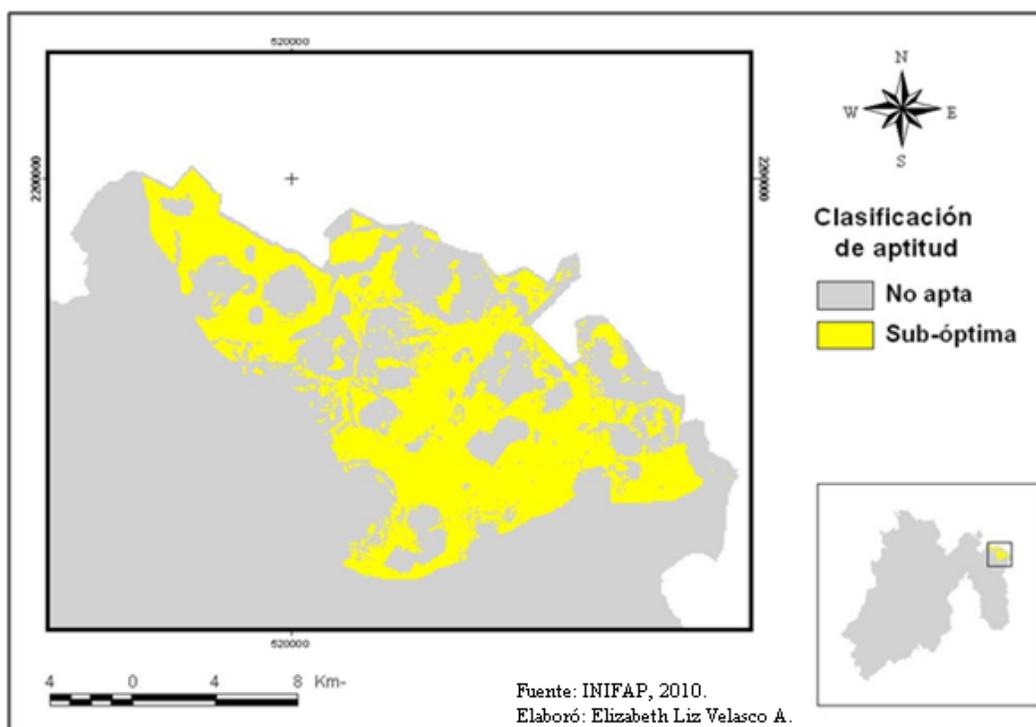


Figura 22. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo HadGEM, año 2030

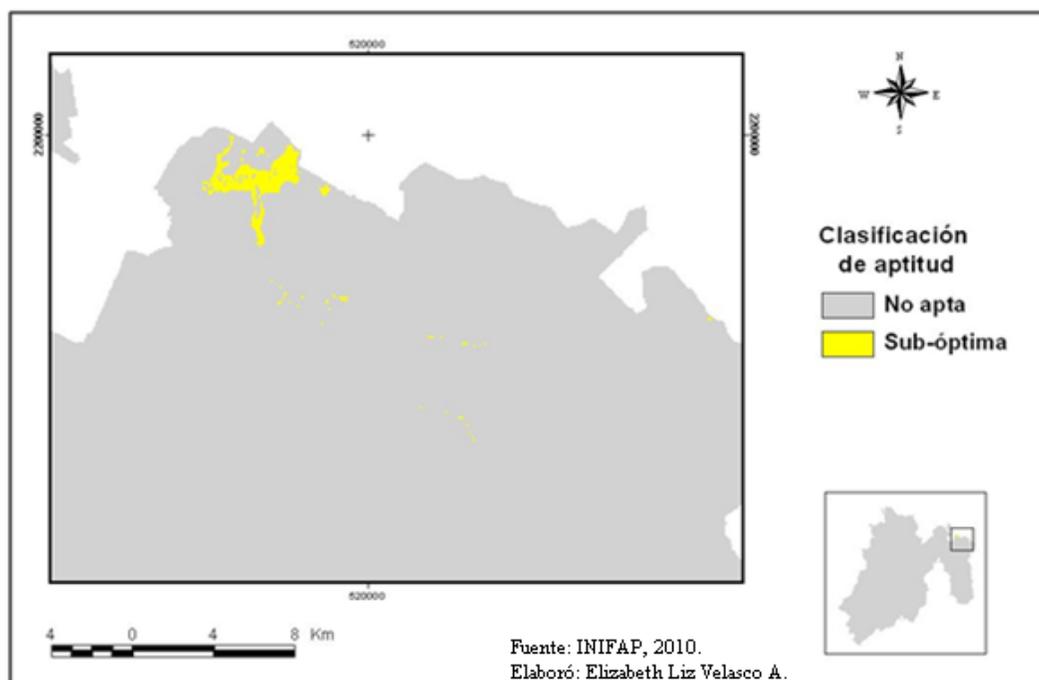


Figura 23. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo HadGEM, año 2050

En el escenario B1 desaparecen las zonas óptimas en ambos períodos y las sub-óptimas se ven reducidas a 9 884.43 hectáreas en el año 2030, es decir, un 93.6% menos que la superficie actual. Al año 2050 habría 690.93 hectáreas sub-óptimas, abriendo desaparecido el 99.6% del área actual. (Véase la tabla 19).

Tabla 20 Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030)	HadGEM (2050)
		B1	B1
Óptimo	24 227.91	0	0
Sub-óptimo	154 280.703	9 884.43	690.93
No apto	2 065 992.5	2 234 603.75	2 243 797.25

La reducción de las superficies es mayor en este escenario, pues desaparecen las áreas óptimas. De 154 280.7 ha. potenciales clasificadas como sub-óptimas se estima que en 30 años habría 9 884.43 ha., es decir, disminuyó 144 396.3 ha. al año 2030 y 153 589.77 hectáreas al año 2050 equivalentes a un 99.6% de la zona actual.

La figura 24 y 25 son mapas que muestran la distribución de las superficies, descritas en la tabla 19 conforme a los períodos 2030 y 2050 del escenario climático A1.

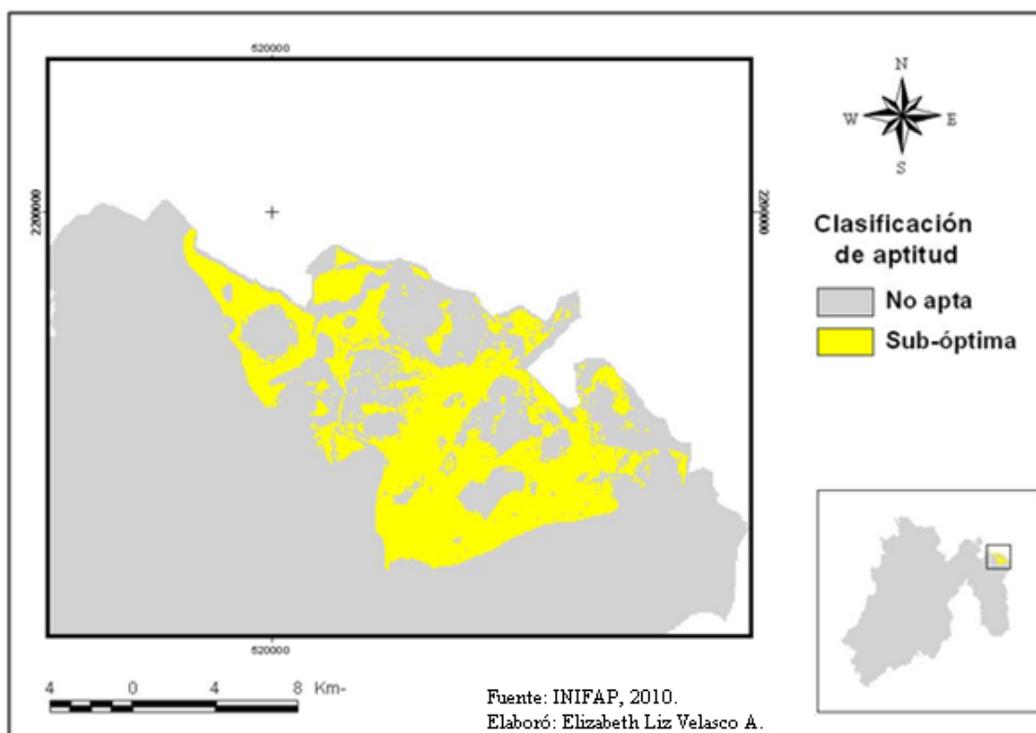


Figura 24. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo HadGEM, año 2030

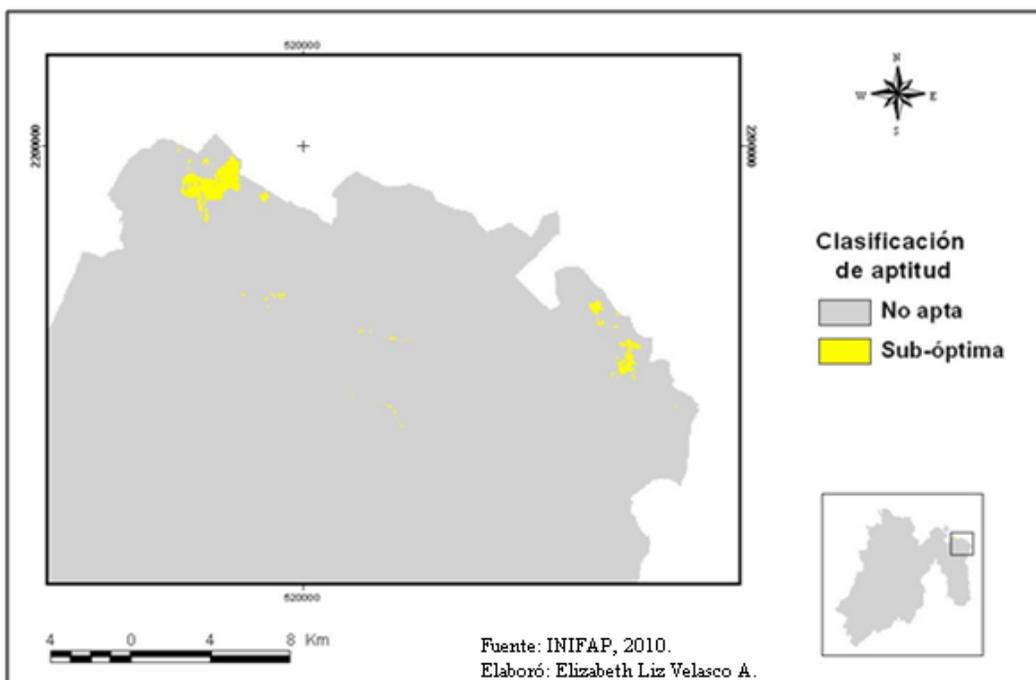


Figura 25. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo HadGEM, año 2050

A través del escenario B2 no aparecen áreas óptimas. Las superficies sub-óptimas siguen reduciéndose a 12 218.85 hectáreas al año 2030 y 431.73 hectáreas al año 2050, o sea, la superficie sub-óptima se reduce 92% y 99.7% respectivamente conforme a la superficie actual.

A continuación la tabla 21 muestra las diferencias de superficie entre la actual y los años 2030 y 2050 en el escenario B2, donde se muestran los valores de aptitud del terreno calculado en hectáreas.

Tabla 21. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030)	HadGEM (2050)
		B2	B2
Óptimo	24 227.91	0	0
Sub-óptimo	154 280.703	12 218.85	431.73
No apto	2 065 992.5	2 232 269.25	2 244 056.5

En este escenario se prevé una reducción de 142 061.85 hectáreas sub-óptimas al año 2030 y 153 848.97 ha., al año 2050, con lo que de hacerse esto posible el cultivo de alfalfa por aptitud del terreno sería casi nulo para el Estado de México, debido a condiciones agroecológicas poco adecuadas.

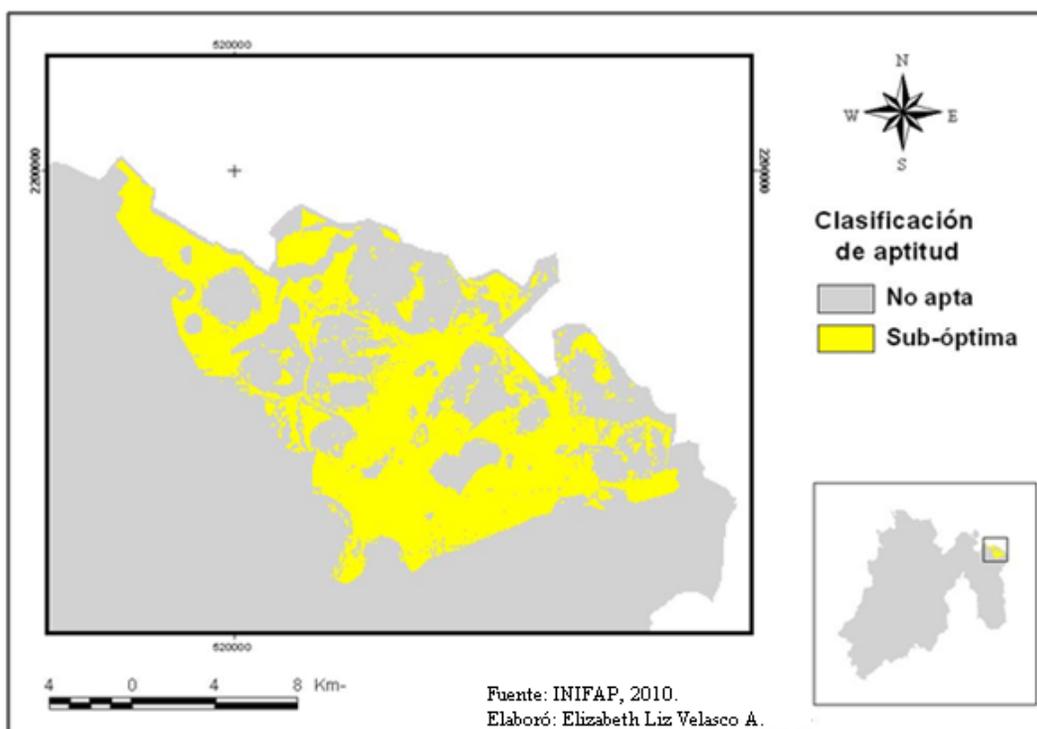


Figura 26. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo HadGEM, año 2030

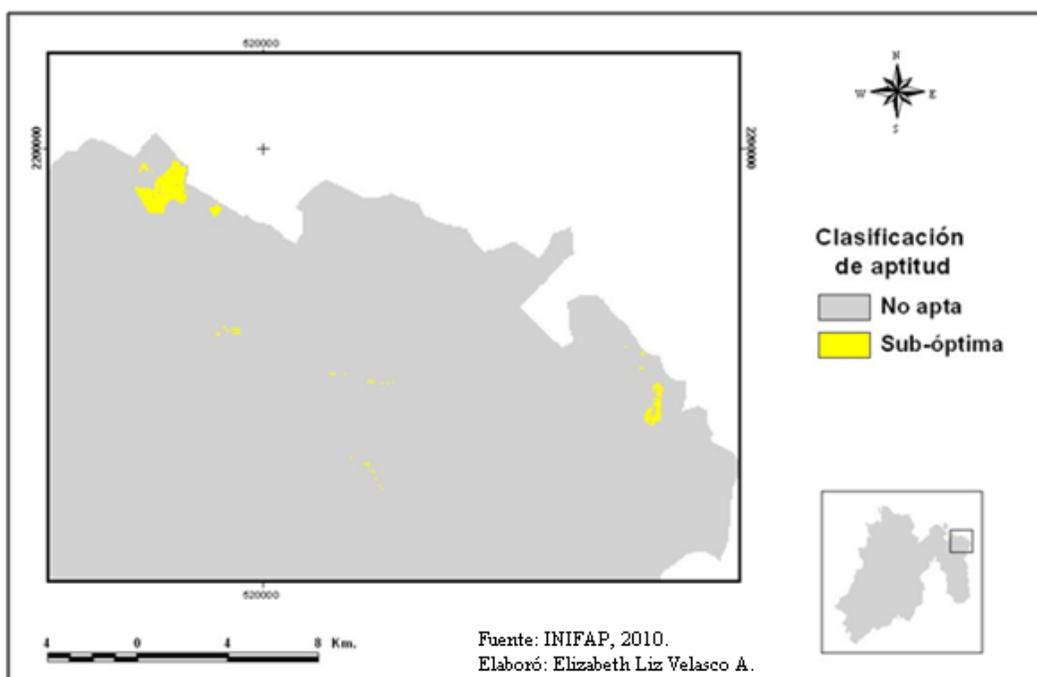


Figura 27. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo HadGEM, año 2050

Este modelo representa un impacto perjudicial para las áreas potenciales de alfalfa, por lo que más que un desplazamiento de las zonas aptas hacia el noreste del Estado de México, se esperaría una elevada disminución de la aptitud y por lo tanto del cultivo del forraje lo que a su vez afectaría a las actividades pecuarias, principalmente al ganado vacuno.

Modelo ECHAM5

Con este modelo alemán y a través del escenario A1 no se reconocen áreas óptimas para el año 2030; en área sub-óptima la superficie sería de 20 842.92 ha. Para el año 2050 habría 151.47 ha. óptimas y 803.52 ha. sub-óptimas. Aunque aparece superficie óptima para el año 2050 debido a una baja en la precipitación media anual en esa área, la superficie sub-óptima sigue reduciéndose hasta un 86.5% en el año 2030 y un 99.5% al año 2050, con respecto a la superficie sub-óptima actual, como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM (2030)	ECHAM (2050)
		A1	A1
Óptimo	24227.91	0	151.47
Sub-óptimo	154280.703	20842.92	803.52
No apto	2065992.5	2223645.25	2243533.25

Al haber una disminución de 133 437.78 ha. para 2030 y 153 477.18 ha. para 2050 el empobrecimiento de aptitud de terreno adecuado para el cultivo de alfalfa se ve afectado por la carencia de condiciones agroecológicas que repercutirán en la producción de este forraje y a su vez en el alimento de ganado que tiene como base alimenticia la alfalfa.

Los siguientes mapas reflejan la ubicación de las superficies para cada período, como lo muestra la tabla 22 en el Estado de México. (Véase figura 28 y 29)

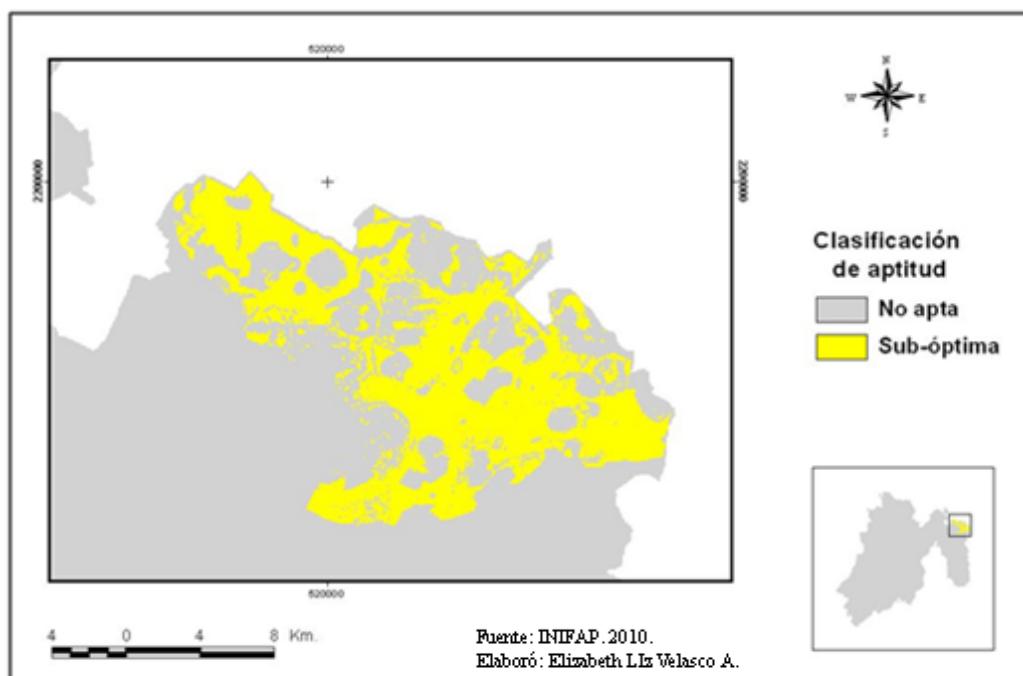


Figura 28. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2030

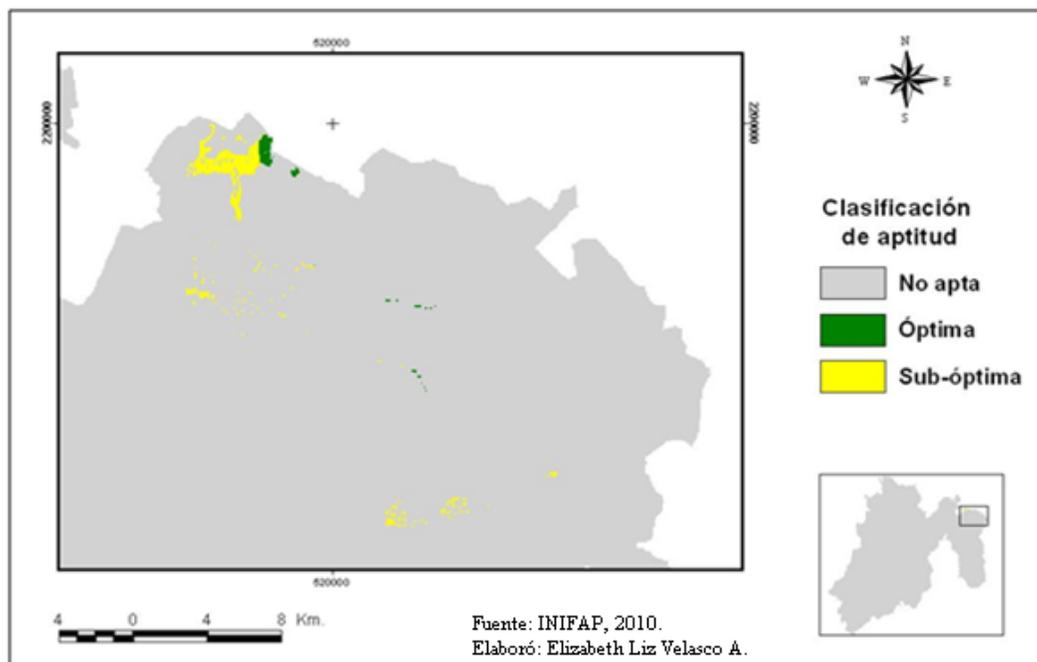


Figura 29. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2050

Con el escenario A2 el área evaluada como óptima es de 0.81 ha., en los dos períodos, las zonas sub-óptimas calculadas son de 21 878.1 ha. en el 2030 y 769.5 ha. en el 2050 (véase tabla 23).

Bajo este escenario la superficie idónea clasificada como optima disminuye casi totalmente al año 2030 y manteniéndose así hasta el 2050. Con respecto a las superficies sub-óptimas estas se restringen a un 85.8% al año 2030 y un 99.5% al año 2050 con respecto a la superficie actual.

Tabla 23. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM (2030)	ECHAM (2050)
		A2	A2
Óptimo	24 227.91	0.81	0.81
Sub-óptimo	154 280.703	21 878.1	769.5
No apto	2 065 992.5	2 222 609.25	2 243 717.75

El cálculo por medio de este escenario implica una desaparición de zonas aptas, mientras que las zonas sub-óptimas tendrán una reducción de 132 402.6 ha. en 30 años y 153 512.2 hectáreas en 50 años lo cual implica que posiblemente se sustituiría o eliminaría el cultivo.

Los siguientes mapas presentes en las figuras 30 y 31 muestran la ubicación de las zonas aptas para el cultivo de alfalfa bajo el escenario A2 en los años 2030 y 2050.

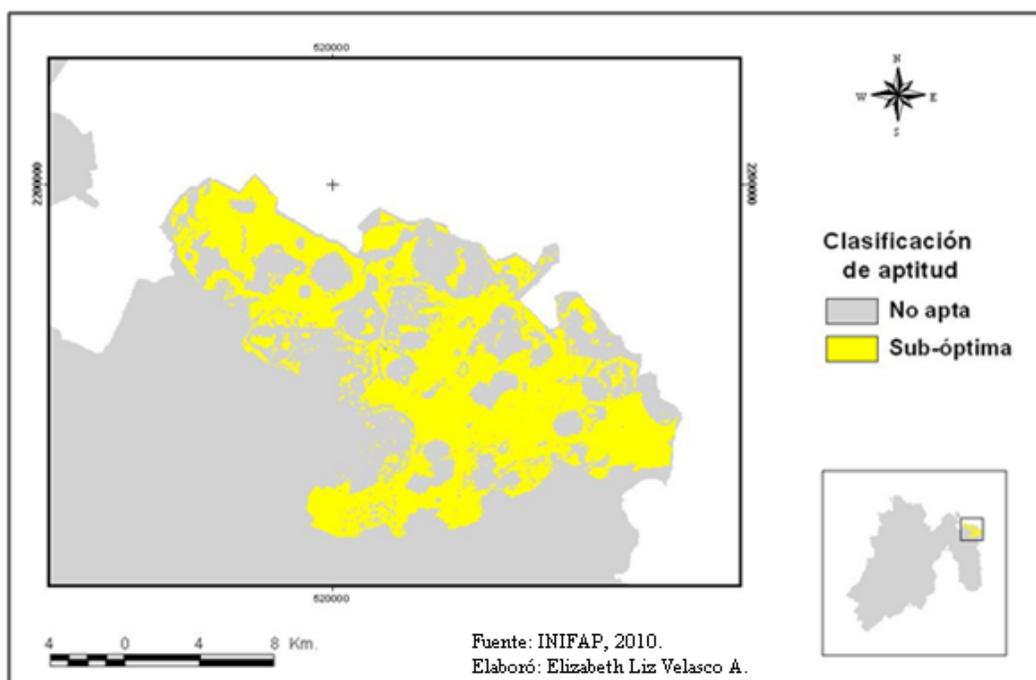


Figura 30. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo ECHAM5, año 2030

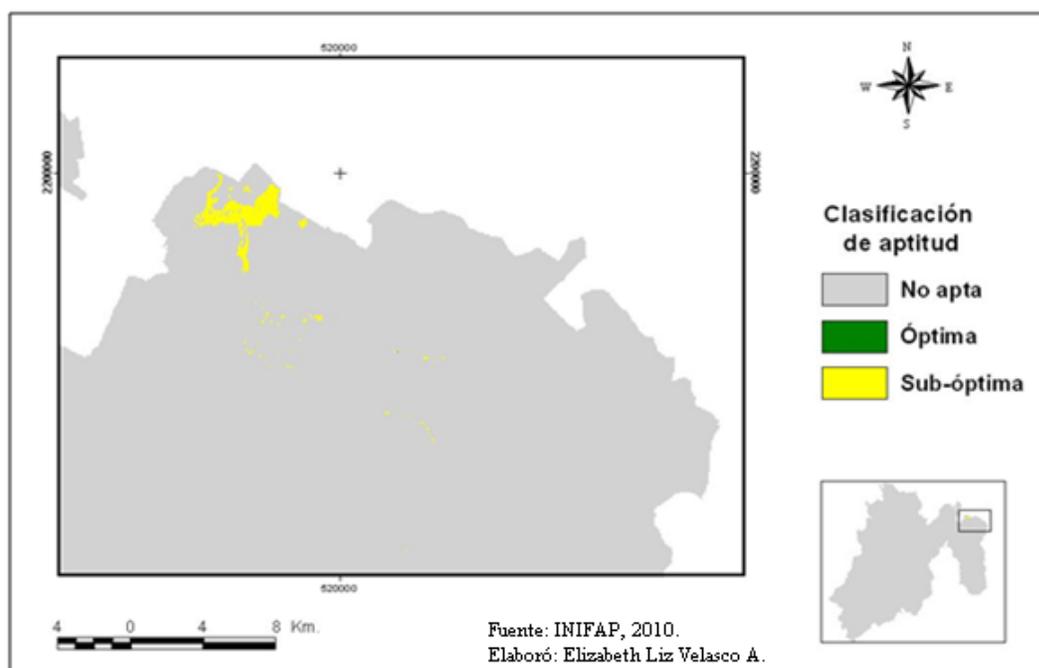


Figura 31. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario A2, modelo ECHAM5, año 2050

En el escenario B1 desaparecen las zonas óptimas en ambos períodos y las sub-óptimas se ven reducidas a 15 460.47 hectáreas en el año 2030, es decir, un 90% menos que la superficie actual. Al año 2050 habría 609.12 hectáreas sub-óptimas, abriendo desaparecido el 99.6% del área actual. (Véase la tabla 24).

Tabla 24. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM (2030)	ECHAM (2050)
		B1	B1
Óptimo	24 227.91	0	0
Sub-óptimo	154 280.703	15 460.47	609.12
No apto	2 065 992.5	2 229 027.75	2 243 879

La reducción de zonas sub-óptimas para el cultivo de alfalfa es de 138 820.2 ha. a 30 años y 153 671.58 ha. a 50 años lo que ponen el peligro la siembra de alfalfa que se verá afectada debido a los impactos de Cambio Climático.

Las figuras 32 y 33 son representativas de las superficies aptas es descritos en la tabla 24 a través del escenario B1 en el modelo ECHAM.

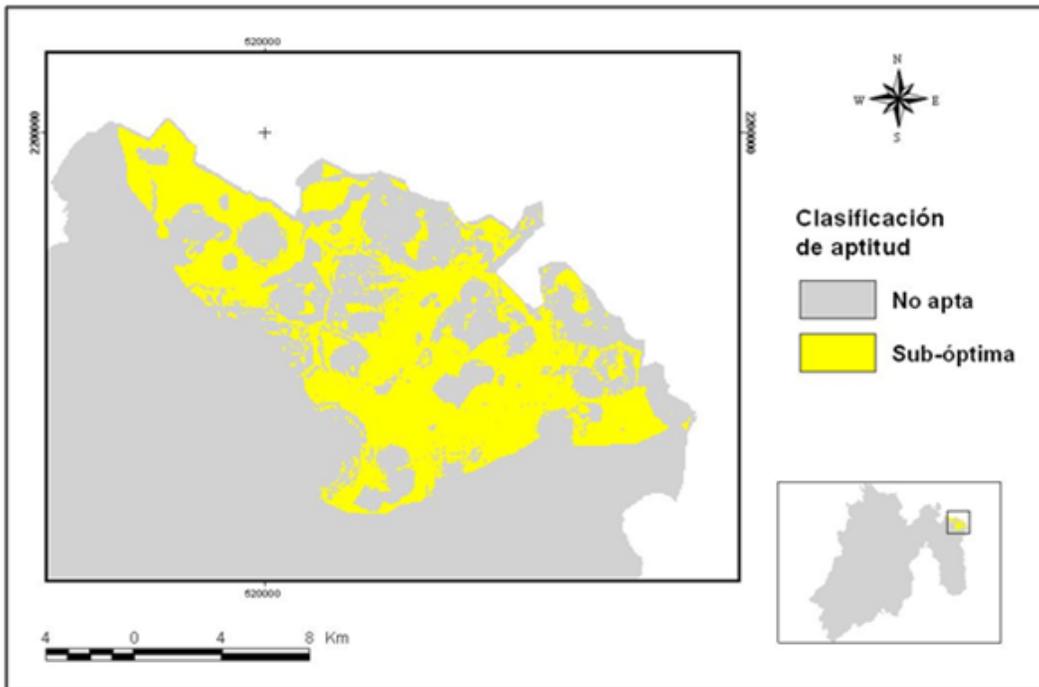


Figura 32. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2030

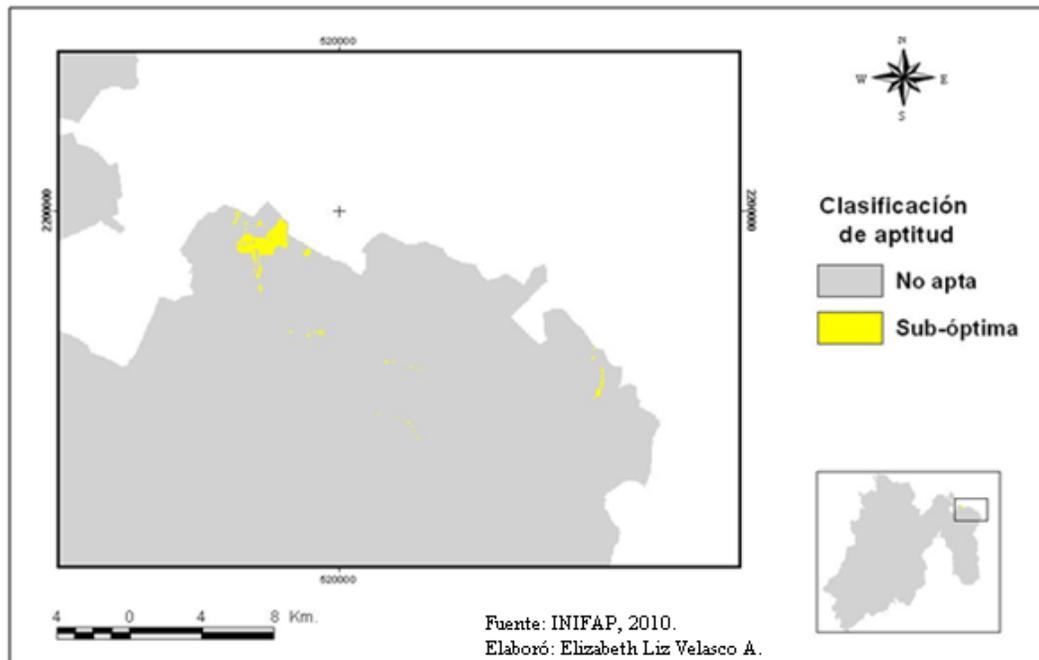


Figura 33. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2050

Por medio del escenario B2, este prevé la desaparición de las zonas óptimas en ambos períodos. Las áreas sub-óptimas se reducen a 18 061.381 hectáreas en el año 2030, es decir, un 88.3% menos de la superficie actual, como se muestra en la Tabla 25; al año 2050 la superficie sería de 771.93 hectáreas sub-óptimas, habiendo desaparecido el 99.5% del área actual.

Tabla 25. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de alfalfa (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM (2030)	ECHAM (2050)
		B2	B2
Óptimo	24 227.91	0	0
Sub-óptimo	154 280.703	18 061.381	771.93
No apto	2 065 992.5	2 226 426.75	2 243 716.25

En el escenario B2 la reducción calculada es de 136 219.32 hectáreas para el año 2030 y 153 509.77 ha. para el año 2050 con respecto a la superficie actual, lo que implicaría una semi-desaparición del cultivo por condiciones agroecológicas y por lo tanto la carencia de alimento para el ganado.

Véanse las figuras 34 y 35 las cuales reflejan la distribución de las superficies viables para el desarrollo de alfalfa a los años 2030 y 2050, del escenario B2 en el modelo ECHAM5.

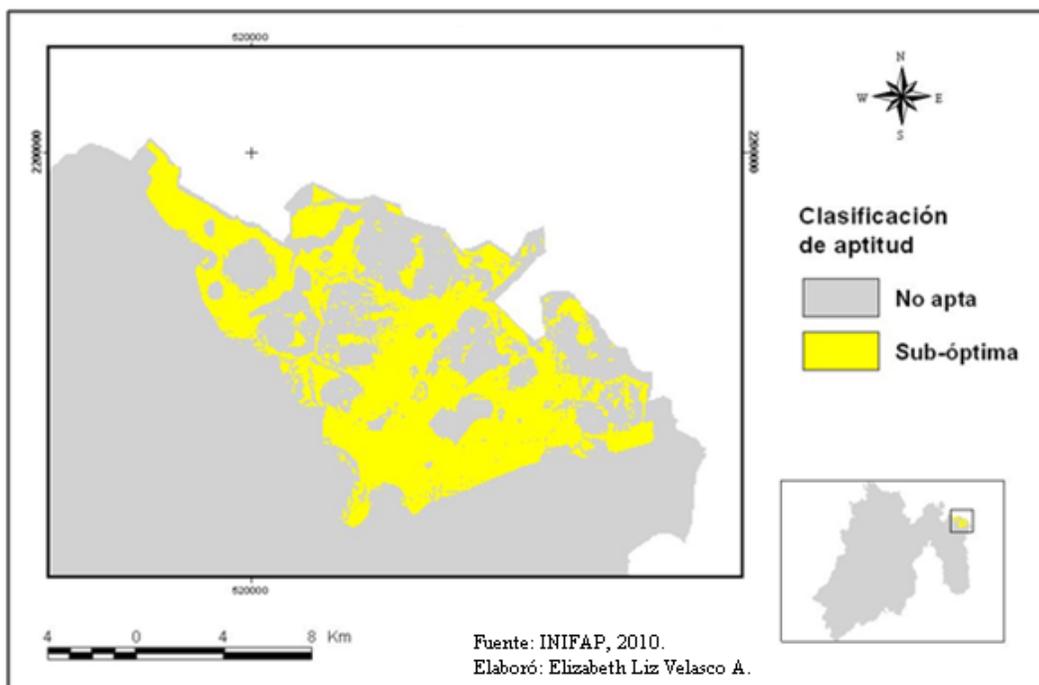


Figura 34. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2030

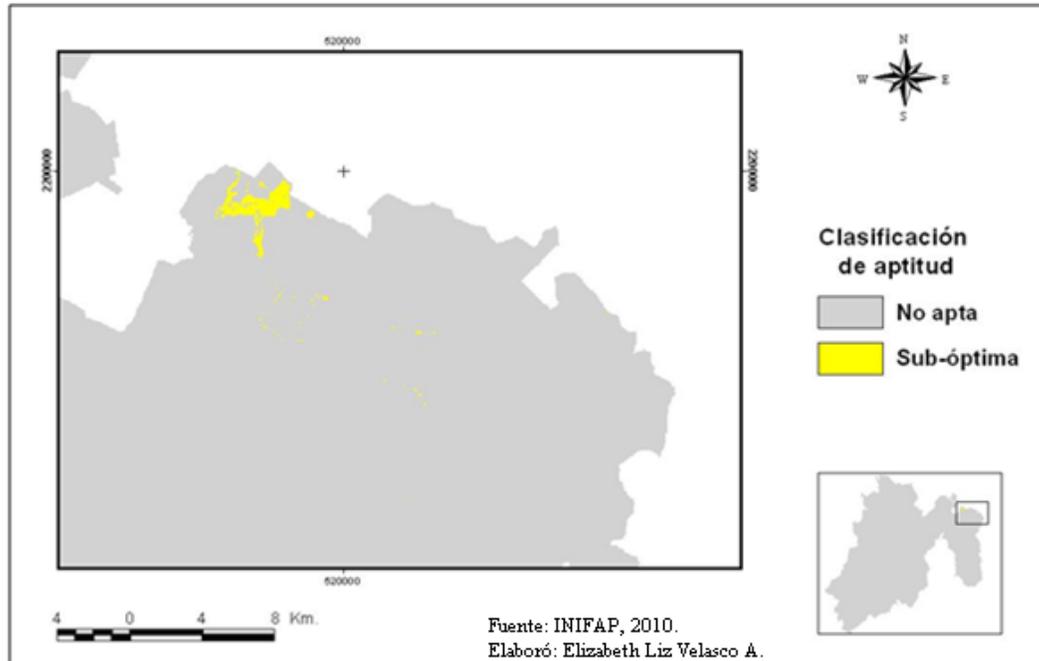


Figura 35. Aptitud para el cultivo de alfalfa en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2050

El modelo ECHAM5 presenta consecuencias negativas según la reducción de zonas potenciales para el cultivo de alfalfa, las que quedan distribuidas al noreste del Estado de México. Los cuatro escenarios climáticos estiman la reducción de las áreas potenciales, situación que perjudicaría gravemente las actividades pecuarias, principalmente alimentación.

A nivel general se observa que todos los modelos no importando su escenario pronostican un decremento de las áreas potenciales de alfalfa el orden del 80% al 100%, limitada principalmente por los niveles de precipitación.

Esta reducción en el cultivo traería como consecuencia un desabasto en alimentación para ganado, principalmente el vacuno productor de leche el cual existe hoy en el Estado de México, esto también implica una pérdida económica para la actividad pecuaria. Bajo las estimaciones de los Modelos de Circulación General, el cultivo de alfalfa sufriría un impacto negativo que merma la superficie adecuada para la siembra, así mismo la producción que alimenta al ganado.

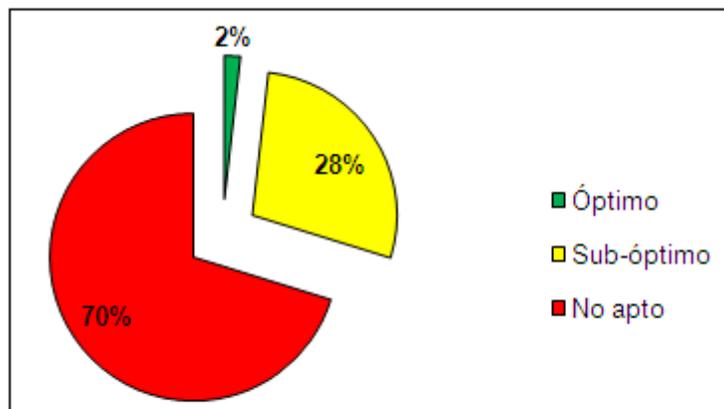
5.4.2 Maíz

Aptitud actual

A1 analizar las variaciones de aptitud del terreno actual con las proyecciones a los años 2030 y 2050 para el cultivo de maíz se prevé la posibilidad de una reducción de la superficie adecuada para el cultivo, además de una notable modificación en la distribución de las áreas aptas.

La tabla 26 muestra las superficies de aptitud del terreno actual, en tres clasificaciones óptimas, sub-óptimas y no aptas, seguida de la gráfica 10 que refleja las mismas superficies en porcentaje

Tabla 26. Aptitud del terreno actual para el cultivo de Maíz	
Clasificación	Superficie en hectáreas (ha)
Óptimo	39 897.359
Sub-óptimo	628 096.688
No apto	1 576 507



Gráfica 10. Aptitud del terreno actual para el cultivo de maíz, superficie en porcentaje

En la figura 36 se muestra el mapa con la distribución actual de la superficie de tierras óptimas, sub-óptimas y no aptas para el cultivo de maíz.

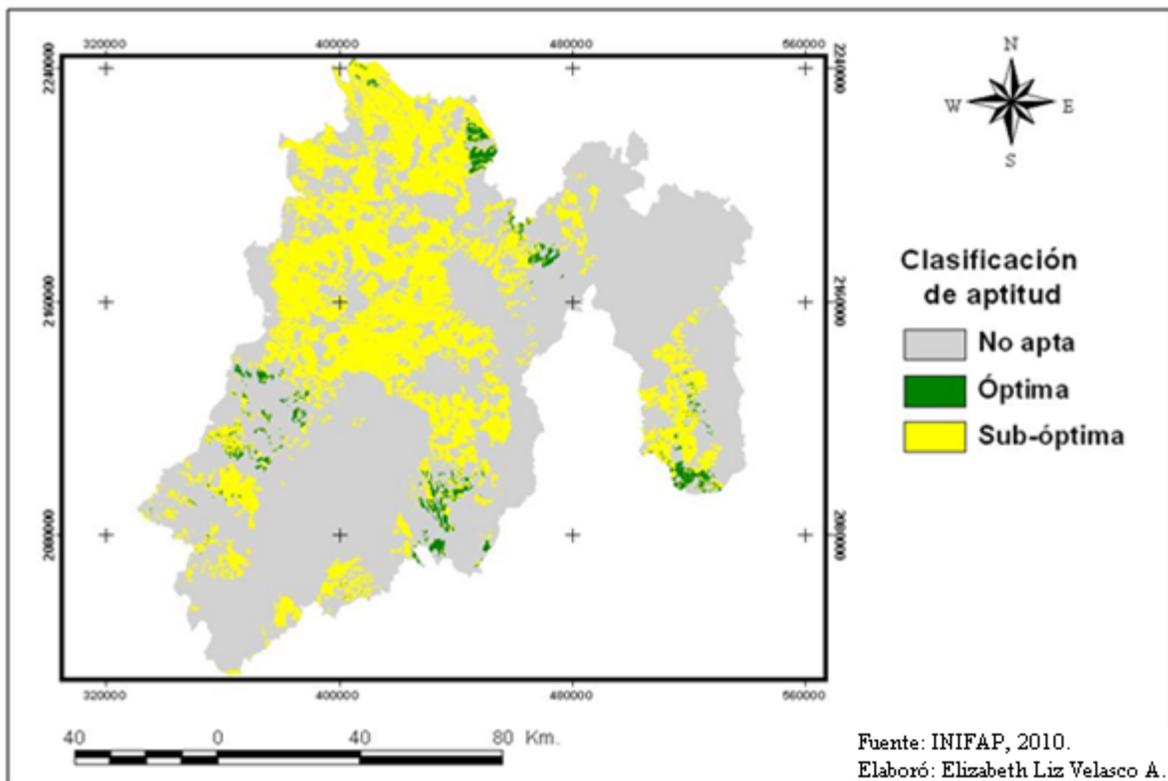


Figura 36. Aptitud actual para el cultivo de maíz en el Estado de México

Modelo GFDL2

La variación de las superficies para el cultivo de maíz por medio del modelo GFDL2 en el escenario A1 demuestra una valiosa disminución para el año 2030 en la que sólo quedaría el 14.4%, equivalente a 5 739.66 hectáreas, lo que significa que se reducirían 34 157.7 ha. de la superficie óptima actual, como se muestra en la Tabla 27, al año 2050 el área aumentaría a 6 416.82 hectáreas donde en un lapso de veinte años recuperaría 677.16 ha., es decir, habrá un 16.1% de la superficie actual, debido a condiciones agroecológicas favorables.

En cuanto a las superficies sub-óptimas estas se verán reducidas en ambos períodos hasta un 88.7% para el año 2030 sólo habría 70 745.398 ha. y 69 797.703 ha. para el año 2050, habiéndose reducido un 88.8%, con respecto a la superficie actual. Véase tabla 27.

Tabla 27. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de maíz (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030)	GFDL2 (2050)
		A1	A1
Óptimo	39 897.359	5 739.66	6 416.82
Sub-óptimo	628 096.688	70 745.398	69 797.703
No apto	1 576 507	2 168 003	2 168 273.5

En las figuras 37 y 38 se visualiza la distribución espacial de las superficies aptas para el cultivo de maíz, en los años 2030 y 2050; para ambos períodos, las áreas óptimas se localizan en el extremo noreste del Estado de México.

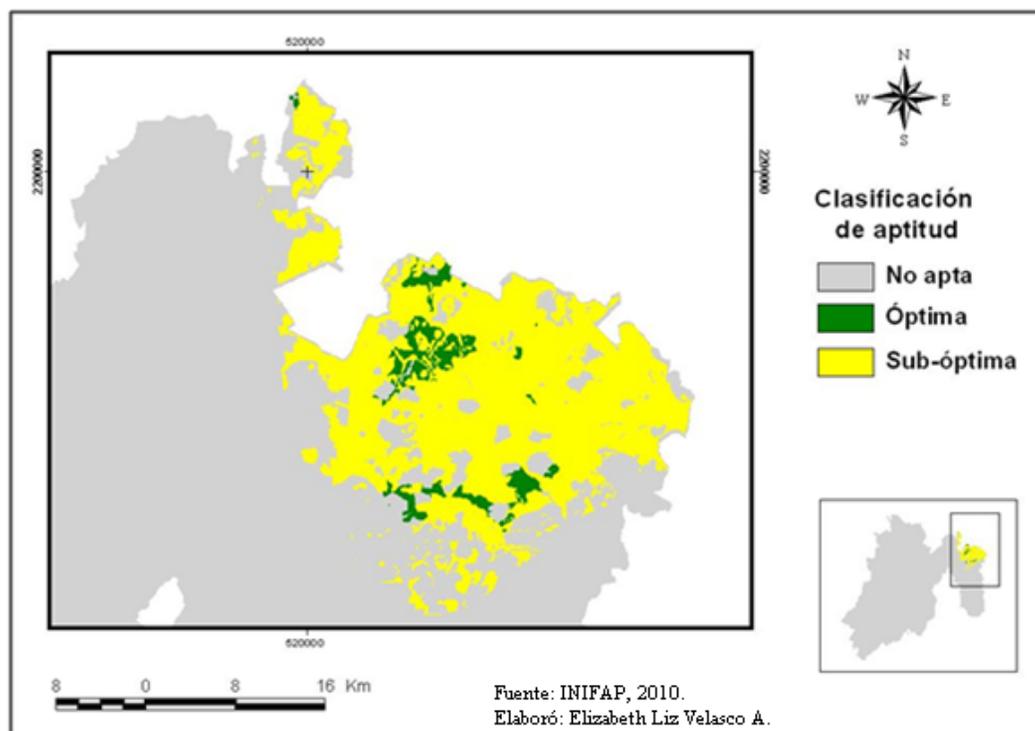


Figura 37. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo GFDL2 año 2030

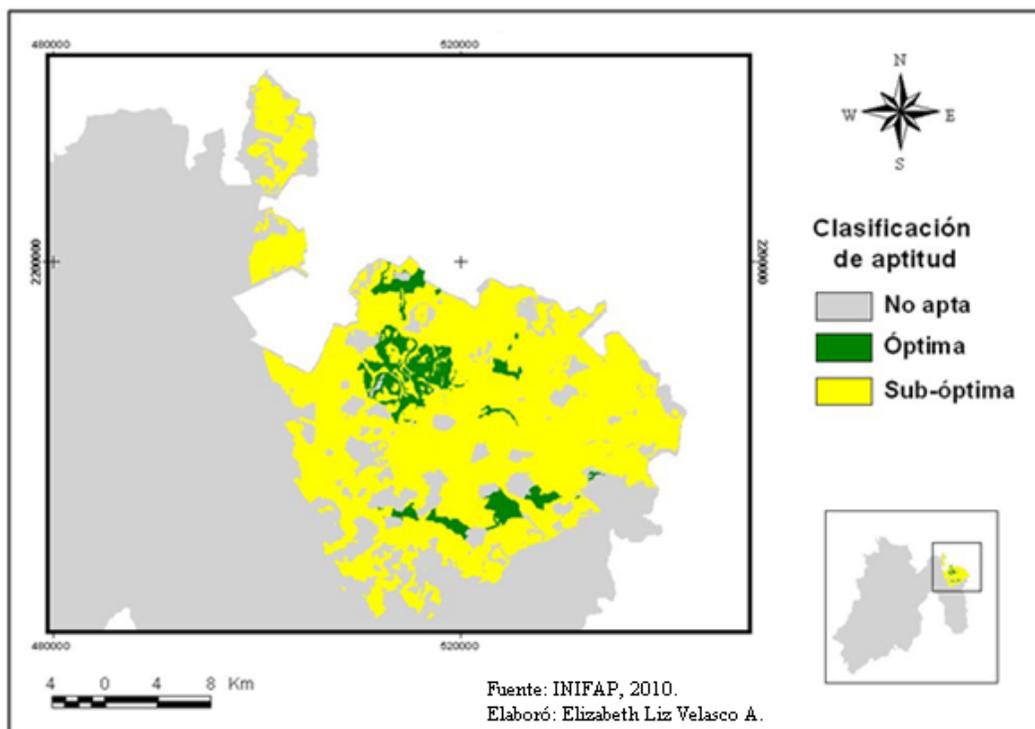


Figura 38. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo GFDL2, año 2050

A través del escenario A2, el área evaluada como óptima es de 5 994.81 hectáreas y sub-óptimas 78 169.047 hectáreas al año 2030, mientras que para el año 2050 las hectáreas óptimas son de 11 903.81 y 84 916.352 sub-óptimas (Ver tabla 28).

Para el primer periodo la superficie se redujo un 85% en superficie óptima y 88% en la sub-óptima con respecto a la superficie actual. Para el año 2050 el escenario supone 11 903.76 hectáreas óptimas, lo que significa que habría 5 908.95 ha. más que en el año 2030.

La superficie sub-óptima se incrementa 6 747.305 ha. en relación al año 2030 para un total de 84 916.352 ha. como se muestra en la Tabla 28, esta cifra equivale a un 13.52% de la superficie sub-óptima actual.

Las figuras 39 y 40, presentan mapas de la distribución de aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, para los períodos 2030 y 2050.

Tabla 28. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de maíz (hectáreas)

Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030)	GFDL2 (2050)
		A2	A2
Óptimo	39 897.359	5 994.81	11 903.76
Sub-óptimo	628 096.688	78 169.047	84 916.352
No apto	1 576 507	2 160 324.25	2 147 668

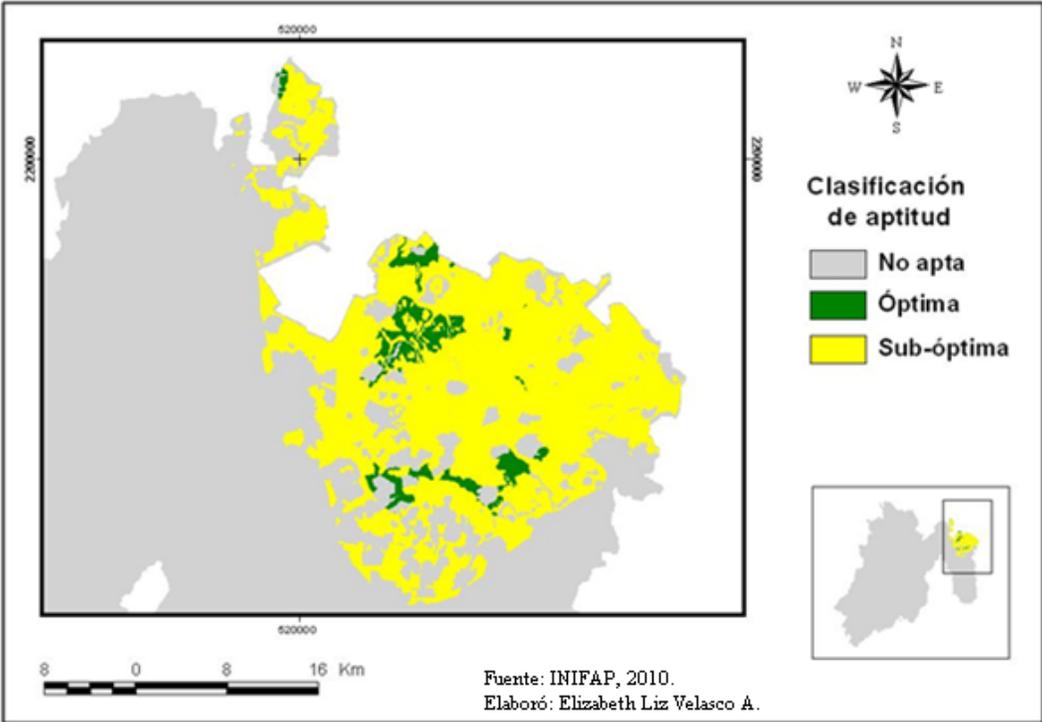


Figura 39. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2030

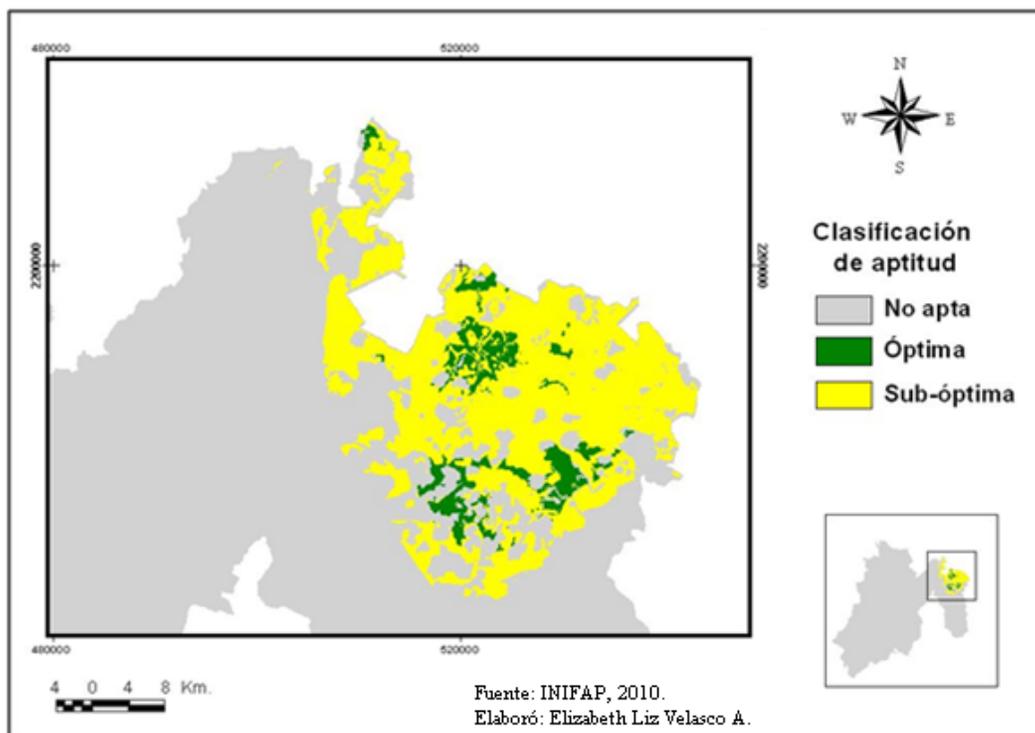


Figura 40. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2050

En el escenario B1 la disminución de hectáreas óptimas es de 35 260.919, lo que significa que a través de la simulación se pierde el 88.3% de la superficie actual para el año 2030 y 78% para el año 2050, donde hay un aumento de 4 140.72 ha. en veinte años, gracias a una disminución en la precipitación para este periodo. (Véase tabla 29)

Con respecto a las superficies sub-óptimas para el año 2030 estas serán de 79 285.227 ha., donde se perdería el 87.4% de la superficie que hoy se reconoce como sub-óptima y para el año 2050 ya habría perdido el 87.6% de la superficie equivalente a 550 242.727 ha., lo que significa que la zona sub-óptima para este año sería de 77 853.961 hectáreas. En la tabla 29 se observa el resultado de las superficies para cada periodo.

Tabla 29. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de maíz (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030)	GFDL2 (2050)
		B1	B1
Óptimo	39 897.359	4 636.44	8 777.16
Sub-óptimo	628 096.688	79 285.227	77 853.961
No apto	1 576 507	2 160 566.5	2 157 857

En figuras 41 y 42, se observa la distribución de aptitud para la especie forrajera en los años 2030 y 2050.

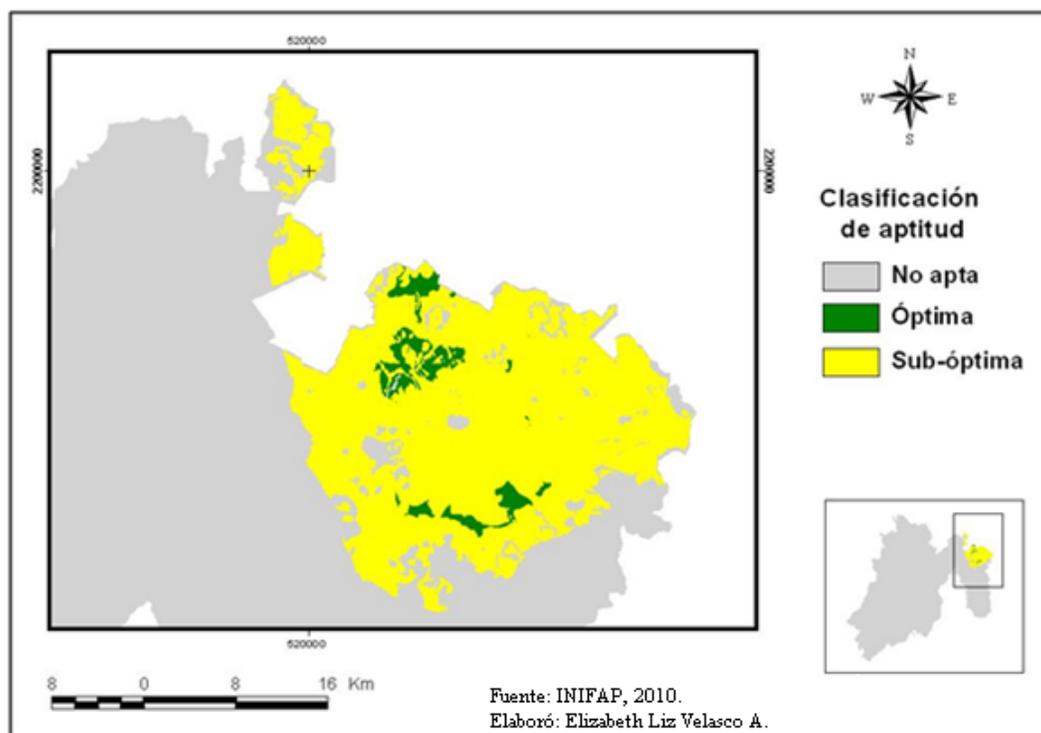


Figura 41. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2030

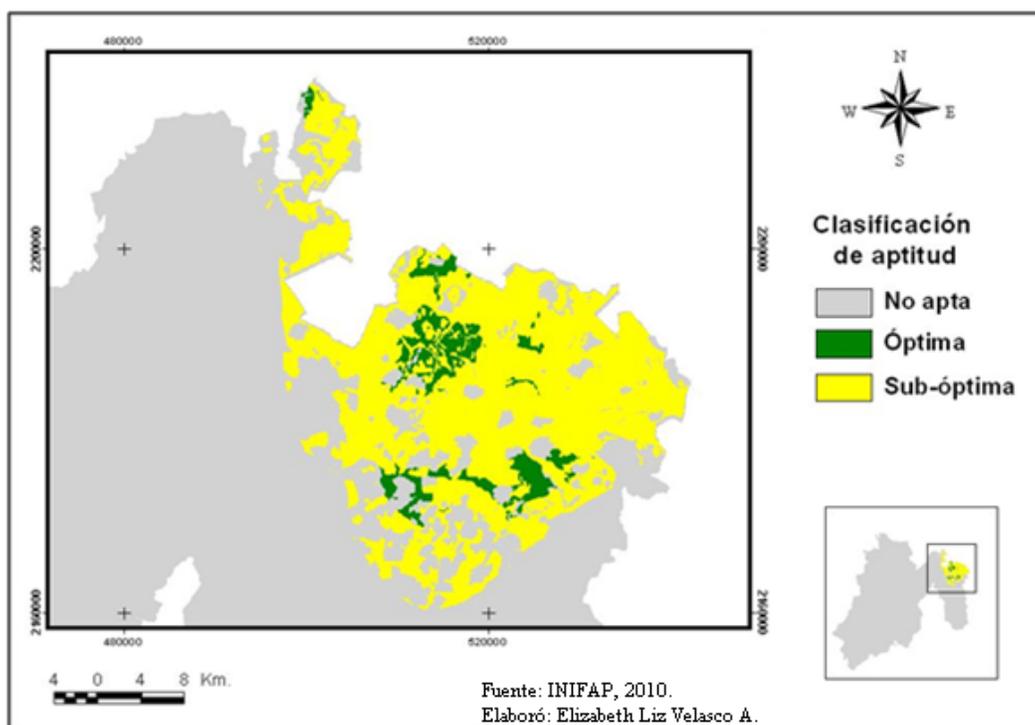


Figura 42. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2050

En el escenario B2, el área evaluada como óptima es de 5 452.11 hectáreas y sub-óptimas 72 275.492 hectáreas al año 2030, mientras que para el año 2050 las hectáreas óptimas son de 8 529.3 y 76 503.688 sub-óptimas (Ver tabla 30). Para el primer periodo la superficie se redujo un 86.4% en óptima y 88.5% en la sub-óptima con respecto a la superficie actual. Para el año 2050 el escenario supone 8529.3 ha. óptimas, lo que significa que habría 5 908.95 ha. más que en el año 2030. La superficie sub-óptima se incrementa 4 227.9 ha. en relación al año 2030 para un total de 76 503.688 ha. como se muestra en la Tabla 30, esta cifra equivale a un 12.2% de la superficie sub-óptima actual.

Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030)	GFDL2 (2050)
		B2	B2
Óptimo	39 897.359	5 452.11	8 529.3
Sub-óptimo	628 096.688	72 275.492	76 503.688
No apto	1 576 507	2 166 760.5	2 159 455.25

Las figuras 43 y 44 son mapas representativos de la distribución superficial para la aptitud del terreno a través del escenario B2 en dos distintos años.

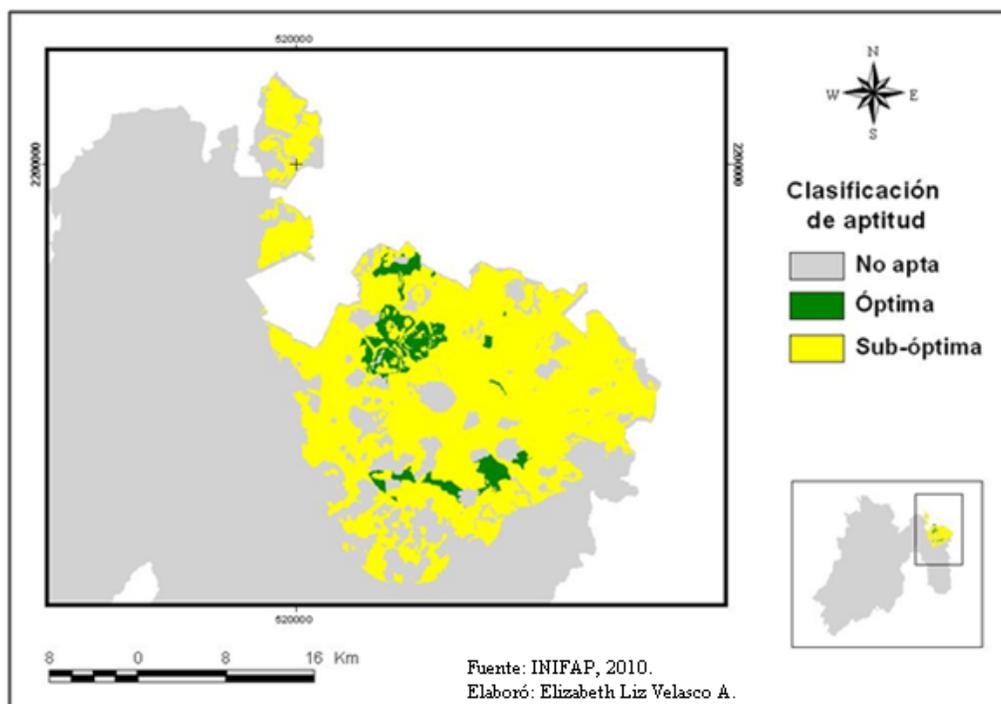


Figura 43. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2030

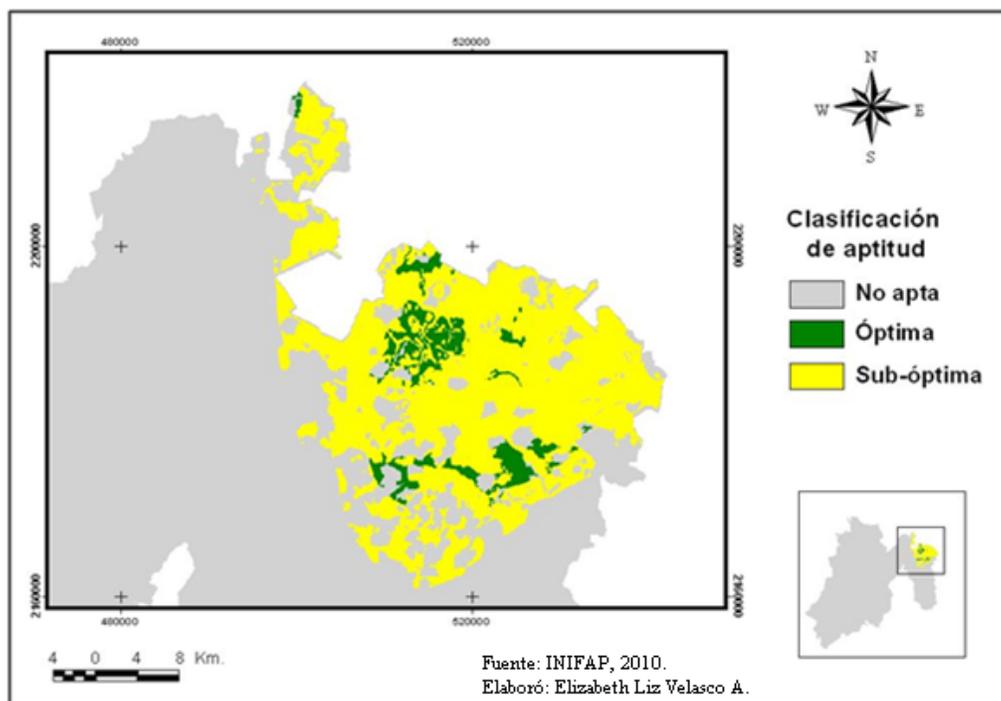


Figura 44. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2050

El modelo predice un alto impacto climático para el cultivo de maíz. Se prevé de manera general que habrá una disminución de las superficies potenciales para el año 2030 y aumentó para el año 2050 lo que sólo se ve en los escenarios A2 y B2, mientras los escenarios A1 y B1 siguen con la disminución de las superficies aptas.

Modelo HadGEM

La variación de las superficies por medio del modelo HadGEM en el escenario A1 demuestra una valiosa disminución para el año 2030 en la que sólo quedaría el 14.3% de la superficie óptima actual equivalente a 5 690.25 hectáreas como se muestra en la tabla 31. Al año 2050 el área aumentaría a 6 416.82 hectáreas donde en un lapso de veinte años recuperaría 733.03 ha., debido a condiciones agroecológicas favorables. En cuanto a las superficies sub-óptimas estas se verán reducidas en ambos períodos hasta un 89.3% para el año 2030 y un 93.7% al año 2050, con respecto a la superficie actual. Véase tabla 31.

Tabla 31. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de maíz (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030)	HadGEM (2050)
		A1	A1
Óptimo	39 897.359	5 690.25	6 423.3
Sub-óptimo	628 096.688	67 186.258	39 792.844
No apto	1 576 507	2 171 611.5	2 168 272

Las figuras 45 y 46 visualizan la distribución espacial de las superficies aptas para el cultivo de maíz, en los años 2030 y 2050; para ambos períodos las áreas óptimas se localizan en el extremo noreste del Estado de México.

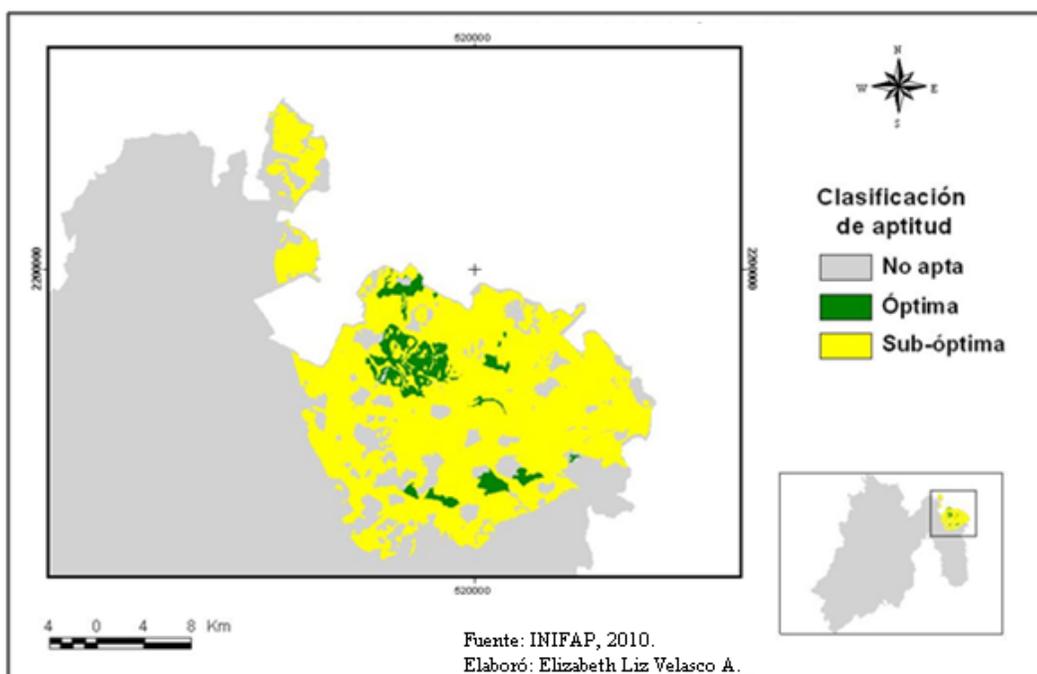


Figura 45. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo HadGEM, año 2030

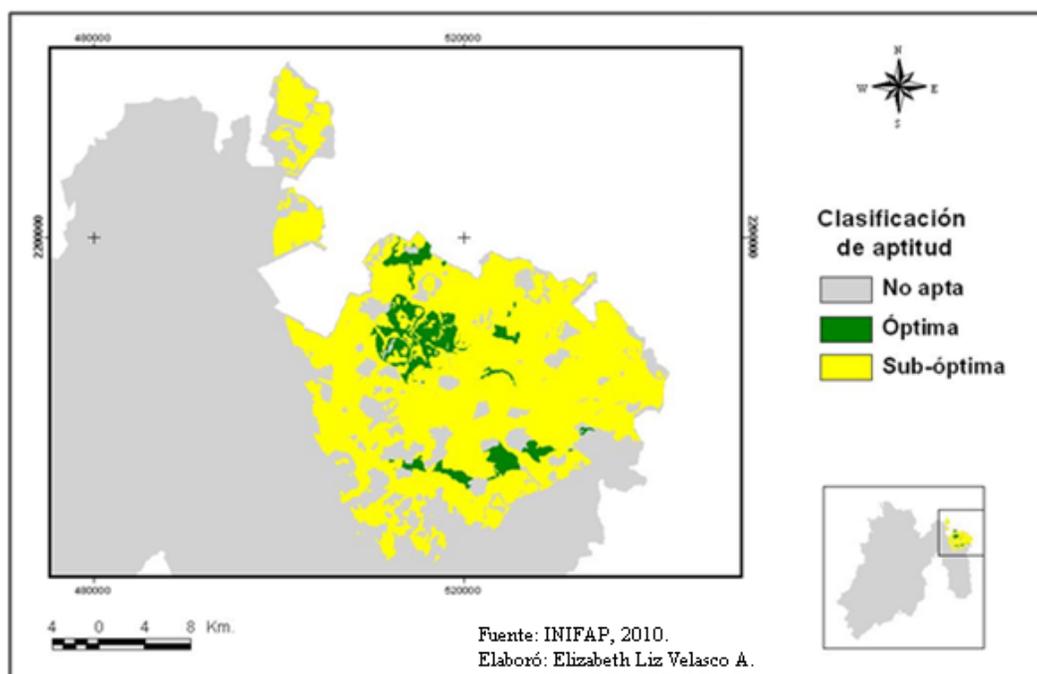


Figura 46. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo HagGEM, año 2050

A través del escenario A2, el área evaluada como óptima es de 5 560.65 hectáreas y sub-óptimas 68 846.758 hectáreas al año 2030, mientras que para el año 2050 las hectáreas óptimas son de 6 729.48 y 71 249.219 sub-óptimas Ver tabla 32. Para el año 2030 la superficie se redujo un 86.1% en superficie óptima y 89% en la sub-óptima con respecto a la superficie actual. Para el año 2050 el escenario supone 6 729.48 ha. óptimas, lo que significa que habría 1 168.83 ha. más que en el año 2030.

La superficie sub-óptima se incrementa 242.46 hectáreas en relación al año 2030 para un total de 71 249.219 ha., como se muestra en la tabla 32, esta cifra equivale a un 11.34% de la superficie sub-óptima actual.

Seguido de la tabla 32 se muestran las figuras 47 y 48, que representan la aptitud del terreno en el escenario A2 para el cultivo de maíz, en los períodos 2030 y 2050.

Tabla 32. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de maíz (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030)	HadGEM (2050)
		A2	A2
Óptimo	39 897.359	5 560.65	6 729.48
Sub-óptimo	628 096.688	68 846.758	71 249.219
No apto	1 576 507	2 170 080.75	2 166 509.5

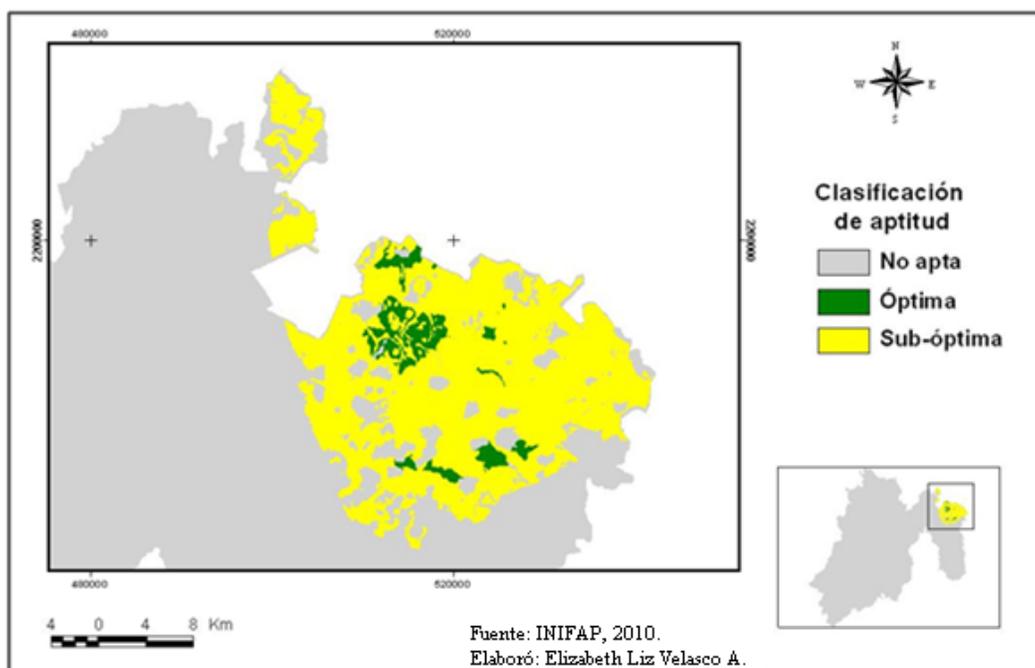


Figura 47. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo HadGEM, año 2030

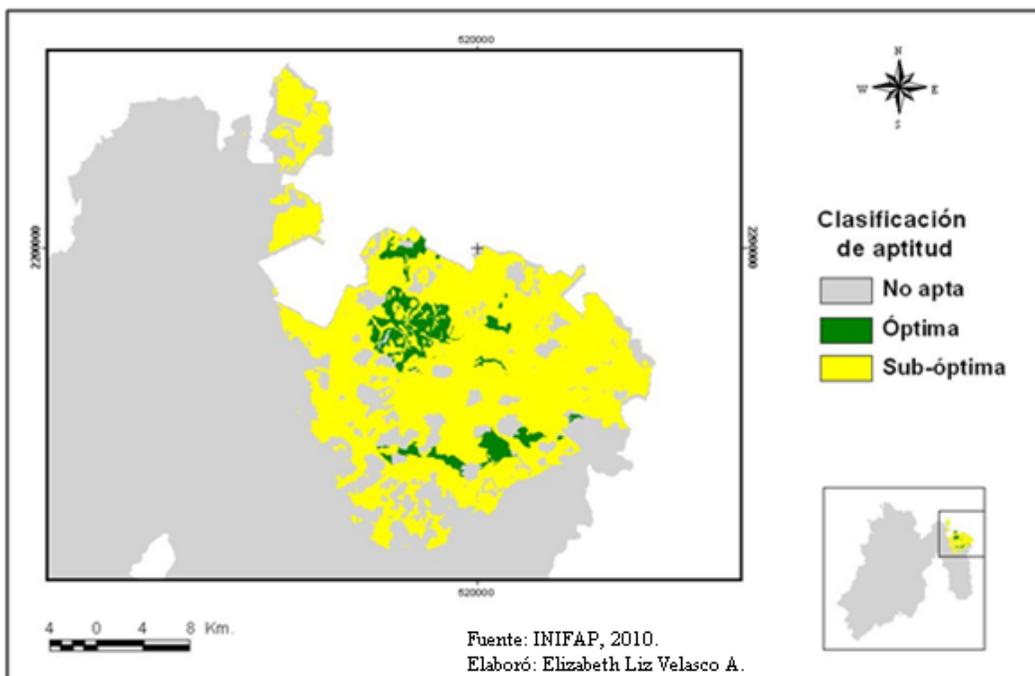


Figura 48. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo HadGEM, año 2050

El escenario B1 supone una disminución de hectáreas óptimas de 36 562.59, lo que significa que a través de la simulación se pierde el 91.6% de la superficie actual para el año

2030 y 84.8% para el año 2050, el cual registra un aumento de 2 724.03 ha., en veinte años (véase tabla 33), gracias a una disminución en la precipitación para este periodo.

Con respecto a las superficies sub-óptimas para el año 2030 estas serán de 24 865.381 ha., donde se perdería el 96% equivalente a 603 231.3 ha. de la superficie que hoy se reconoce como sub-óptima y para el año 2050 quedaría el 89.1% de la superficie actual, lo que indica que entre cada periodo habría un aumento de la superficie sub-óptima de 43 680.1 ha., al mejorar las condiciones agroclimáticas para el desarrollo del maíz.

En la tabla 33 se observa el resultado de las superficies para cada periodo, seguidos de las figuras 49 y 50 donde se observa la distribución de la aptitud del terreno para el cultivo de maíz en dos periodos a través del escenario B1 en el modelo HadGEM.

Tabla 33. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de maíz (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030)	HadGEM (2050)
		B1	B1
Óptimo	39 897.359	3 334.77	6 058.8
Sub-óptimo	628 096.688	24 865.381	68 545.438
No apto	1 576 507	2 216 288	2 169 884

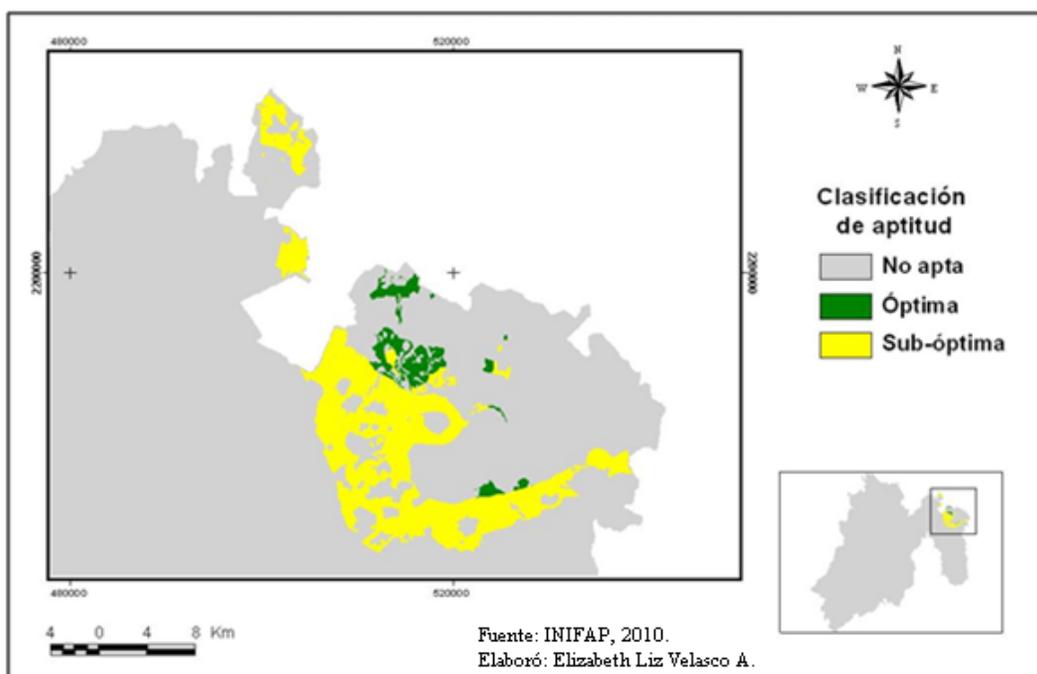


Figura 49. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo HadGEM, año 2030

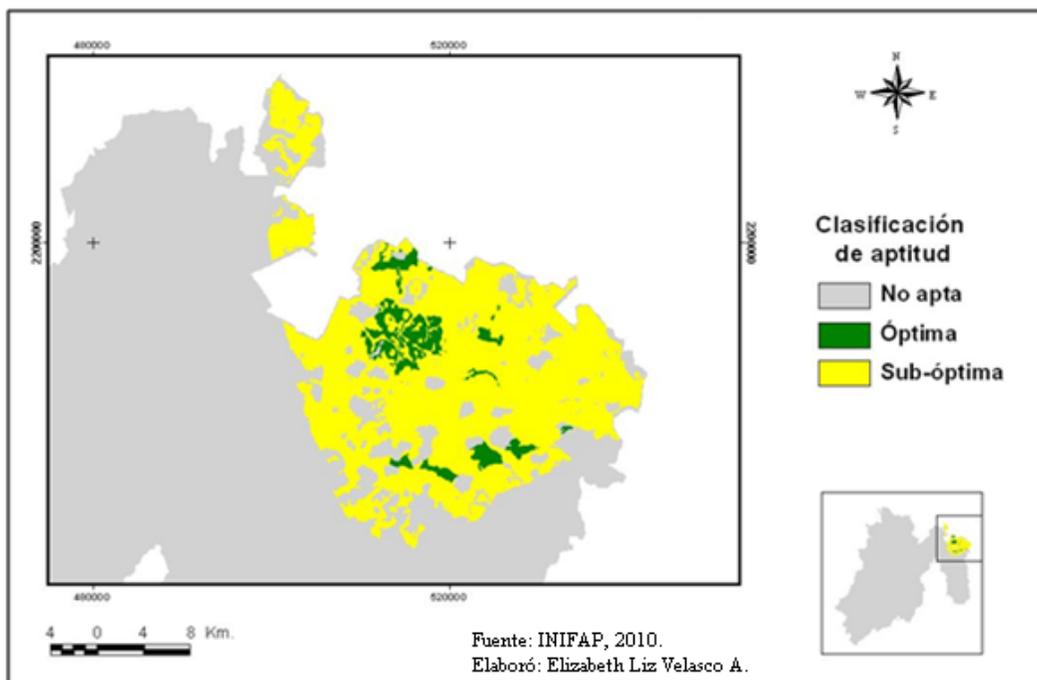


Figura 50. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo HadGEM, año 2050

En el escenario B2, el área evaluada como óptima es de 4 491.45 hectáreas y sub-óptimas 65 322.449 hectáreas al año 2030, mientras que para el año 2050 las hectáreas óptimas son de 5 465.07 y 66 726.992 sub-óptimas (Ver tabla 34). Para el primer periodo la superficie se redujo un 88.7% en superficie óptima y 89.5% en la sub-óptima con respecto a la superficie actual.

Para el año 2050 el escenario supone 5 465.07 ha. óptimas, lo que significa que habría 973.62 ha. más que en el año 2030. La superficie sub-óptima se incrementa 1 404.54 ha. en relación al año 2030 para un total de 66 726.992 hectáreas como se muestra en la tabla 34, esta cifra equivale a un 10.6% de la superficie sub-óptima actual.

Las figuras 51 y 52 son representativas de la distribución superficial para la aptitud del terreno a través del escenario B2 en dos distintos años (2030 y 2050), los mapas identifican la parte noreste del Estado de México como el área adecuada para el cultivo de maíz.

Tabla 34. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de maíz (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030)	HadGEM (2050)
		B2	B2
Óptimo	39 897.359	4 491.45	5 465.07
Sub-óptimo	628 096.688	65 322.449	66 726.992
No apto	1 576 507	2 174 674.25	2 172 296

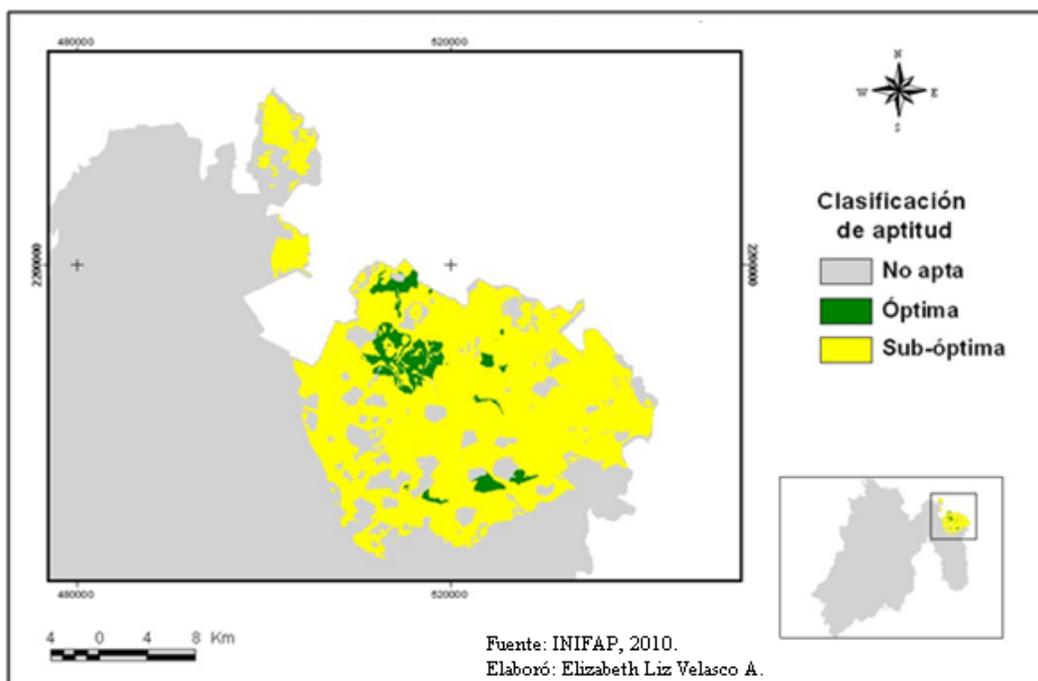


Figura 51. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo HadGEM, año 2030

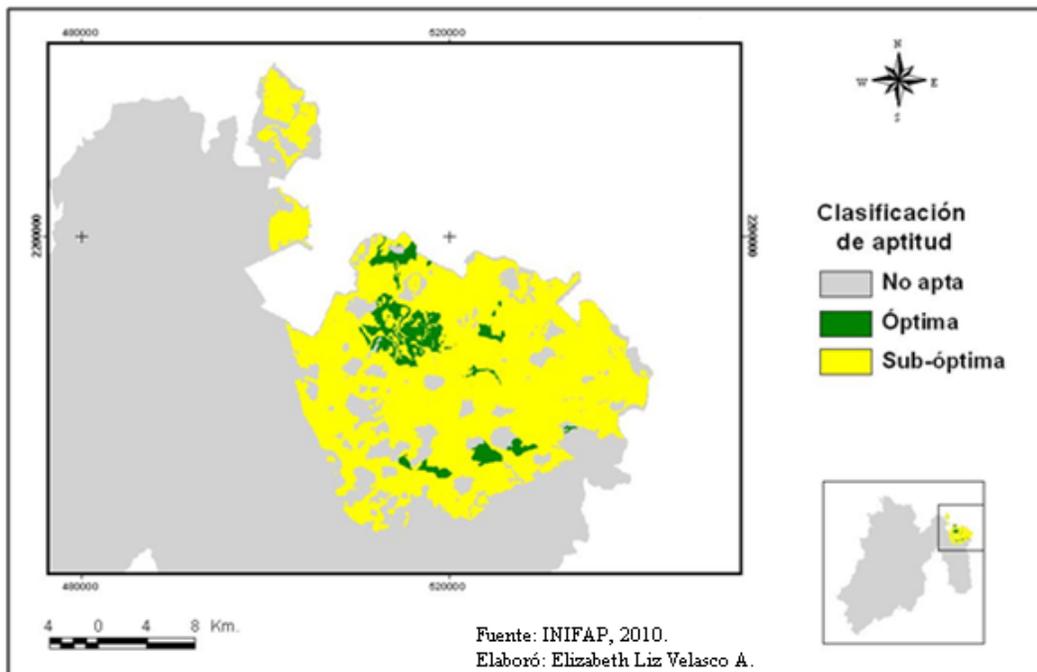


Figura 52. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo HadGEM, año 2050

A través del modelo HadGEM se puede ver que todos los escenarios muestran una elevada disminución de las áreas potenciales y un desplazamiento del cultivo, los cuatro escenarios presentan una disminución de superficie óptima y sub-óptima con respecto a la actual, aunque llegan a aumentar las áreas potenciales para el año 2050, sigue siendo menor al potencial actual, esto traería como consecuencia un perjuicio para los hatos ganaderos que se alimentan de maíz forrajero.

Modelo ECHAM5

El escenario A1, a través del modelo ECHAM5 calcula las siguientes variaciones de la superficie: para el año 2030 habría 6 809.67 ha. óptimas igual al 17.1% de la superficie actual. Al año 2050 aumentaría la superficie 2 183.14 ha. más que en el año 2030 para un total de 8 991.81 ha., como se ve en la Tabla 35. La zona sub-óptima calculada se establece en 71 834.039 ha., habiendo mermado el 88.6% de la superficie actual al año 2030 y un 98.9% al 2050. Aunque del año 2030 al 2050, el área óptima aumentó, la pérdida de condiciones viables para el cultivo de maíz continua. Según los valores de la tabla 35, se pierde más superficie sub-óptima de lo que se gana en la óptima en el Estado de México.

Tabla 35. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de maíz (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM5 (2030)	ECHAM5 (2050)
		A1	A1
Óptimo	39 897.359	6 809.67	8 991.81
Sub-óptimo	628 096.688	71 834.039	6 999.21
No apto	1 576 507	2 165 844.5	2 228 497

Las figuras 53 y 54 reflejan la ubicación de las superficies para cada período, como lo muestra la tabla 35 en el Estado de México.

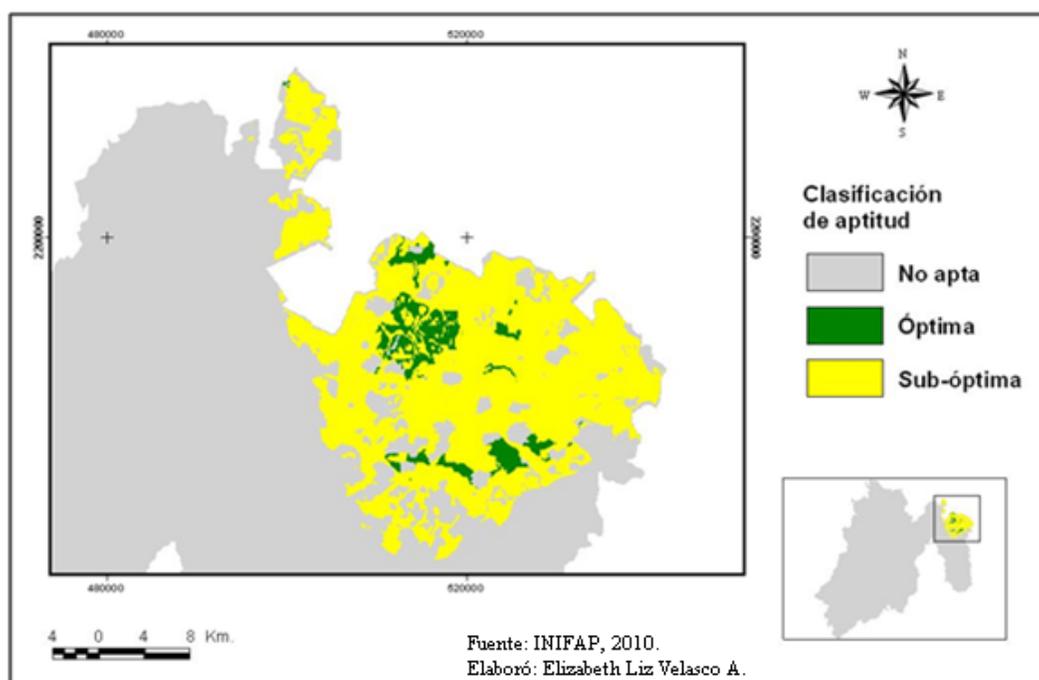


Figura 53. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2030

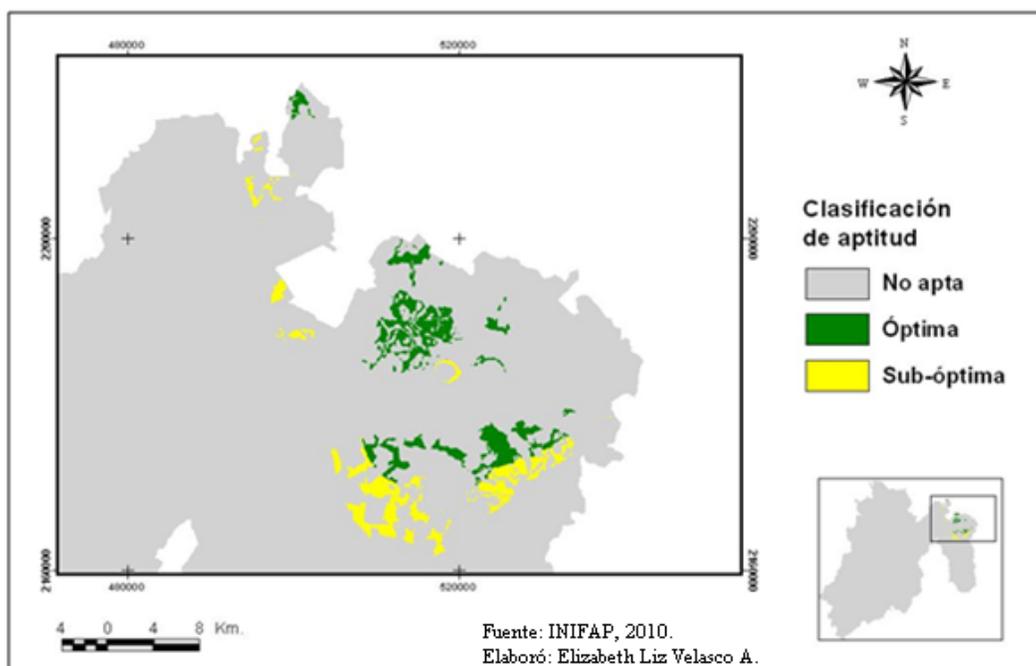


Figura 54. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2050

Por medio del escenario A2, el área evaluada como óptima es de 8 882 hectáreas y sub-óptimas 89 988 hectáreas al año 2030, mientras que para el año 2050 las hectáreas óptimas son 9 309.33 y 8 075.7 sub-óptimas (Ver tabla 36).

Para el año 2030 la superficie se redujo un 77.7% en superficie óptima y 85.7% en la sub-óptima con respecto a la superficie actual. Hacia el año 2050 el escenario supone 9 309.33 hectáreas óptimas, lo que significa que habría 427.33 ha. más que en el año 2030. La superficie sub-óptima reduce 81 912.3 ha. en relación al año 2030 para un total de 8 075.7 hectáreas como se muestra en la tabla 36, esta cifra equivale a un 1.3% de la superficie sub-óptima actual.

Las figuras 55 y 56 son mapas que representan la aptitud del terreno para el cultivo de maíz en el escenario A2 en los períodos 2030 y 2050.

Tabla 36. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de maíz (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM5 (2030)	ECHAM5 (2050)
		A2	A2
Óptimo	39 897.359	8 882	9 309.33
Sub-óptimo	628 096.688	89 988	8 075.7
No apto	1 576 507	2 672 103	2 227 101.5

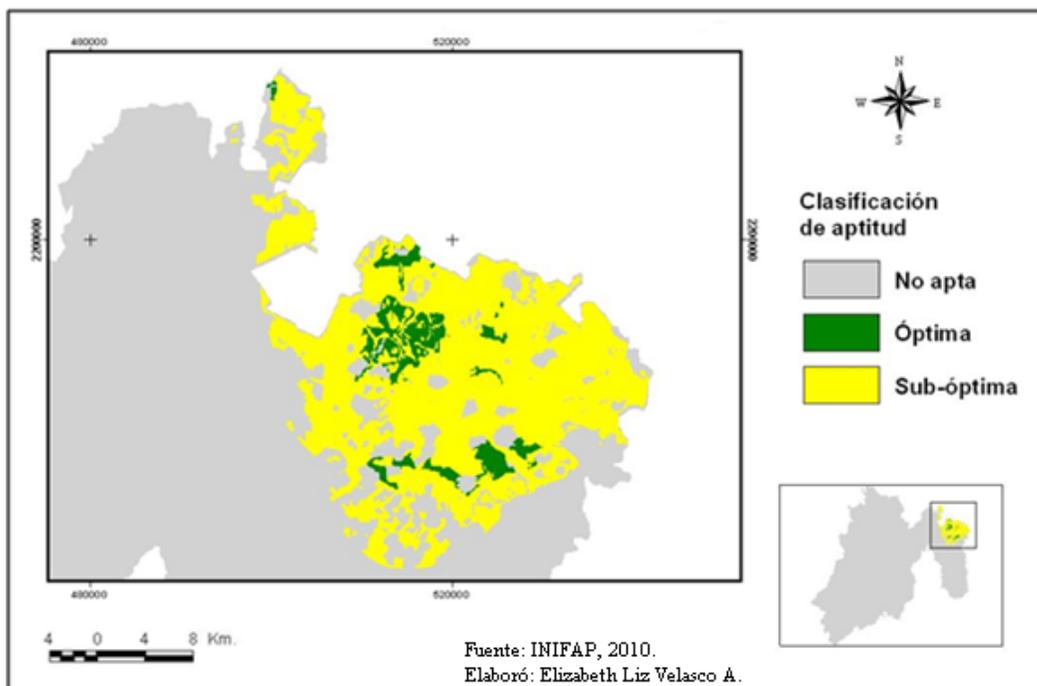


Figura 55. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo ECHAM5, año 2030

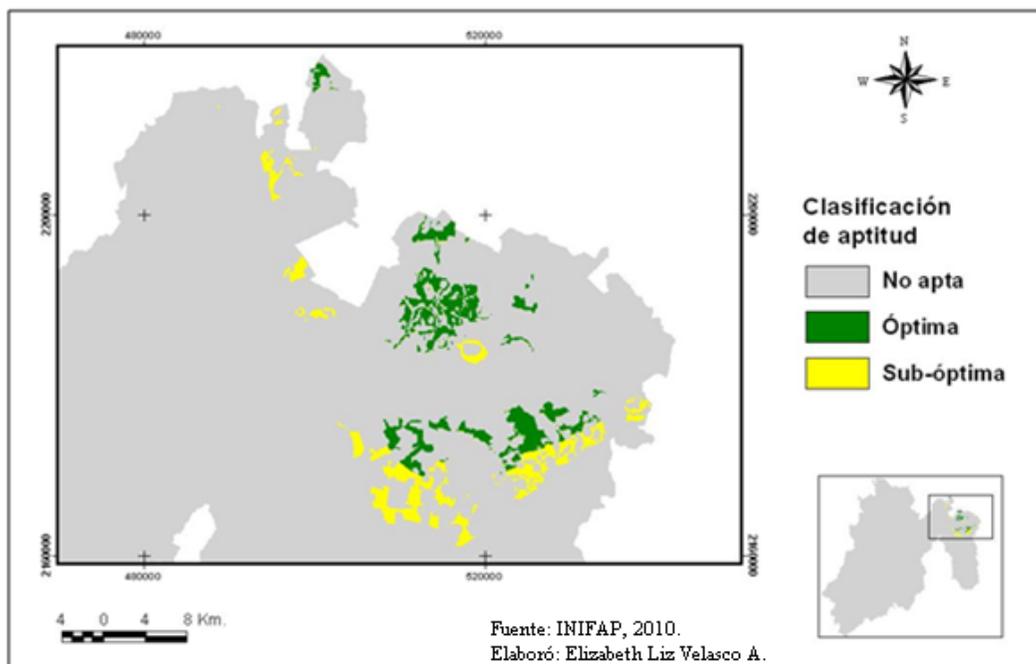


Figura 56. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario A2, modelo ECHAM5, año 2050

El escenario B1 supone una disminución de hectáreas óptimas de 33 219.4 ha., lo que significa que se pierde el 83.3% de la superficie actual para el año 2030. Al año 2050 habría 1 029.76 ha. más que en el 2030, incrementándose la superficie óptima de maíz, pero con 32 489.4 ha. por debajo de la superficie actual según la estimación bajo este escenario, (Véase tabla 37).

Con respecto a las superficies sub-óptimas para el año 2030 estas serán de 82 766 ha., donde se perdería el 86.8% equivalente a 545.33 ha. de la superficie sub-óptima actual y para el año 2050 ya habría desaparecido el 88.3% de la superficie actual con sólo 73 698.656 hectáreas aún disponibles. En la tabla 37 se observa el resultado de las superficies para cada periodo del escenario B1.

Seguido de la tabla 37 se encuentran las figuras 57 y 58, donde se observa la distribución de la aptitud del terreno para el cultivo de maíz en dos períodos a través del escenario B1 en el modelo ECHAM5.

Tabla 37. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de maíz (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM5 (2030)	ECHAM5 (2050)
		B1	B1
Óptimo	39 897.359	6 678	7 707.96
Sub-óptimo	628 096.688	82 766	73 698.656
No apto	1 576 507	2 681 529	2 163 081.5

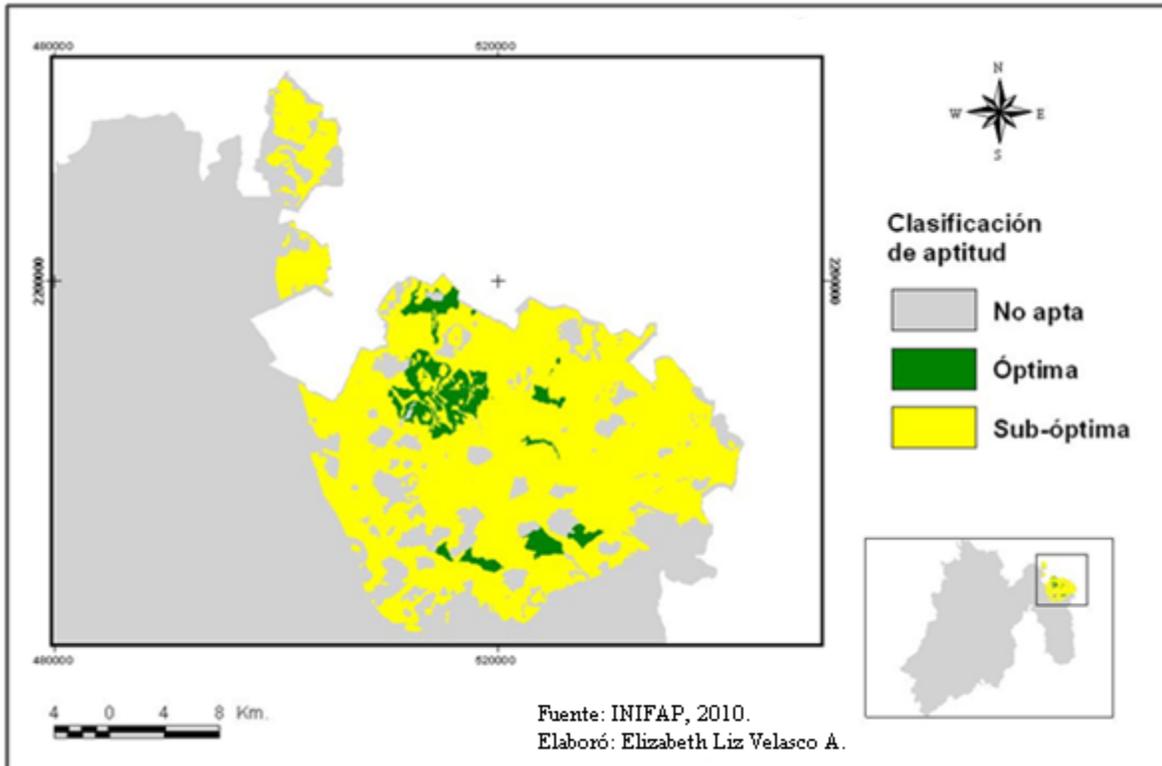


Figura 57. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2030

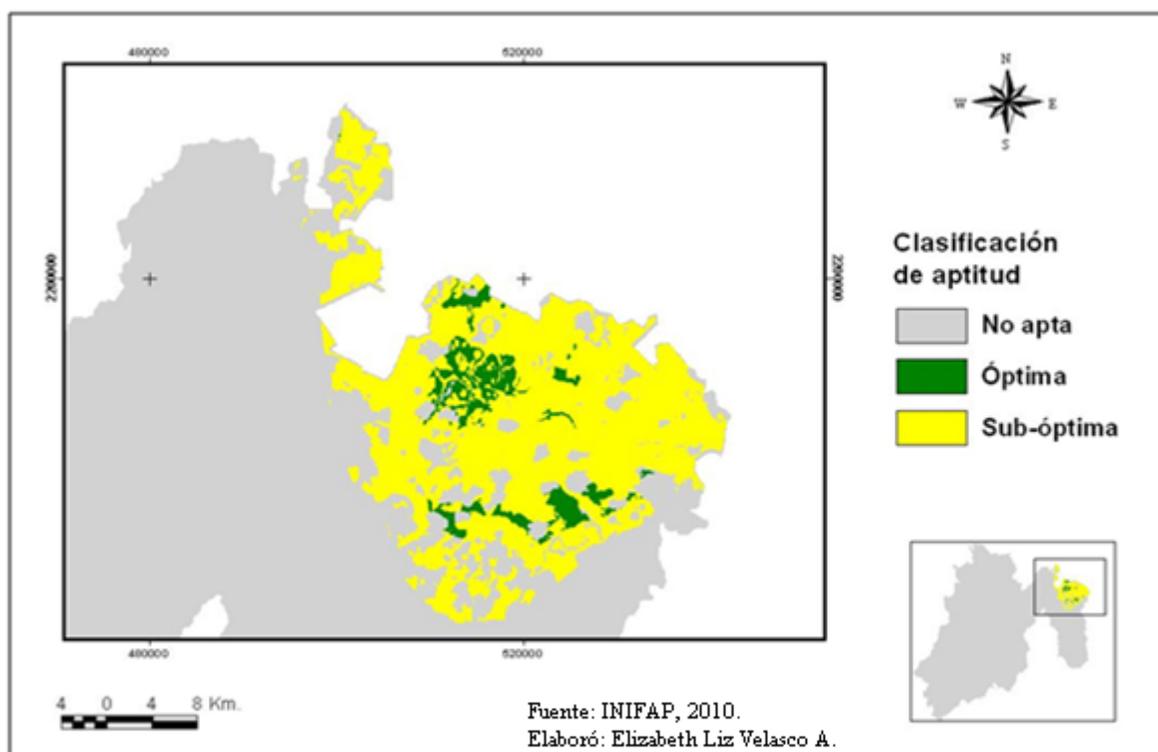


Figura 58. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2050

En el escenario B2, el área evaluada como óptima para el cultivo de maíz es de 7 643 hectáreas y sub-óptimas 85 400 hectáreas al año 2030, mientras que para el año 2050 las hectáreas óptimas son de 7 383.96 y 72 445.594 sub-óptimas (Ver tabla 38).

Para el primer periodo, la superficie se redujo un 80.8% en óptima y 86.4% en la sub-óptima con respecto a la superficie actual. Para el año 2050 el escenario supone 7 383.96 hectáreas óptimas, lo que significa que habría 259.04 ha., menos que en el año 2030.

La superficie sub-óptima se reduce 12 954.4 hectáreas en relación al año 2030 para un total de 72 445.594 ha., como se muestra en la tabla 38, cifra que equivale a un 11.5% de la superficie sub-óptima actual.

Las figuras 59 y 60 son representativas de la distribución superficial para la aptitud de maíz a través del escenario B2 en el modelo ECHAM5 en dos distintos años.

Tabla 38. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de maíz (hectáreas)

Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM5 (2030)	ECHAM5 (2050)
		B2	B2
Óptimo	39 897.359	7 643	7 383.96
Sub-óptimo	628 096.688	85 400	72 445.594
No apto	1 576 507	267 7930	2 164 658.5

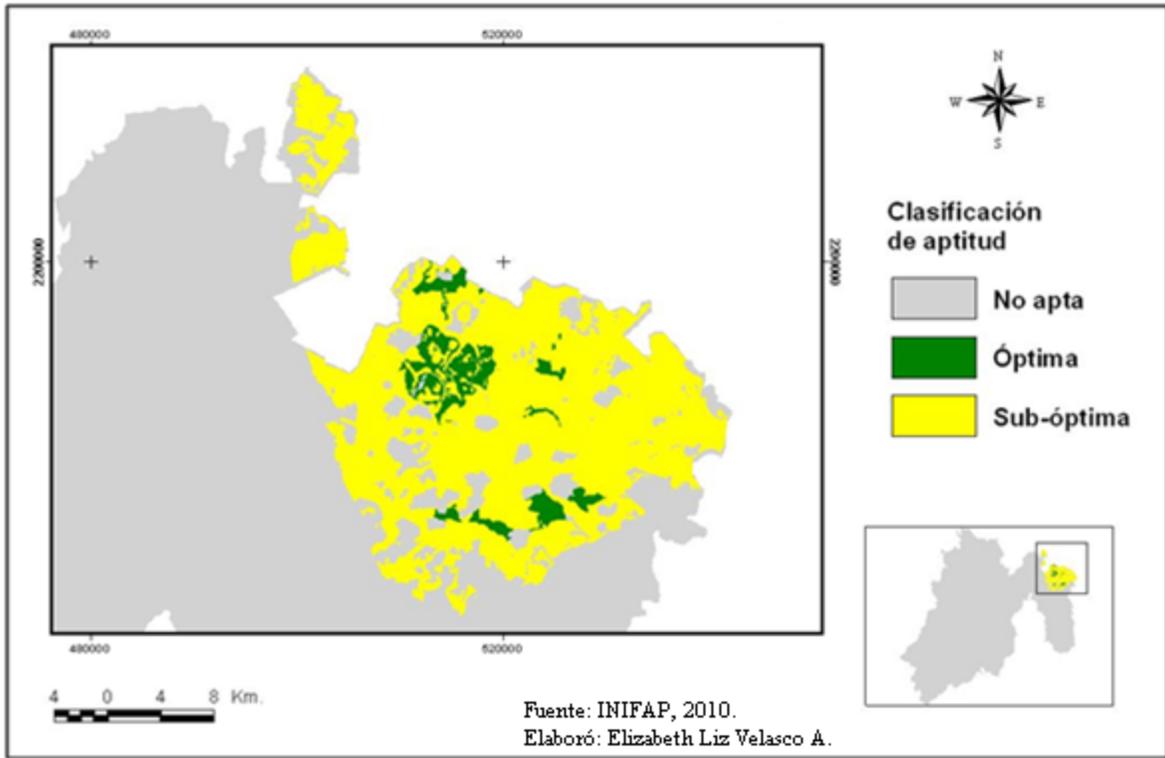


Figura 59. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2030

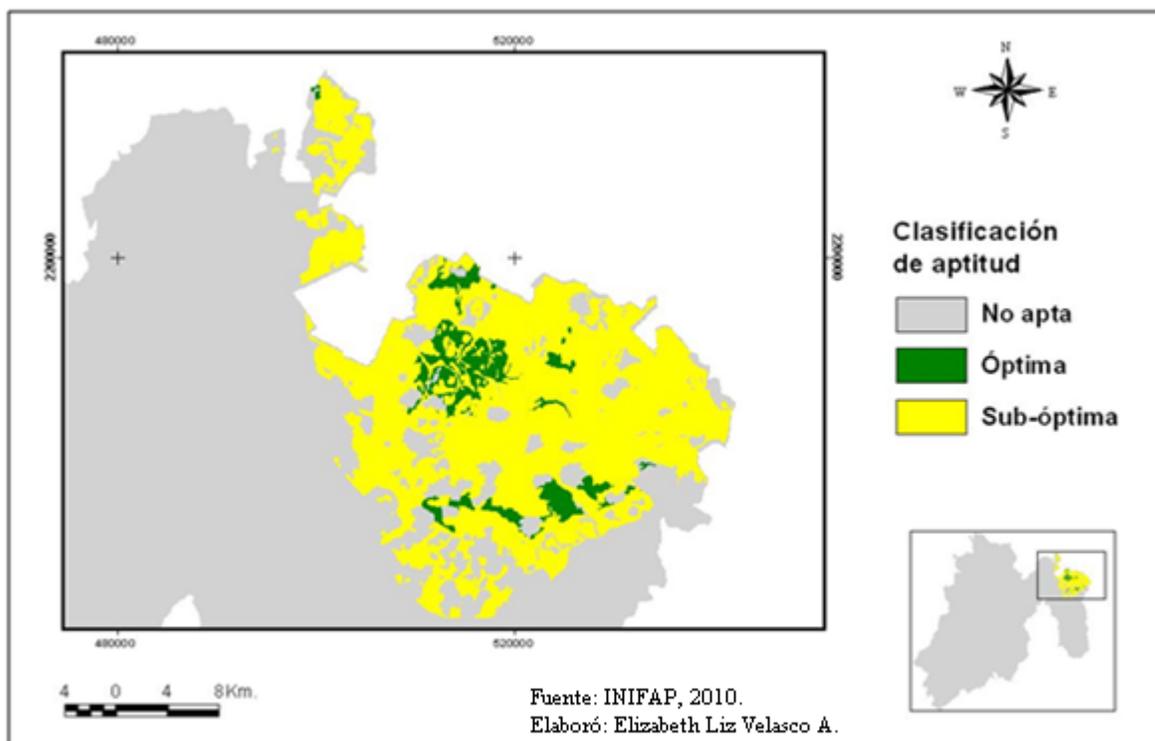


Figura 60. Aptitud para el cultivo de maíz en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2050

El modelo sugiere un alto impacto negativo para el cultivo de maíz, a causa del Cambio Climático debido a que sólo en los escenarios A1 y A2 para el periodo 2050 se espera que aumenten las zonas óptimas, mientras que en los escenarios B1 y B2 sigue la tendencia a disminuir, en cuanto a las superficies sub-óptimas los cuatro escenarios marcan una disminución del área en los dos períodos.

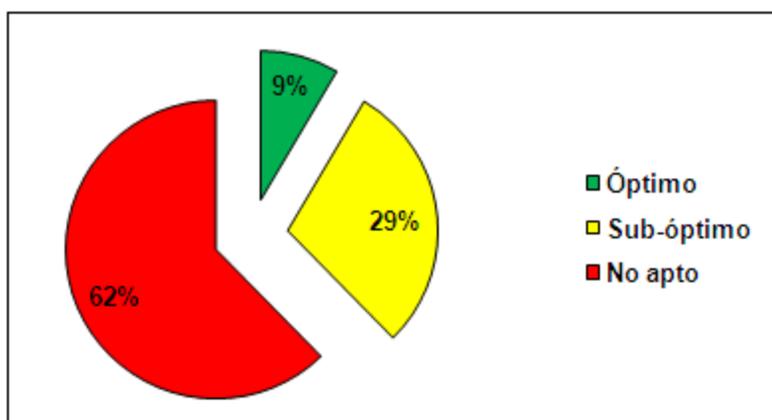
El impacto del Cambio Climático evaluado a través de estos tres modelos para el cultivo de maíz forrajero, se verá afectado negativamente, pues se evalúa que habrá una mayor disminución de las zonas potenciales que las que se puedan ganar entre un periodo y otro, esto afectará la actividad pecuaria ya que el maíz es de los principales satisfactores de alimento ganadero. Al igual que en otros cultivos el exceso de precipitación es la variable que limita las superficies adecuadas para su siembra.

5.4.3 Pastos

Aptitud actual

La tabla 39 muestra las superficies de aptitud del terreno actual, para el cultivo de pastos, seguida de la gráfica 11, que refleja las mismas superficies en porcentaje

Tabla 39. Aptitud del terreno actual para el cultivo de Pastos	
Clasificación	Superficie en hectáreas (ha)
Óptimo	190 622.156
Sub-óptimo	654 137.375
No apto	1 399 741.5



Gráfica 11. Aptitud del terreno actual para el cultivo de pastos, superficie en porcentaje

La figura 61, muestra la distribución actual de la superficie de tierras óptimas, sub-óptimas y no aptas para el cultivo de pastos en el Estado de México.

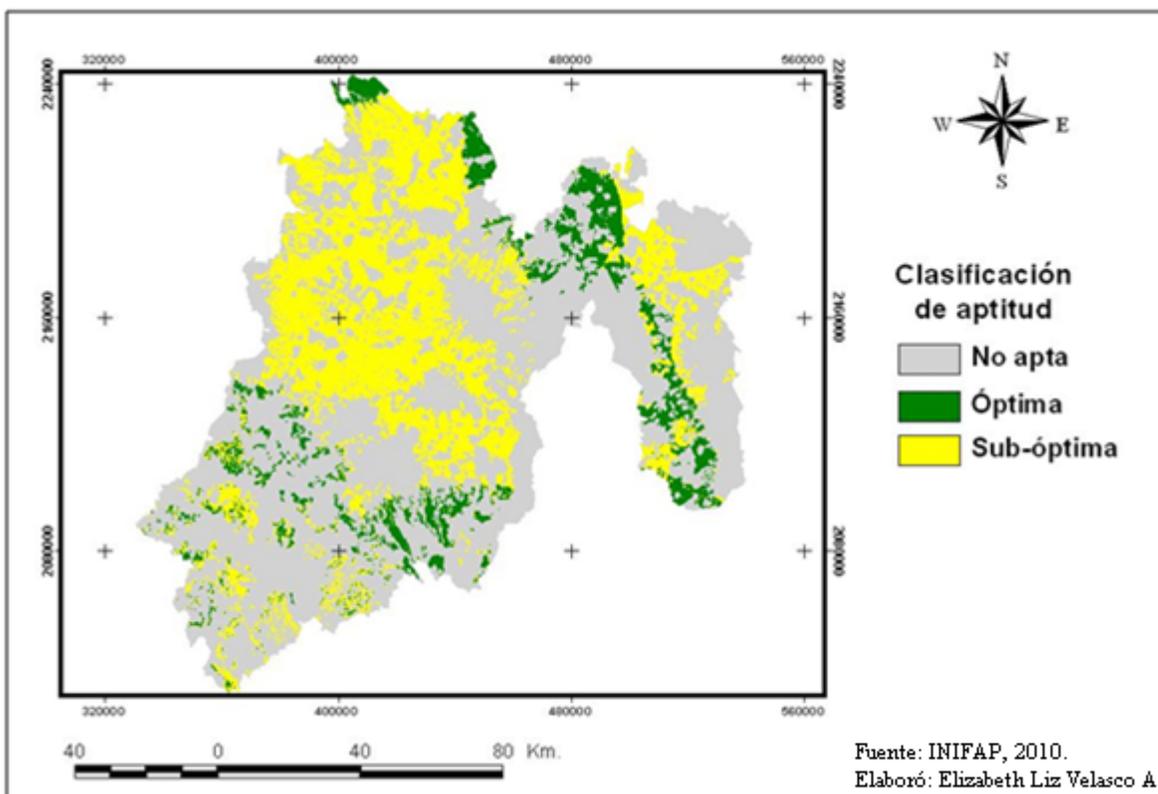


Figura 61. Aptitud actual para el cultivo de pastos en el Estado de México

Modelo GFDL2

La variabilidad de las superficies para el cultivo de pastos por medio del modelo GFDL2 y el escenario A1 resalta un aumento benéfico para ambos períodos de tiempo en las regiones óptimas. Para el año 2030 se estima que la superficie óptima se encontrara en 337 157.625 hectáreas, cifra que se incrementó un 76.9%, equivalente a 146 535 ha., en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este mismo año se calcula en 879 144 ha., con aumento de 225 006.625 ha., que representan un 34.4% más que la superficie actual sub-óptima. (Véase tabla 40).

Al año 2050 la superficie óptima sigue incrementándose hasta 622 941.813 ha., un 84.76% más con respecto al año 2030 y un 226.8% a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este periodo se reduce a 661 615.313 ha., igual a un 24.7% con respecto a la superficie sub-óptima del año 2030 pero con respecto a la superficie actual sigue manteniendo un aumento de 7 477.94 ha. o 1.1%.

Tabla 40. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de pastos (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030)	GFDL2 (2050)
		A1	A1
Óptimo	190 622.156	337 157.625	622 941.813
Sub-óptimo	654 137.375	879 144	661 615.313
No apto	1 399 741.5	1 028 186.438	959 931

En las figuras 62 y 63, se visualiza la distribución espacial de las superficies aptas para el cultivo de pastos en el escenario A1 del modelo GFDL2

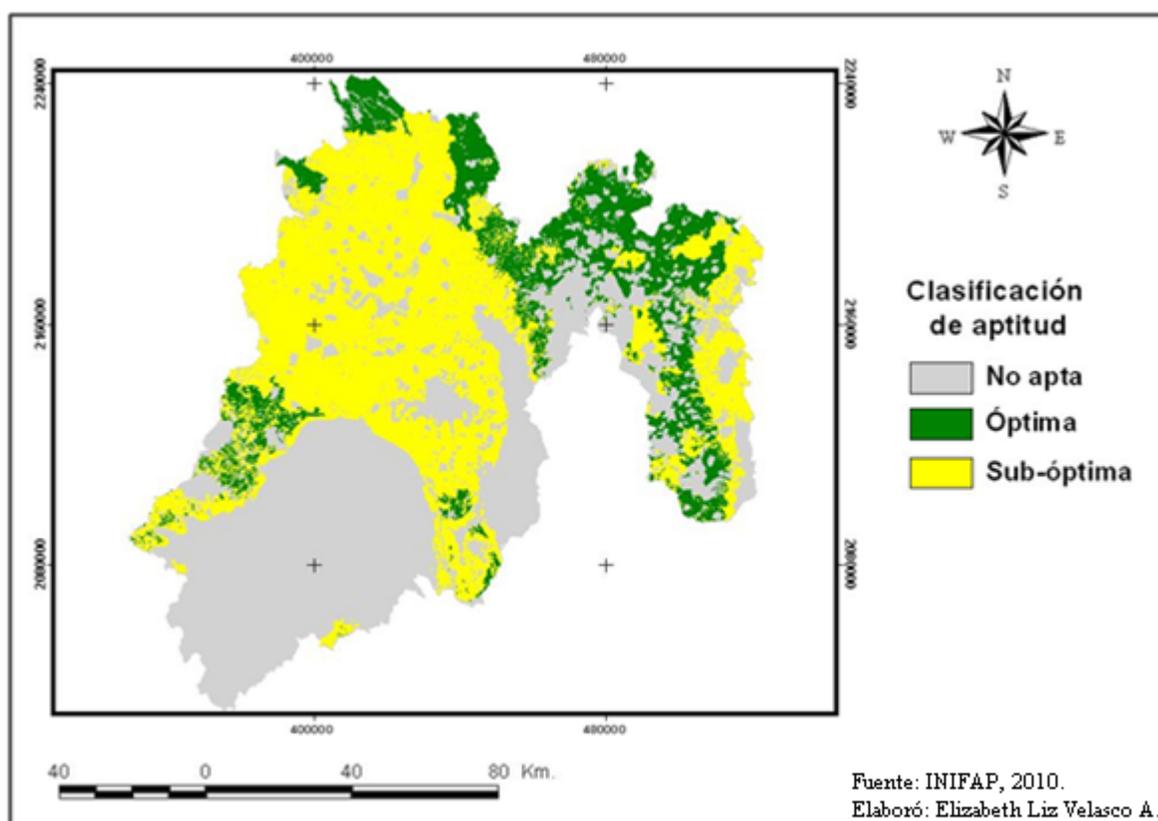


Figura 62. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo GFDL2, año 2030

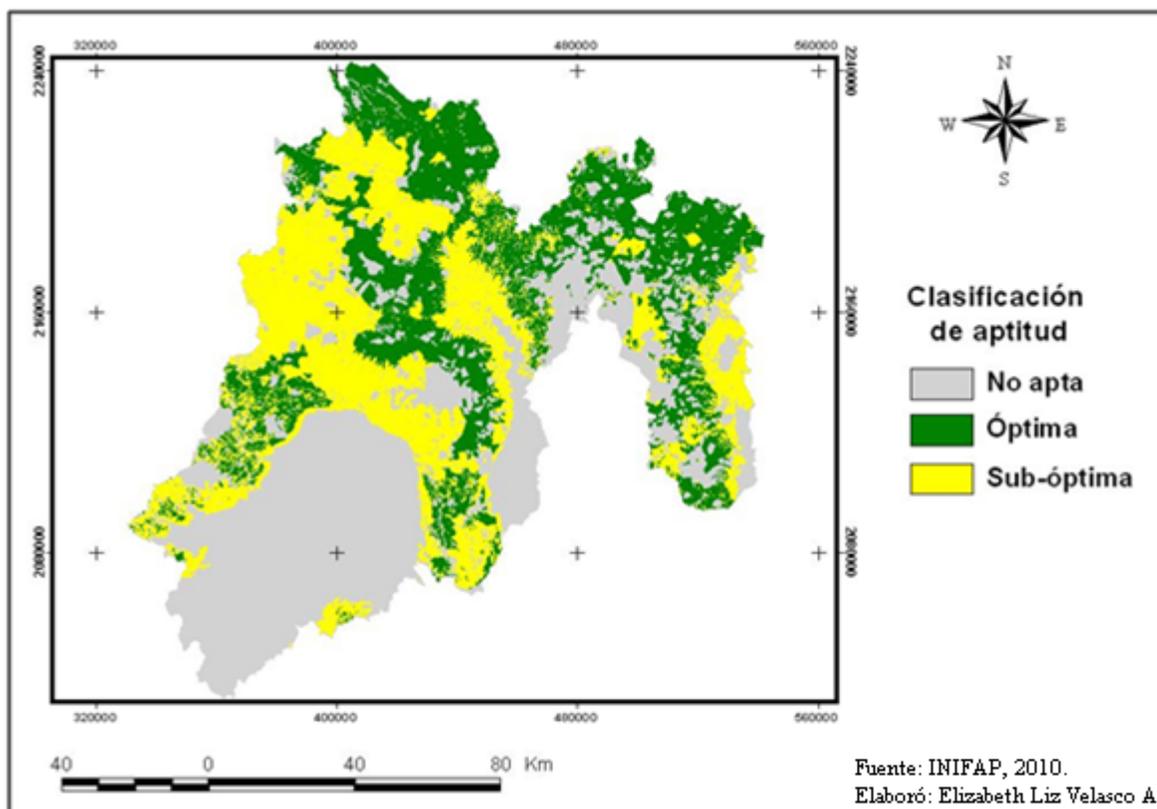


Figura 63. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo GFDL2, año 2050

El escenario A2 presenta una variabilidad en las zonas óptimas y sub-óptimas con respecto a las superficies actuales, como se ve en la tabla 41. Para el año 2030 se estima que la superficie óptima se acercará a 330 554.531 ha., cifra que se incrementó un 73.4%, equivalente a 139 932.375 ha., en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este mismo periodo se calcula en 894 219.75 ha., con aumentó de 240 082.375 ha., que representan un 36.7% más que la superficie actual sub-óptima. (Véase tabla 41).

Al año 2050 la superficie óptima sigue incrementándose hasta 581 296.5 ha., un 75.9% más con respecto al año 2030 y un 204.95% a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este periodo se reduce a 712 740.875 ha., o disminuye un 20.3% con respecto a la superficie sub-óptima del año 2030 pero con respecto a la superficie actual sigue manteniendo un aumentó de 58 603.5 ha. o 9%.

Las figuras 64 y 65 reflejan la distribución de las áreas óptimas, sub-óptimas y no aptas en el escenario A2, para el cultivo de pastos.

Tabla 41. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de pastos (hectáreas)

Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030)	GFDL2 (2050)
		A2	A2
Óptimo	190 622.156	330 554.531	581 296.5
Sub-óptimo	654 137.375	894 219.75	712 740.875
No apto	1 399 741.5	1 019 713.875	950 450.75

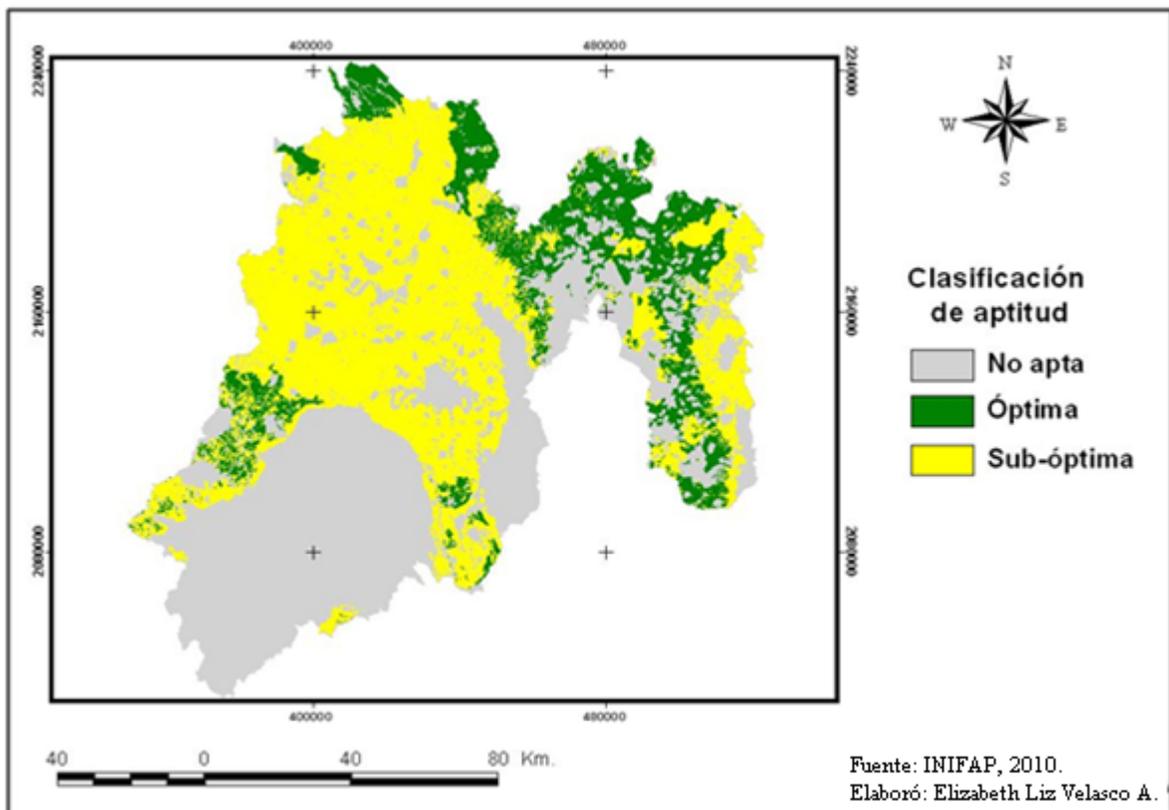


Figura 64. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2030

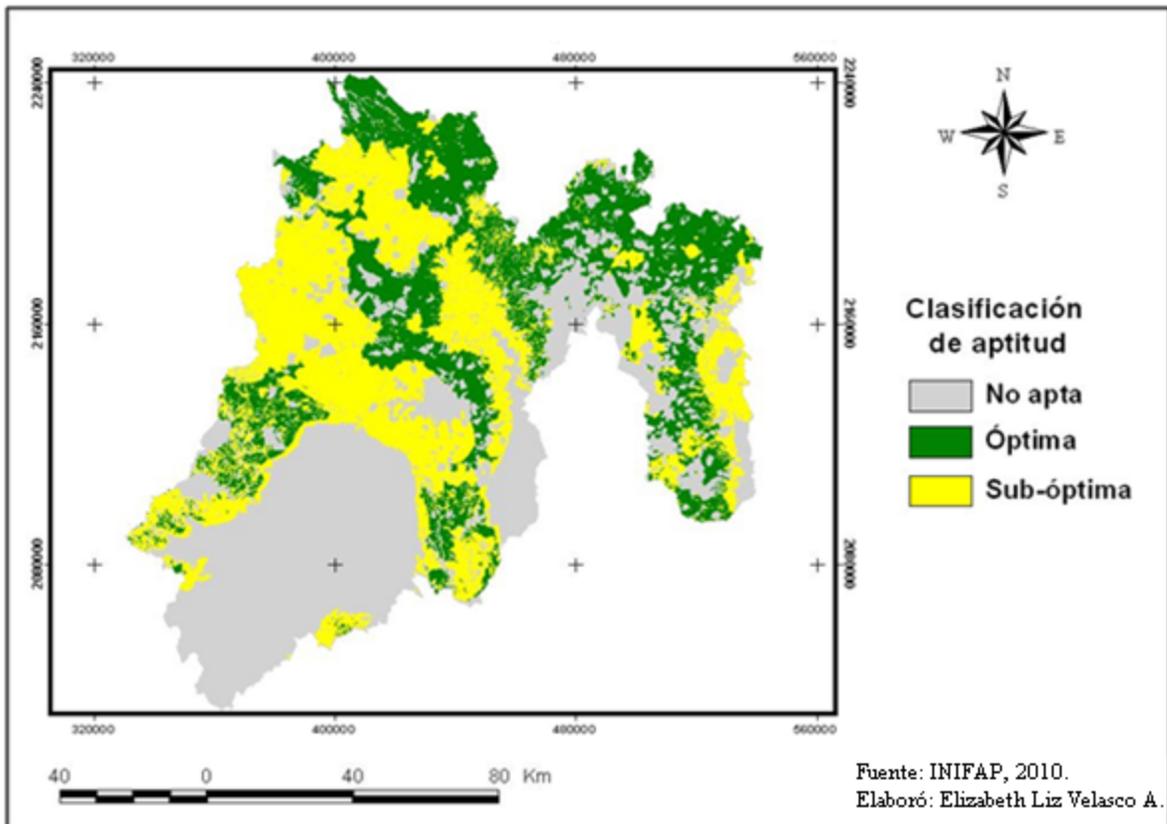


Figura 65. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo GFDL2, año 2050

A través del escenario B1 se calcula que en el año 2030 la superficie óptima para el cultivo sería de 306 188.094 ha., cifra que aumentó un 60.3% igual a 115 565.94 ha., en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este mismo escenario y período se calcula en 862 678.375 ha., con aumento de 208541 ha., que representan un 31.9% más que la superficie actual sub-óptima. (Véase tabla 42).

Al año 2050 la superficie óptima sigue incrementándose hasta 427 063.594 ha., un 39.48% más con respecto al año 2030 y un 124% con la superficie actual. La superficie sub-óptima para este periodo se reduce a 820 888.813 ha., o sea, disminuye un 4.84% con respecto a la superficie sub-óptima del año 2030 pero con respecto a la superficie actual sigue manteniendo un aumento de 166 751.44 ha. o 25.5%.

Los mapas representativos a este escenario se muestran en las figuras 66 y 67.

Tabla 42. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de pastos (hectáreas)

Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030) B1	GFDL2 (2050) B1
	Óptimo	190 622.156	306 188.094
Sub-óptimo	654 137.375	862 678.375	820 888.813
No apto	1 399 741.5	1 075 621.625	996 535.688

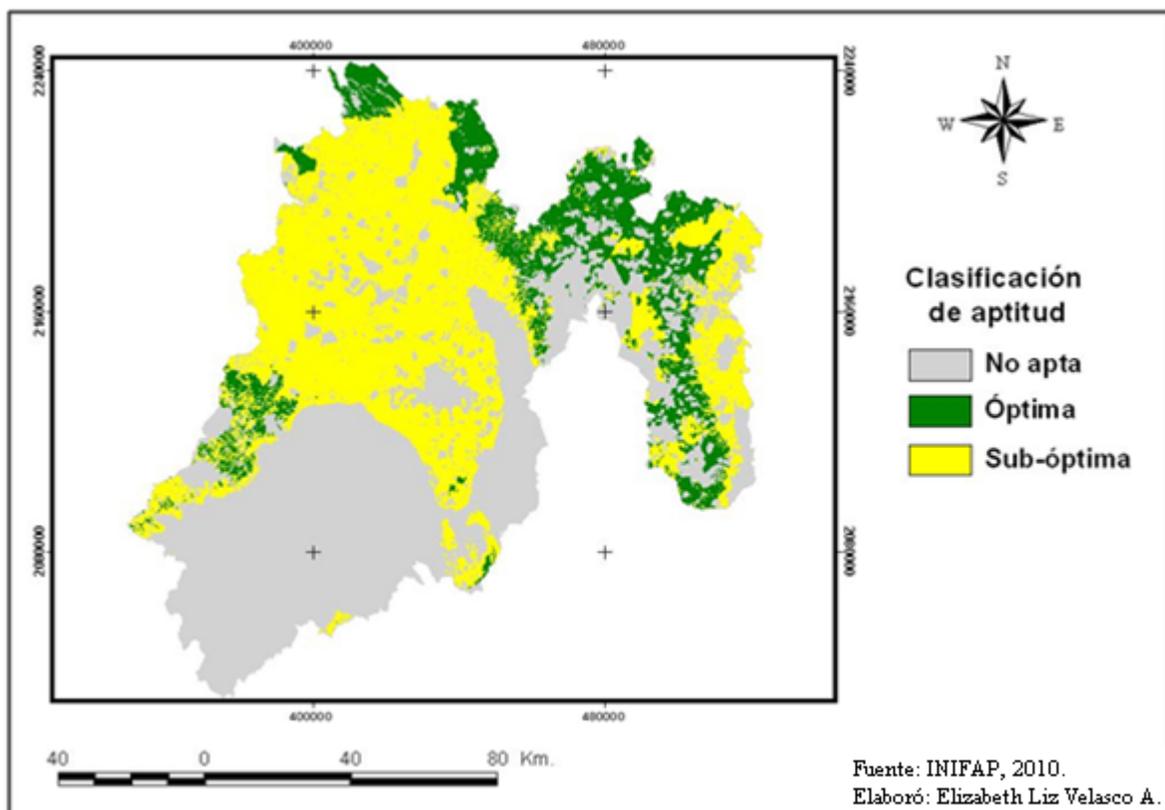


Figura 66. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2030

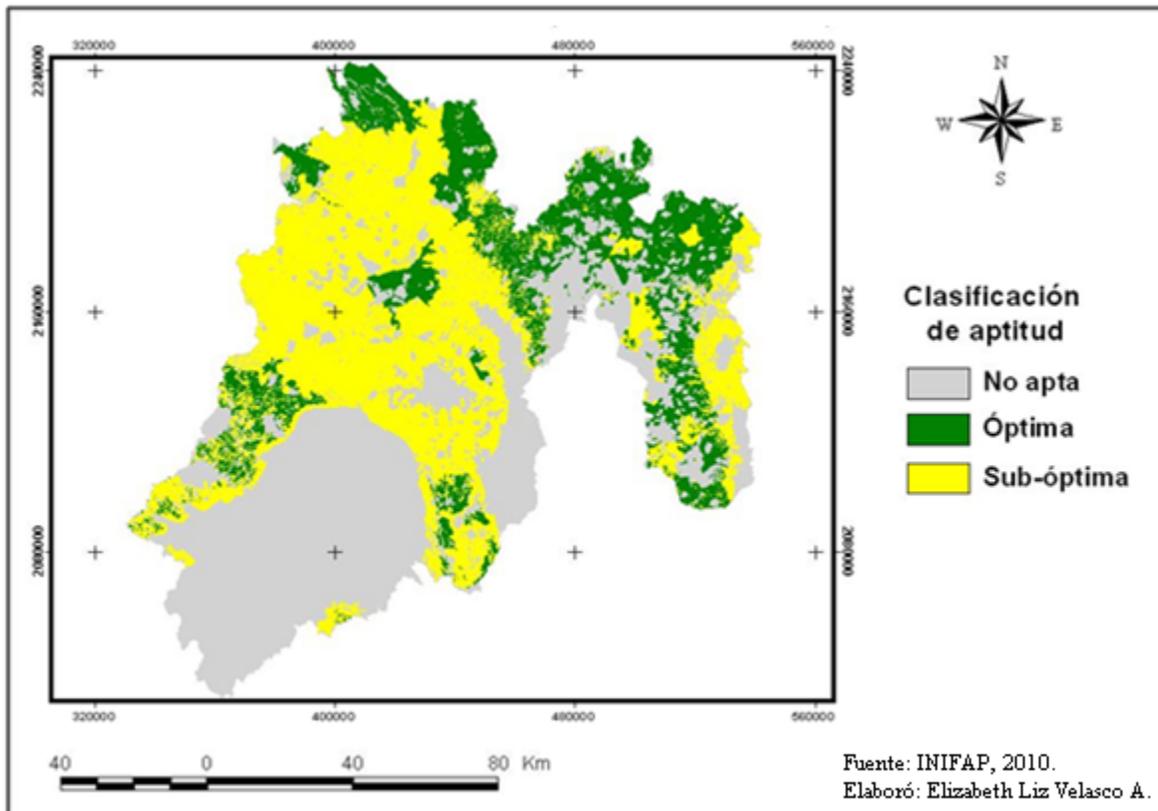


Figura 67. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo GFDL2, año 2050

A través del escenario B2 se estima que al año 2030 existiría una superficie óptima de alrededor de 330 185.969 ha., cifra que aumentó un 73.2%, semejante a 139 563.81 ha. en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este mismo periodo se calcula en 862 845.188 ha., con aumentó de 208 707.8 ha., que representan un 31.9% más que la superficie actual sub-óptima. (Véase tabla 43).

Al año 2050 la superficie óptima sigue incrementándose hasta 488 413.813 ha., un 47.9% más con respecto al año 2030 y un 156.2% en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este periodo se reduce a 111 670.6 ha., o sea, disminuye un 12.9% con respecto a la superficie sub-óptima del año 2030 pero con respecto a la superficie actual sigue manteniendo un aumentó de 97 037.188 ha., igual a un 14.8% más, como se muestra en la tabla 43, donde aparecen las superficies totales por tipo de aptitud para el 2030 y 2050.

La aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, con el modelo GFDL2 para el año 2030 y 2050, se aprecia en las figuras 68 y 69.

Tabla 43. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de pastos (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	GFDL2 (2030) B2	GFDL2 (2050) B2
	Óptimo	190 622.156	330 185.969
Sub-óptimo	654 137.375	862 845.188	751 174.563
No apto	1 399 741.5	1 051 457	1 004 899.75

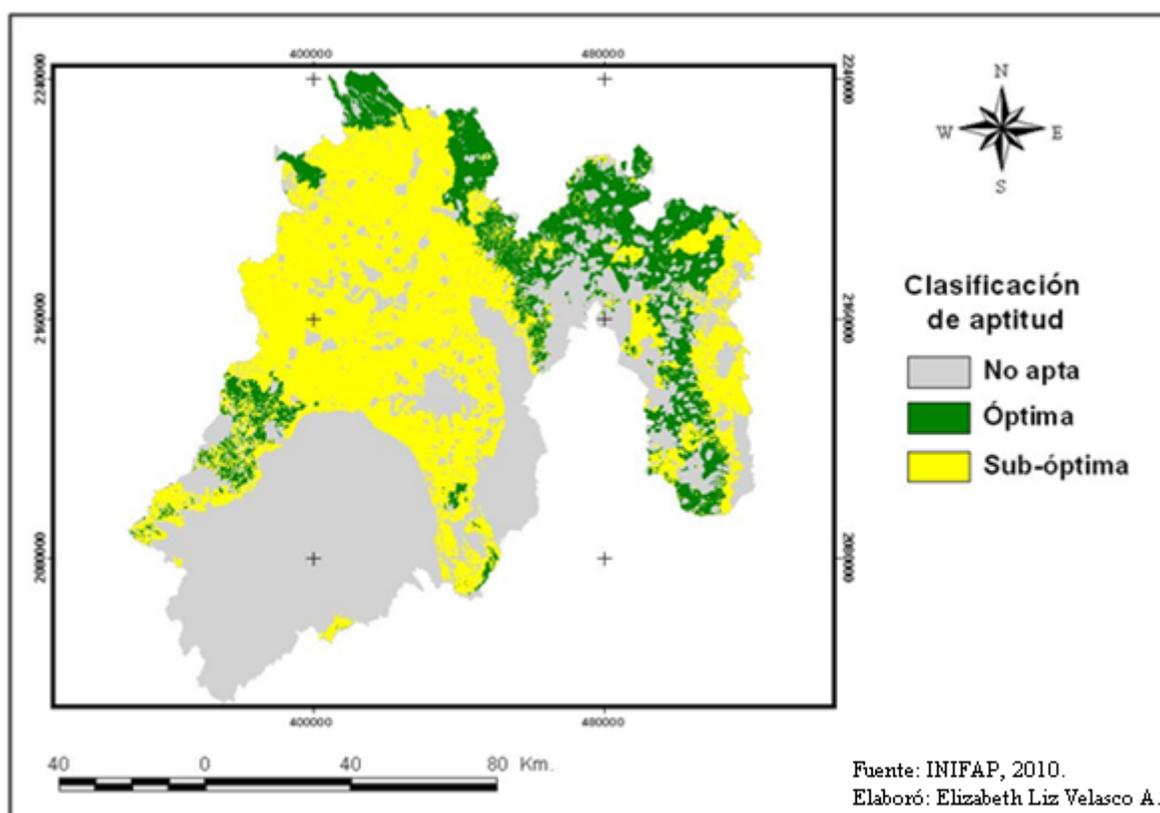


Figura 68. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2030

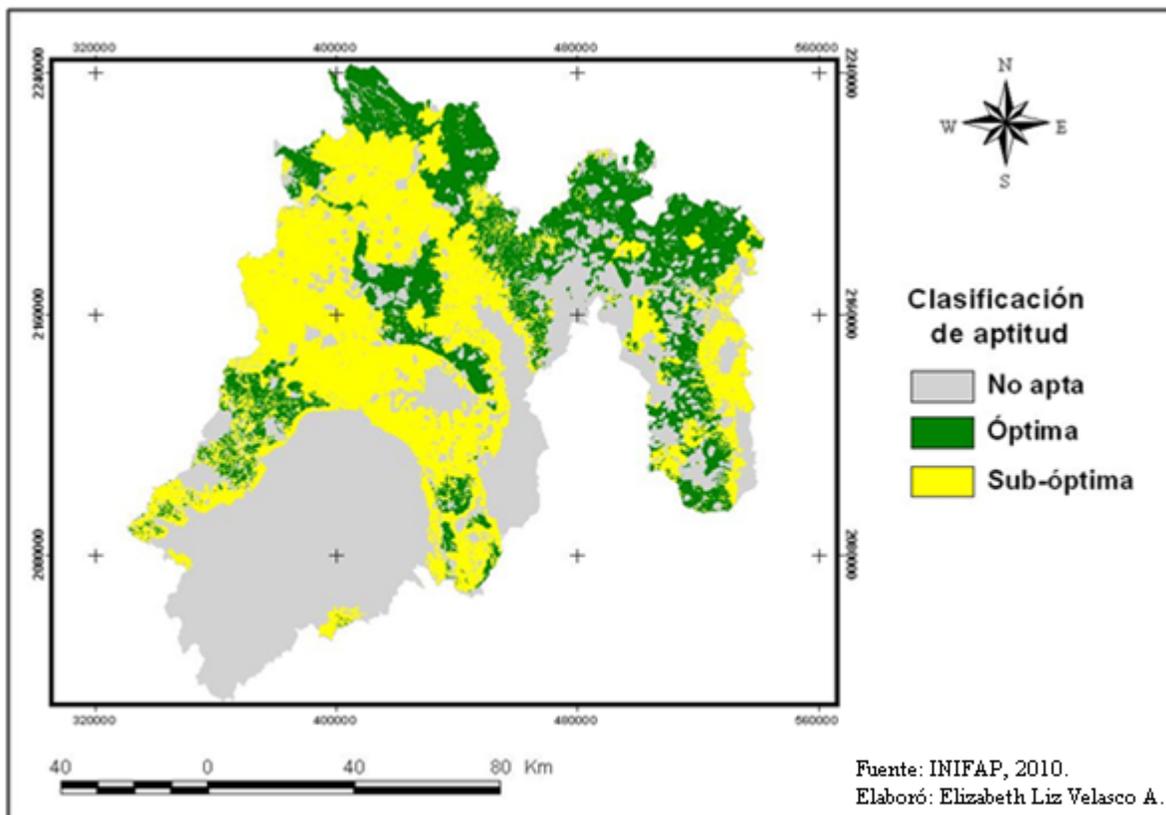


Figura 69. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo GFDL2, año 2050

De acuerdo a este modelo, el Cambio Climático actuará favorablemente para el cultivo de pastos, debido a que en los cuatro escenarios las áreas potenciales tienden a aumentar en ambos períodos 2030 y 2050, si bien se encuentra disminución de las zonas sub óptimas para el periodo 2050 estas siguen siendo mayores que las zonas actuales. Debido al gran aumento de hectáreas potenciales para el cultivo de pastos, estos suministrarán alimentación del ganado principalmente pastoril.

Modelo HadGEM

La versatilidad de las superficies para el cultivo de pastos por medio del modelo HadGEM y el escenario A1 distingue un aumento benéfico para ambos períodos en las regiones óptimas. Para el año 2030 se estima que la superficie óptima podría ser de 348 114.5 ha., cifra que se incrementó un 82.6%, equivalente a 157 492.34 ha., en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este mismo tiempo se calcula en 781245 ha., con aumento de 127 107.6 ha., que representan un 19.4% más que la superficie actual sub-óptima. (Véase tabla 44).

Al año 2050 la superficie óptima sigue incrementándose hasta 654 876.875 ha., un 88.1% más con respecto al año 2030 y un 243.6% a la superficie actual. La superficie sub-óptima

para este periodo se reduce a 285 912.2 ha., igual a un 36.6% con respecto a la superficie sub-óptima del año 2030, con respecto a la superficie actual disminuye 158 804.6 ha., igual al 24.3%. La representación de este escenario se observa en las figuras 70 y 71.

Tabla 44. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de pastos (hectáreas)

Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030) A1	HadGEM (2050) A1
	Óptimo	190 622.156	348 114.5
Sub-óptimo	654 137.375	781 245	495 332.813
No apto	1 399 741.5	1 115 128.625	1 094 278.375

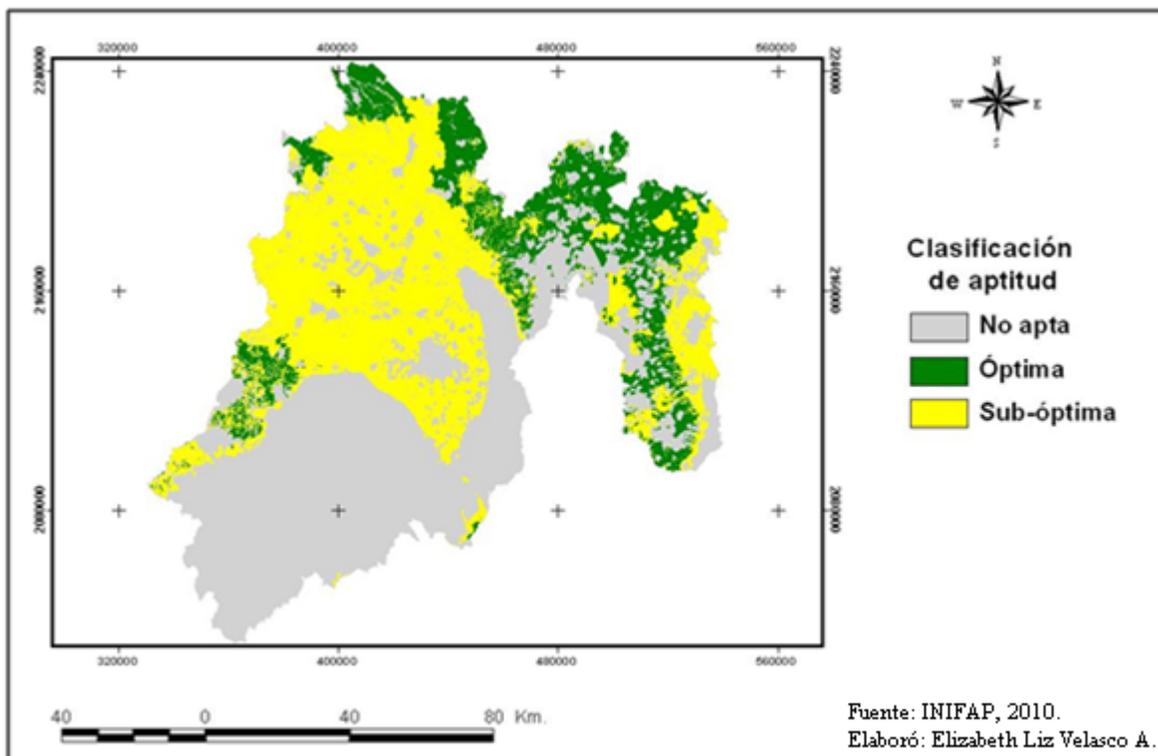


Figura 70. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo HadGEM, año 2030

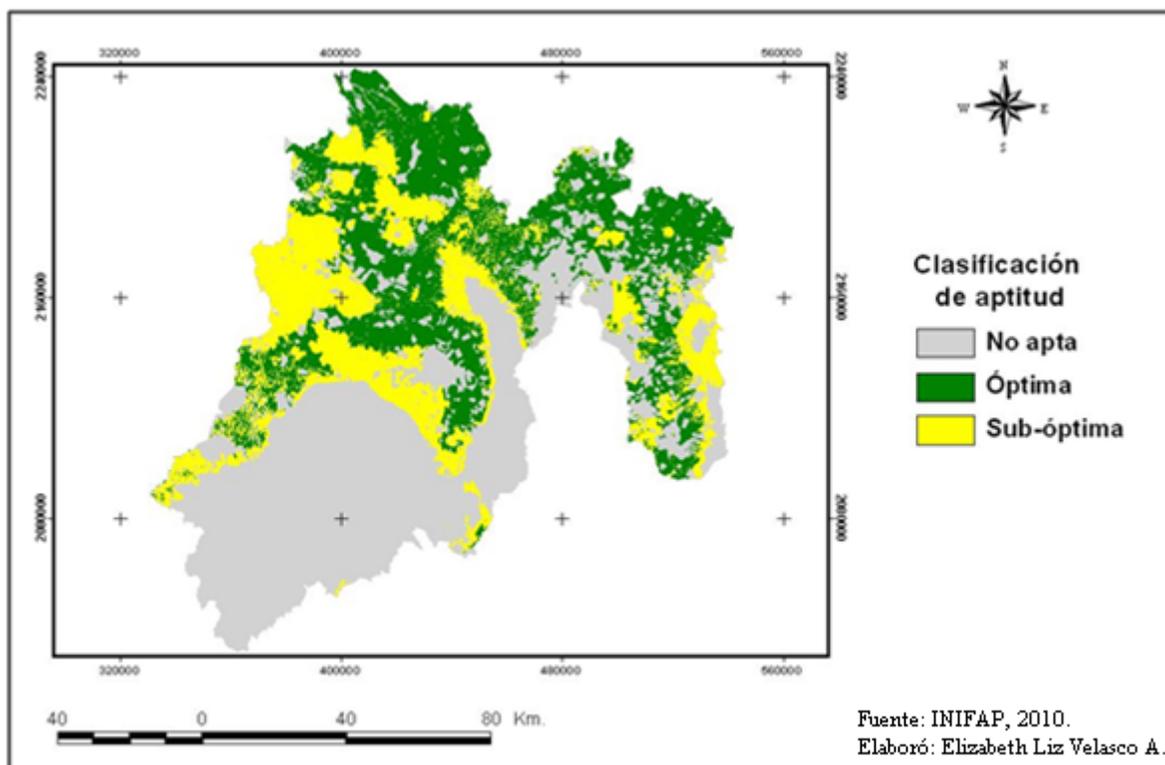


Figura 71. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo HadGEM, año 2050

El escenario A2 supone para el año 2030 una superficie óptima de 340 240.5 ha., cifra que se incrementó un 78.5%, en relación a la superficie actual equivalente a 149 618.3 ha. La superficie sub-óptima para este mismo periodo se calcula en 796588 ha., con aumentó de 142 450.6 ha., que representan un 21.8% más que la superficie actual sub-óptima. (Véase tabla 45).

Al año 2050 la superficie óptima sigue incrementándose hasta 809 600 ha., un 138% con respecto al año 2030 y un 324.7% con la superficie actual. La superficie sub-óptima para este periodo es de 612 790 ha., la cual disminuye un 23.1% con respecto a la superficie sub-óptima del año 2030, con relación a la superficie actual se reduce 41 347.4 ha. o 6.3%.

La tabla 45, muestra las superficies por aptitud para los años 2030 y 2050 bajo el escenario A2 y las figuras 72 y 73 exponen los mapas de distribución superficial para el cultivo de pastos.

Tabla 45. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de pastos (hectáreas)

Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030)	HadGEM (2050)
		A2	A2
Óptimo	190 622.156	340 240.5	809 600
Sub-óptimo	654 137.375	796 588	612 790
No apto	1 399 741.5	1 107 659.625	1 348 583

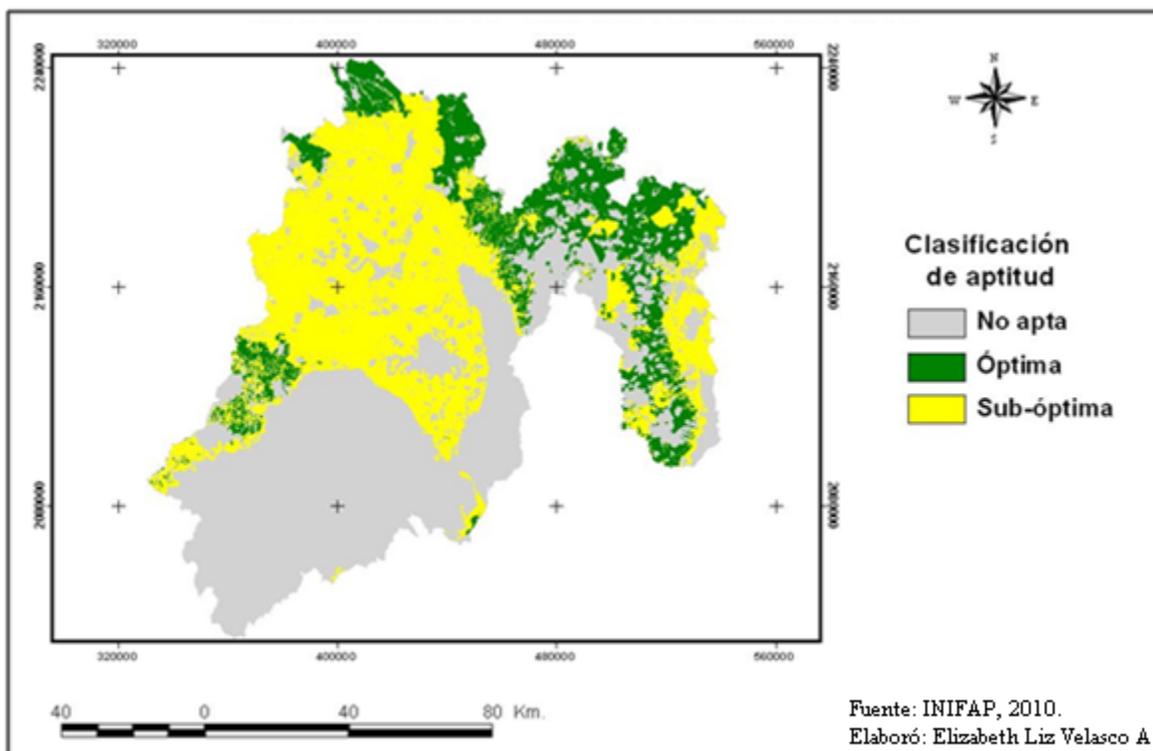


Figura 72. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo HadGEM, año 2030

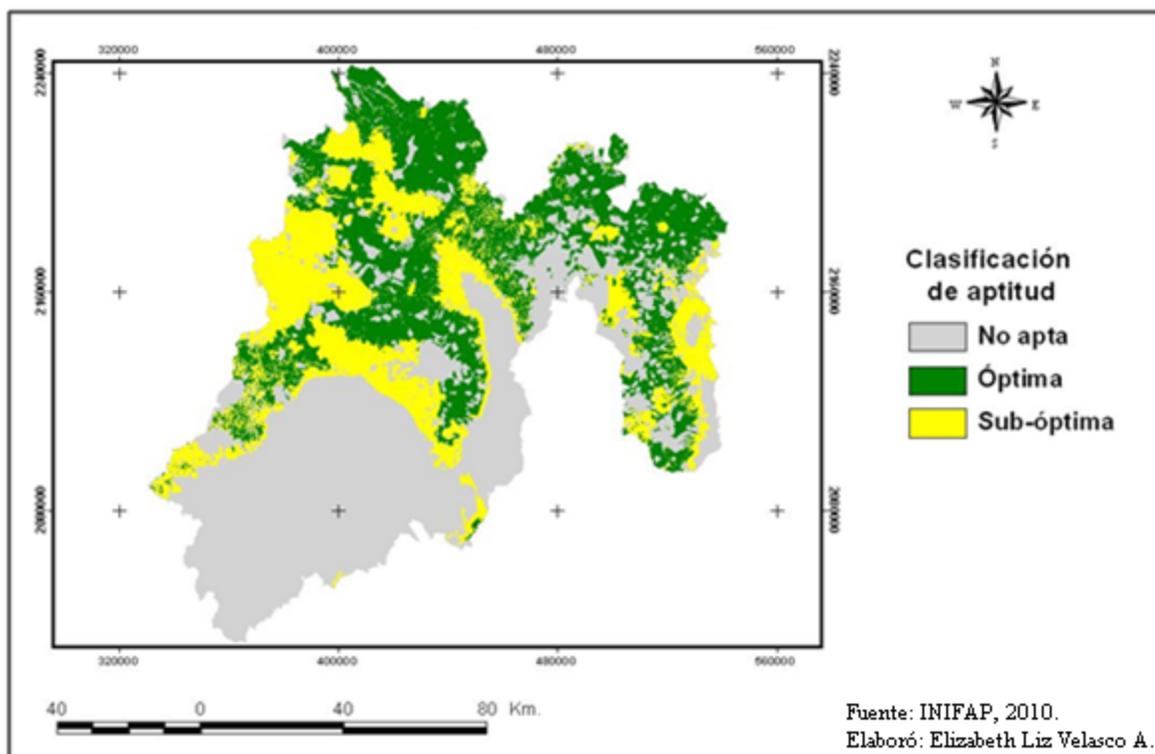


Figura 73. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo HadGEM, año 2050

El escenario B1 predice que al año 2030 la superficie óptima sería de 320 968.969 ha., cifra que aumentó un 68.4%, igual a 130 346.8 ha., en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este mismo año se calcula en 786 169.813 ha., con aumentó de 132 032.4 ha., que representan un 20.2% más que la superficie actual sub-óptima. (Véase tabla 46).

Al año 2050 la superficie óptima sigue creciendo hasta 484 205.031 ha., un 50.9% más con respecto al año 2030 y un 154% con la superficie actual. La superficie sub-óptima para este periodo se reduce a 659 284.124 ha., o sea, disminuye un 16.1% con respecto a la superficie sub-óptima del año 2030 pero con respecto a la superficie actual sigue manteniendo un leve aumentó de 5 146.8 ha. igual a un 0.79% más.

Seguido de la tabla 46, las figuras 74 y 75 identifican las áreas aptas para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo HadGEM para los años 2030 y 2050.

Tabla 46. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de pastos (hectáreas)

Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030) B1	HadGEM (2050) B1
	Óptimo	190 622.156	320 968.969
Sub-óptimo	654 137.375	786 169.813	659 284.125
No apto	1 399 741.5	1 137 349.375	1 100 999

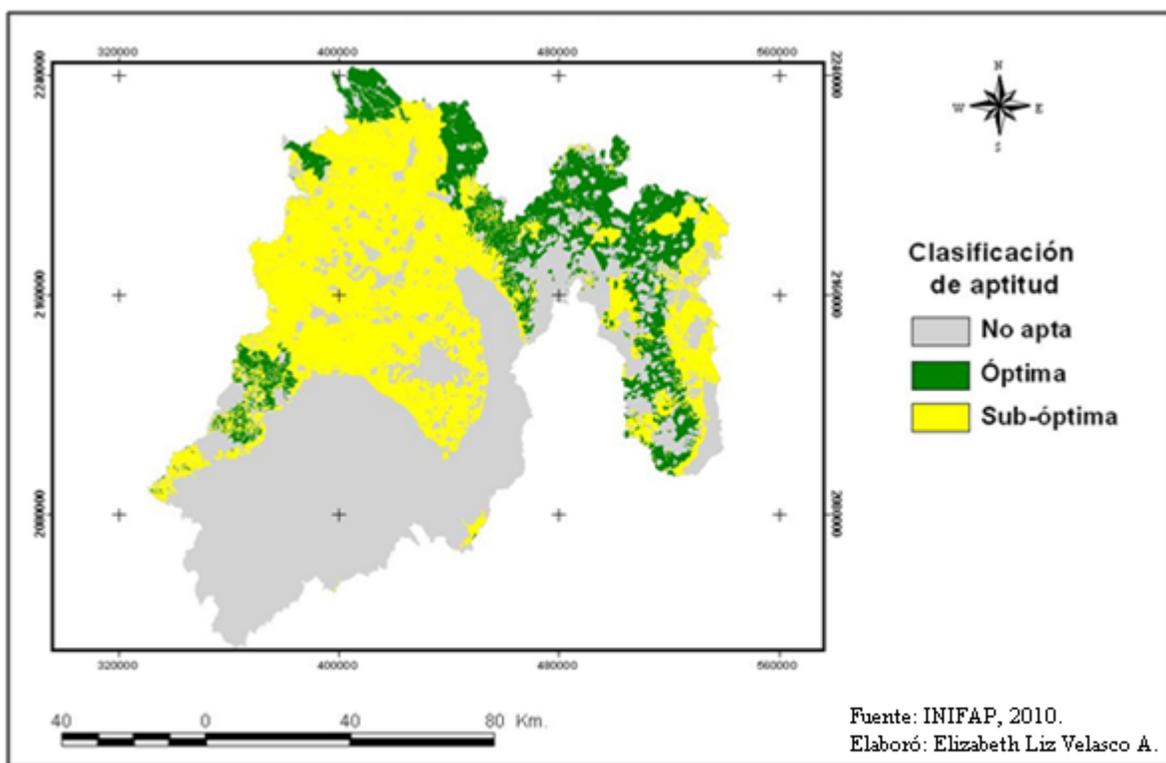


Figura 74. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo HadGEM, año 2030

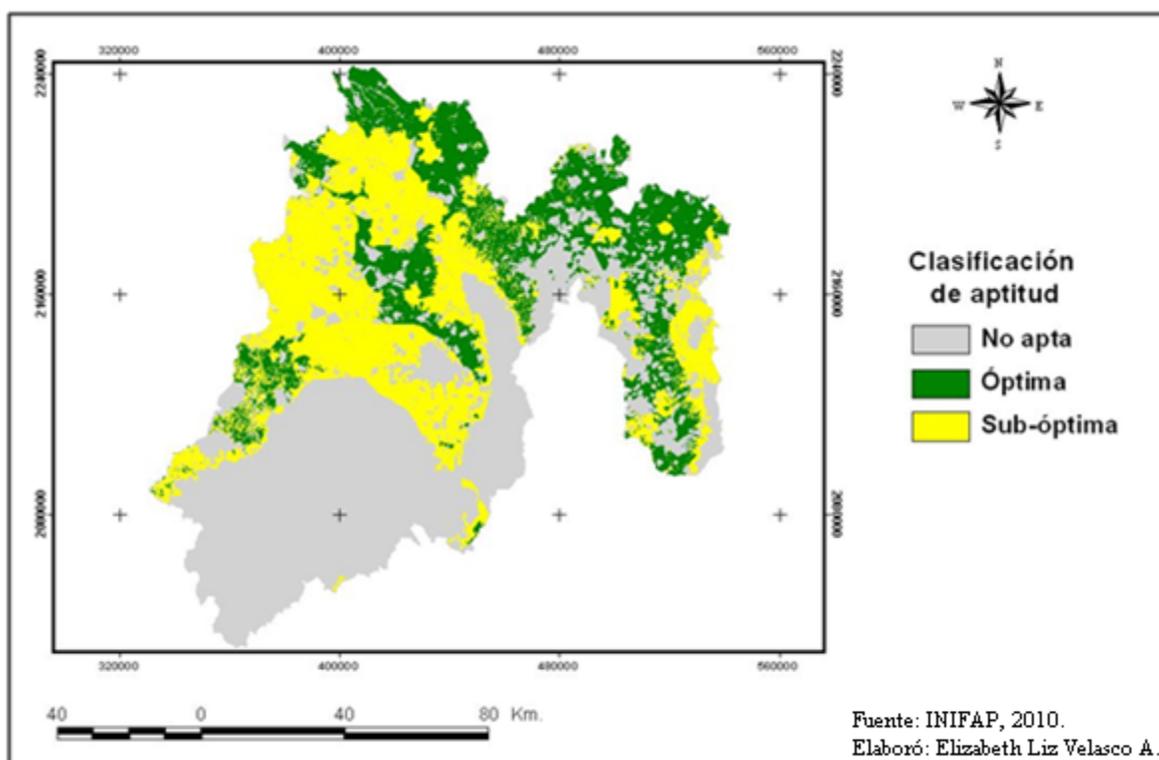


Figura 75. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo HadGEM, año 2050

Con el escenario B2 se estima que al año 2030 existiría una superficie óptima de 341390.688 ha., cifra que aumentó un 79.1%, igual a 150 768.5 ha., en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima estimada para este mismo periodo se calcula en 780 613.188 ha., con aumentó de 126 475.8 ha., que representan un 19.33% más que la superficie actual sub-óptima. (Véase tabla 47).

Para el año 2050 la superficie óptima sigue incrementándose hasta 551 137.75 ha., un 61.44% más con respecto al año 2030 y un 189.13% en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este año se reduce a 577 296.75 ha., o sea, disminuye un 26.1% con respecto a la superficie sub-óptima del año 2030 y un 11.8%, en relación a la superficie sub-óptima actual; como se muestra en la tabla 47, donde aparecen las superficies totales por tipo de aptitud para el 2030 y 2050.

Los mapas de las figuras 76 y 77 muestran los resultados obtenidos para el cultivo de pastos bajo el escenario B2 del modelo HadGEM, en los dos períodos estimados.

Tabla 47. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de pastos (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	HadGEM (2030)	HadGEM (2050)
		B2	B2
Óptimo	190 622.156	341 390.688	551 137.75
Sub-óptimo	654 137.375	780 613.188	577 296.75
No apto	1 399 741.5	1 122 484.25	1 116 053.625

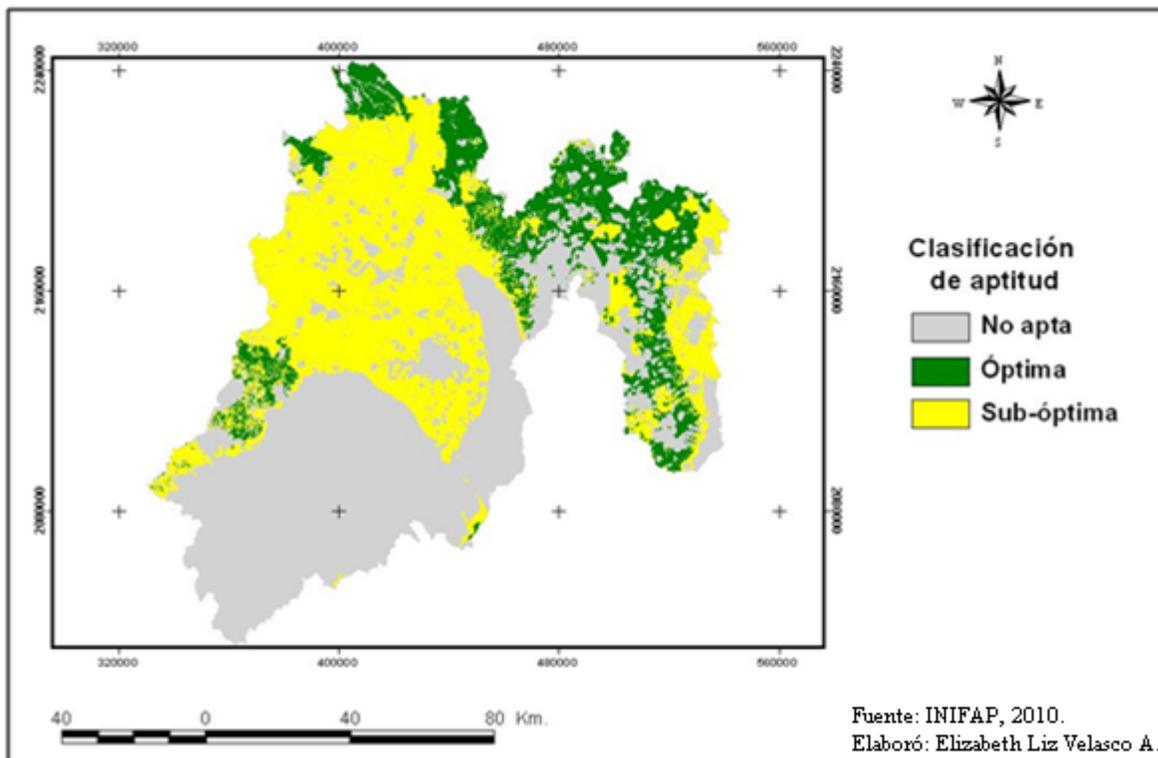


Figura 76. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo HadGEM, año 2030

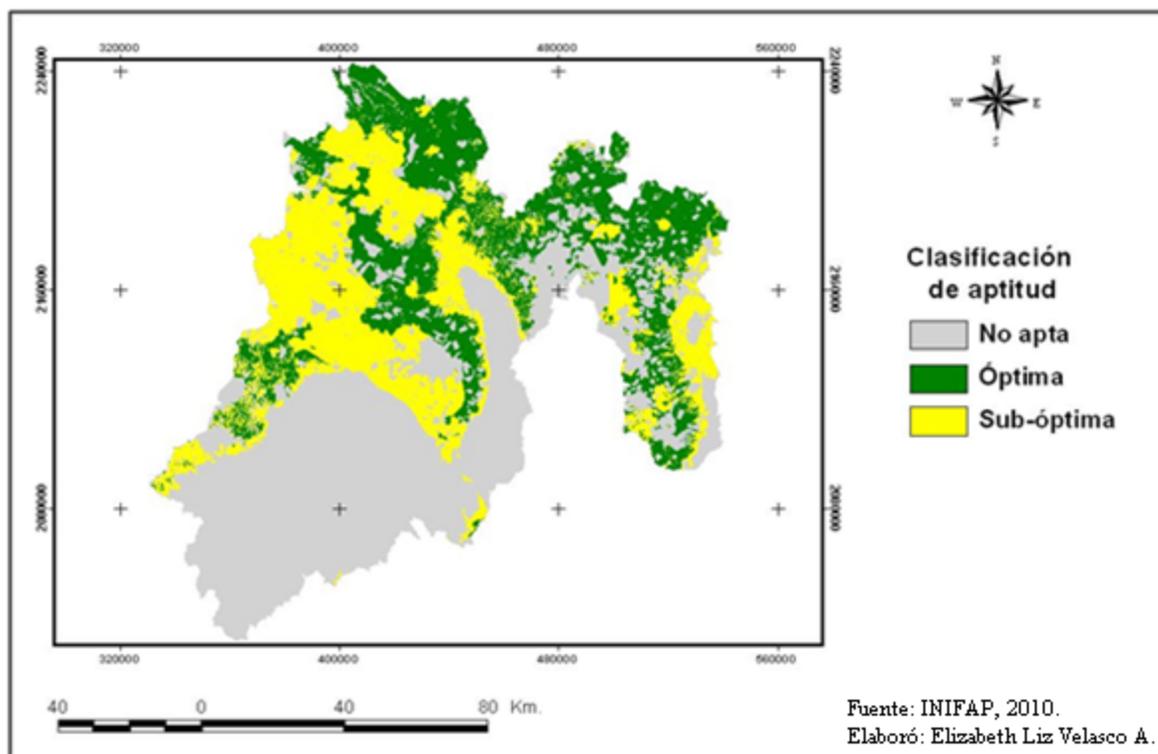


Figura 77. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo HadGEM, año 2050

El modelo HadGEM beneficia notoriamente el cultivo de los pastos, debido a que las zonas óptimas y sub-óptimas aumentan en los cuatro escenarios, tanto para el año 2030 como para el 2050, aunque las superficies sub-óptimas disminuyen para los períodos del año 2050, estas no afectan gravemente debido a que el aumentó de superficie óptima es mayor. Con respecto a la actividad pecuaria esta se verá beneficiada principalmente en ganado de pastoreo.

Modelo ECHAM

Los resultados obtenidos por superficie para el cultivo de pastos a través del modelo ECHAM5 son los siguientes: en el escenario A1 la simulación proyecta un aumentó benéfico para ambos períodos de tiempo en las regiones óptimas. Para el año 2030 se estima que la superficie óptima podría ser de 398 210.594 ha., cifra que se incrementó un 108.9%, equivalente a 207 588.4 ha. en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este mismo año se calcula en 733 666.438 ha., con aumentó de 79 529.1 ha., que representan un 12.15% más que la superficie actual sub-óptima. (Véase tabla 48).

Al año 2050 la superficie óptima sigue incrementándose hasta 717 485.875 ha., un 80.2% más con respecto al año 2030 y un 276.4% a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este periodo se reduce a 296 699.8 ha., igual a un 40.4% con respecto a la superficie

sub-óptima del año 2030, con respecto a la superficie actual disminuye 217 170.7 ha., igual al 33.2%. (Véase, figuras 78 y 79)

Tabla 48. Comparación de superficies con el escenario A1 para el cultivo de pastos (hectáreas)

Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM5 (2030)	ECHAM5 (2050)
		A1	A1
Óptimo	190622.156	398210.594	717485.875
Sub-óptimo	654137.375	733666.438	436966.656
No apto	1399741.5	1112611.125	1090035.625

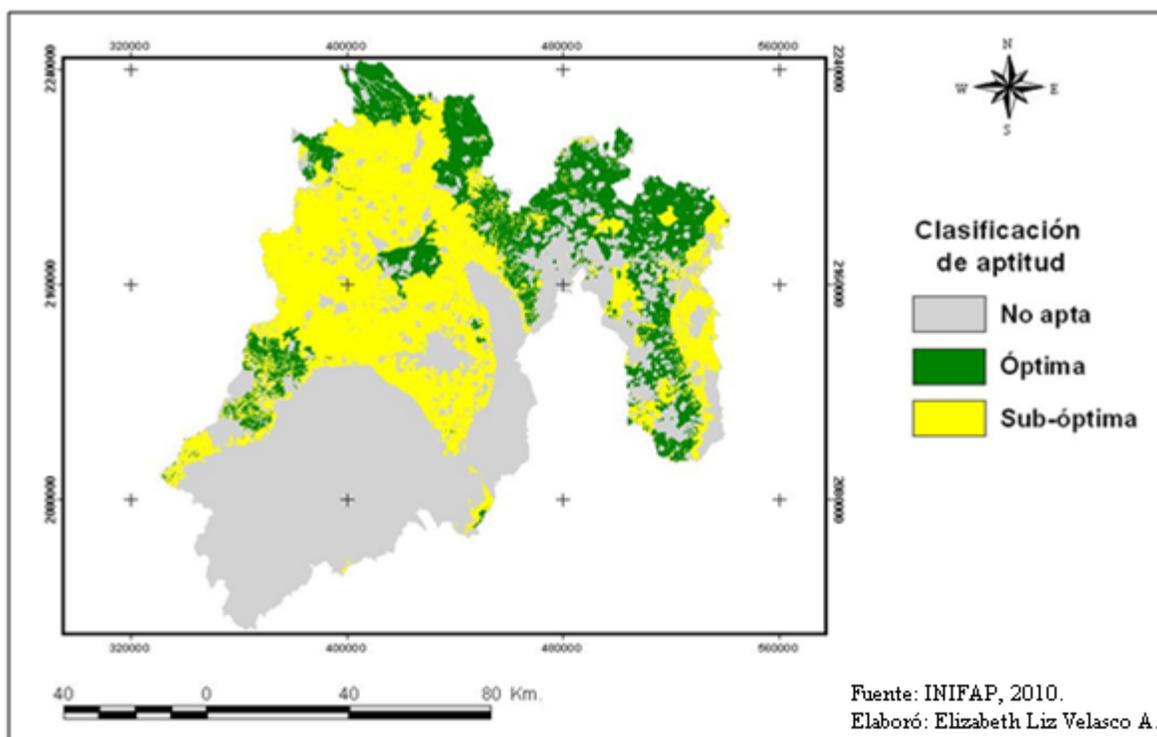


Figura 78. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2030

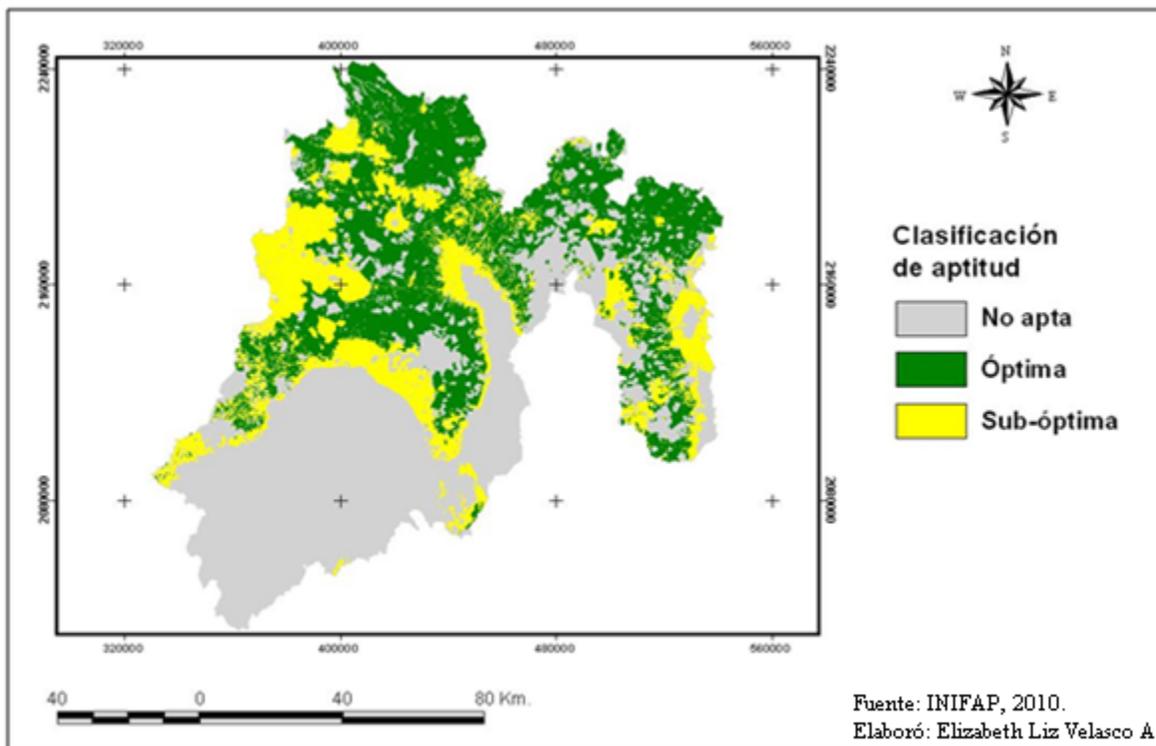


Figura 79. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A1, modelo ECHAM5, año 2050

El escenario A2 supone para el año 2030 una superficie óptima de 377 493.219 ha., cifra que se incrementó un 98%, en relación a la superficie actual equivalente a 186 871.1 ha. La superficie sub-óptima para este mismo periodo se calcula en 761 890.875 ha., con aumento de 107 753.5 ha., que representan un 16.5% más que la superficie actual sub-óptima. (Véase tabla 49).

Al año 2050 la superficie óptima sigue incrementándose hasta 712 351.25 ha., un 88.7% más con respecto al año 2030 y 273.7% más que la superficie actual. La superficie sub-óptima para este periodo es de 443 839.5 ha., la cual disminuye un 41.7% con respecto a la superficie sub-óptima del año 2030, con respecto a la superficie actual se reduce 210 297.9 ha. o 32.2%.

La tabla 49, muestra las superficies por aptitud para los años 2030 y 2050 bajo el escenario A2 y las figuras 80 y 81 presentan la distribución de dichas superficies.

Tabla 49. Comparación de superficies con el escenario A2 para el cultivo de pastos (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM5 (2030)	ECHAM5 (2050)
		A2	A2
Óptimo	190 622.156	377 493.219	712 351.25
Sub-óptimo	654 137.375	761 890.875	443 839.5
No apto	1 399 741.5	1 105 104	1 088 297.375

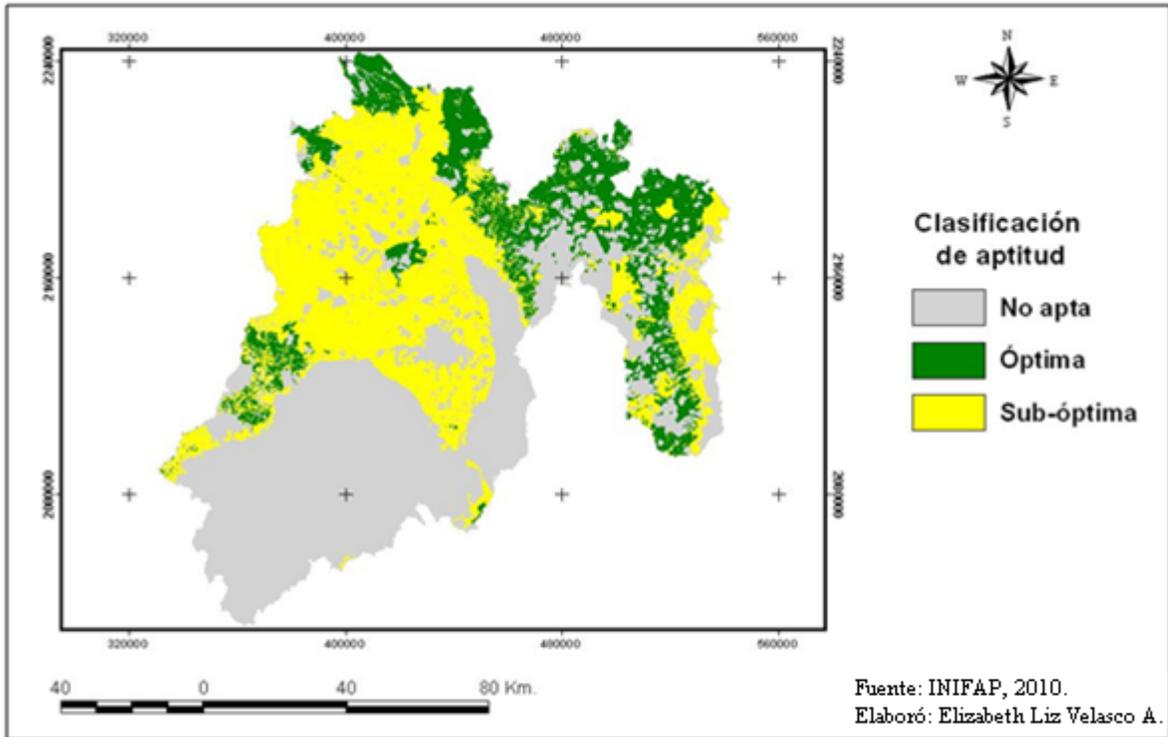


Figura 80. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo ECHAM5, año 2030

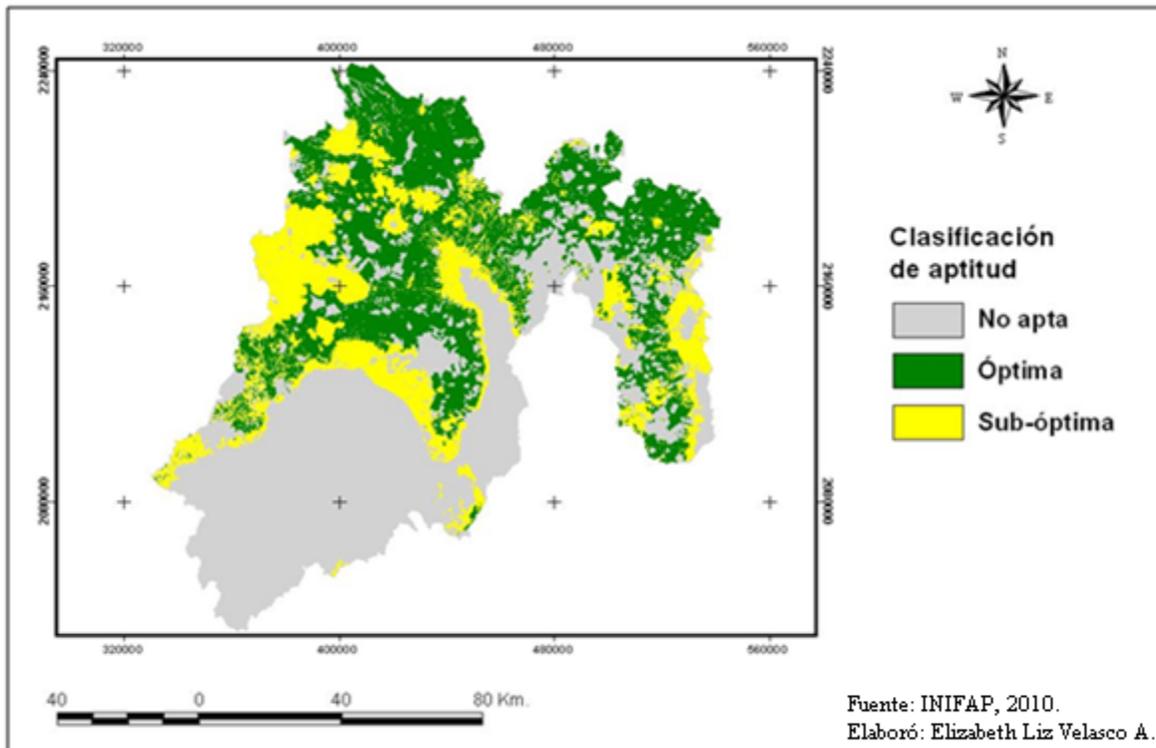


Figura 81. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario A2, modelo ECHAM, año 2050

El escenario B1 simula que al año 2030 la superficie óptima sería de 343 227.781 ha., cifra que aumentó un 80.1%, igual a 152 605.6 ha., en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este mismo año se calcula en 764 701.563 ha., con aumentó de 110 564.2 ha., que constituyen un 16.9% más que la superficie sub-óptima. (Véase tabla 50).

Al año 2050 la superficie óptima sigue creciendo hasta 567 217.063 ha., un 65.3% más con respecto al año 2030 y un 197.6% con la superficie actual. La superficie sub-óptima para este año se reduce a 580 873.688 ha., o sea, disminuye 24% con respecto a la superficie sub-óptima del año 2030 y 11.2% en proporción a la superficie actual igual a 73 263.7 ha.

La tabla 50 muestra la comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de pastos en dos períodos y las figuras 82 y 83 reflejan la distribución de estas superficies bajo el modelo ECHAM5.

Tabla 50. Comparación de superficies con el escenario B1 para el cultivo de pastos (hectáreas)

Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM5 (2030)	ECHAM5 (2050)
		B1	B1
Óptimo	190 622.156	343 227.781	567 217.063
Sub-óptimo	654 137.375	764 701.563	580 873.688
No apto	1 399 741.5	1 136 558.75	1 096 397.375

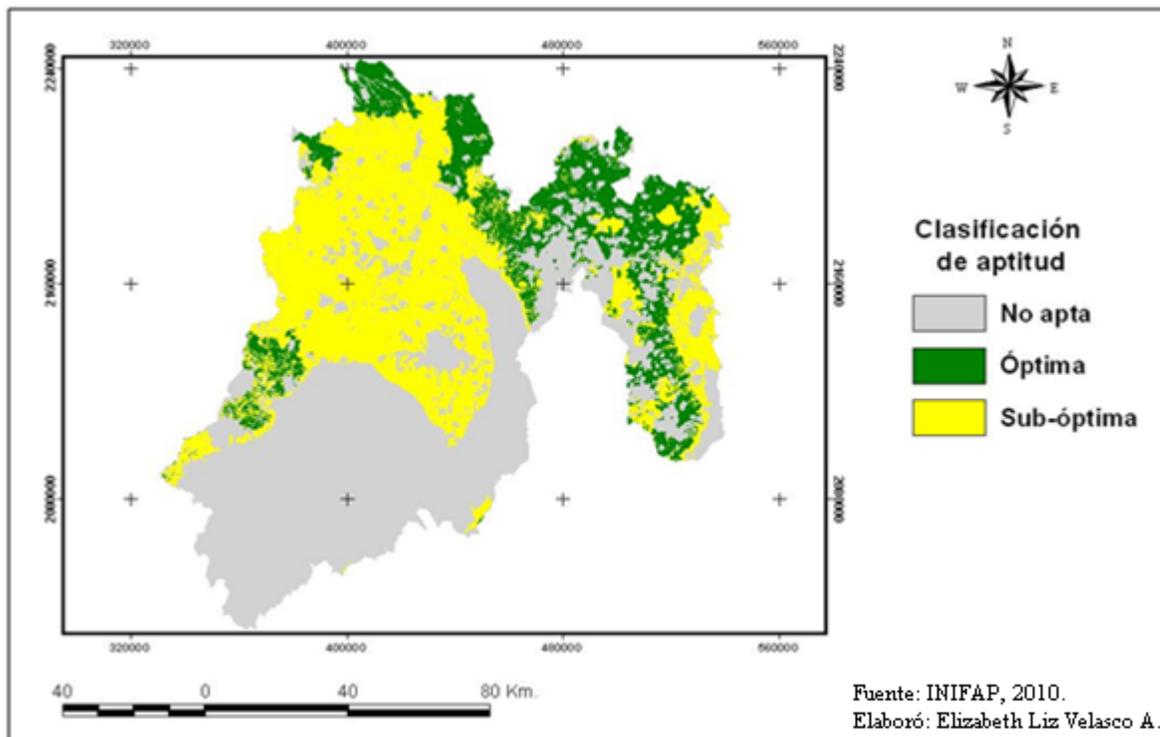


Figura 82. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2030

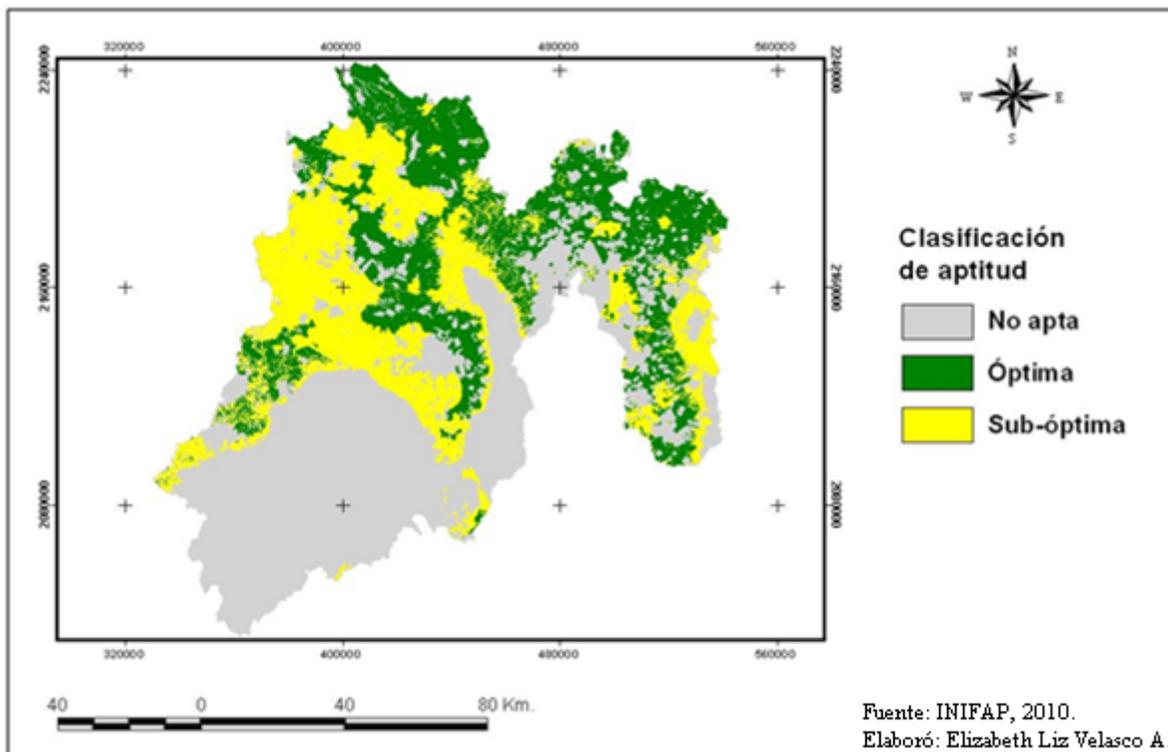


Figura 83. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B1, modelo ECHAM5, año 2050

Con el escenario B2 se estima que al año 2030 existiría una superficie óptima para el cultivo de pastos de 370 310.125 ha., cifra que aumentó un 94.3%, igual a 179 688 ha., en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este mismo período se calcula en 753 113.875 ha., con aumentó de 98 976.5 ha., que representan un 15.13% más que la superficie sub-óptima actual. (Véase tabla 51).

Para el año 2050 la superficie óptima sigue incrementándose hasta 625 392.063 ha., un 68.9% más con respecto al año 2030 y un 228.1% en relación a la superficie actual. La superficie sub-óptima para este año se reduce a 506 228.938 ha., o sea, disminuye un 32.8% con respecto a la superficie sub-óptima del año 2030 y un 22.6%, en relación a la superficie sub-óptima actual; como se muestra en la tabla 51, donde aparecen las superficies totales por tipo de aptitud para el 2030 y 2050.

Los mapas de las figuras 84 y 85 reflejan la distribución de las superficies estimadas para el año 2030 y 2050 en el cultivo de pastos, bajo el escenario B2.

Tabla 51. Comparación de superficies con el escenario B2 para el cultivo de pastos (hectáreas)			
Clasificación de aptitud	Superficie Actual	ECHAM5 (2030)	ECHAM5 (2050)
		B2	B2
Óptimo	190 622.156	370 310.125	625 392.063
Sub-óptimo	654 137.375	753 113.875	506 228.938
No apto	1 399 741.5	1 121 065.125	1 112 867.125

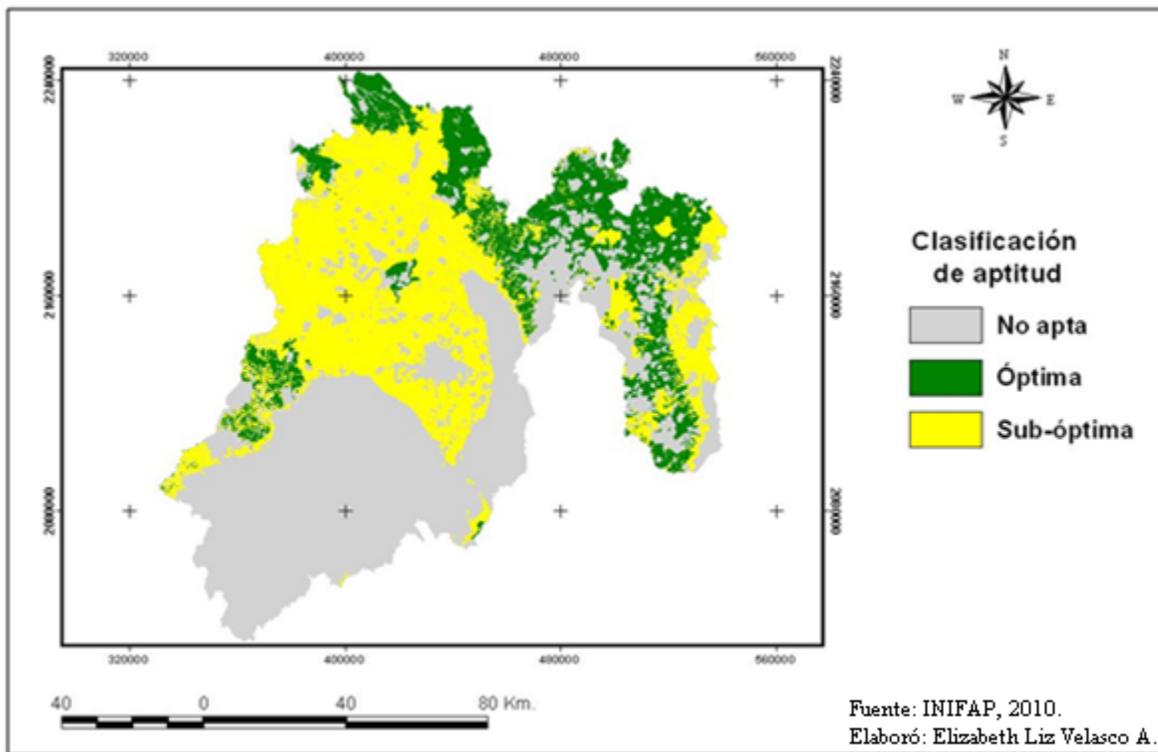


Figura 84. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2030

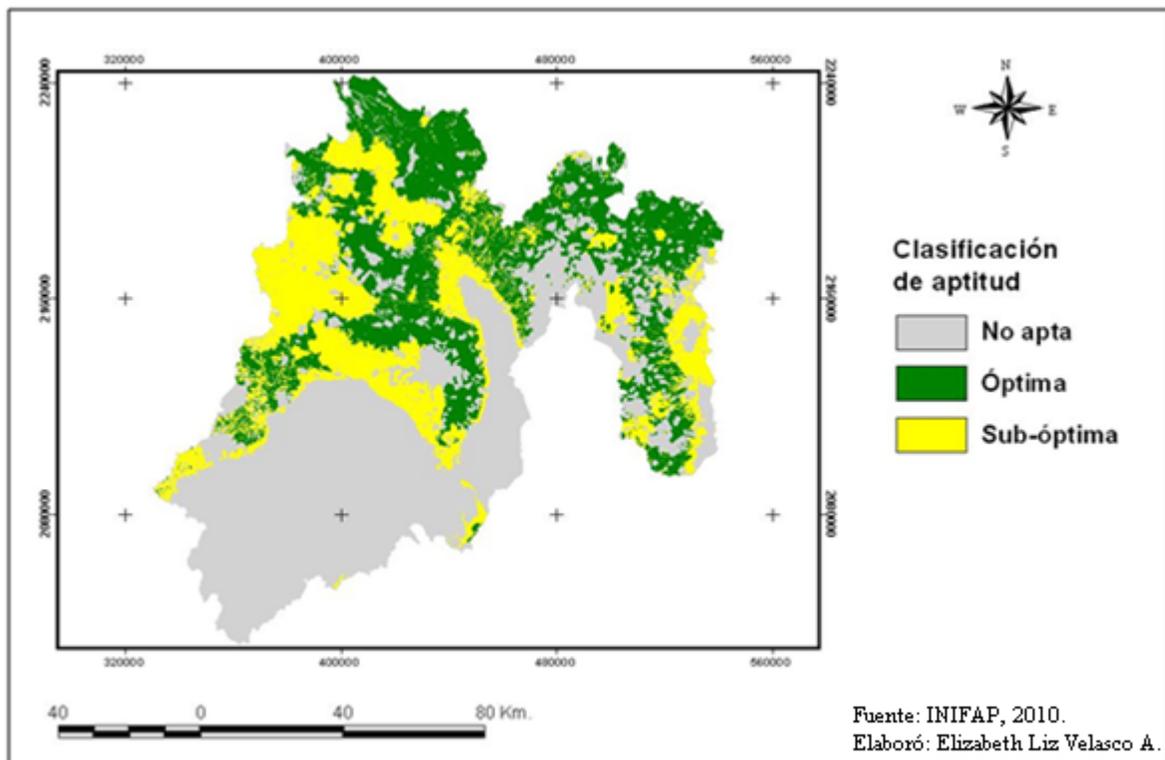


Figura 85. Aptitud para el cultivo de pastos en el escenario B2, modelo ECHAM5, año 2050

A través de este modelo se puede ver que el Cambio Climático impactará a favor de los pastos debido a que en los escenarios A1, A2, B1 y B2 muestra un constante crecimiento de las superficies potenciales tanto óptimas como sub-óptimas. Las hectáreas aptas aumentan gradualmente de la actual al 2030 y del este al 2050 en ocasiones a más del doble de la superficie actual.

Se puede decir a través de los resultados descritos en cada uno de los modelos, que en general, el cultivo de pastos se verá beneficiado debido al Cambio Climático en un aumento considerable de las superficies potenciales, lo cual puede favorecer en cierta medida a la actividad pecuaria, principalmente el ganado de pastoreo, sin embargo hay que tomar en cuenta que los pastos no se caracterizan por ser de alto rendimiento nutricional por lo que a la larga puede no ser tan trascendente el incremento de las superficies aptas.

Los impactos en general para el Estado de México según los MCG utilizados GFDL2, HADGEM y ECHAM5, prevén consecuencias negativas para el desarrollo de cultivos forrajeros.

En el caso de la alfalfa, las superficies aptas se ven radicalmente disminuidas, hasta el punto de desaparecer; tomando en cuenta que el Estado de México utiliza este forraje para la alimentación de ganado vacuno para la producción de leche, el impacto será mucho

mayor que sólo la disminución del cultivo ya que va a repercutir en otros sectores tanto económicos como sociales.

En el caso del maíz forrajero el cultivo también se verá afectado por el Cambio Climático en donde las superficies aptas se ven reducidas en algunos casos a más del 50%, motivo que despierta un gran interés al ser de las especies de mayor importancia para la alimentación ganadera del Estado de México, y de la de mayor importancia en la entidad.

Los pastos son el único cultivo forrajero que se beneficia del Cambio Climático ya que en cada uno de los escenarios aumenta la superficie óptima en los dos períodos al igual que la sub-óptima aunque disminuye en el periodo de 2050, se sigue teniendo una superficie mayor que la actual.

Si bien en los modelos, tanto la temperatura como la precipitación aumentan, la principal limitante para estos cultivos forrajeros es la precipitación ya que la media anual llegaría a aumentar más del 90% actual.

El modelo que presenta mayor incremento de temperatura tanto para el año 2030 como para el 2050 es el ECHAM5, por encima de los modelos GFDL2 y HadGEM. En tanto a las precipitaciones el modelo que presenta un mayor aumento es HadGEM tanto para el año 2030 como para el 2050, siendo una de las principales limitantes para los cultivos forrajeros debido al exceso de precipitación requerida por cada especie forrajera.

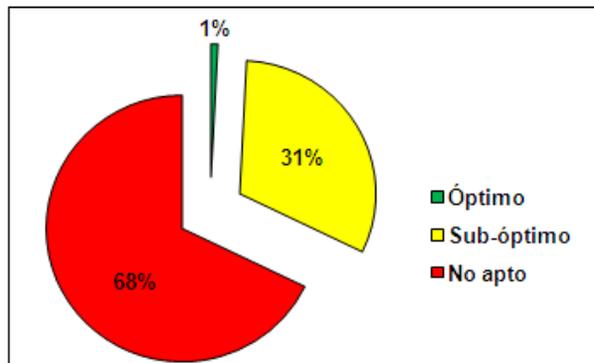
5.4.4 Eliminación del cultivo de avena, cebada y sorgo de los Modelos de Circulación General

Al utilizar los Modelos de Circulación General GFDL2, HadGEM1 y ECHAM5 para seis cultivos forrajeros, en los períodos de 2030 y 2050 en el Estado de México, los resultados arrojaron que tres de las especies vegetales avena, cebada y sorgo desaparecerían, dadas sus condiciones agroclimáticas, afectadas principalmente por los niveles de precipitación, señalados por estos modelos. El valor de los mapas resultantes fue “0”, es decir, en todo el Estado de México no habría superficie óptima para el cultivo de estas especies, ya que al sumar el mapa de precipitación correspondiente a cada una de éstas especies en ArcGis 9.3 las precipitaciones medias anuales excedían lo requerido para cada cultivo (Véase capítulo II).

En el caso de avena, cuya aptitud del terreno actual se estima en 18006.301 hectáreas óptimas y 704094.125 hectáreas sub-óptimas, se pronostica a través de los MCG que por sus requerimientos agroecológicos se verá limitada. La siembra de estos cultivos es viable en lugares con precipitación media anual de 500 a 800 mm., para satisfacer una necesidad hídrica de 400 a 1300 mm por ciclo. Al proyectarse precipitaciones medias anuales para los períodos 2030 y 2050 por encima de los 900 mm, se supera el nivel adecuado. La tabla 52

muestra las superficies de aptitud del terreno para el cultivo de avena, seguido de la gráfica 12, la cual representa las mismas superficies en porcentaje. La figura 86 muestra el mapa de aptitud actual para el cultivo de avena.

Clasificación	Superficie en hectáreas (ha)
Óptimo	18 006.301
Sub-óptimo	704 094.125
No apto	1 522 400.625



Gráfica 12. Aptitud del terreno actual para el cultivo de avena, superficie en porcentaje

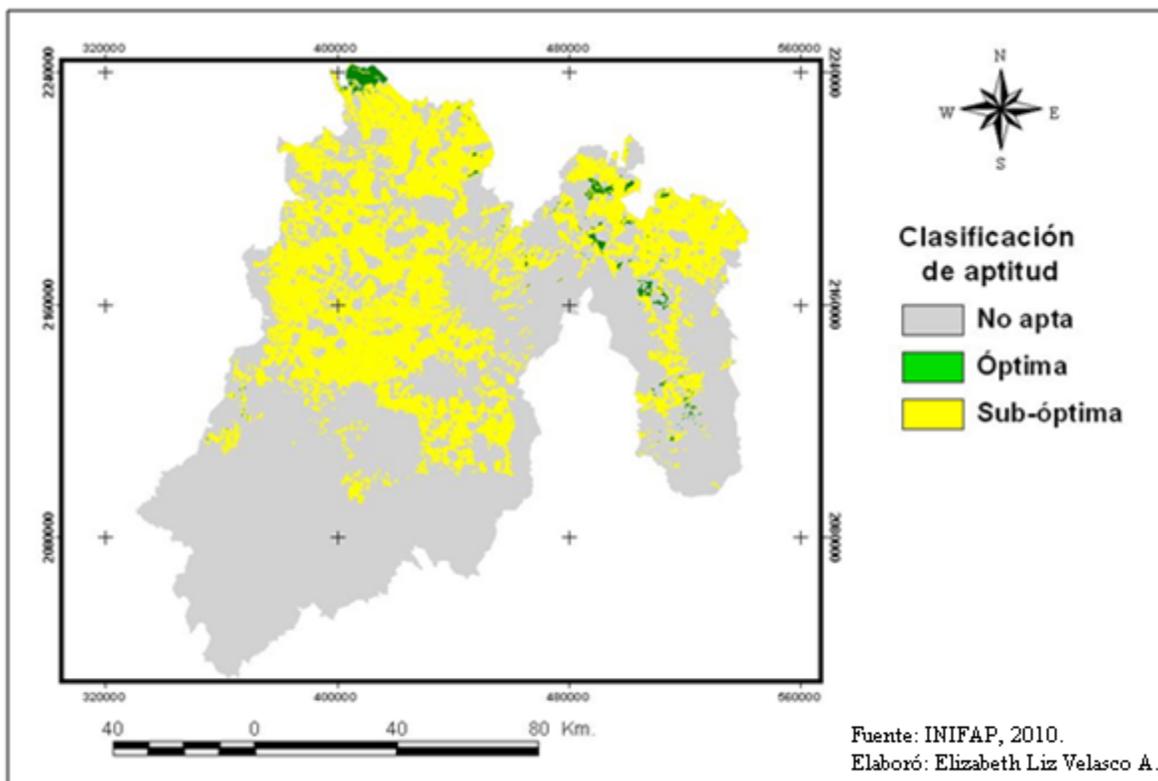


Figura 86. Aptitud actual para el cultivo de avena en el Estado de México

Lo mismo ocurre en los casos de los cultivos de cebada y sorgo donde los requerimientos agroclimáticos de precipitación media anual son de 500 a 1000 mm y de 600 a 1000 mm

respectivamente. Por lo que se infiere que la principal limitante de estos tres cultivos es el aumento de la precipitación media anual en el Estado de México, vistos a través de los modelos GFDL2, HadGEM1 y ECHAM5 con cuatro escenarios climáticos cada uno (A1, A2, B1, B2). Es decir, si se considera que la aptitud del terreno actual para la siembra de cebada es de 21 009.779 ha., y de sorgo 2 670.570 ha., en un nivel óptimo y sub-óptimo de 1 147 305 ha. y 18097.83 ha. respectivamente, para los años 2030 y 2050 no habrá zonas idóneas para el desarrollo de estos cultivos. La tabla 53 muestra las superficies de aptitud del terreno para el cultivo de cebada.

Tabla 53. Aptitud del terreno actual para el cultivo de Cebada	
Clasificación	Superficie en hectáreas (ha)
Óptimo	21 009.779
Sub-óptimo	1 147 305
No apto	1 061 258

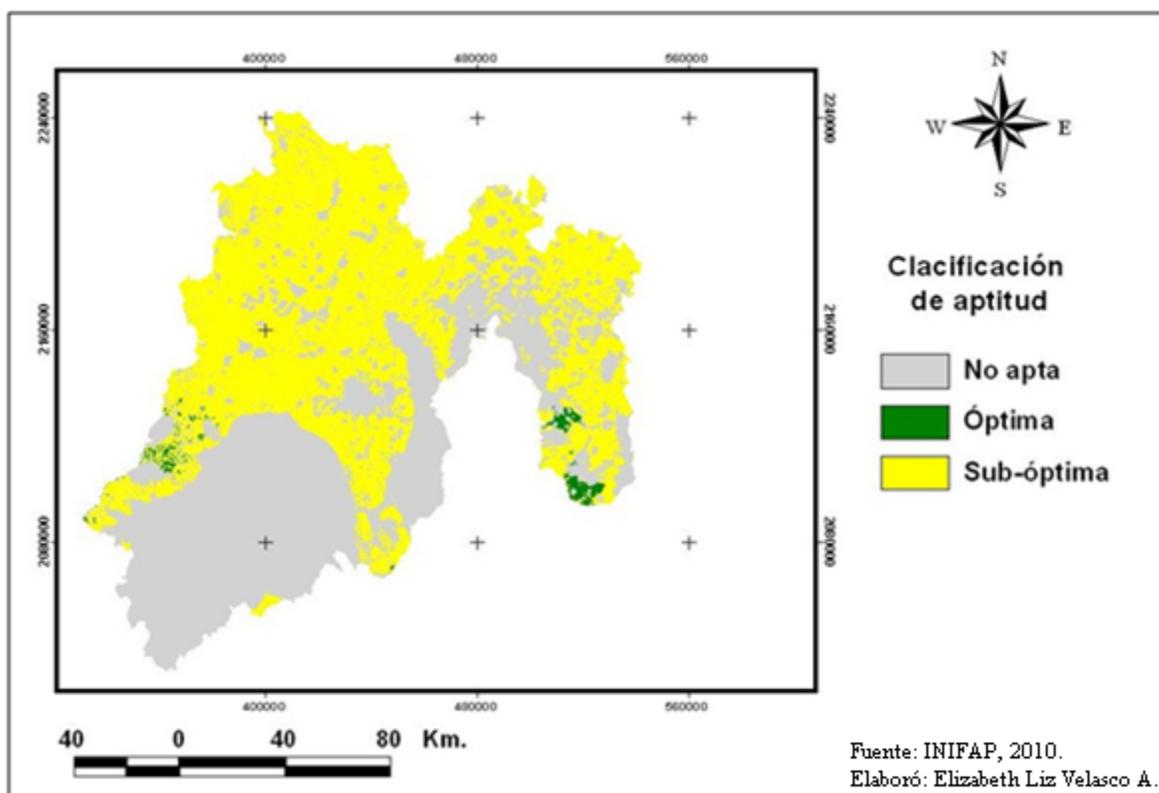


Figura 87. Aptitud actual para el cultivo de cebada en el Estado de México

La tabla 54 representa el resultado de aptitud del terreno actual para el cultivo de sorgo en el Estado de México.

Tabla 54. Aptitud del terreno actual para el cultivo de Sorgo	
Clasificación	Superficie en hectáreas (ha)
Óptimo	2 670.57
Sub-óptimo	18 097.83
No apto	2 223 732.75

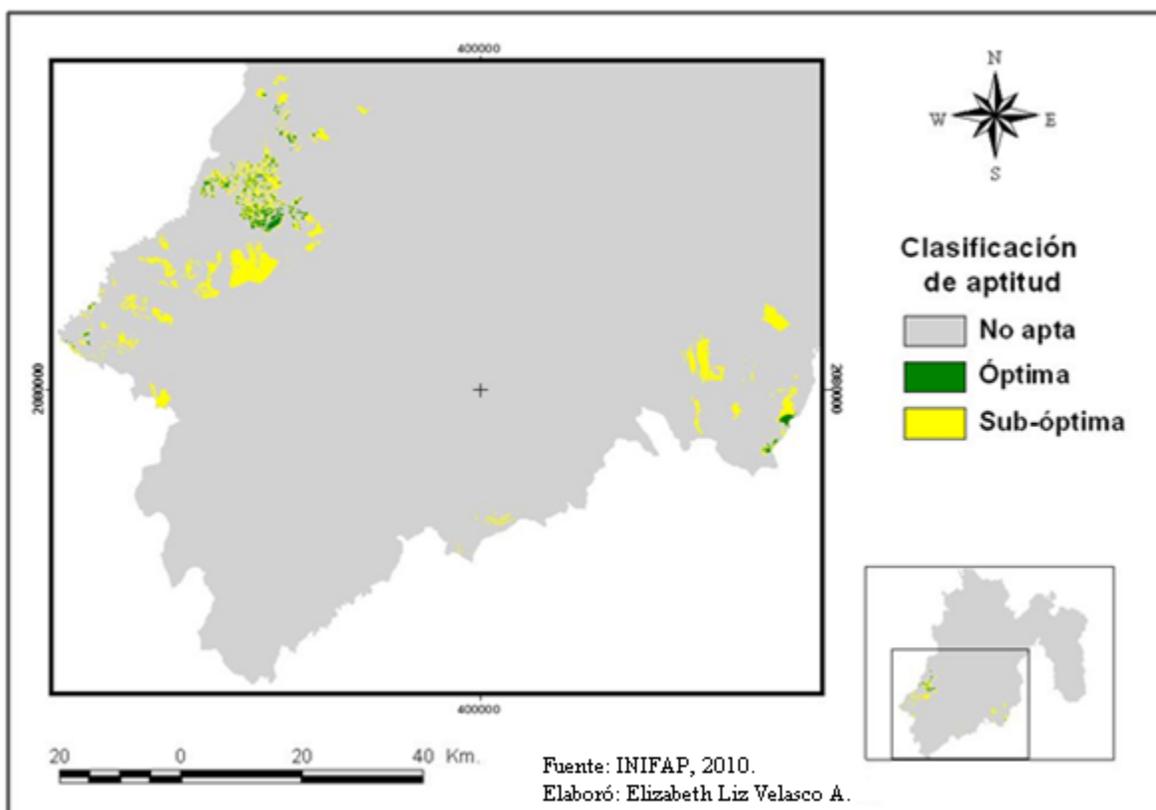


Figura 88. Aptitud actual para el cultivo de sorgo en el Estado de México

OTRAS CONSIDERACIONES

Este trabajo fue realizado en base al proyecto apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y desarrollado en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para medir el impacto de Cambio Climático en el Estado de México para los años 2030 y 2050, en este caso para cultivos forrajeros sembrados en la entidad como: avena, cebada, maíz, pastos y sorgo. La metodología empleada es de mediana complejidad utilizada por FAO y aprobada por CONACYT.

Las estimaciones de superficies aptas para el cultivo de forrajes, están ligadas en su totalidad a condiciones de temperatura, precipitación, tipo de suelo, altitud, pendiente, zonas urbanas y cuerpos de agua considerados para este estudio. El margen de error depende directamente de las variables utilizadas, de la confiabilidad de la información y del uso de SIG por parte del usuario.

Al emplear los MCG se presentan inconvenientes que dependen de la parametrización de procesos que debido a su escala, a su vez, las mayores diferencias entre las proyecciones del área actual según los diferentes modelos y escenarios se asocian en gran medida a las incertidumbres en el comportamiento de la precipitación. Los resultados que puedan generar los MCG dependen de las características de su formación y de la metodología seguida para realizar un análisis de Cambio Climático sobre una base regional.

La utilización de los modelos GFDL2, HadGEM y ECHAM5, fueron seleccionados debido a que se adecuan a las condiciones geográficas de México y han sido utilizados por otros países de las mismas latitudes. Es difícil decir cuál de estos modelos climáticos tiene la mayor aplicación o precisión para México debido a que sus características de modelado de la realidad son diferentes entre sí.

Si bien la temperatura y la precipitación son factores que influyen en el crecimiento, producción y rendimiento de los cultivos, estos no son los únicos que intervienen; la humedad ambiental, la radiación solar, el viento, la fertilidad del suelo, el relieve y la adaptabilidad del cultivo son factores que determinan el potencial de producción para cada cultivo.

Las áreas de aptitud o potencial productivo como se les llama a las estimaciones de superficie realizadas en este trabajo son el resultado de la suma de las variables a través de los Sistemas de Información Geográfica, sin tomar en cuenta las prácticas agrícolas y el uso de tecnologías para la producción de las especies vegetales.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la hipótesis, el potencial productivo de los forrajes sí se verán afectados bajo los modelos climáticos GFDL2, HADGEM y ECHAM5, mostrados en los cuatro escenarios (A1, A2, B1 y B2), la reducción de las superficies adecuadas para los cultivos forrajeros estará limitada principalmente por el aumento de precipitación más que por la temperatura, para los períodos 2030 y 2050, lo que indica que las hectáreas de producción actuales se varan limitadas según los requerimientos agroecológicos de cada especie, por lo que habrá un rendimiento menor al que se tiene habitualmente, situación que no cubriría las necesidades de alimentación del ganado.

Los modelos utilizados son aplicados para determinar la distribución de la aptitud de la tierra o zonas agroecológicas para diferentes cultivos, en este caso los principales cultivos forrajeros en el Estado de México tanto actuales como hacia el futuro por lo que se utilizan variables que se cree cambiarán a 20 y 40 años como temperatura y precipitación.

En los casos de alfalfa y maíz las superficies adecuadas para su cultivo se reducirían a más del 85% de la superficie actual. Independientemente de las diferentes características de los modelos y escenarios, todos estiman una disminución de las superficies potenciales para estas dos especies, que según los resultados al año 2030 y 2050 las zonas aptas se localizaran en la parte noreste del Estado de México.

En cambio con las mismas condiciones agroecológicas actuales para el cultivo de pastos, las superficies aumentarían a más del 40% para el año 2030 y a más del 100% para el año 2050 respecto a la superficie actual, según lo demuestran los modelos GFDL2, HadGEM y ECHAM5 en los cuatro escenarios trabajados. La distribución para este cultivo sería a lo largo de la entidad, a excepción de la parte Suroeste del Estado de México. El aumento de la superficie espacial estimado para este forraje a través de los MCG, se debe principalmente a las pocas exigencias agroecológicas de los pastos y su adaptabilidad a los diferentes medios, por lo que de cumplirse las proyecciones para los años 2030 y 2050 los pastos tendrían una mayor distribución de áreas potenciales en la entidad a la vez que habría una fuente de alimento para la cría de ganado.

En lo que se refiere al cultivo de avena, cebada y sorgo bajo los modelos y escenarios utilizados no se proyecta una superficie adecuada en la entidad para los años 2030 y 2050, debido principalmente al aumentó de precipitaciones estimadas para ambos períodos de tiempo, que sobrepasan los niveles requeridos para el buen desarrollo de estas especies, es decir, si en promedio la avena, la cebada y el sorgo necesitan una precipitación media anual de 300 a 1000 mm, a través de los MCG la precipitación media anual va de los 1700 mm a

más de 1800 mm por lo que el resultado fue clasificado como “0”, es decir, zonas no aptas para su cultivo.

Por otra parte el aumento de la temperatura para el periodo 2030 y 2050 podría mejorar en cierta medida los cultivos en algunas áreas pero para otras sería perjudicial. Algunas plagas podrían desarrollarse en lugares que ahora no están presentes, lo que traería uso de agroquímicos. Los cambios en los regímenes de precipitación y la disponibilidad de agua también afectarían la productividad de los cultivos ya sea adelantando o atrasando la época de siembra, o interviniendo en el crecimiento de la planta tanto por escasas como por abundancia de lluvias.

De realizarse estas condiciones, no sería viable el cultivo de forrajes, por cuestiones económicas, ya que no se tendría un rendimiento que compensara las necesidades alimenticias ganaderas ni se tendría inversión sobre cultivos poco rentables, al tener una producción baja y un precio bajo, las superficies que hoy se destinan a la siembra de forrajes podrían desaparecer o cambiar el tipo de cultivo.

Si bien el uso de modelos climáticos nos ayuda a intentar prever las consecuencias de los posibles cambios climáticos, una de las dificultades consiste en que la realidad es tan compleja que ni aún usando los más potentes ordenadores se puede reproducir con fidelidad. A pesar de las múltiples características de cada uno de los MCG utilizados es difícil determinar el grado de incertidumbre de cada modelo, debido, en su mayoría a la alta complejidad para representar matemáticamente al medio natural, aunque en los últimos años ha mejorado la capacidad de predicción ha habido factores naturales, sociales o económicos que aun no se integran a los MCG.

Aunque los resultados obtenidos indican un alto impacto sobre cultivos forrajeros en el Estado de México a consecuencia del Cambio Climático a 20 y 40 años, esto es sólo una posibilidad producto de la metodología empleada, de las variables utilizadas y del manejo de los datos en los SIG, que pueden variar conforme cada modelo, e información manejada para obtener áreas potenciales o aptitud el terreno de cualquier especie vegetal. Sin embargo los modelos trabajados son los que mejor se adaptan a las condiciones geográficas de México, además de que han sido empleados por otros países de las mismas latitudes.

RECOMENDACIONES

Para lograr una mejor evaluación del impacto del Cambio Climático sobre actividades pecuarias, es recomendable hacer una evaluación con una metodología diferente en la que se obtenga la distribución de áreas potenciales de alfalfa, avena, cebada, maíz, pastos y sorgo. El manejo de otros modelos, escenarios y la utilización de más variables permitiría una comparación espacial de los resultados para evaluar un incremento o disminución de los impactos sobre las áreas potenciales para las especies vegetales de mayor importancia forrajera en la entidad.

Es urgente responder ante las repercusiones que trae el CC, y una manera de hacerlo es crear estrategias de adaptación que tomen en cuenta las prácticas y vulnerabilidades locales. La planificación en los hogares, la comunidad, y a nivel nacional pueden limitar los daños del CC, así como los costos a largo plazo en respuesta a los efectos del mismo, por lo que también es importante una aplicación de políticas que aplique programas de acción y recuperación.

Para hacer frente a los impactos del Cambio Climático venidero, es importante tomar medidas que mitiguen los cambios, entre las recomendaciones propuestas están:

- *Siembra de otros cultivos:* una rotación de cultivos forrajeros, permite incrementar las opciones de siembra para alimento del ganado, de manera que tengan alto nivel nutritivo, se adecue a las condiciones agroecológicas de la entidad y no interfiera en los costos para su producción para así asegurar la producción alimenticia del ganado.
- *Otras variedades:* la siembra de variedades forrajeras más resistentes a los cambios climáticos permite disminuir las pérdidas que se llegarán a presentar en un futuro, para esto hay que tomar en cuenta que no sean especies dañinas al medio y que no se provoque un impacto ecológico en la zona.
- *Plagas:* con el aumento de temperatura se corre el riesgo de que nuevas plagas afecten los cultivos al haber mejores condiciones para su desarrollo, por lo que se recomienda evaluar que tan factible es seguir sembrando alfalfa, avena, cebada, maíz, pastos y sorgo sin que el uso de agroquímicos afecte el potencial del suelo.
- *Estrategias:* los agricultores y pastores pueden desempeñar un papel importante en la mitigación del CC al sembrar árboles, reducir la labranza, aumentar la cubierta vegetal, mejorar la gestión de los pastizales, emplear agroforestación, modificar los forrajes y las variedades de animales, utilizar con mayor eficacia los fertilizantes y abonos, tener una gestión de los restos de cosecha, hacer una rotación de cultivos,

mantener la fijación de carbono en el suelo que impulsa un mejor rendimiento agrícola etc.

- *Parte económica:* de cumplirse las condiciones trabajadas para evaluar el impacto de Cambio Climático, las especies forrajeras de mayor importancia en el Estado de México no serían rentables ya que aumentarían los costos de producción y los ingresos serían pocos, situación que perjudica al agricultor.
- *Cambio en los ciclos de siembra:* debido a que se prevé no sólo el aumento de la temperatura sino de la precipitación para los años 2030 y 2050, se debe considerar tomar en cuenta los ciclos de siembra ya que puede suceder que se adelante o atrase la temporada de lluvias que ya se conocía en México y tomar en cuenta las cantidades de precipitación para que no afecte los cultivos o introducir cultivos no dañinos al ambiente que requieran una mayor cantidad de agua para su desarrollo.

Fuentes

- Aguilar Morales Manuel. (2008). *Análisis de producción y rentabilidad del cultivo de alfalfa en el DDR 074 de Zumpango, Estado de México*. Tesis de ingeniería. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Andrade Pacheco David y Contreras Rodríguez M.A. (1997). *Determinación de la composición química de alfalfa y maíz ensilado en el Valle de México*. Departamento de enseñanza e investigación en Zootecnia. Chapingo. México.
- Aragón, P. (1995). *Factibilidades agrícolas y forestales en la República Mexicana*. Ed. Trillas. México.
- Baradas, M. W. (1994). *Crop requirements of tropical crops*. In: *Handbook of agricultural meteorology*. J.F. Griffiths Editor. Oxford Univ. Press. New York.
- Benacchio, S. S. (1982). *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano*. FONAIAP-Centro Nac. de Inv. Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela.
- Campos O. Max. (1999). *Estudios de Cambio Climático en Costa Rica*. Instituto Meteorológico Nacional-Ministerio del Ambiente y Ecología. Costa Rica.
- Centro de Ciencias de la Atmosfera (CCA). (2008). Disponible en: <http://www.atmosfera.unam.mx/cclimatico/escenarios/escenarios>.
- Centro Hadley. (2010). Modelo HadGEM. Disponible en: <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem1>
- Chapman, Stephen R. y Carter, Lark P. (1976). *Crop Production*. W. H. Freeman and Co. U.S.A.
- Conde C., et. al. (1998). Vulnerability of rainfed maize in Mexico to climate change. *Climate Res.* 9: 17-23.
- Conde Cecilia. (2003). *Cambio y variabilidad climática: dos estudios de caso en México*. Tesis de doctorado en Ciencias de la Tierra. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM.
- Conde, C., R. M. Ferrer y D. Liverman. (2003). *Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo Ceres - Maize*. P. En: Gay, C. México: una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Versión electrónica, con textos revisados. Impreso 1999, revisado 2003.
- Convenio sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC). (2010). Disponible en: http://unfccc.int/portal_espanol/items/3093.php
- Cultivo de maíz forrajero. (2009). Disponible en: [mail.sdr.gob.mx/cadenas/.../Cultivo%20de%20maiz%20forrajero.pdf](mailto:sdr.gob.mx/cadenas/.../Cultivo%20de%20maiz%20forrajero.pdf)
- Daubenmire R.F. (1982). *Ecología Vegetal: Tratado de Autoecología de Plantas*. 3a. ed. Limusa. México.

-
- Doorenbos, J. y A. H. Kassam. (1979). *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 33. FAO. Roma. 212 p.
 - Duncan, W. G. (1975). *Maize*. In: *Crop physiology*. Some case histories. (Evans, L.T Editor). Cambridge University Press. Cambridge, Londres, Inglaterra.
 - FitzPatrick E.A. (1994). *Suelos: su formación, clasificación y distribución*. Editorial Continental S. A. de C. V. México.
 - Galvan Molina Rocío. (2006). *Establecimiento de forrajeras en San Felipe del Progreso, Estado de México*. Tesis del departamento de Fitotecnia-UACH. México.
 - García Rafale. (1979). *Cereales y Derivados: métodos oficiales de análisis*. M° Agricultura. Madrid-España.
 - Gastiazoro Blettler Juliana. (1997). *Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola*, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Comahue, Argentina
 - Gay Carlos et. al. (2003). *Una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México*. UNAM, México. Disponible en: <http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/libro.html>
 - Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL). (2010). Disponible en: <http://www.gfdl.noaa.gov/>
 - Gillet Michel. (1984). *Las gramíneas forrajeras, descripción, funcionamiento y aplicaciones al cultivo de la hierba*. Traducción. Acribia. Zaragoza-España.
 - Gobierno del Estado de México. (2010). *Ciclo: año agrícola Modalidad: riego más temporal maíz forrajero*. Estado de México. Disponible en: www.edomex.gob.mx/desarrollorural/doc/pdf/indMAÍZFORR.pdf
 - González, M. et al. (1984). *Especies vegetales de importancia económica en México*. Ed. Porrúa. México.
 - Gutierrez Morales Antonio. (1992). *Guía para cultivar sorgo forrajero en la zona sur del Estado de México*. Folletos de producción. ICAMEX. México.
 - H.D Hughes, et. al. (1976). *Forrajes, la ciencia de la agricultura basada en la producción de pastos*. Continental S.A. México-E.U
 - Infoagro (2010). Disponible en: <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.htm>
 - Instituto Meteorológico Nacional. (2007). *Programa de Cambio Climático del IMN*. San José Costa Rica. Disponible en: <http://cglobal.imn.ac.cr/escenarios.asp>.
 - Instituto Nacional de Ecología. (2010). Disponible en: www.ine.gov.mx
 - Instituto Nacional de Ecología-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *México Tercera Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México. INE-SEMARNAT. México
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2005). *Aspectos Geográficos del Estado de México*. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=geo&e=15>

-
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2007). *Perspectiva Estadística. Serie por Entidad Federativa*. México. Disponible en: <http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/mex/economia/default.aspx?tema=me&e=15>
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Carta de Uso de Suelo y Vegetación, 1:1000 000 y 1:250 000
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), Carta Geológica a escala 1:1 000 000.
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Carta Topográfica, 1:50 000
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Uso Potencial, Ganadería, 1:1 000 000
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2000). *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. Resultados Preliminares. México.
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2007). *Resultados del VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007*. México. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=14578>
 - Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2010). Información Nacional, por Entidad Federativa y Municipios. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=15>
 - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (1999). *500 tecnologías llave en mano, división agrícola serie 1999, Tomo 1*. INIFAP-SAGAR. México.
 - Jiménez Merino Alberto. (1989). *La producción de forrajes en México*. Universidad Autónoma Chapingo-Banco de México-FIRA. México.
 - León Jordan Hipólito. (2005). *Forrajicultura y Pasticultura*. Salvat S.A. México.
 - Loomis R.S y D.J. Connor. (2002). *Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios*. Grupo Mundi-Prensa. España.
 - López Bellido Luis. (1991). *Cultivos herbáceos volumen 1 Cereales*. Mundi-Prensa. Madrid.
 - López, López Víctor Manuel. (2009). *Cambio Climático y Calentamiento Global, ciencia, evidencias, consecuencias y propuestas para enfrentarlos*. Trillas. México.
 - Magaña Victor et. al. (1999). *Los impactos del Niño en México*. UNAM/CONACYT.SG/IAI. Pp. 229 disponible en: <http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/niño.htm>.
 - Manuales para producción agropecuaria. (2007). *Cultivos Forrajeros, Área: Producción vegetal*. Trillas. México
 - Martínez, M. (1979). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas*. Primera Edición Fondo de Cultura Económica. México, D. F.

-
- Monografías agrícolas. (2009). Disponible en la página web: <http://w4.siap.gob.mx/AppEstado/Monografias/agricola.html>
 - Nakicenovic, N., J. Alcamo, et al. (2000). *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge. 599 pp.
 - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2010). Disponible en: <http://www.gfdl.noaa.gov/>, <http://data1.gfdl.noaa.gov/>, y en www.worldclimo.com/ma/enwiki/es/GFDL_CM2.X
 - Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS). (2010). Estado de México. Disponible en: http://www.campomexicano.gob.mx/oeidrus_mex/
 - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1994). ECOCROP 1. *The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database*. Versión 1.0. AGLS. FAO. Rome, Italy.
 - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO-IIASA. (2000). *Global agroecological zones. Methodology and results of the Global Agro-Ecological Zones Model*. CD-ROM. Versión: 1.0. (<http://www.fao.org> acceso: 5 febrero 2006).
 - Osnaya P., Martínez J., Fernández A. (2003). *Avances de México en materia de Cambio Climático 2001-2002*. INE- SEMARNAT. México.
 - Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). (2008). Disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol/Efecto-invernadero/Escenarios.IPCC.htm>
 - Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). (2010). Disponible en: http://www.ipcc-data.org/ddc_definitions.html
 - Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC-WGI). (2007). *Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*.
 - Pearson Hughes G. et al. (1966). *Explotación de pastos*. Acibia. España
 - Purseglove, J.W. (1985). *Tropical crops: Monocotyledons. Longman Scientific and Technical*. N.Y., U.S.A.
 - Rivera Ávila Miguel Ángel. (1999). *Cambio Climático. Tercer milenio-CONACULTA*. México.
 - Rivera González Miguel, et al. (2004). *Producción de maíz forrajero (Zea mays L.) en surco estrecho y riego por goteo superficial. Agrofaz vol. 4 N° 5*. España. Pág. 443-448.
 - Robles Sánchez Raul. (1983) *Producción de granos y forrajes*. Limusa. México
 - Roeckner E. et al. (2003). *The atmospheric General Circulation model ECHAM5, part 1 and 2, Model description. Max Planck Institut for Meteorology*. Hamburgo-Germany.

-
- Roeckner Erich. (2003). Allgemeine Zirkulationsmodelle, Atmosphäre. Max Planck Society. Germany.
 - Romero Contreras Tonatiuh et. al. (2001). *Espacio Geográfico*. UAEM-Facultad de Geografía. México. Pág., 85-98.
 - Romo González José y Arteaga Ramírez Ramón. (1989). *Meteorología Agrícola*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
 - Ruiz C., J. A., et al., (1997). *Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el Distrito de Desarrollo Rural de Zapopan, Jalisco*. Folleto Técnico Núm. 5. INIFAP-CIRPAC-C. E. Centro de Jalisco. Tlajomulco de Z., Jal. México.
 - Ruiz Corral José Ariel, et. al. (1997). *Requerimientos Agroecológicos de cultivos*. INIFAP-Pacífico Centro. México.
 - Russell John E., Russell Walter E. (1968). *Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas*. Aguilar-Tolle. Traducción. Madrid-España.
 - Russelle, M. P., et al., (1992). *Growth analysis based on degree days*. Crop Sci. 24:28-32
 - Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). (1981). *Guía para la asistencia técnica agrícola, Valle de México*. Chapingo. México.
 - Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2009). Maíz forrajero disponible en: w4.siap.sagarpa.gob.mx/AppEstado/
 - Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2010) Disponible en: www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Paginas/cambioclimático.aspx
 - Silva Morales Emma. (2008). *Efectos del Cambio y Variabilidad Climática en el Cultivo de Soya (Glycine max L.) en el Municipio de González, Tamaulipas*. Tesis de Licenciatura en Geografía. UNAM. México.
 - Sistema Integrado de Información Taxonómica (SIIT) de CONABIO, México (2010). Es la versión en español de ITIS. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/bouteloua-gracilis/fichas/ficha.htm#2.%20Origen%20y%20distribución%20geográfica>.