

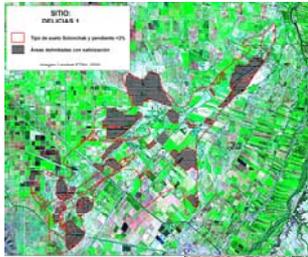
SEMARNAT



SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



FORMULACIÓN DE INDICADORES PARA EVALUAR Y MONITOREAR LA DESERTIFICACIÓN EN MÉXICO

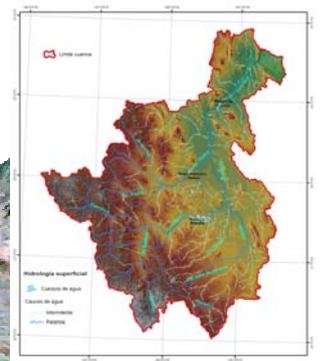


Río Florido

Delicias



Bajo Río Conchos



**FORMULACIÓN DE INDICADORES PARA EVALUAR Y MONITOREAR LA
DESERTIFICACIÓN EN MÉXICO**

Jorge D. Etchevers Barra

Jesús David Gómez Díaz

Alejandro I. Monterroso Rivas

Juan Angel Tinoco Rueda

Con la colaboración de la Dra. Helena Cotler Ávalos, Directora de Manejo
Integral de Cuencas Hídricas del Instituto Nacional de Ecología

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Instituto Nacional de Ecología

Colegio de Postgraduados

Universidad Autónoma Chapingo

Contenido

ÍNDICE DE CUADROS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	5
CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RIO CONCHOS	8
1.1. LOCALIZACIÓN.....	8
1.2. FISIOGRAFÍA	9
1.3. GEOLOGÍA	16
1.4. CLIMA.....	18
1.4.1 Sistema de Clasificación Climática de Thornthwaite modificado.....	18
1.4.2 Clima de la cuenca del Río Conchos.....	20
1.5. HIDROLOGÍA	22
1.5.1 Hidrología superficial.....	24
1.5.2 Hidrología subterránea	28
1.5.3 Disponibilidad y usos del agua.....	31
1.6. EDAFOLOGÍA	33
1.6.1. Tipos de suelos.....	34
1.6.2 Descripción de tipos de suelos.....	37
1.7. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	44
1.7.1. Características Biológicas.....	44
1.7.2 Comunidades Vegetales	45
1.7.3 Fauna.....	51
1.8. USO DE LA TIERRA	54
1.8.1 Uso pecuario	55
1.8.2 Uso forestal-recreativo.....	56
1.8.3. Uso agrícola.....	57
1.8.4 Uso hídrico.....	57
1.8.5 Uso urbano.....	57
1.9. DEGRADACIÓN	58
1.9.1 Degradación del suelo inducida por el hombre (GLASOD).....	58
CAPITULO 2. METODOLOGÍA DE INDICADORES EDÁFICOS PARA EVALUAR Y MONITOREAR LA DESERTIFICACIÓN.	62
2.1 CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO.....	62
2.2. ARIDIZACIÓN DEL SUELO	65
2.2.1 Escenarios de Cambio Climático	66
2.2.2. Determinación de periodos de crecimiento y balances de humedad.	68
2.3. ESTADO ACTUAL DEL ENCOSTRAMIENTO Y COMPACTACIÓN DEL SUELO	74
2.4. SALINIZACIÓN.....	76
2.5. PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN	80
2.5.1 Erosión Hídrica	82

2.5.2. Erosión Eólica	88
CAPITULO 3. RESULTADOS	94
3.1. CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO	94
3.2. ARIDIZACIÓN	101
3.2.1. Escenarios de Cambio Climático	101
3.2.2. Duración del periodo de crecimiento y balance de humedad.....	107
3.3. ESTADO ACTUAL DEL ENCOSTRAMIENTO Y COMPACTACIÓN DEL SUELO	122
3.4. SALINIDAD	127
3.5. EROSIÓN	134
3.5.1 Erosión Hídrica	134
3.5.2. Erosión Eólica	139
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES	145
BIBLIOGRAFÍA.....	147

Índice de cuadros

CUADRO 1. SUPERFICIE OCUPADA POR PROVINCIAS Y SUBPROVINCIAS FISIográfICAS DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	11
CUADRO 2. TOPOFORMAS EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	13
CUADRO 3. RANGOS DE PENDIENTE EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	15
CUADRO 4. GEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	17
CUADRO 5. SUPERFICIE OCUPADA POR TIPOS DE CLIMAS EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	22
CUADRO 6. CORRIENTES PERENNES DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	25
CUADRO 7. DATOS DE TRES PRESAS EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	28
CUADRO 8. ACUÍFEROS PRESENTES EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	30
CUADRO 9. USOS DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	32
CUADRO 10. VOLÚMENES Y SUPERFICIES DE RIEGO AGRÍCOLA.	33
CUADRO 11. SUPERFICIE OCUPADA POR TIPO DE SUELOS DE ACUERDO A LA WRB (1999) EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	35
CUADRO 12. SUPERFICIE POR COMUNIDAD VEGETAL EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	47
CUADRO 13. NÚMERO DE ESPECIES EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	53
CUADRO 14. SUPERFICIE POR TIPO DE USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	54
CUADRO 15. PRINCIPALES ESPECIES GANADERAS EN EL DDR DELICIAS.	56
CUADRO 16. TIPOS DE DEGRADACIÓN DEL SUELO CAUSADA POR EL HOMBRE (GLASOD) EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	60
CUADRO 17. VALORES DE CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO (MM).	71
CUADRO 18. LÍMITES DE CLASES PARA LA PRESENCIA DE SALES EN LA SUPERFICIE DEL SUELO (FAO, 1984).	78
CUADRO 19. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS, SÓDICOS Y SALINO SÓDICOS, EN FUNCIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (HONORATO, 1993).	79
CUADRO 20. PORCENTAJE DE CARBONO ORGÁNICO EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS Y SUPERFICIE OCUPADA. (BALBONTIN ET AL., 2007).	94
CUADRO 21. TOTAL DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (MG HA ⁻¹) Y SUPERFICIE OCUPADA EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (BALBONTIN ET AL., 2007).	95
CUADRO 22. PORCENTAJE DE CARBONO ORGÁNICO EN LOS DISTRITOS DE RIEGO BAJO RÍO CONCHOS, DELICIAS Y RÍO FLORIDO Y SUPERFICIE OCUPADA. (BALBONTIN ET AL., 2007).	97
CUADRO 23. CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO PARA LOS DISTRITOS DE RIEGO BAJO RÍO CONCHOS, DELICIAS Y RÍO FLORIDO Y SUPERFICIE OCUPADA (BALBONTIN ET AL., 2007).	99
CUADRO 24. CAMBIO EN EL CLIMA POR SUPERFICIE OCUPADA (%) PARA EL AÑO 2050 DE ACUERDO AL ESCENARIO A2 EN LA CUENCA.	104
CUADRO 25. CAMBIO EN EL CLIMA POR SUPERFICIE OCUPADA (%) PARA EL AÑO 2050 DE ACUERDO AL ESCENARIO B2 EN LA CUENCA.	107
CUADRO 26. ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	107
CUADRO 27. DATOS DE VARIABLES CLIMÁTICAS DE LAS ESTACIONES DEL DISTRITO DE RIEGO DEL BAJO RÍO CONCHOS.	111

CUADRO 28. DATOS DE VARIABLES CLIMÁTICAS DE LAS ESTACIONES DEL DISTRITO DE RIEGO DE CIUDAD DELICIAS...	112
CUADRO 29. DATOS DE VARIABLES CLIMÁTICAS DE LAS ESTACIONES DEL DISTRITO DE RIEGO DEL RIO FLORIDO	113
CUADRO 30. PERIODO DE CRECIMIENTO Y BALANCE DE HUMEDAD DE LAS ESTACIONES DE LOS DISTRITOS DE RIEGO DE LA ZONA DE ESTUDIO	122
CUADRO 31. ÁREAS CON AFLORAMIENTOS DE ESTRATOS ENDURECIDOS DELIMITADAS SOBRE IMÁGENES DE SATÉLITE MULTITEMPORALES LANDSAT EN LOS DISTRITOS DE RIEGO DEL BAJO RIO CONCHOS, DELICIAS Y RIO FLORIDO.	124
CUADRO 32. SUPERFICIE DE SUELOS LITOSOLES Y RENDZINAS Y OTRAS UNIDADES CON FASE LÍTICA EN LOS DISTRITOS DE RIEGO DEL BAJO RIO CONCHOS, DELICIAS Y RIO FLORIDO REPORTADOS POR INEGI (2000).	124
CUADRO 33. ÁREAS CON AFLORAMIENTOS DE SALES DELIMITADAS SOBRE IMÁGENES DE SATÉLITE MULTITEMPORALES LANDSAT EN LOS DISTRITOS DE RIEGO DEL BAJO RIO CONCHOS, DELICIAS Y RIO FLORIDO.	128
CUADRO 34. SUPERFICIE DE SUELOS SALINOS Y/O SÓDICOS EN LOS DISTRITOS DE RIEGO DEL BAJO RIO CONCHOS, DELICIAS Y RIO FLORIDO REPORTADOS POR INEGI (2000).....	129
CUADRO 35. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DE LA SERIE A-205 CLAVE H1311, CON IDENTIFICACIÓN 228069 Y NUMERO DE CONTROL 69 EN EL DISTRITO DE RIEGO DELICIAS CLASIFICADO COMO SOLONCHACK SÓDICO (SCSo).....	131
CUADRO 36. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DE LA SERIE A-205 CLAVE H1311, CON IDENTIFICACIÓN 228073 Y NUMERO DE CONTROL 73 EN EL DISTRITO DE RIEGO DELICIAS CLASIFICADO COMO CALCISOL SÓDICO (CLSo)	132
CUADRO 37. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DE LA SERIE A-205 CLAVE H1311, CON IDENTIFICACIÓN 228094 Y NUMERO DE CONTROL 94 EN EL DISTRITO DE RIEGO DELICIAS CLASIFICADO COMO VERTISOL CÁLCICO-HIPOSÓDICO (VRCC-SOW)	133
CUADRO 38. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DE LA SERIE A-205 CLAVE H1311, CON IDENTIFICACIÓN 228081 Y NUMERO DE CONTROL 81 EN EL DISTRITO DE RIEGO DELICIAS CLASIFICADO COMO CALCISOL ARÍDICO (CLAD)	133
CUADRO 39. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DE LA SERIE A-205 CLAVE H1308, CON IDENTIFICACIÓN 222039 Y NUMERO DE CONTROL 39 EN EL DISTRITO DE RIEGO BAJO RIO CONCHOS, CLASIFICADO COMO REGOSOL HIPOSÓDICO- HIPOSÁLICO (RGsow-szw).....	134
CUADRO 40. RANGOS DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA EN LA CUENCA.	134
CUADRO 41. RANGOS PARA EL FACTOR K EN LA CUENCA.	135
CUADRO 42. VALORES DEL FACTOR LS PARA LA CUENCA.	136
CUADRO 43. VALOR Y PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DEL FACTOR C EN LA CUENCA.....	137
CUADRO 44. CLASES Y PORCENTAJE DE EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL Y POTENCIAL EN LA CUENCA.	138
CUADRO 45. VALORES DE VELOCIDAD DEL VIENTO (M/s) PARA LAS REGIONES.	140
CUADRO 46. VALORES DEL FACTOR C Y PORCENTAJE DE OCUPACIÓN EN LA CUENCA.....	140
CUADRO 47. VALORES ASIGNADOS DEL FACTOR S EN LA CUENCA Y SUPERFICIE OCUPADA.	141
CUADRO 48. VALORES ASIGNADOS PARA EL FACTOR V Y L CON SUPERFICIE OCUPADA EN LA CUENCA.	143
CUADRO 49. SUPERFICIE OCUPADA POR PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN EÓLICA ACTUAL Y POTENCIAL EN LA CUENCA.	144

Índice de figuras

FIGURA 1 LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS Y MUNICIPIOS QUE COMPRENDE.	9
FIGURA 2 PROVINCIAS FISIográfICAS DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.	10
FIGURA 3. SUBPROVINCIAS FISIográfICAS DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (INEGI, 2001A)	12
FIGURA 4. TOPOFORMAS DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (INEGI, 2003).....	13
FIGURA 5. RANGOS ALTITUDINALES DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (INEGI, 2004)	14
FIGURA 6. RANGOS DE PENDIENTE EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (INEGI, 2004)	15
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS DE ROCA EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (INEGI, 2002).....	18
FIGURA 8. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (UACH-CONAFOR, 2007)	20
FIGURA 9. TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (UACH-CONAFOR, 2007).....	21
FIGURA 10. TIPOS DE CLIMA DE ACUERDO AL SISTEMA DE THORNTHWAITE MODIFICADO EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (UACH-CONAFOR, 2007).	23
FIGURA 11. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (INEGI, 2006)	27
FIGURA 12. ACUÍFEROS PRESENTES EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS	31
FIGURA 13. DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES DE SUELOS EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (INEGI, 2007)	37
FIGURA 14. DISTRIBUCIÓN DE LAS REGIONES BIOGEOGRÁFICAS EN MÉXICO	44
FIGURA 15. VEGETACIÓN Y USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.....	46
FIGURA 16. REGIONES NATURALES DE MÉXICO (ALVAREZ Y DE LACHICA, 1991).....	51
FIGURA 17. CLASES FAUNÍSTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS	53
FIGURA 18. USOS DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS	55
FIGURA 19. TIPOS DE DEGRADACIÓN INDUCIDA POR EL HOMBRE (GLASSOD, 1997) EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS (SEMARNAT-CP, 2001).....	61
FIGURA 20. FAMILIA DE ESCENARIOS DE EMISIONES DEL IPCC (2001).....	66
FIGURA 21. ESCENARIOS GLOBALES DE CAMBIOS EN TEMPERATURA (IPCC, 2001).....	68
FIGURA 22. RANGOS DE CARBONO ORGÁNICO (%) EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS	95
FIGURA 23. CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (MG HA ⁻¹) PARA LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS.....	96
FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN DE RANGOS DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (%) EN EL DISTRITO DE RIEGO BAJO CONCHOS	97
FIGURA 25. DISTRIBUCIÓN DE RANGOS DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (%) EN EL DISTRITO DE RIEGO CIUDAD DELICIAS.	98
FIGURA 26. DISTRIBUCIÓN DE RANGOS DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (%) EN EL DISTRITO DE RIEGO RÍO FLORIDO.	98
FIGURA 27. DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO (MG HA ⁻¹) EN EL DISTRITO DE RIEGO BAJO CONCHOS.....	100
FIGURA 28. DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (MG HA ⁻¹) EN EL DISTRITO DE RIEGO CIUDAD DELICIAS.	100

FIGURA 29. DISTRIBUCIÓN DE CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (MG HA ⁻¹) EN EL DISTRITO DE RIEGO RÍO FLORIDO.	101
FIGURA 30. ANOMALÍAS PARA TEMPERATURA (°C) EN COMPARACIÓN CON EL PERIODO 1961-1990 DE ACUERDO A DIFERENTES MODELOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA DIFERENTES AÑOS (2035-2065) EN LA REGIÓN DE ESTUDIO.	102
FIGURA 31. ANOMALÍAS PARA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (%) EN COMPARACIÓN CON EL PERIODO 1961-1990 DE ACUERDO A DIFERENTES MODELOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA DIFERENTES AÑOS (2035-2065) EN LA REGIÓN DE ESTUDIO.	102
FIGURA 32. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL 2050 SEGÚN ESCENARIO SOCIOECONÓMICO A2.....	105
FIGURA 33. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL 2050 SEGÚN ESCENARIO SOCIOECONÓMICO B2.	106
FIGURA 34. GRÁFICOS DE A) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL, B) PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, C) DÉFICIT MEDIO MENSUAL, D) EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA MENSUAL Y E) PERIODO DE CRECIMIENTO PARA LA ESTACIÓN LUÍS LEÓN (08049), PARA LOS PERIODOS: HASTA 1990, DESPUÉS DE 1990 Y TRES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.	114
FIGURA 35. GRÁFICOS DE A) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL, B) PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, C) DÉFICIT MEDIO MENSUAL, D) EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA MENSUAL Y E) PERIODO DE CRECIMIENTO PARA LA ESTACIÓN COYAMÉ (08037), PARA LOS PERIODOS: ANTES DE 1990, DESPUÉS DE 1990 Y TRES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.	115
FIGURA 36. GRÁFICOS DE A) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL, B) PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, C) DÉFICIT MEDIO MENSUAL, D) EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA MENSUAL Y E) PERIODO DE CRECIMIENTO PARA LA ESTACIÓN CANAL PRINCIPAL (08019), PARA LOS PERIODOS: ANTES DE 1990, DESPUÉS DE 1990 Y TRES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.	116
FIGURA 37. GRÁFICOS DE A) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL, B) PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, C) DÉFICIT MEDIO MENSUAL, D) EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA MENSUAL Y E) PERIODO DE CRECIMIENTO PARA LA ESTACIÓN SAUCILLO (08135), PARA LOS PERIODOS: ANTES DE 1990, DESPUÉS DE 1990 Y TRES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.	117
FIGURA 38. GRÁFICOS DE A) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL, B) PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, C) DÉFICIT MEDIO MENSUAL, D) EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA MENSUAL Y E) PERIODO DE CRECIMIENTO PARA LA ESTACIÓN CIUDAD JIMÉNEZ (08029), PARA LOS PERIODOS: ANTES DE 1990, DESPUÉS DE 1990 Y TRES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.	118
FIGURA 39. GRÁFICOS DE A) TEMPERATURA MEDIA MENSUAL, B) PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL, C) DÉFICIT MEDIO MENSUAL, D) EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA MENSUAL Y E) PERIODO DE CRECIMIENTO PARA LA ESTACIÓN HIDALGO DEL PARRAL (08078), PARA LOS PERIODOS: ANTES DE 1990, DESPUÉS DE 1990 Y TRES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.	119
FIGURA 40. ÁREAS DELIMITADAS CON AFLORACIÓN DE ESTRATOS ENDURECIDOS EN EL SITIO 1 DEL DISTRITO DE RIEGO DE CIUDAD DELICIAS DELIMITADAS EN LA IMAGEN LANDSAT MSS 1970.	125
FIGURA 41. ÁREAS DELIMITADAS CON AFLORACIÓN DE ESTRATOS ENDURECIDOS EN EL SITIO 1 DEL DISTRITO DE RIEGO DE CIUDAD DELICIAS DELIMITADAS EN LA IMAGEN LANDSAT MSS 1980.	125
FIGURA 42. ÁREAS DELIMITADAS CON AFLORACIÓN DE ESTRATOS ENDURECIDOS EN EL SITIO 1 DEL DISTRITO DE RIEGO DE CIUDAD DELICIAS DELIMITADAS EN LA IMAGEN LANDSAT MSS 1980.	126
FIGURA 43. ÁREAS DELIMITADAS CON AFLORACIÓN DE ESTRATOS ENDURECIDOS EN EL SITIO 1 DEL DISTRITO DE RIEGO DE CIUDAD DELICIAS DELIMITADAS EN LA IMAGEN LANDSAT MSS 1980.	126
FIGURA 44. ÁREAS DELIMITADAS CON AFLORACIÓN SALINA EN EL SITIO 1 DEL DISTRITO DE RIEGO DE CIUDAD DELICIAS DELIMITADAS EN LA IMAGEN LANDSAT MSS 1970.	129
FIGURA 45. ÁREAS DELIMITADAS CON AFLORACIÓN SALINA EN EL SITIO 1 DEL DISTRITO DE RIEGO DE CIUDAD DELICIAS DELIMITADAS EN LA IMAGEN LANDSAT MSS 1980.	130
FIGURA 46. ÁREAS DELIMITADAS CON AFLORACIÓN SALINA EN EL SITIO 1 DEL DISTRITO DE RIEGO DE CIUDAD DELICIAS DELIMITADAS EN LA IMAGEN LANDSAT TM 1990.	130
FIGURA 47. ÁREAS DELIMITADAS CON AFLORACIÓN SALINA EN EL SITIO 1 DEL DISTRITO DE RIEGO DE CIUDAD DELICIAS DELIMITADAS EN LA IMAGEN LANDSAT ETM+ 2000.	131

FIGURA 48. MAPA DE RANGOS DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA "R" PARA LA CUENCA.	135
FIGURA 49. RANGOS DEL FACTOR "K" EN LA CUENCA.....	136
FIGURA 50. FACTOR L Y S PARA LA CUENCA.	137
FIGURA 51. VALORES PARA EL FACTOR DE COBERTURA VEGETAL "C".....	138
FIGURA 52. PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL (IZQUIERDA) Y POTENCIAL (DERECHA) EN LA CUENCA.	139
FIGURA 53. REGIONES DEFINIDAS PARA VELOCIDAD DEL VIENTO.	139
FIGURA 54. VALORES DEL FACTOR C EN LA CUENCA.....	141
FIGURA 55. VALORES DEL FACTOR S EN LA CUENCA.	142
FIGURA 56. VALORES ASIGNADOS A LOS FACTORES V Y L EN LA CUENCA.....	143
FIGURA 57. PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN EÓLICA ACTUAL (IZQUIERDA) Y POTENCIAL (DERECHA) EN LA CUENCA.	144

CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RIO CONCHOS

1.1. LOCALIZACIÓN

La cuenca del Río Conchos es de gran importancia para el estado de Chihuahua ya que es la principal fuente de agua superficial en el estado.

Esta cuenca abarca desde la Sierra Madre Occidental en el oeste hasta la ciudad de Ojinaga en el noreste del estado. Se encuentra ubicada en la Región Hidrológica 24 Río Bravo, con una superficie de 71 143 km². Las coordenadas geográficas extremas son 26° 01' a 29° 55' de Latitud Norte y 104° 22' a 107° 45' de Longitud Oeste (Figura 1).

El cauce del Río Conchos nace en las partes altas de la Sierra Tarahumara y comprende la totalidad o partes de 39 municipios de Chihuahua y 6 del norte de Durango (Figura 1). El agua del Río Conchos es vital para las actividades productivas agrícolas e industriales que se realizan aguas abajo, así como por su aporte al caudal del Río Bravo. Además, el agua del Conchos es usada en el desarrollo de actividades ganaderas, mineras e industriales y abastece a los hogares de las ciudades más importantes del centro del estado, incluyendo la capital (INEGI, 1999).

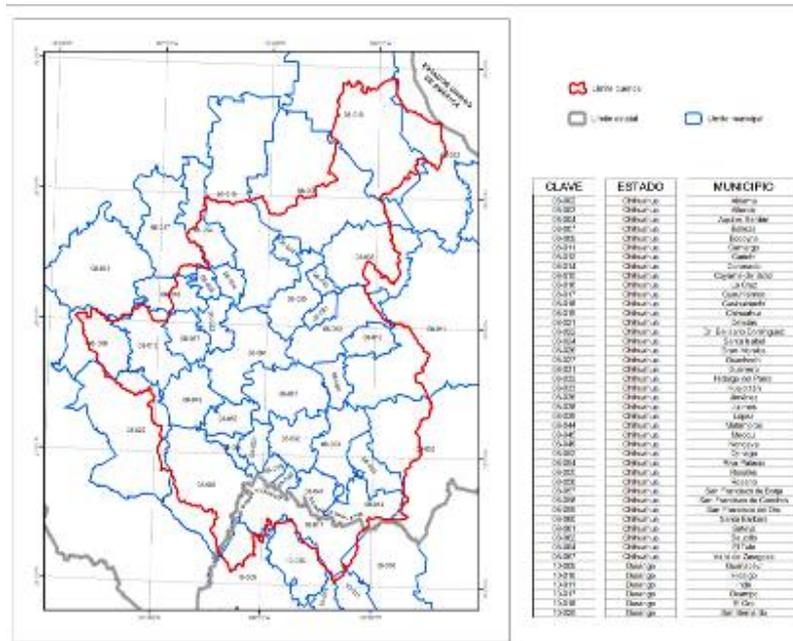


Figura 1 Localización de la cuenca del Río Conchos y municipios que comprende.

1.2. FISIOGRAFÍA

La cuenca del Río Conchos comprende áreas que corresponden a dos provincias fisiográficas del país (INEGI, 2001a): en el poniente la Provincia de la Sierra Madre Occidental y en la porción oriente la Provincia de Sierras y Llanuras del Norte (Figura 2).

La Sierra Madre Occidental es un sistema montañoso que se formó a partir de la extrusión a gran escala de los materiales volcánicos que la integran, cuyos espesores se calculan de 1,500 a 1800 m, y que cubren rocas sedimentarias más antiguas; todo esto tuvo su origen en el terciario inferior o medio. Predominan en este sistema rocas ácidas. La Sierra, hacia el occidente, muestra una escarpa (pendiente pronunciadas) imponente, mientras que hacia el oriente tiene un descenso gradual hasta las regiones llamadas del centro. Sobre el dorso central de la sierra que se levanta de 2,500 a 3,000 msnm.

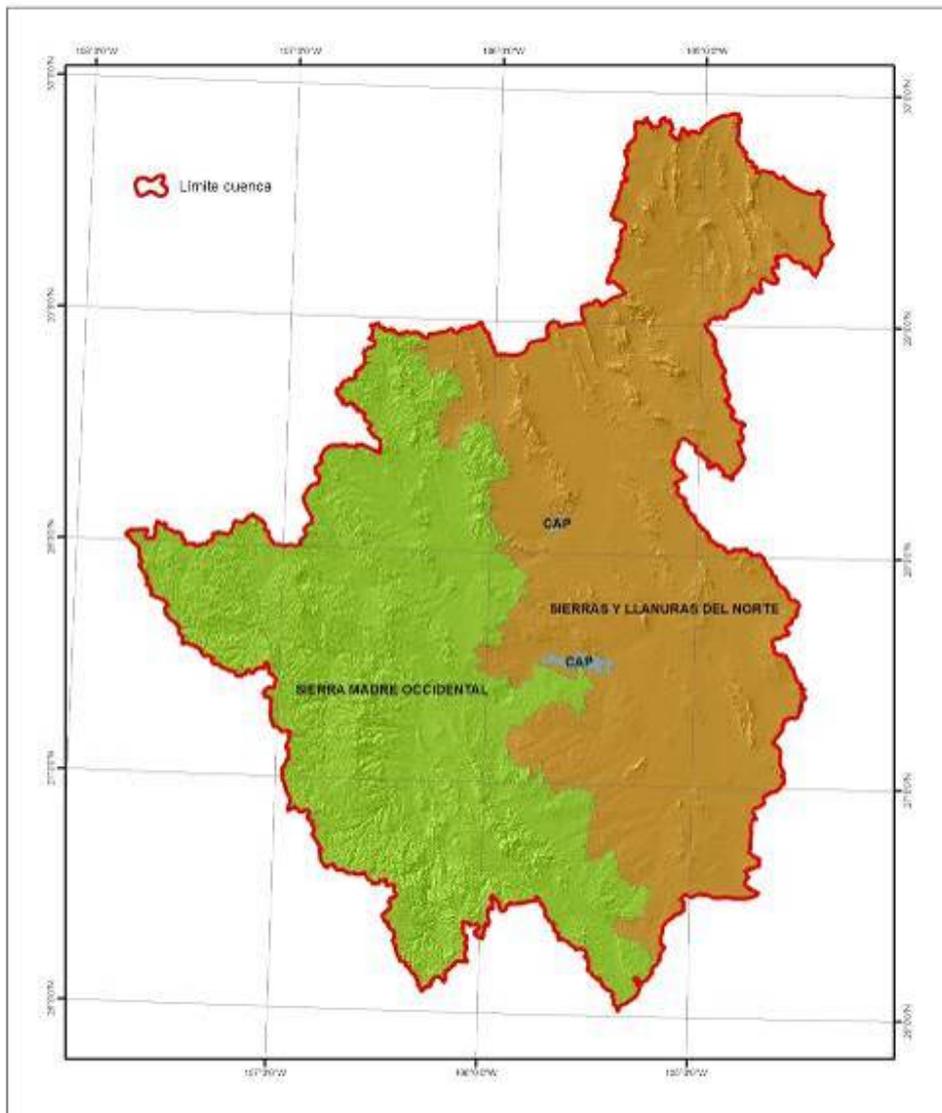


Figura 2 Provincias fisiográficas de la cuenca del Río Conchos.

Los materiales volcánicos se encuentran depositados en amplios mantos tendidos que forman las elevadas mesetas típicas de la provincia. Una particular conjunción de actividad tectónica, rasgos litológicos, distribución de fracturas y procesos erosivos hídricos, propició la excavación de cañones cuyos ejemplos más espectaculares se dan sobre la vertiente occidental de la sierra. Los sistemas de topoformas dominantes en toda la provincia son mesetas y mesetas asociadas con cañones. En la franja oriental

se tienen cadenas montañosas y valles de orientación noreste - suroeste, producto de los fallamientos que acompañan a los procesos de levantamiento durante el pleistoceno (INEGI,1999).

La Provincia de Sierras y Llanuras del Norte se caracteriza por un clima árido y semiárido, con sierras bajas y abruptas que se orientan burdamente de noroeste-sursureste y quedan separadas entre si por grandes bajadas y llanuras con relleno aluvial, a las que tradicionalmente se ha llamado “bolsones”.

La porción de la provincia de la Sierra Madre Occidental que comprende la cuenca del Río Conchos se encuentra subdividida en cuatro subprovincias y la porción de la Provincia de Sierras y Llanuras del Norte en tres. El Cuadro 1 y la Figura 3 muestran la superficie ocupada por las subprovincias fisiográficas en la cuenca.

Cuadro 1. Superficie ocupada por provincias y subprovincias fisiográficas de la cuenca del Río Conchos.

Provincia	Subprovincia	Superficie	
		Km ²	%
Sierra Madre Occidental	Sierras y Llanuras de Durango	16020.7	22.52
	Sierras Plegadas del Norte	10242.4	14.40
	Sierras y Llanuras Tarahumaras	2427.0	3.41
	Sierras y Cañadas del Norte	33.6	0.05
Sierras y Llanuras del Norte	Bolsón de Mapimí	20468.0	28.77
	Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses	14806.5	20.81
	Llanuras y Sierras Volcánicas	6968.6	9.80

Fuente: Elaboración de los autores a partir de INEGI (2001a)

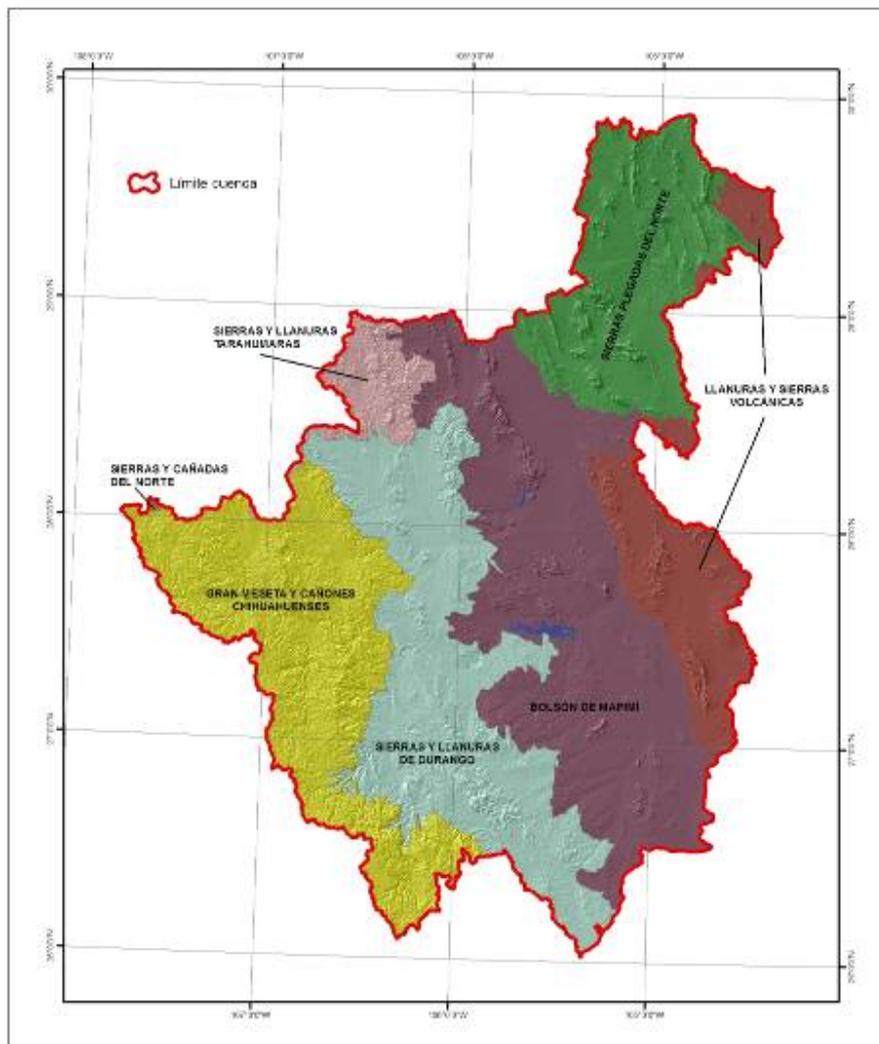
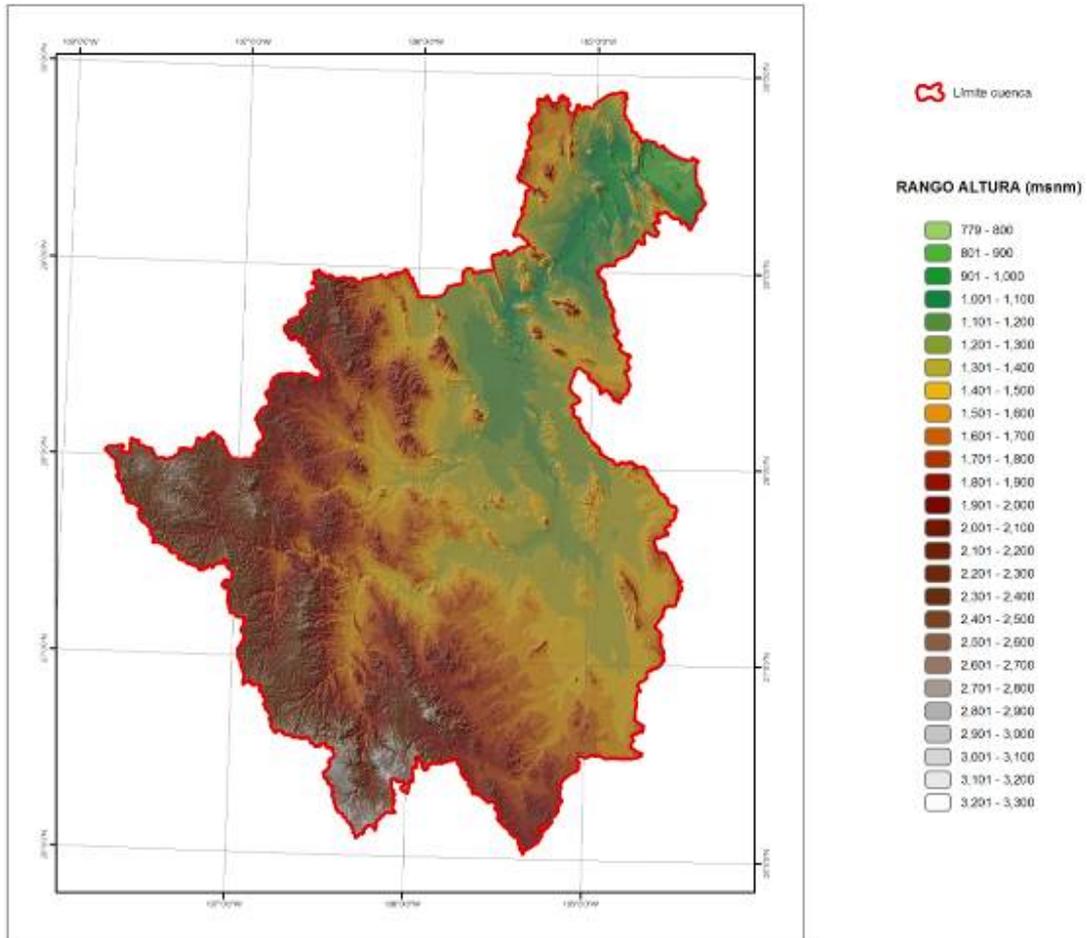


Figura 3. Subprovincias fisiográficas de la cuenca del Río Conchos (INEGI, 2001a)

Las topofomas presentes en la cuenca del Río Conchos se muestran en la Figura 4 y la superficie que cubren en el Cuadro 2. Las topofomas dominantes son bajadas, lomeríos y llanuras que cubren más del 50% de la superficie de la cuenca y van de la parte central de la cuenca hasta la unión con el Río Bravo.

La parte oeste y suroeste de la cuenca se caracteriza por una gran meseta con cañadas y corresponde a la zona con mayores alturas.

La altura máxima es de 3300 msnm y se tiene en el suroeste, la cota mínima es de 779 msnm y corresponde a la unión del Río Conchos con el Río Bravo en Ojinaga (Figura 5)



Los diferentes rangos de pendientes se muestran en la Figura 6 en donde se aprecia que la mayor parte de la Superficie de la Comunidad no es de relieve escarpado (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rangos de pendiente en la cuenca del Río Conchos

Rangos de pendiente (%)	Superficie Km ²	Proporción (%)
0-8	46572.6	65.46
8-16	12837.3	18.04
16-30	9773.2	13.74
30-60	1956.9	2.75
>60	2.8	0.004

Fuente: INEGI (2004) adaptado por los autores

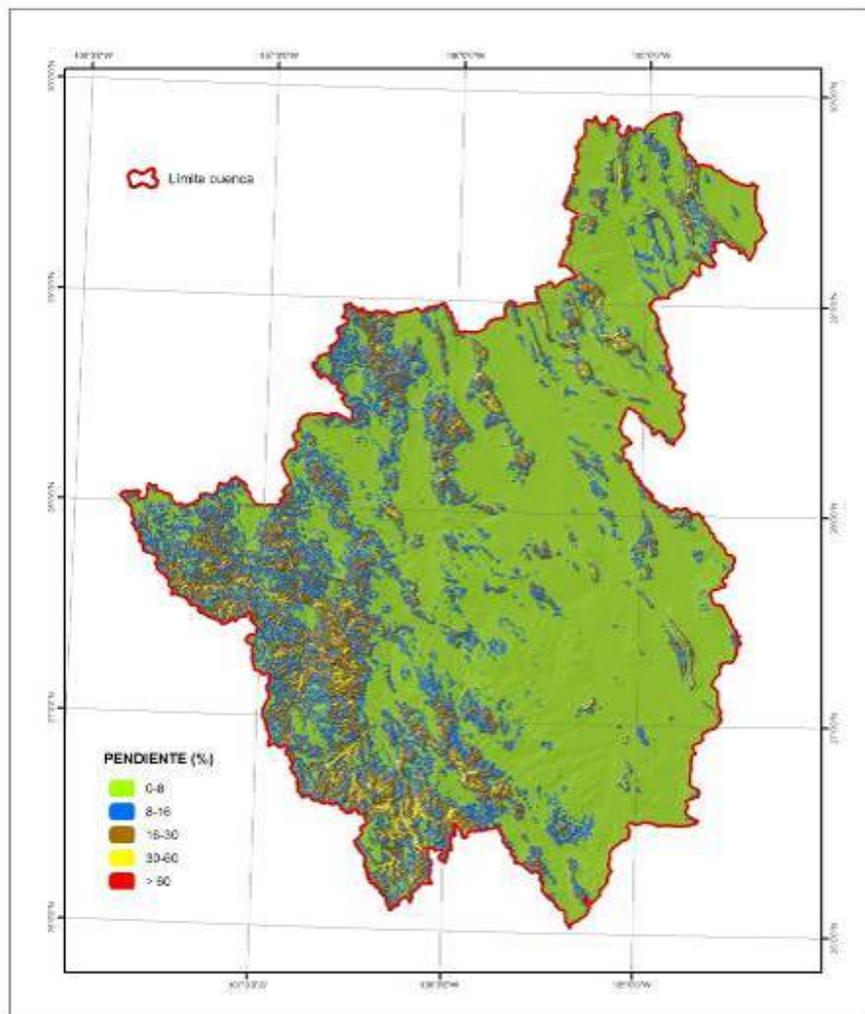


Figura 6. Rangos de pendiente en la cuenca del Río Conchos (INEGI, 2004)

1.3. GEOLOGÍA

En la cuenca del Río Conchos afloran rocas de origen ígneo, sedimentario y metamórfico, cuyas edades de formación comprenden desde el Paleozoico al Cuaternario, aunque algunos periodos sólo están representados en forma parcial (Cuadro 4).

Las rocas ígneas extrusivas son las más abundantes y se encuentran asociadas a la Gran Meseta con Cañadas de la parte occidental de la cuenca con mayores alturas. Estas rocas son del tipo ácido, que se formaron en la era Cenozoica y datan de unos 30 millones de años aproximadamente. Las rocas ígneas extrusivas ácidas son principalmente macizos riolíticos en los lomeríos y cantiles, y en las laderas y ondulaciones dominan las brechas volcánicas de porfidos riolíticos interestratificados con tobas ácidas (Figura 7).

Las rocas sedimentarias del terciario superior son del tipo conglomerado y se encuentran formando terrazas aluviales con depositación de materiales gruesos en los cauces de las corrientes fluviales.

En la parte baja de los valles y llanuras se tienen materiales aluviales del Cuaternario (menor a dos millones de años) como resultado del arrastre y depositación en las partes bajas de material suspendido en las corrientes fluviales.

Las rocas del Cretácico son predominantemente calizas y lutitas y se encuentran desde la parte central de la cuenca hasta la zona oriental. Las rocas metamórficas dominantes son mármol del terciario que se encuentra en el sur de la cuenca, así como pequeños afloramientos de mármol del Cretácico y del Jurásico y Gneiss del Cretácico.

Las Rocas más antiguas son sedimentarias representadas por lutitas y areniscas del Paleozoico, las cuales fueron depositadas en un ambiente de plataforma, algunas de

ellas tienen un grado bajo de metamorfismo (INEGI, 2002) y se ubican en la región noroeste de la cuenca.

Cuadro 4. Geología de la cuenca del Río Conchos.

Cronoestratigrafía	Litología	Superficie	
		Km ²	%
Cuaternario	Rocas Sedimentarias	1896.9	2.67
	Suelo	17765.7	24.97
Terciario	Rocas Ígneas intrusitas	164.6	0.23
	Rocas Ígneas extrusivas	2708.1	38.07
	Rocas Sedimentarias	15240.3	21.42
	Rocas Metamórficas	8.6	0.01
Cretácico	Rocas Ígneas intrusitas	11.9	0.02
	Rocas Sedimentarias	8115.2	11.41
	Rocas Metamórficas	2.3	0.01
Jurásico	Rocas Ígneas intrusitas	66.8	0.09
	Rocas Sedimentarias	89.7	0.13
	Rocas Metamórficas	2.3	0.01
Paleozoico	Rocas Sedimentarias	227.1	0.32

Fuente: Elaboración de los autores a partir de INEGI (2002)

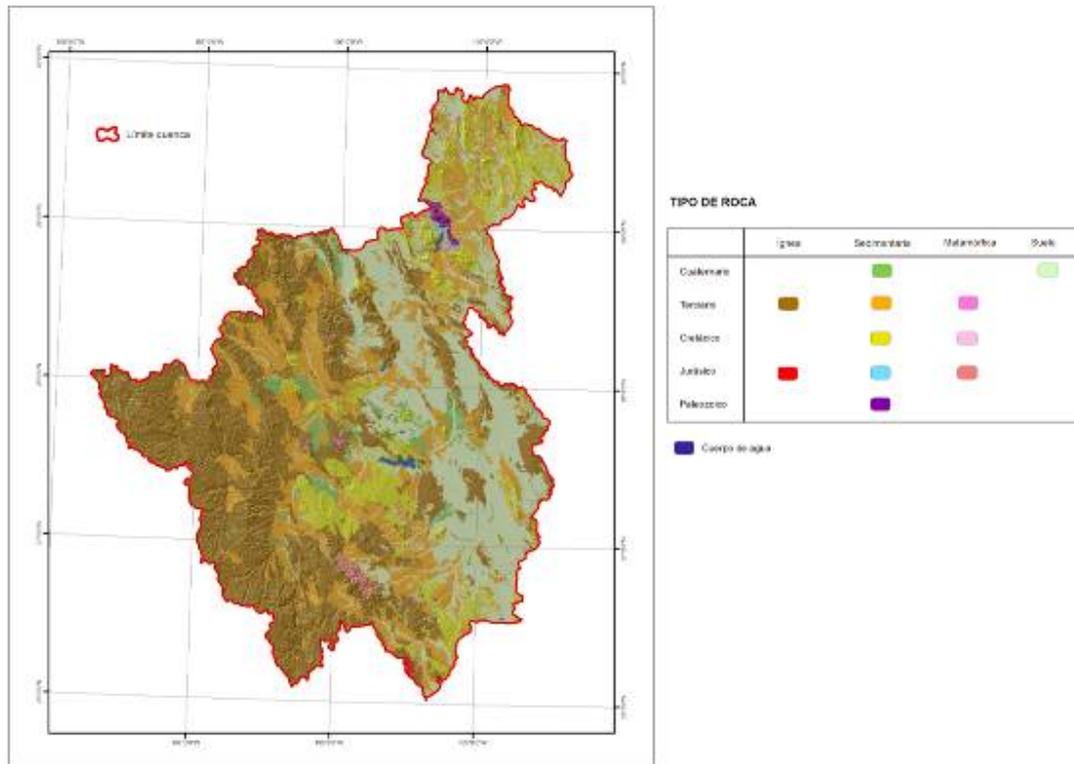


Figura 7. Distribución de los tipos de roca en la cuenca del Río Conchos (INEGI, 2002)

1.4. CLIMA

1.4.1 Sistema de Clasificación Climática de Thornthwaite modificado

Este sistema de clasificación climática incluye la aplicación del concepto del balance de agua, que consiste en la relación entre el agua aportada por la precipitación y la requerida por la vegetación en sus funciones de evaporación y transpiración. Esta basada en el segundo sistema del Dr. C.W. Thornthwaite publicado en 1948, el cual fue modificado por Dunne y Leopold en 1978. Este nuevo sistema considera en la clasificación climática conceptos como la eficiencia de los parámetros meteorológicos de precipitación y temperatura. La evaluación del primero se determina a través de un balance de humedad con la finalidad de establecer que tan seco o que tan húmedo es

el clima en relación con el crecimiento de las plantas. En la evaluación del segundo parámetro se estima que tan caliente o que tan frío es el clima para el crecimiento de las plantas (Monterroso y Gómez, 2003).

La eficiencia de la precipitación depende de la sequía o el déficit de agua para el crecimiento de las plantas y de las demasías de agua disponibles para el escurrimiento. Estos parámetros se calculan a través de un balance de humedad en el cual la precipitación se considera como la entrada de agua y la evapotranspiración potencial como el agua que aporta la superficie terrestre a la atmósfera bajo condiciones de disponibilidad de humedad en el suelo y con un determinado tipo de vegetación. Al final del balance de humedad la eficiencia de la precipitación se expresa en términos de déficit de agua para el crecimiento de las plantas y de demasías de agua disponibles para el escurrimiento, lo cual da origen a índices que se utilizan para la clasificación climática (Dunne y Leopold, 1978).

La influencia de la temperatura en la vegetación se expresa como la reacción de las plantas a la energía disponible, misma que es considerada como la evapotranspiración potencial anual, dado que este parámetro está directamente relacionado con el crecimiento y desarrollo de las plantas y se usa como el índice para determinar la eficiencia de la temperatura.

Esta metodología fue incorporada por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, en países afectados por sequía grave y desertificación, para estimar las zonas áridas y semiáridas con un mismo criterio, basados principalmente en que esta metodología proporciona un amplio detalle de los climas en cuanto a su nivel de humedad.

1.4.2 Clima de la cuenca del Río Conchos

Para la determinación del clima se partió de la delimitación detallada de precipitación y temperatura medias anuales y mensuales de la cuenca, de acuerdo a la metodología propuesta por Gómez y colaboradores (Gómez et al., 2007) a escala 1:250 000. En la Figura 8 se muestra el mapa de precipitación media anual y en la Figura 9 la temperatura media anual de la zona. La región con mayores precipitaciones se ubica al poniente, coincidiendo con las zonas altas de la Sierra Madre Occidental, con valores estimados de 1000 a 1200 mm anuales de lluvia, sin embargo más del 80% de la superficie tiene valores menores a 500 mm, con una porción importante con precipitación media anual de 200 a 300 mm que corresponden a la parte baja de la cuenca.

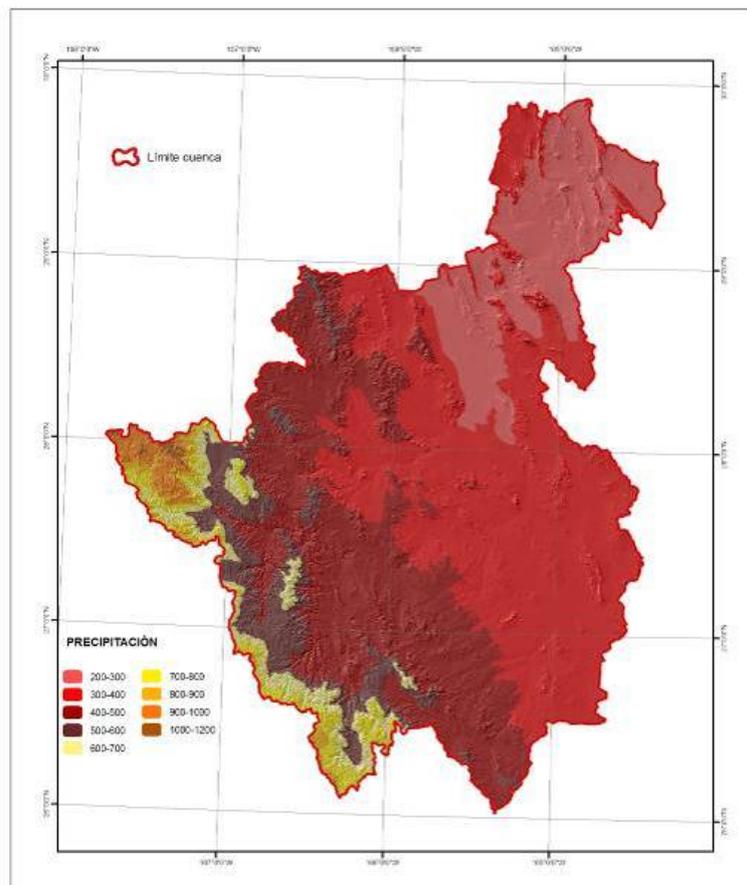


Figura 8. Precipitación media anual de la cuenca del Río Conchos (UACH-CONAFOR, 2007)

La temperatura media anual de la cuenca va de 9 a 10°C en las partes altas de la Gran Meseta con Cañones de la Sierra Madre Occidental en la región poniente a valores de 21 a 22°C en la zona de unión del Río Conchos con el Río Bravo (Figura 9).

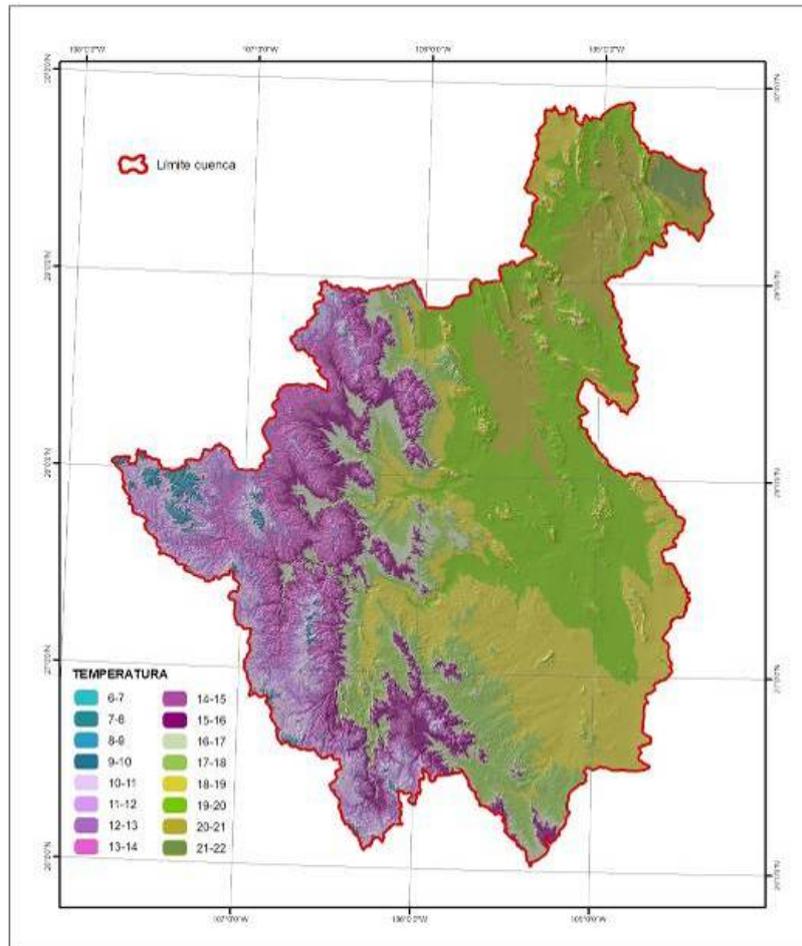


Figura 9. Temperatura media anual de la cuenca del Río Conchos (UACH-CONAFOR, 2007).

Esta variación en temperatura y precipitación conduce a una gran diversidad de climas que van del Perhúmedo al Semiárido seco como se muestra en el Cuadro 5. Cerca del 90% de la superficie se caracteriza por clima semiárido, correspondiendo el 50% al más seco de este tipo y con un régimen térmico mesotermal 4 que corresponde a los semicálidos del grupo de los cálidos.

Sólo 4% de la superficie se caracteriza por presentar climas húmedos, con una pequeña porción con clima perhúmedo semifrío que corresponde a las zonas altas de la porción más occidental de la cuenca (Figura 10).

Cuadro 5. Superficie ocupada por tipos de climas en la cuenca del Río Conchos.

Tipo Climático	Superficie Km²	Proporción (%)
(AC) Perhúmedo Microtermal (semifrío)	32.5	0.05
(BC) Húmedo Microtermal (semifrío)	203.5	0.3
(BB2) Húmedo Mesotermal (templado)	2627.3	3.7
(C2B2) Subhúmedo Húmedo Mesotermal (templado)	1928.9	2.7
(C1B2) Subhúmedo Seco Mesotermal (templado)	2579.0	3.6
(D3B2) Semiárido Húmedo Mesotermal (templado)	8191.2	11.5
(D2B2) Semiárido Moderado Mesotermal (templado)	14318.9	20.1
(D2B3) Semiárido Moderado Mesotermal (semicalido)	3207.2	4.5
(D1B2) Semiárido Seco Mesotermal (templado)	2305.5	3.2
(D1B4) Semiárido Seco Mesotermal (semicalido)	35748.1	50.2

Fuente: UACH-CONAFOR (2007) adaptado por los autores

1.5. HIDROLOGÍA

La cuenca del río Conchos es la principal fuente de agua superficial continental en el estado de Chihuahua, pertenece a la Región Hidrológica 24 (Río Bravo-Conchos) y a la región Hidrológica Administrativa VI (Frontera Norte). Provee de agua a la agricultura, acuicultura, ganadería, minería, industria y uso doméstico;

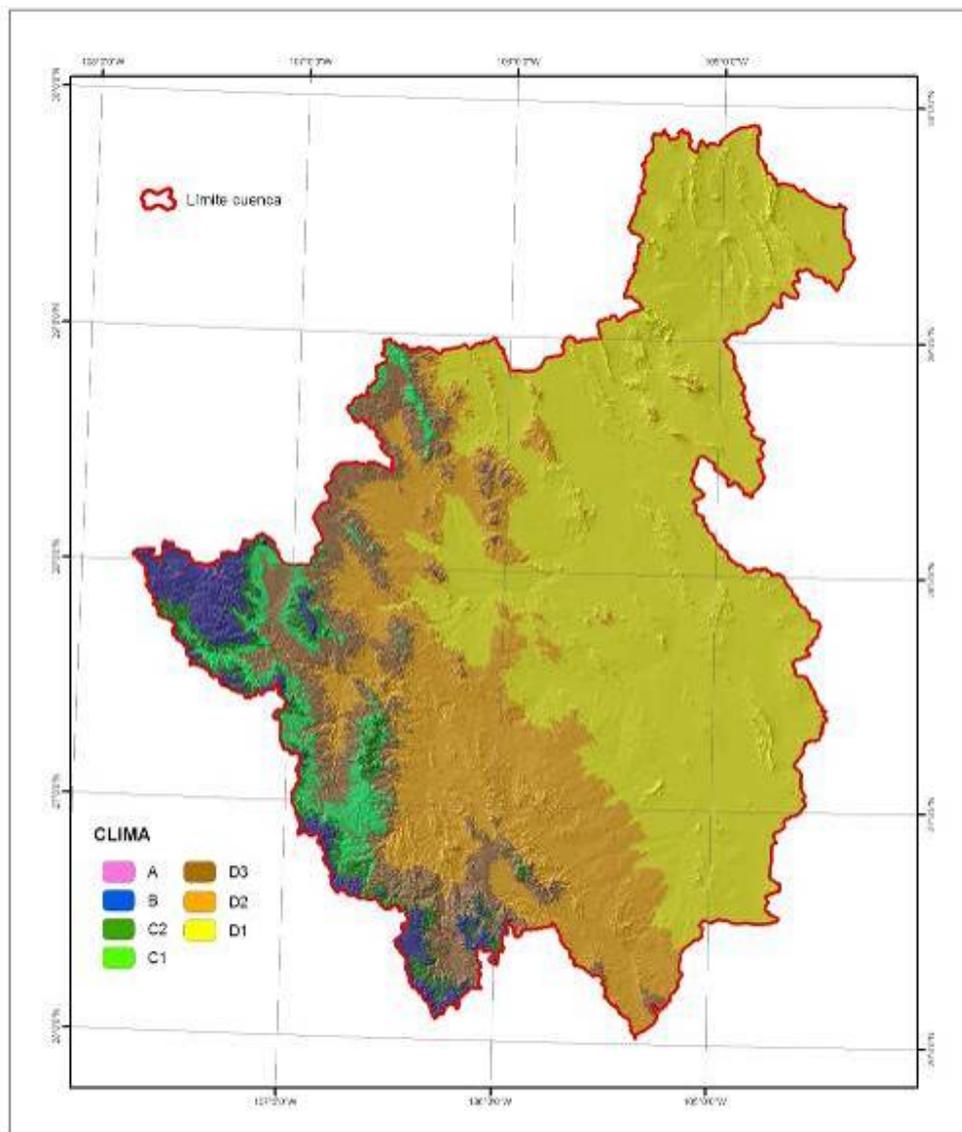


Figura 10. Tipos de clima de acuerdo al Sistema de Thornthwaite modificado en la cuenca del Río Conchos (UACH-CONAFOR, 2007).

sin embargo, debido a la modificación del entorno (sobreexplotación de agua, presas, desecación y deforestación), contaminación por agroquímicos, desechos industriales y aguas residuales, aunando a ello la presencia de especies introducidas, se encuentra catalogada como área prioritaria amenazada (CONABIO, 1998).

1.5.1 Hidrología superficial

El río Conchos pertenece a la red hidrográfica de la vertiente del océano atlántico, es afluente del río Bravo, el cual constituye el límite internacional entre México y Estados Unidos en la parte media e inferior de su curso. Nace en las montañas rocallosas a 4,000 m de altitud, en el centro de Estados Unidos y sigue una dirección general hacia el sureste hasta su desembocadura en el Golfo de México. El río Bravo descarga un volumen medio anual 12,135 millones de m³, de los cuales México aporta 5,810 millones. Entre sus afluentes en territorio mexicano más importantes están los ríos Conchos, Salado, Álamo y San Juan (Maderey y Carrillo, 2005).

La hidrología lítica (corrientes de agua) de la cuenca del río Conchos está conformada por una red de drenaje superficial que comprende diferentes cauces de los tipos perennes e intermitentes (Figura 11). Son 7 los ríos (Cuadro 6) que llevan agua todo el año que se reportan en la cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2006), de los cuales el río Conchos es el más largo y por ende el cauce principal de toda la cuenca, presenta una longitud de 627.5 km y nace en la zona de sotavento de los sistemas montañosos de la Sierra Madre Occidental en la parte oeste de la cuenca en el municipio de Bocoyna, Chihuahua a 2,672 m de altitud, realiza un recorrido pendiente abajo primero con dirección este por donde atraviesa a la presa La Boquilla y al llegar al municipio de Camargo cambia de curso hacia el norte hasta llegar a la presa Luis L. León en el municipio de Aldama, en donde posteriormente gira con dirección noreste hasta llegar a su desembocadura en el río Bravo con la frontera internacional con los Estados Unidos de América.

Cuadro 6. Corrientes perennes de la Cuenca del Río Conchos

Nombre	Longitud (km)
Conchos	627.5
Florido	246.9
San Pedro	178.5
Chuviscar	92.7
De Agujas	77.2
Del Valle de Allende	73.9
De Balleza	59.8
TOTAL	1357.5

Fuente: INEGI, 2006

El río Florido, que ocupa el segundo lugar en cuanto a longitud de cauce con 246.9 km, nace a los 2,194 msnm en el municipio de Ocampo en el estado de Durango y al igual que el río Conchos corre desde la Sierra Madre Occidental pero con dirección este-sureste, pasando la presa San Gabriel, ubicada en el mismo municipio, gira con dirección noreste y recibe el afluente del río del Valle de Allende a la altura del municipio de López en el estado de Chihuahua, a partir de ese punto y a 32.8 km de distancia, el río Florido cambia de rumbo hacia el noroeste y realizando un recorrido de 56 km llega finalmente a desembocar en el río Conchos en el municipio de Camargo, Chihuahua.

En la porción oeste, los principales tributarios del río Conchos son los denominados río San Pedro y río Chuviscar, éste último nace en el municipio de Riva Palacio, Chihuahua a una altura de 2,435 msnm, su recorrido es en su totalidad con dirección sureste en donde al llegar al municipio de Satevó se une al río San Pedro, éste último nace en el municipio de Carichí a 2,377 metros de altitud, su dirección inicial es hacia el este hasta llegar a la presa Francisco I. Madero en donde gira con dirección noreste en donde inicia un recorrido de 32.3 km aproximadamente hasta llegar al río Conchos en el municipio de Meoquí en el estado de Chihuahua.

La hidrología léntica (cuerpos de agua) de la cuenca del río Conchos está conformada por presas y bordos de agua. Cobran importancia por la superficie ocupada 3 presas principales conocidas como La Boquilla, Francisco I. Madero y la presa Luís L. León.

La presa La Boquilla, conocida también como “Lago toronto”, fue construida a principios del siglo pasado y es uno de los embalses más grandes en el estado de Chihuahua ya que a su nivel máximo ordinario cubre una superficie de alrededor de 18,000 hectáreas. La presa regula las aguas de los ríos Conchos como corriente principal y Nonoava y Balleza como secundarios, se ubica en los municipios de Valle de Zaragoza y San Francisco de Conchos a una altura de 1,265 msnm. Al construirse la presa su capacidad de almacenamiento era de 3,593.9 millones de m³ con una superficie cubierta de poco más de 18,000 hectáreas. La forma del vaso es de tipo alargado dendrítica con alrededor de 25 km de longitud por su parte más larga, 5 km en su parte más ancha y una profundidad máxima al formarse el vaso de 54 m aproximadamente. El objetivo principal de su construcción fue el de generar energía eléctrica, de tal manera que el 1916 se puso en servicio la planta hidroeléctrica, cuya capacidad de generación es de 25 Megawatts y, en 1929, se inició la construcción de un sistema de riego que coadyuvaría al desarrollo agrícola de la región; hasta 1999 las expectativas de riego eran de 87,900 hectáreas. Actualmente, merced a la introducción de algunas especies de peces de agua dulce por parte de las autoridades responsables del desarrollo pesquero del estado de Chihuahua y del país, se lleva a cabo un aprovechamiento acuícola-pesquero, además de contar con condiciones adecuadas para el desarrollo turístico propiciado por la pesca deportiva con base en la captura de lobina (COFEMERMIR, 2007).

La presa Francisco I. Madero, antes conocida con el nombre de “Las Vírgenes”, está destinada principalmente para abastecer las demandas del Distrito de Riego No. 005 (Cd. Delicias), ya que a través de los volúmenes almacenados en la presa La Boquilla, permite en forma conjunta, la irrigación de 80,000 hectáreas aproximadamente distribuidas en las Unidades Conchos y San Pedro que conforman el Distrito, así como

también a la regulación del régimen del río San Pedro. La presa se terminó de construir en el año de 1949, con una capacidad de conservación de 424 millones de m³ (Mm³), de los cuales 340 Mm³ se destinaron para riego, y los 84 Mm³ restantes, para la capacidad de azolves (CONAGUA, 2007a).

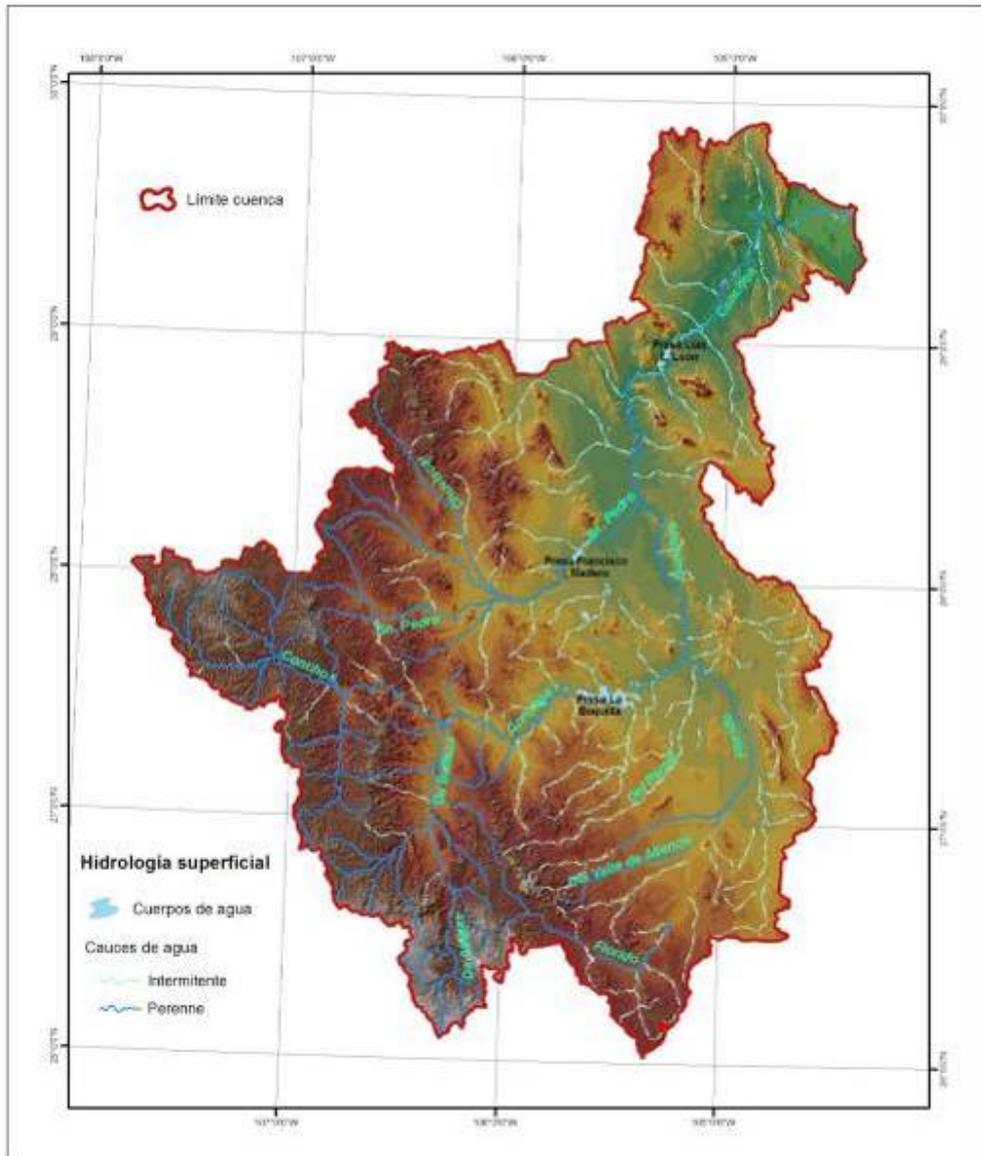


Figura 11. Hidrología superficial de la Cuenca del Río Conchos (INEGI, 2006)

Por su parte la presa Luís L. León, también conocida como “El Granero”, recibe los escurrimientos que se originan en el río Conchos, una vez que fueron aprovechados de forma parcial por los agricultores y algunos municipios existentes en la cuenca, así como de las aportaciones de sus tributarios al cauce desde la salida del Distrito de Riego 005 hasta dicho embalse. La presa empieza a operar en 1968 y el objetivo de su construcción fue ejercer un control de las avenidas que desembocan en el río Bravo, a la vez que posibilitaba su aprovechamiento para el riego de cultivos por los agricultores que usan el agua desde el embalse hasta la confluencia con el río Bravo. Su capacidad de almacenamiento es de 850 Mm³, de los cuales 90 Mm³ son para azolve, 500 Mm³ para control de avenidas y 260 Mm³ para irrigación agrícola. Desde el inicio de su operación se han realizado extracciones de ésta presa alrededor de 994.5 Mm³/año durante el periodo de 1968-1998 (Jiménez, 2004).

En el Cuadro 7 se presentan los datos que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007a) reporta de las tres presas antes descritas hasta el día 13 de Agosto de 2007.

Cuadro 7. Datos de tres presas en la Cuenca del Río Conchos

Presa	Día	Capacidad Muerta (Mm ³)	Capacidad Útil Diseño (Mm ³)	Elevación (msnm)	Variación Elevación (m)	Almac. Útil (Mm ³)	Variación Almac. (Mm ³)	Gasto Promedio (m ³ /s)	Extracciones (m ³ /s)
La Boquilla	06/08/07	129.7	2773.6	1312.7	0.37	2082.42	53.02	87.7	1.3
	13/08/07			1313.1		2135.4			16.3
Francisco I. Madero	06/08/07	5.30	242.7	1234.9	0.86	217.14	23.25	38.4	0.0
	13/08/07			1235.8		240.4			18.0
Luís L. León	06/08/07	40.0	316.0	1034.3	-0.02	240.9	-0.45	-0.74	20.8
	13/08/07			1034.3		240.4			20.8

Fuente: CONAGUA, 2007a

1.5.2 Hidrología subterránea

Maderey y Carrillo (2005) ubican a la cuenca del río Conchos en la Región Hidrogeológica denominada Cuencas Aluviales Centrales, las cuencas de dicha región están superficialmente cerradas y tienen un avenamiento interno, lo cual se había

presumido que era evidencia de tener un funcionamiento hidráulico subterráneo independiente entre una cuenca y otra. Usualmente se ha considerado que los macizos montañosos circundantes son fronteras impermeables; sin embargo, evidencias químicas y de geología estructural sugieren una comunicación hidráulica entre cuencas superficiales. La descarga natural subterránea de estas cuencas es hacia su parte más baja, donde la evaporación ejerce su efecto sobre un nivel freático muy cercano a la superficie del terreno. En muchos casos estas cuencas han sido desarrolladas para fines agrícolas e industriales por medio de pozos que al extraer el agua subterránea han reducido la salida por evaporación.

La superficie de la cuenca del río Conchos se extiende sobre 39 acuíferos reportados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2007b). Como se puede apreciar en el Cuadro 8 y la Figura 12, el acuífero denominado Alto Río San Pedro es el que ocupa la mayor extensión en la cuenca con 9,902.1 km² que corresponden al 13.9% del total de la superficie, se localiza en la porción centro-oeste de la cuenca en los municipios Chihuahuenses de Riva Palacio, Santa Isabel, Gran Morelos, Cusihuirachi, Dr. Belisario Domínguez, Satevó, Chihuahua, San Francisco de Borja, Nonoava, Valle de Zaragoza, Saucillo y Rosales. En segundo lugar se encuentra el acuífero Jiménez-Camargo ubicado en la parte sureste con una superficie de 9,908.4 km² (13.8%), los municipios que comprenden éste acuífero son Camargo, San Francisco de Conchos, Allende, Jiménez, López, Coronado y Matamoros. El tercer acuífero de importancia es el denominado Bajo Río Conchos el cuál ocupa una superficie de 8,473.7 hectáreas que corresponden al 11.9% del territorio total de la cuenca, se ubica en la región norte en donde se presentan las altitudes más bajas de toda la zona y comprende territorios de los municipios de Coyame del Sotol, Ojinaga, Aldama y Julimes.

Cuadro 8. Acuíferos presentes en la Cuenca del Río Conchos

Nombre	Superficie (km ²)	%	Nombre	Superficie (km ²)	%
ALTO RIO SAN PEDRO	9,902.1	13.9	CUAUHTEMOC	169.4	0.2
JIMÉNEZ-CAMARGO	9,808.4	13.8	GUERRERO-YEPOMERA	134.5	0.2
BAJO RIO CONCHOS	8,473.7	11.9	MATALOTES-EL ORO	129.6	0.2
BOCOYNA	7,059.0	9.9	LOS JUNCOS	106.4	0.1
CARICHI-NONOAVA	6,478.5	9.1	ESCALON	97.0	0.1
MEOQUI-DELICIAS	4,793.4	6.7	RIO FUERTE	92.9	0.1
VALLE DE ZARAGOZA	4,036.4	5.7	LAGUNA DE HORMIGAS	81.7	0.1
SAN FELIPE DE JESÚS	2,741.1	3.9	EL SAUZ-ENCINILLAS	80.4	0.1
POTRERO DEL LLANO	2,449.5	3.4	LAGUNA DE MEXICANOS	78.4	0.1
VILLALBA	1,901.0	2.7	RANCHO LA GLORIA	75.0	0.1
CHIHUAHUA-SACRAMENTO	1,876.0	2.6	VALLE DEL PESO	36.5	0.1
LLANO DE GIGANTES	1,721.7	2.4	ALDAMA-EL CUERVO	27.0	0.04
CABRERA-OCAMPO	1,591.0	2.2	ALAMO CHAPO	25.9	0.04
ALDAMA-SAN DIEGO	1,563.0	2.2	REVOLUCION	14.7	0.02
LAS PAMPAS	1,496.0	2.1	NACORI CHICO	14.5	0.02
PARRAL-VALLE DEL VERANO	1,455.1	2.0	LAGUNA EL DIABLO	7.3	0.01
PROVIDENCIA	843.4	1.2	CABRERA	2.1	0.003
TABALAOPA-ALDAMA	713.4	1.0	SAN FERMIN	0.3	0.0004
TORREON DE CAÑAS	615.7	0.9	LAGUNA TRES CASTILLOS	0.1	0.0001
RANCHO EL ASTILLERO	450.9	0.6			

Fuente: CONAGUA, 2007b

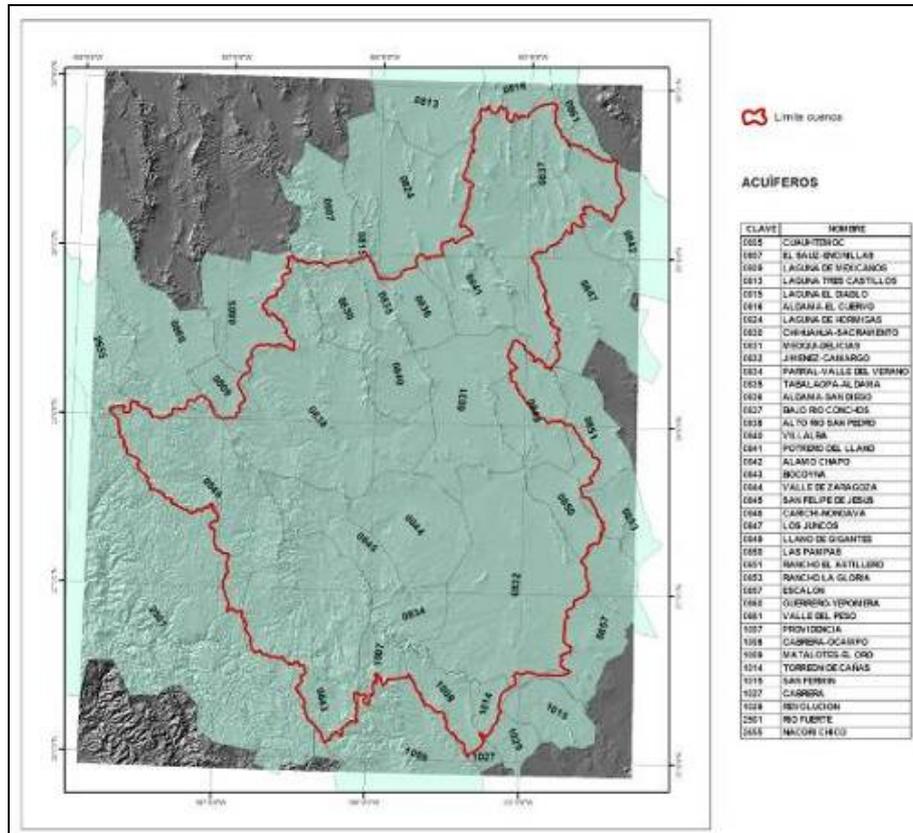


Figura 12. Acuíferos presentes en la Cuenca del Río Conchos (CONAGUA, 2007b)

1.5.3 Disponibilidad y usos del agua

Los usos del agua se dividen en consuntivos y no consuntivos. Los consuntivos son aquellos en los que el agua es transportada a su lugar de uso y la totalidad, o parte de ella, no regresa al cuerpo de agua. En los *usos consuntivos* una porción de agua se evapora o transpira, o es incorporada a los productos o cosechas, utilizada para el consumo humano o del ganado, o retirada de otra forma del ambiente acuático inmediato, por lo que una parte no vuelve a la corriente o a las aguas subterráneas justo después de ser usada. Los *usos no consuntivos* son aquellos en los que el agua se utiliza en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo, por lo que regresa al entorno inmediatamente después de haberse utilizado, aprovechado o explotado,

aunque, en ocasiones, regrese con cambios en sus características físicas, químicas o biológicas (Carabias y Landa, 2005)

Con base en lo reportado por Jiménez (2002), la cantidad disponible de agua en la cuenca del río Conchos es de 4,077 Mm³, considerando sus dos fuentes de abastecimiento: por un lado, 2,714 Mm³ provenientes de los escurrimientos superficiales vírgenes y 1,363 Mm³ de 17 depósitos subterráneos identificados. De éste volumen global disponible se aprovechan dentro de la cuenca 3,165.8 Mm³ (77.6%), de los cuales 1,672 se originan en las extracciones de los escurrimientos superficiales, 1,308 Mm³ en las extracciones de los acuíferos 185.8 Mm³ de retorno; el resto, alrededor de 900 Mm³ se vierten en su confluencia con el río Bravo. Las aguas extraídas de ambas fuentes se destinan principalmente para uso agrícola, 2,887 Mm³, equivalente al 71.4% del total disponible y al 91.2% del total aprovechado. Con mayor precisión, en el Cuadro 9 se observan los diferentes usos del agua en la cuenca por cada una de sus fuentes.

Cuadro 9. Usos del agua en la Cuenca del Río Conchos

Usos	Fuente			Total (Mm ³ /año)	%
	Superficial (Mm ³ /año)	Subterráneo (Mm ³ /año)	Retorno (Mm ³ /año)		
Consuntivo					
Doméstico	28.0	172.0	-	200.0	6.3
Industrial	1.0	23.8	-	24.8	0.08
Agrícola	1,640.0	1,061.2	185.8	2,887.0	91.2
Minería	-	4.0	-	4.0	0.15
Pecuario	3.0	22.6	-	25.6	0.8
Comercial	-	11.0	-	11.0	0.3
No Consuntivos					
E. Eléctrica	-	12.5	-	12.5	0.04
Turismo	-	0.9	-	0.9	0.05

Fuente: Jiménez, 2002

En la cuenca del río Conchos el aprovechamiento del agua con fines agrícolas se realiza en las Unidades de Riego para el Desarrollo Rural (URDERALES) y en los Distritos de Riego (DR), utilizándose en los primeros alrededor de 42.1% del volumen aprovechado, mientras que en los DR el 57.9% restantes como se observa en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Volúmenes y superficies de riego agrícola

	Volumen Utilizado (Mm ³)				Superficie Agrícola (ha)	
	Pozos profundos	Escurremientos superficiales	Total	%	Total	%
URDERALES	880.0	283.0	1,163.0	42.1	132,588.0*	58.2
DR	282.0	1,315.0	1,597.0	57.9	95,124.0	41.8
Total	1,162.0	1,598.0	2,760.0	100	227,712.0	100

* Superficie proyectada

Fuente: Jiménez, 2002

1.6. EDAFOLOGÍA

El suelo es la parte exterior de la corteza terrestre en donde las rocas se han desintegrado por efecto del intemperismo, formando una cubierta en la que vive una microbiota, una flora y una fauna microbiana, que actuando como un verdadero laboratorio transforman el materia mineral y orgánico en alimento para las plantas, para que puedan ser utilizadas posteriormente por los animales y seres humanos. Es decir, el suelo es el recurso natural que, unido al agua en forma de lluvia o corrientes, permiten el establecimiento de las actividades forestales, ganaderas y agrícolas. Así, el suelo se interpreta como el resultado de la interacción del clima, la roca madre, el drenaje, la topografía, los microorganismos y la vegetación a lo largo del tiempo (González, 2004).

1.6.1. Tipos de suelos

Dentro del territorio de la cuenca del Río Conchos, el INEGI (2007) identifica 17 unidades de suelo de acuerdo al Sistema del World Referente Base for Soil Resources (1999) (Cuadro 11). La distribución de los distintos tipos de suelos se muestran en la Figura 13.

Los Leptosoles son los suelos dominantes con poco más del 30% de la superficie de la cuenca y aunque se encuentran distribuidos en toda la zona de estudio, se concentran en la porción occidental, asociados con áreas de la Gran Meseta con Cañadas, en los lomeríos y con la mayoría de las sierras. Los Calcisoles ocupan cerca del 21% de la superficie, asociados con las llanuras y bajadas principalmente, poco más de la mitad de ellos presentan alto contenido de grava y fragmentos gruesos. Los suelos con un horizonte superficial oscuro y alto contenido de materia orgánica, constituyen cerca del 20 %, siendo los Feozems los más comunes con 13%, seguidos de los Kastañozems con 3%, los Chernozems con cerca del 3% y los Umbrisoles con menos del 1%. Una proporción importante de estos suelos son pedregosos, estos suelos se encuentran asociados en buena medida con la zona de pastizales y con el bosque de encino, que se concentran en la zona con más de 400 mm de precipitación.

Los Regosoles representan cerca del 11% y se encuentran distribuidos en toda la cuenca, desde las áreas más húmedas a las más secas. También cerca del 50% de estos suelos son pedregosos y los de las zonas secas presentan altos contenidos de carbonatos de calcio.

Cerca del 5% son suelos con altos contenidos de sales y/o sodio, y se encuentra ubicados en las partes bajas de las llanuras en las áreas con agricultura de riego, de estos los Solonets y Solonchaks cubren menos del 1% del total de la cuenca.

Los Luvisoles representan un poco más del 8% y se ubican en las áreas de la gran meseta con cañadas y en las sierras, principalmente sobre rocas ígneas extrusivas del terciario.

Cuadro 11. Superficie ocupada por tipo de suelos de acuerdo a la WRB (1999) en la cuenca del Río Conchos

Unidad	Subunidad	Superficie		
		Km ²	%	
Arenosol	Arenosol vérmico hiposódico	30.8	0.04	
Chernozem	Chernozem cálcico	475.8	0.67	
	Chernozem háplico	94.3	0.13	
	Chernozem húmico	50.8	0.07	
	Chernozem lúvico	752.1	1.06	
	Chernozem calcárico	503.1	0.71	
Calcisol	Calcisol arídico	596.1	0.84	
	Calcisol háplico	1369.4	1.92	
	Calcisol húmico	210.1	0.30	
	Calcisol léptico	80.8	0.11	
	Calcisol lúvico	2455.8	3.45	
	Calcisol pétrico	1205.1	1.69	
	Calcisol esquelético	6671.7	9.38	
	Calcisol sódico	497.6	0.70	
	Calcisol sálico	337.1	0.47	
	Calcisol vértico	121.7	0.17	
	Calcisol yérmico	1732.5	2.44	
	Cambisol	Cambisol calcárico	149.1	0.21
		Cambisol crómico	452.6	0.64
Cambisol dístrico		138.1	0.19	
Cambisol eútrico		373.0	0.52	
Cambisol esquelético		557.0	0.78	
Cambisol yérmico		181.8	0.26	
Durisol	Durisol crómico	308.8	0.43	
	Durisol lúvico	185.6	0.26	
	Durisol pétrico	221.1	0.31	
Fluvisol	Fluvisol arídico	101.8	0.14	
	Fluvisol calcárico	121.9	0.17	
	Fluvisol eútrico	170.5	0.24	
	Fluvisol esquelético	425.2	0.60	
Gypsisol	Gypsisol calcárico	292.1	0.41	
	Gypsisol esquelético	59.8	0.08	
Kastañosem	Kastañosem cálcico	242.2	0.34	
	Kastañosem crómico	78.0	0.11	
	Kastañosem háplico	80.8	0.11	
	Kastañosem húmico	111.8	0.16	
	Kastañosem lúvico	1351.9	1.90	
	Kastañosem petrocálcico	145.2	0.20	
	Kastañosem esquelético	321.3	0.45	
Leptosol	Leptosol calcárico	4817.9	6.77	
	Leptosol dístrico	824.7	1.16	
	Leptosol eútrico	4563.6	6.41	
	Leptosol húmico	394.1	0.55	
	Leptosol mólico	5091.3	7.16	

Unidad	Subunidad	Superficie	
		Km ²	%
	Leptosol réndzico	2503.5	3.52
	Leptosol esquelético	3428.2	4.82
	Leptosol úmbrico	236.7	0.33
Luvisol	Luvisol álbrico	184.4	0.26
	Luvisol abruptico	876.0	1.23
	Luvisol cálcico	98.0	0.14
	Luvisol crómico	1631.0	2.29
	Luvisol háplico	224.0	0.31
	Luvisol húmico	403.8	0.57
	Luvisol léptico	17.4	0.02
	Luvisol esquelético	1598.5	2.25
	Luvisol sódico	193.7	0.27
	Luvisol sálico	135.3	0.19
	Luvisol úmbrico	182.6	0.26
	Luvisol vértico	265.6	0.37
	Feozem	Feozem abruptico	365.8
Feozem calcárico		782.9	1.10
Feozem crómico		444.8	0.63
Feozem háplico		24.6	0.03
Feozem húmico		920.4	1.29
Feozem léptico		96.8	0.14
Feozem lúvico		2379.5	3.34
Feozem esquelético		4542.9	6.39
Planosol	Planosol lúvico	13.3	0.02
Regosol	Regosol arídico	70.5	0.10
	Regosol calcárico	1497.3	2.10
	Regosol dístrico	574.9	0.81
	Regosol eútrico	1324.4	1.86
	Regosol húmico	208.4	0.29
	Regosol esquelético	3457.7	4.86
Regosol sódico	879.5	1.24	
Solonchak	Solonchak arídico	5.1	0.01
Solonetz	Solonetz alcálico	57.8	0.08
	Solonetz cálcico	62.6	0.09
	Solonetz sálico	84.6	0.12
Umbrisol	Umbrisol esquelético	171.1	0.24
Vertisol	Vertisol cálcico	211.5	0.30
	Vertisol calcárico	718.7	1.01
	Vertisol crómico sálico	84.8	0.12
	Vertisol húmico	129.1	0.18
	Vertisol másico	460.0	0.65
	Vertisol nátrico	2.8	0.00
	Vertisol esquelético	10.4	0.01
	Vertisol sódico	368.4	0.52
Vertisol sálico	134.6	0.19	

Fuente: INEGI (2007)

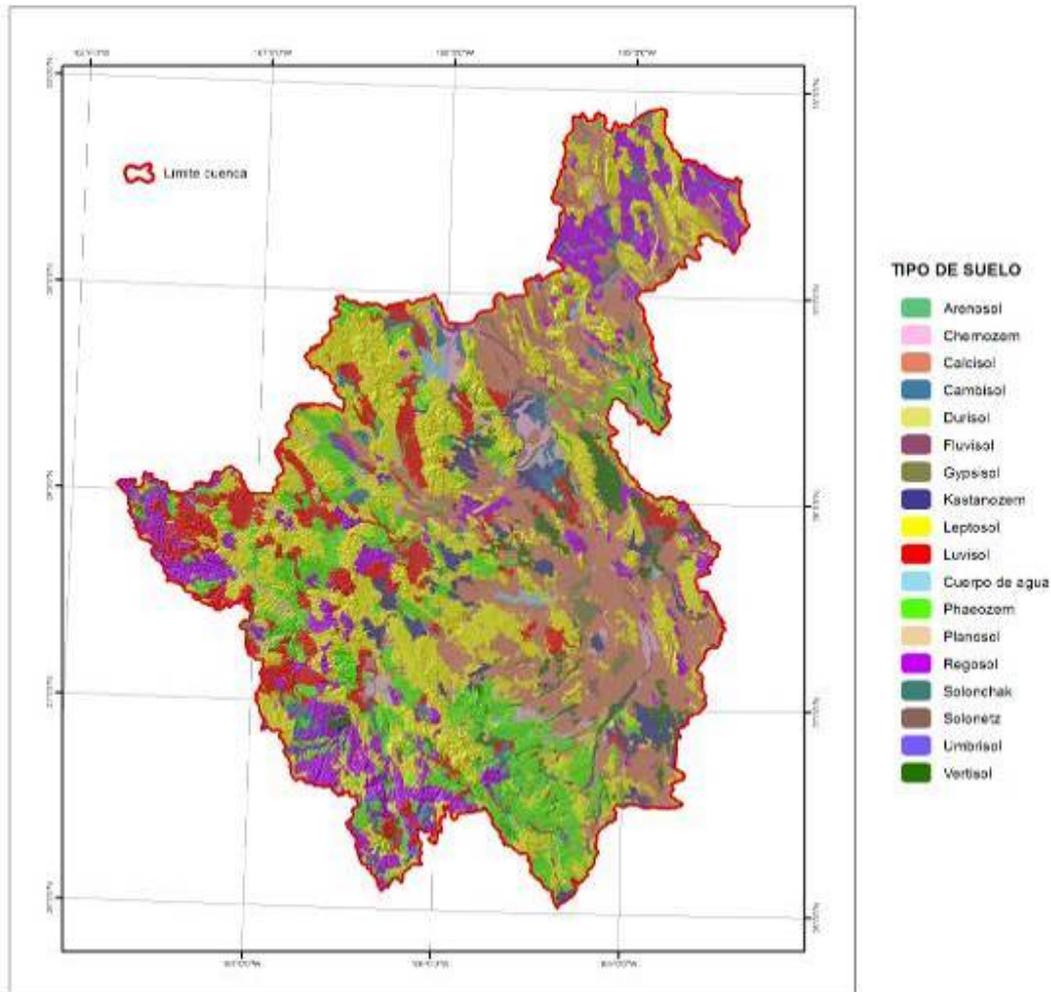


Figura 13. Distribución de las Unidades de Suelos en la cuenca del Río Conchos (INEGI, 2007)

1.6.2 Descripción de tipos de suelos

Arenosoles

Suelos de textura gruesa, con más del 65% de arena al menos en el primer metro de profundidad. Dentro de la cuenca representan menos del 1% y son del tipo vérmico hiposódico.

Son suelos con una alta permeabilidad pero muy baja capacidad para retener agua y almacenar nutrientes. La susceptibilidad a la erosión eólica es alta. Los suelos particulares de la cuenca tienen una fertilidad muy baja y por el alto contenido de sodio presentan serias restricciones para el desarrollo de la mayoría de los cultivos

Chernozems

Son suelos que sobrepasan comúnmente los 80 cm de profundidad y se caracterizan por presentar una capa superior de color negro, rica en materia orgánica y nutrientes; presentan concentración de carbonatos a partir de los 50 cm que puede estar en forma de caliche suelto o ligeramente cementado. Las subunidades presentes en la cuenca son en orden de importancia por su cobertura los Chernozems lúvicos con poco más de 1%, los calcáricos y cálcicos que representan juntos cercas del 1.5% y en porciones pequeñas los háplicos y los húmicos.

Son suelos fértiles y cuando tienen una profundidad superior al metro y con disponibilidad de humedad, las especies vegetales se desarrollan adecuadamente.

Calcisoles

Suelos con acumulación de carbonatos de calcio secundarios que representan más del 15 % de la fracción fina, son suelos generalmente de colores claros que van del blanco a grises claros y desarrollados en climas secos. Las principales subunidades presentes en la cuenca son los Calcisoles esqueléticos con cercas del 10%, seguido de los lúvicos con 3.5%, los yémicos con 2.5%, háplicos 2%, petrocálcicos 2%, arídicos 1%, sódicos 0.7% y sálicos 0.5%.

El alto contenido de carbonato de calcio representa una limitante para el desarrollo de las plantas, por lo que su vegetación característica es del tipo de matorrales, pastos e incluso vegetación halófitas.

Cambisoles

Son suelos poco desarrollados y se caracterizan por presentar una capa superficial normalmente de colores claros y su rasgo distintivo es que la capa subsuperficial presenta normalmente una acumulación de arcilla que se formó por el intemperismo del material parental y ha desarrollado color y estructura distintos al material original. Las principales subunidades presentes en la cuenca son los Cambisoles esqueléticos con cercas del 1%, seguidos por los crómicos, últicos, yérmicos y los calcáricos, todos ellos con menos del 1%.

Su fertilidad natural es intermedia y dependiendo de su profundidad y textura presentan condiciones favorables para el desarrollo de la vegetación arbórea y herbácea.

Durisoles

Son suelos con un horizonte cementado por sílice a menos de 1 m de profundidad; esta capa cuando se presenta cerca de la superficie representa una seria limitante para el desarrollo de las raíces y de la infiltración del agua. Las principales subunidades presentes en la cuenca son los Durisoles crómicos (0.4% de la superficie), los pétricos (0.3%) y los lúvicos (0.3%).

Su fertilidad natural es baja a intermedia, dependiendo de la profundidad a la que se presenta el horizonte cementado.

Fluvisoles

Suelos derivados de sedimentos aluviales que muestran estratificación en parte de su volumen en donde decrece irregularmente el contenido de materia orgánica. Son suelos regularmente profundos, aunque los presentes en la cuenca la mayoría son pedregosos del tipo Fluvisoles esqueléticos (0.6% de la superficie), seguidos de los eútricos, calcáricos y los arídicos con menos del 0.5% cada uno.

En general son suelos fértiles pero en la zona requieren riego para desarrollar su potencial productivo, generalmente se ubican en los márgenes de las corrientes superficiales.

Gypsisoles

Suelos con más de 15% de acumulaciones secundarias de yeso, normalmente se presentan en zonas áridas, son de colores pardos claros y con estructura masiva a laminar. Su distribución en la cuenca es reducida, y la subunidad más extendida es la de Gypsisoles cálcicos con menos de 0.5% seguida de la de esqueléticos con menos de 0.1%. En general los suelos en la zona son pedregosos y se encuentran asociados a los Calcisoles. Son suelos con baja fertilidad y con serias limitantes para el desarrollo de las plantas.

Kastañozems

Suelos cuya capa superficial es de color pardo o rojiza oscura, rica en materia orgánica y nutrientes; presentan concentración de carbonatos a partir de los 50 cm que puede estar en forma de caliche suelto o ligeramente cementado. Las subunidades presentes en la cuenca son en orden de importancia por su cobertura los Katañozems lúvicos con cercas del 2%, los esqueléticos con 0.5%, los calcáricos y cálcicos que representan juntos cercas del 0.5% y en proporciones cercanas a 0.1% los húmicos, háplicos y los crómicos.

Son suelos fértiles y cuando tienen una profundidad superior al metro y con disponibilidad de humedad, las especies vegetales se desarrollan adecuadamente.

Leptosoles

Estos suelos se caracterizan por tener una profundidad menor de 25 centímetros hasta la roca, tepetate o caliche duro. Las subunidades presentes en la cuenca son en orden de importancia por su cobertura los Leptosoles mólicos y los calcáricos con cercas del 7% cada uno, los eútricos con cerca de 6%, los esqueléticos con cercas de 5%, los

réndzicos con 3.5%, los dístricos con 1.6% y los húmicos y úmbricos con cerca del 0.5% cada uno.

El poco espesor de estos suelos es una limitante severa para el adecuado desarrollo de las especies vegetales, por lo que su productividad es reducida.

Luvisoles

Suelos bien desarrollados, con un horizonte subsuperficial de enriquecimiento de arcilla iluvial, con alta saturación de bases, son frecuentemente rojizos a amarillentos, aunque también presentan tonos pardos, que no llegan a ser oscuros. Las subunidades más ampliamente distribuidas en la cuenca son los Luvisoles crómicos y los esqueléticos con poco más de 2% cada uno, los abrupticos con 1.2%, los húmicos y vérticos con cercas de 0.5% cada uno, los háplicos, sódicos, álbicos úmbricos y los sálicos con cercas del 0.3% y los cálcicos y lépticos con menos de 0.1%.

Son suelos con una fertilidad natural media a alta y la mayoría con condiciones favorables para el desarrollo de las plantas.

Feozem

Son suelos cuya capa superficial es oscura y rica en materia orgánica y en nutrimentos; generalmente el subsuelo presenta acumulación de arcilla, aunque puede subyacer sobre material cementado o suelto. Las subunidades con mayor superficie en la cuenca son los Feozems esqueléticos con más de 6%, seguido de los lúvicos con más de 3%, los húmicos y los calcáricos con cerca de 1% cada uno, los crómicos y los abrupticos con cerca del 0.5% y los de menor cobertura los lépticos y los háplicos con menos de 0.1%.

Son suelos fértiles y cuando tienen una profundidad superior al metro y con disponibilidad de humedad, las especies vegetales se desarrollan adecuadamente.

Planosoles

Suelos con acumulación de arcilla en los horizontes subsuperficiales, con problemas de drenaje a menos de 1 m de profundidad y que en alguna época del año se inundan en su superficie. La subunidad reportada en la cuenca es la de los Planosoles lúvicos aunque su superficie es menor al 0.02%.

Son suelos con problemas para el desarrollo de varias especies vegetales, aunque pueden prosperar bien los pastos resistentes a las condiciones de mal drenaje.

Regosoles

Son suelos poco desarrollados, constituidos por material suelto, muy semejante a la roca de la cual se originó; la capa o estrato superficial es de color claro y con bajo contenido de materia orgánica. La subunidad con mayor superficie en la cuenca es la de los Regosoles esqueléticos con cerca de 5%, seguida de los calcáricos y eútricos con 2% cada uno, los sódicos y los dístricos con cerca de 1% cada uno y los lúvicos y arídicos con menos de 0.5% cada uno.

Su fertilidad natural normalmente es baja, excepto cuando su profundidad es considerable, entonces las especies forestales pueden desarrollarse adecuadamente si tienen un buen suministro de humedad.

Solonchaks

Suelo con alto contenido de sales que se acumularon de forma secundaria, por el mal drenaje o por el mal uso del riego; se presentan en las partes más bajas de los valles y llanos de las regiones secas del país. Generalmente tiene estructura porosa y cuando el suelo se seca, presenta acumulación de sales en la superficie y se llega a presentar una costra salina. La subunidad reportada en la cuenca es la de Solonchaks arídicos con una superficie muy limitada a menos de 0.01%.

Presentan fuertes limitantes para el desarrollo de los cultivos aunque es muy común que tengan vegetación halófila.

Solonetz

Suelos con alto contenido de sodio y acumulación de arcilla en el horizonte subsuperficial con estructura columnar o prismática con permeabilidad muy baja y reacción del suelo altamente alcalina, frecuentemente se presentan acumulación de sales en la superficie. Las subunidades reportadas en la cuenca son los Solonetz sálicos, cálcicos y los alcalinos con cercas de 0.1% cada uno.

Estos suelos se presentan en áreas con mal uso del agua de riego y con mal drenaje, presentan muy serias limitantes para el desarrollo de las plantas y su recuperación es difícil y costosa.

Umbrisoles

Suelos con un horizonte superficial de color oscuro y rico en materia orgánica, con reacción del suelo ácida y baja saturación de bases. La subunidad reportada para la cuenca es la de los Umbrisoles esqueléticos con poco más de 0.2%, los cuales se ubican en la zona más húmeda y con vegetación de bosque de pino. Son suelos en que este tipo de vegetación prospera bien.

Vertisoles

Suelos arcillosos con alto contenido de arcillas expandibles que se agrietan cuando secos, con una consistencia dura o muy dura cuando secos y adherentes cuando húmedos. Las subunidades dominantes son las calcáricas y cálcicas con poco más de 1% de la superficie de la cuenca, le siguen en importancia los másicos y sódicos con cercas del 0.5% cada uno, seguidos por los húmicos y los crómicos con cercas del 0.1% y finalmente los esqueléticos y los nítricos con menos del 0.1%.

En general son suelos fértiles aunque de difícil manejo y las subunidades presentes en la cuenca presentan serias limitantes para el establecimiento de cultivos.

1.7. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

1.7.1. Características Biológicas

La combinación de características topográficas, edáficas y climáticas condicionan la incidencia de las comunidades vegetales y a su vez a las poblaciones animales. Aunque la superficie de la República Mexicana solamente representa el 1.5% del área total de la masa continental mundial, se estima que cuenta con el 10% de las plantas y animales terrestres conocidos. Su flora se calcula entre 26,000 y 30,000 especies de plantas superiores, que lo coloca entre los países florísticamente más ricos del mundo, junto a Brasil, Colombia, China e Indonesia (González, 2004).

La cuenca del río Conchos se localiza en la región biogeográfica Neártica (Figura 14). La SEMARNAP (2000) define a las regiones biogeográficas como zonas en las que se divide a la superficie actual de la Tierra en función del origen de su flora y su faun. La región biogeográfica Neártica es la que hoy comprende casi todo el territorio de Norteamérica al norte de la Sierra Volcánica Transversal.

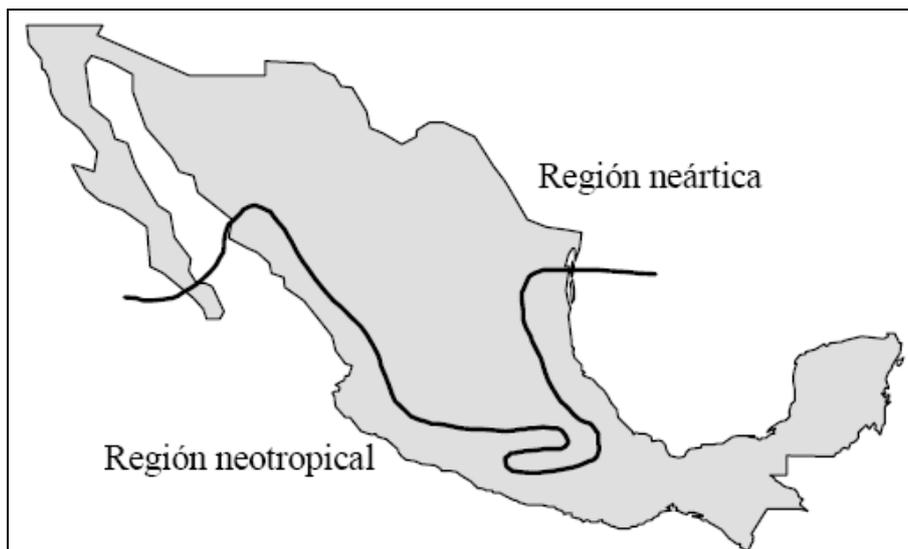


Figura 14. Distribución de las regiones biogeográficas en México (CONABIO, 1998)

1.7.2 Comunidades Vegetales

Por su ubicación geográfica, la cuenca del río Conchos pertenece a la región climática de zonas áridas y semiáridas de México, por lo que se esperaría que sus comunidades vegetales fuesen en su totalidad características de dichas zonas climáticas, sin embargo gracias a los sistemas montañosos que se ubican en las partes oeste, suroeste y sur de la cuenca, los cuales por efecto del enfriamiento del viento al elevarse producen lluvias que pueden sostener a comunidades de bosque de distintos tipos.

Debido a las condiciones topográficas, edáficas y climáticas previamente descritas, en la cuenca se presentan distintos tipos de comunidades vegetales (Figura 15).

Como se muestra en el Cuadro 12, el Inventario Nacional Forestal (SEMARNAT-UNAM, 2001) reporta como las más abundantes a los matorrales (desértico micrófilo y desértico rosetófilo) ocupando en su conjunto el 33.7% de la superficie de la cuenca, estos tipos de vegetación se presentan desde la parte baja de la cuenca hasta aproximadamente los 1,500 metros de altitud, generalmente en terrenos con una pendiente menor al 8%. Cervantes (2002) define a los matorrales como comunidades en las cuales predominan los arbustos y presentan numerosas variaciones tanto en fisonomía como en composición florística. El matorral desértico micrófilo se caracteriza por presentarse en las zonas áridas de los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí; la especie predominante es la gobernadora (*Larrea tridentata*). Por su parte el mismo autor define al matorral desértico rosetófilo como una comunidad que consiste en agrupaciones de plantas, cuyas hojas están dispuestas en roseta. Pueden ser de dos tipos principales: los magueyales, con predominio de plantas del género *Agave*, y los izotales, con predominio de los géneros *Yucca*, *Samuela*, *Beaucarnea* o *Nolina*.

Cuadro 12. Superficie por comunidad vegetal en la Cuenca del Río Conchos

Comunidad	Superficie Ocupada	
	km ²	%
Bosques	16,309.7	22.9
Chaparrales	203.3	0.3
Matorrales	23,947.3	33.7
Mezquiales	324.9	0.5
Pastizal y praderas	20,674.2	29.1
Otros*	2,306.3	3.2

* Vegetación de galería, vegetación halófila y gipsófila

Fuente: SEMARNAT-UNAM, 2001

Ocupando el 22.9% del territorio de la cuenca, los bosques son la tercera comunidad en importancia. Se distribuyen desde las partes bajas hasta las cimas de las montañas que pertenecen a la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental. Son dos los tipos de bosque que se desarrollan en las partes bajas y que generalmente se ubican en el ecotono con los pastizales y praderas, son los llamados bosque bajo-abierto y bosque de encino, su composición es menos densa que los bosques que se ubican en la parte alta y predominan las especies de encinos. CONAFOR (2007) define a estos tipos de vegetación de la siguiente forma:

Bosque bajo-abierto: Comunidad vegetal formada por árboles bajos de 4 a 8 metros de altura, por lo regular espaciados de tal forma que rara vez sus copas se llegan a juntar, quedando grandes espacios formados sobre todo por una capa de gramíneas. También se les conoce como pastizal con encino-enebro o “woodland”. Se localiza principalmente en la zona de transición que existe entre los pastizales y los bosques de encino, así como en lomeríos o en las bajadas de la Sierra Madre Occidental en su porción norte. Los árboles generalmente de copas redondeadas pueden ser de varias especies del género *Quercus* como *Q. grisea*, *Q. emory*, *Q. chihuahuensis*, *Q. santaclarensis*, *Q. cordifolia*; táscate o enebro *Juniperus* como *J. monosperma*, *J. flaccida* y piñoneros *Pinus cembroides*, además de los zacates *Bouteloua gracilis*, *B.*

hirsuta, *B. curtispindula* y otros como *Echeandia* spp., *Allium* spp., *Calochortus* spp., *Milla biflora*, *Agave* spp., *Opuntia* spp. y abundantes ciperáceas.

Bosque de Encino: Comunidad vegetal formada por diferentes especies (aproximadamente más de 200) de encinos o robles del género *Quercus*; estos bosques generalmente se encuentran como una transición entre los bosques de coníferas y las selvas, pueden alcanzar desde los 4 hasta los 30 metros de altura más o menos, abiertos o muy densos; se desarrollan en muy diversas condiciones ecológicas desde casi el nivel del mar hasta los 3,000 m de altitud, salvo en las condiciones más áridas, y se les puede encontrar en casi todo el país. En general este tipo de comunidad se encuentra muy relacionada con los de bosques pino, formando una serie de mosaicos difíciles de cartografiar dependiendo de la escala que se esté trabajando; con respecto a las características de distribución, tanto de encinos como de pinos, son muy similares. Las especies más comunes de estas comunidades son encino laurelillo (*Quercus laurina*), encino (*Q. magnoliifolia*), encino blanco (*Q. candicans*), roble (*Q. crassifolia*), encino quebracho (*Q. rugosa*), encino tesmilillo (*Q. crassipes*), encino cucharo (*Q. urbanii*), charrasquillo (*Q. microphylla*), encino colorado (*Q. castanea*), encino prieto (*Q. laeta*), laurelillo (*Q. mexicana*), *Q. glaucoides*, *Q. scytophylla* y en zona tropicales *Quercus oleoides*.

Por su parte los bosques de las zonas altas se conforman por 3 tipos: bosque de táscate, bosque de pino-encino y el bosque de pino; siendo más densos que los bosques bajos-abiertos y de encino, así también presentan doseles más altos y con un clima más templado y húmedo lo que los hace albergar a una flora y fauna más diversa y de cierto tipo. Las características generales de dichas comunidades vegetales se describen a continuación (CONAFOR, 2007):

Bosque de táscate: Son bosques formados por árboles escuamifolios (hojas en forma de escama) del género *Juniperus* a los que se les conoce como táscate, enebro o cedro, con una altura promedio de 8 a 15 metros en regiones subcálidas templadas y

semifrías, siempre en contacto con los bosques de encino, pino-encino, selva baja caducifolia y matorrales de zonas áridas. Las especies más comunes y de mayor distribución son *Juniperus flaccida*, *J. deppeana*, *J. monosperma* y algunas especies del género *Quercus* y *Pinus*. Estas comunidades por lo regular, se encuentran abiertas como consecuencia de las actividades forestales, agrícolas y pecuarias principalmente en el norte del país.

Bosque de pino-encino: Comunidad de bosque ampliamente distribuida que ocupa la mayor parte de la superficie forestal de las porciones superiores de los sistemas montañosos del país, la cual está compartida por las diferentes especies de pino (*Pinus* spp.) y encino (*Quercus* spp.); dependiendo del dominio de uno y otro, se le denomina pino-encino si predominan las coníferas y es llamado encino-pino cuando dominan los encinares. La transición del bosque de encino al de pino está determinada (en condiciones naturales) por el gradiente altitudinal. Estas mezclas son frecuentes y ocupan muchas condiciones de distribución. Algunas de las especies más comunes son pino chino (*Pinus leiophylla*), pino (*P. hartwegii*), ocote blanco (*P. montezumae*), pino lacio (*P. pseudostrobus*), pino (*P. rudis*), pino escobetón (*P. michoacana*), pino chino (*P. teocote*), ocote trompillo (*P. oocarpa*), pino ayacahuite (*P. ayacahuite*), pino (*P. pringlei*), *P. duranguensis*, *P. chihuahuana*, *P. engelmani*, *P. lawsoni*, *P. oaxacana*, encino laurelillo (*Quercus laurina*), encino (*Q. magnoliifolia*), encino blanco (*Q. candicans*), roble (*Q. crassifolia*), encino quebracho (*Q. rugosa*), encino tesmilillo (*Q. crassipes*), encino cucharo (*Q. urbanii*), charrasquillo (*Q. microphylla*), encino colorado (*Q. castanea*), encino prieto (*Q. laeta*), laurelillo (*Q. mexicana*), *Q. glaucoides*, y *Q. scytophylla*. El uso de estas comunidades es el forestal y comercial, suministran a la industria una variedad de materias primas de gran importancia económica como son pulpa para papel, celulosa, madera para la elaboración de varios productos, resina para la fabricación de brea, pinturas y aguarrás, además de proporcionar leña, madera para aserrío, para construcción, puntales, postes y durmientes.

Bosque de pino: Es una comunidad siempre verde constituida por árboles del género *Pinus*, de amplia distribución y con aproximadamente 49 especies, 18 variedades, 2 subespecies en las cadenas montañosas de todo el país desde los 300 m de altitud hasta los 4,200 m en el límite altitudinal de la vegetación arbórea. Estos bosques que se encuentran asociados con encinares y otras especies, son los de mayor importancia económica en la industria forestal del país por lo que prácticamente todos soportan actividades forestales como aserrío, resinación, obtención de pulpa para celulosa, postería y recolección de frutos y semillas. La vegetación está dominada por diferentes especies de pino con alturas promedio de 15 a 30 metros, los pinares tienen un estrato inferior relativamente pobre en arbustos, pero con abundantes gramíneas, esta condición se relaciona con los frecuentes incendios y la tala inmoderada. Las especies más comunes en México son pino chino (*Pinus leiophylla*), pino (*P. hartwegii*), ocote blanco (*P. montezumae*), pino lacio (*P. pseudostrobus*), pino (*P. rudis*), pino escobetón (*P. michoacana*), pino chino (*P. teocote*), ocote trompillo (*P. oocarpa*), pino ayacahuite (*P. ayacahuite*), pino (*P. pringlei*), *P. duranguensis*, *P. chihuahuana*, *P. engelmani*, *P. lawsoni*, *P. oaxacana*, entre otros.

El 4% de la superficie de la cuenca está ocupado por otras comunidades vegetales como son los chaparrales, mezquiales, la vegetación halófila y gipsófila, así como los bosques de galería que son comunidades arbóreas que se encuentran en los márgenes de los ríos o arroyos en condiciones de humedad favorables. Son frecuentes los bosques de galería formados por sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) en el norte del país, además de otras especies como sauces (*Salix spp.*), fresnos (*Fraxinus spp.*), álamos (*Populus spp.*), sicómoro aliso o álamo (*Platanus spp.*) y *Astianthus viminalis*.

1.7.3 Fauna

Alvarez y de Lachica (1991) ubican a la cuenca del río Conchos en la Región Natural Extratropical Seca (Figura 16), la cual está dividida en dos secciones por la Sierra Madre Occidental. Sin embargo, ambas secciones se continúan en el suroeste de los Estados Unidos de América. Por un lado comprende esta región casi toda la Baja California, Sonora y norte de Sinaloa, y por otro, el altiplano de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, noroeste de Tamaulipas, norte de Durango, Aguascalientes, Zacatecas y el noroeste de San Luis Potosí. La fauna de anfibios es pobre y se encuentra restringida a los depósitos temporales o permanentes de agua. Los reptiles son abundantes y variados, la mayoría de ellos de tamaño pequeño y de hábitos arenícolas. Las aves y mamíferos son en su mayoría de hábitos terrestres y con especiales adaptaciones para la economía del agua. Aunque las especies no son muy abundantes, el número de ejemplares en general es grande y, por la vegetación tan esparcida, se hacen muy conspicuos.

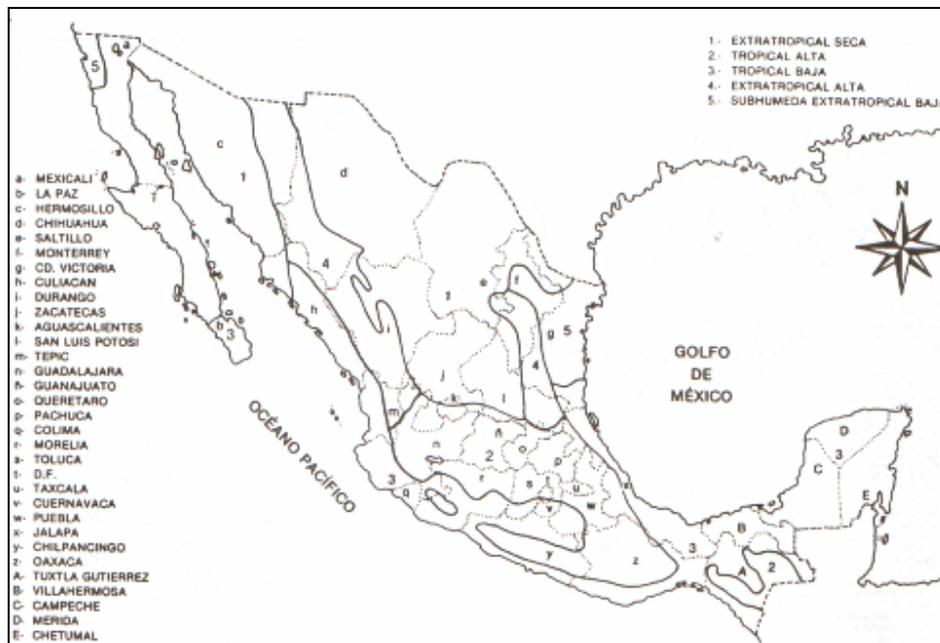


Figura 16. Regiones Naturales de México (Alvarez y de Lachica, 1991)

Los vertebrados que por su tamaño pueden considerarse como de interés etnozoológico son, entre los anfibios, los axolotes (*Ambystoma*) y ranas (*Rana*); entre los reptiles, las tortugas terrestres (*Gopherus*), y las dulceacuícola *Kinosternon* y *Amyda*. De las lagartijas y afines existen los escorpiones (*Heloderma*, y los géneros *Sauromalus* y *Dipsosaurus*). Las culebras son muy numerosas en variedad y número, destacando por su tamaño los géneros *Drymobius*, *Elaphae*, *Heterodon*, *Thamnophis* y gran variedad de víboras de cascabel (*Crotalus*). Entre las aves podemos encontrar al ansar (*Chen*); ganso (*Branta*); varias especies de patos (*Anas*); el pato chaparro (*Aythya*); el chillón (*Bucephala*); las codornices (*Lophortyx*) y la llamada zollin (*Callipepla*); la grulla (*Grus*); la gallareta (*Fulica*); las palomas llamadas huilotas (*Zenaidura*) y la de ala pinta (*Zenaida*).

Los mamíferos que pueden ser un recurso natural en esta región son las liebres (*Lepus*) y conejos (*Sylvilagus*) ambos con varias especies; las ardillas de tierra (*Spermophilus*); los perros de la pradera (*Cynomys*); las tuzas (*Pappogeomys*); ratas canguro (*Dipodomys*); ratas espinosas de abazones (*Liomys*); castor (*Castor*); ratones de campo (*Peromyscus*) con muy variadas especies; ratas cañeras o javalinas (*Sigmodon*); ratas de montaña o cazones (*Neotoma*), rata almizclera (*Ondatra*); puerco espín (*Erethizon*); zorras del desierto (*Vulpes*); zorra gris (*Urocyon*); oso (*Ursus*); mapache (*Procyon*); tlalcoyote (*Taxidea*); zorrillo lloringuín (*Spilogale*) zorrillo rayado (*Mephitis*); zorrillo dorso blanco (*Onychomys*); pumas (*Felis concolor*); lince (*Lynx*); jabalí (*Dicotyles*); venado bura (*Odocoileus hemionus*); venado cola blanca (*O. virginianus*); berrendo (*Antilocapra*) y borrego cimarrón (*Ovis canadensis*).

El Instituto Nacional de Ecología (INE) realizó un muestreo de la fauna encontrada en la cuenca del río Conchos (INE, inédito), encontrándose un total de 4,267 especies de las clases actinopterygii (peces óseos), amphibia (anfibios), aves, mammalia (mamíferos) y reptilia (reptiles). En el Cuadro 13 se presenta la cantidad de especies encontradas en el inventario realizado, por su parte en la Figura 17 se aprecia la distribución de las clases encontradas.

Cuadro 13. Número de especies en la Cuenca del Río Conchos

Clase	Número de especies
Actinopterygii	643
Amphibia	140
Aves	31
Insecta	184
Mammalia	2,114
Reptilia	1,155
TOTAL	4,267

Fuente: INE, inédito

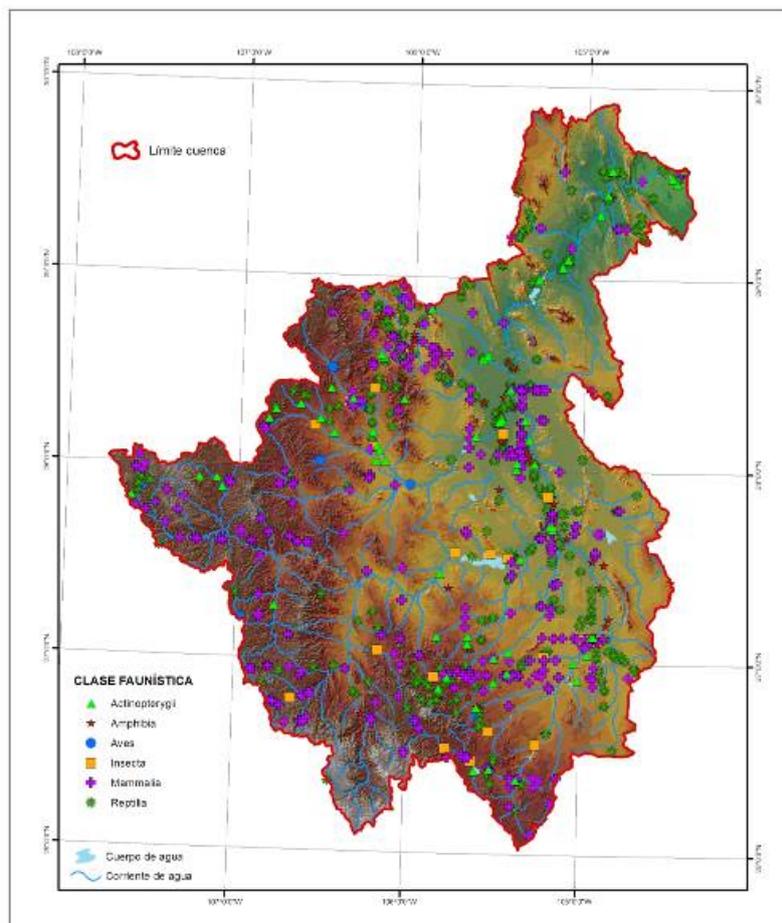


Figura 17. Clases faunísticas en la Cuenca del Río Conchos (INE, inédito)

En la distribución de la fauna dentro de la cuenca, se puede apreciar que una gran cantidad de especies encontradas se desarrollan dentro o cerca de los ríos o de los cuerpos de agua, definiendo así la íntima relación y la importancia que cobran los ecosistemas acuáticos para beneficio de la fauna de la cuenca.

1.8. USO DE LA TIERRA

Con base en los reportado por el inventario nacional forestal del año 2001 (SEMARNAT-UNAM, 2001), son 6 los usos que se le dan a la tierra dentro de la cuenca del río Conchos (Figura 18). Con base en la superficie ocupada dentro de la cuenca, en primer lugar se encuentra el uso pecuario que se distribuye en el 63.5% de la zona, en segundo lugar lo ocupa el uso forestal-recreativo con el 22.9% y con el 9.6% de la cuenca se encuentra en tercer lugar el uso agrícola (Cuadro 14). A continuación se describen cada uno de los tipos de uso de la tierra.

Cuadro 14. Superficie por tipo de uso de la tierra en la Cuenca del Río Conchos

Uso de la Tierra	Superficie Ocupada	
	km ²	%
Agrícola	6,819.1	9.6
Pecuario	45,149.6	63.5
Urbano	285.4	0.4
Hídrico*	270.5	0.4
Forestal y recreativo	16,309.7	22.9
Sin uso	2,306.3	3.2

* acuícola, hidroeléctrico, captación de agua

Fuente: SEMARNAT-UNAM, 2001

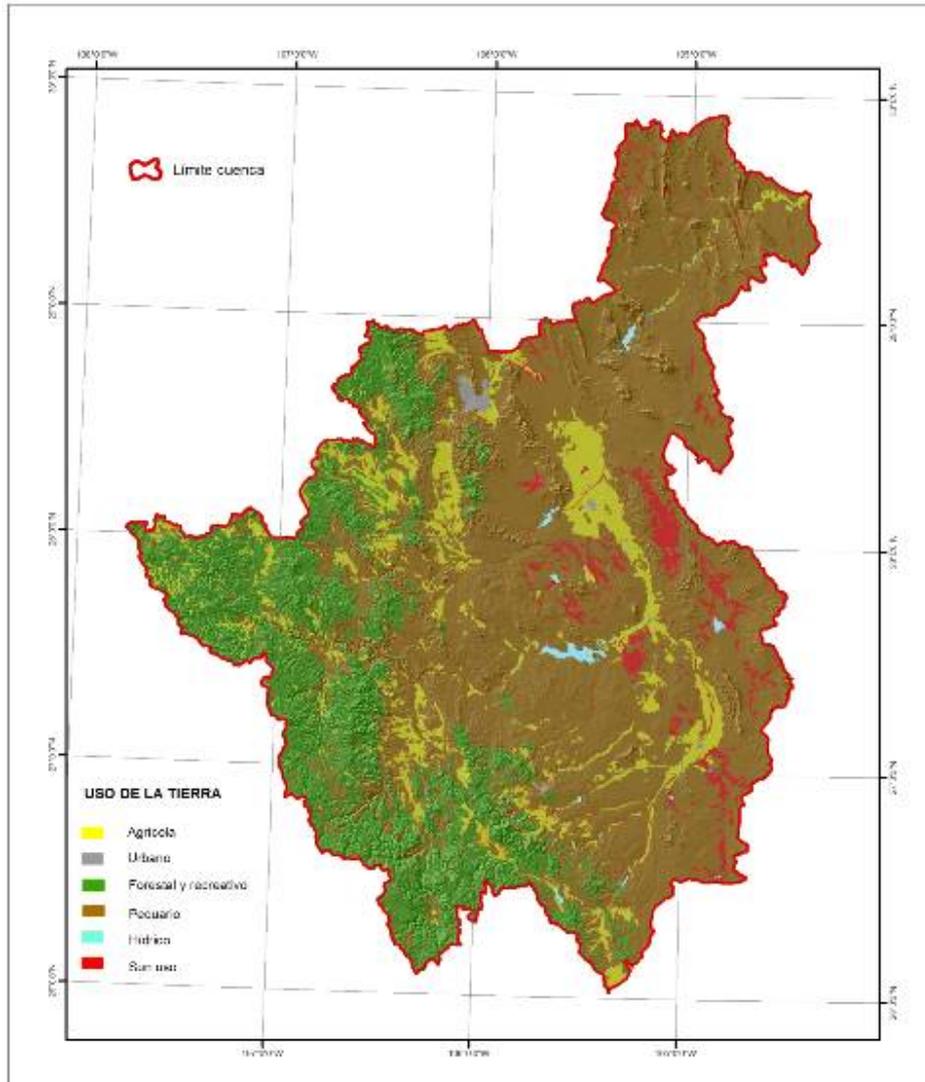


Figura 18. Usos de la tierra en la Cuenca del Río Conchos (SEMARNAT-UNAM, 2001)

1.8.1 Uso pecuario

De los principales usos de la tierra dentro de la cuenca se encuentra el uso pecuario que ocupa el 63.5% de la cuenca, bajo este tipo de uso se engloban a los pastizales, las praderas, los chaparrales y los matorrales, aunque la intensidad en el pastoreo no es la misma en todas estas áreas, es bien sabido que dichos tipos de vegetación son propicios para la producción ganadera, tal y como lo reporta Jiménez (1993).

Dentro de la poligonal de la cuenca se encuentran localizados territorios de 9 Distritos de Desarrollo Rural (DDR): Cuauhtémoc, Chihuahua, Río Conchos, San Juanito, Balleza, Parral, Delicias y Río Florido en el estado de Chihuahua y el DDR Villa Ocampo en el estado de Durango.

La información que la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2007) reporta para el DDR Delicias, establece que las principales especies ganaderas dentro del distrito son del tipo bovino, caprino, ovino, porcino, aves y abejas, como se observa en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Principales especies ganaderas en el DDR Delicias

Especie	Producto	Razas
Bovinos	Leche	Holstein
	Carne	Angus, Brangus, Hereford, Charolais, Limousin
Caprinos	Leche y carne	Alpina, Sanen, Togenbourg
Ovinos	Carne	Rambouillet Corriedale, Pelibuey
Porcinos	Carne	Yorkshire Hampshire Duroc, Landrace
Aves	Carne y huevo	Leghorn
Abejas	Miel y cera	Europea

Fuente: SAGARPA, 2007

1.8.2 Uso forestal-recreativo

Las zonas de explotación forestal así como de uso recreativo del bosque se encuentran localizadas desde la región noroeste hasta la región sur de la cuenca, principalmente en los sistemas montañosos de la Sierra Madre Occidental.

Dentro de esta superficie se lleva a cabo el aprovechamiento forestal principalmente de las especies de pinos, asimismo también se desarrollan actividades de turismo y

ecoturismo por la presencia de un ecosistema diferente al que se encuentra en las partes media y baja de la cuenca, por lo que resulta atractivo para los visitantes y los mismos residentes de las comunidades cercanas para desarrollar actividades como la caminata y el campismo.

1.8.3. Uso agrícola

El área agrícola está comprendida por terrenos de cultivo de los diferentes ejidos presentes en la cuenca así como de pequeñas propiedades privadas que se dedican a esta actividad. Los cultivos que se producen en la cuenca, tomando como indicador el Distrito de Desarrollo Rural Delicias, con base en los informes del Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP, 2005) son principalmente la alfalfa achicalada, el chile verde, el maíz forrajero, la nuez, la cebolla, el trigo, tomate, entre otros.

1.8.4 Uso hídrico

El uso hídrico hace referencia a todas las actividades que se desarrollan en los diferentes contenedores de agua de lluvia directa o por producto de los escurrimientos superficiales, tales como presas y bordos. Producción de electricidad, abastecimiento de agua para riego y producción piscícola, son los principales usos que se le da a esta infraestructura, resaltando por su magnitud las presas La Boquilla, Francisco I. Madero y la presa Luís L. León.

1.8.5 Uso urbano

En este rubro se encuentran incluidos todos los asentamientos humanos que se localizan dentro de la cuenca, de los cuales la ciudad de Chihuahua, capital del Estado, es la más importante en cuanto a superficie ocupada así como en el nivel de urbanización presente; la ciudad se localiza en la parte noroeste de la cuenca.

Por otro lado y con menor superficie, se localizan las ciudades de Hidalgo del Parral, Ciudad Jiménez, Ciudad Camargo; así como poblados y comunidades de menor tamaño que se distribuyen por todo el territorio de la cuenca.

1.9. DEGRADACIÓN

1.9.1 Degradación del suelo inducida por el hombre (GLASOD)

En el presente documento se muestra la información para la cuenca del Río Conchos reportada por el estudio “Evaluación de la Degradación del Suelo Causada por el Hombre en la República Mexicana escala 1:250 000” (SEMARNAT-CP, 2001) en donde se muestran indicadores del estado actual y de la tasa de degradación de los suelos, que en su género es la más precisa y reciente. Esta información muestra algunas de las características cualitativas y cuantitativas de la dinámica del deterioro ambiental y de las causas que lo originan con los tipos, tasas, causas y superficies de la degradación de los suelos originada por el hombre.

El hombre provoca la degradación y contaminación de la superficie terrestre, y ocasiona la disminución de la productividad biológica y la pérdida de la biodiversidad. El reconocimiento de estos problemas, en el ámbito mundial, creó la necesidad de obtener una visión de la distribución geográfica de la degradación del suelo causada por el hombre. Para ello, el Programa de Naciones Unidas del Medio Ambiente (PNUMA) con la colaboración internacional de más de 200 científicos de suelos, entre ellos algunos mexicanos y expertos ambientales, en 1990 se publicó el Mapa Mundial sobre la Degradación del Suelo Inducida por el Hombre, que por sus siglas en inglés fue conocido como GLASOD. Este trabajo, se complementó con estadísticas por continentes sobre las extensiones de los diferentes tipos de degradación de suelos, así como su grado y factores causativos, las cuales fueron publicadas en 1991.

En la realización de este proyecto, se utilizó la metodología ASSOD (Van Lyden, 1997), que es una modificación de la denominada GLASOD, propuesta por Oldeman (1988). Esta última adoptada por la FAO a nivel mundial y por el Inventario Nacional de Suelos de la Dirección General de Restauración y Conservación de Suelos (DGRyCS) dependiente de la SEMARNAT.

En esta metodología se reconocen dos grandes categorías de procesos de degradación del suelo: *la degradación por desplazamiento del material del suelo*, que tiene como agente causativo a la erosión hídrica o eólica y *la degradación resultante de su deterioro interno*, que considera en la actualidad a los procesos de degradación física y química únicamente.

Los tipos de degradación reportados para la cuenca del Río Conchos se enlistan en el Cuadro 16 y se muestra su distribución en la Figura 19.

El tipo de degradación dominante en la mayoría de la superficie de la cuenca es la pérdida del suelo superficial por acción del viento con una disminución del espesor del suelo superficial (horizonte A), debido a la remoción uniforme del material del suelo por la acción del viento con un nivel de afectación moderada representa cerca del 68% y con afectación fuerte poco más de 1.5%.

El segundo tipo de degradación en cuanto a superficie afectada es la erosión hídrica con pérdida del suelo superficial (laminar/ lavado superficial) con disminución del espesor del suelo superficial (horizonte A), debido a la remoción uniforme del material del suelo por la escorrentía, cercas del 20% de la superficie se reporta con afectación moderada y menos del 0.5% con afectación fuerte.

Cerca de 1.5% de la superficie de la cuenca se reporta con declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica disponible en el suelo, que provocan una disminución en la productividad. Este proceso degradativo se tiene principalmente en las áreas con agricultura de riego en donde existe un balance negativo de nutrimentos y

materia orgánica entre las salidas, representados por los productos de las cosechas, de las quemadas, etc., y las entradas entendidas como la fertilización y la aplicación de materia orgánica ya sea como estiércol o abonos verdes.

Otro tipo de degradación reportado para la cuenca es la pérdida de la función productiva, aunque se menciona que existe en diversos grados de severidad, desde moderado a extremo, representa un poco más del 0.2%, que corresponden a suelos usados para actividades productiva no biológicas, por lo que se eliminan de su función productiva, sin efectos degradativos secundarios de dichas actividades. Suelos usados para la urbanización y actividades industriales, infraestructura, minería y canteras. La mayoría de esta condición se encuentra en las ciudades importantes dentro de la cuenca.

Dentro de la cuenca se reportan cercas de 2.5% de superficie como tierras sin vegetación y con influencia humana casi ausente sobre la estabilidad del suelo, proporción que corresponde a zonas desérticas. Además, cerca de 5% son tierras sin uso como consecuencia del clima árido y el relieve montañosos.

Cerca de 2% se caracterizan como tierras bajo condiciones estables dado que la influencia humana sobre la estabilidad del suelo y cobertura vegetal no está disturbado.

Cuadro 16. Tipos de degradación del suelo causada por el hombre (GLASOD) en la cuenca del Río Conchos

Tipo de Degradación	Superficie	
	Km ²	%
Erosión eólica moderada	48228.9	67.66
Erosión eólica fuerte	1123.5	1.58
Pérdida de la función productiva moderada	64.7	0.09
Pérdida de la función productiva fuerte	81.5	0.11
Pérdida de la función productiva extrema	17.8	0.02
Erosión hídrica moderada	13836.6	19.41
Erosión hídrica fuerte	187.7	0.26
Tierras sin uso por desiertos	1726.1	2.42

Tipo de Degradación	Superficie	
	Km ²	%
Tierras sin uso por regiones áridas montañosas	3346.5	4.70
Declinación de la fertilidad moderada	1082.9	1.52
Tierras estables bajo condiciones naturales	1413.0	1.98

Fuente: SEMARNAT-CP (2001) adaptada por los autores.

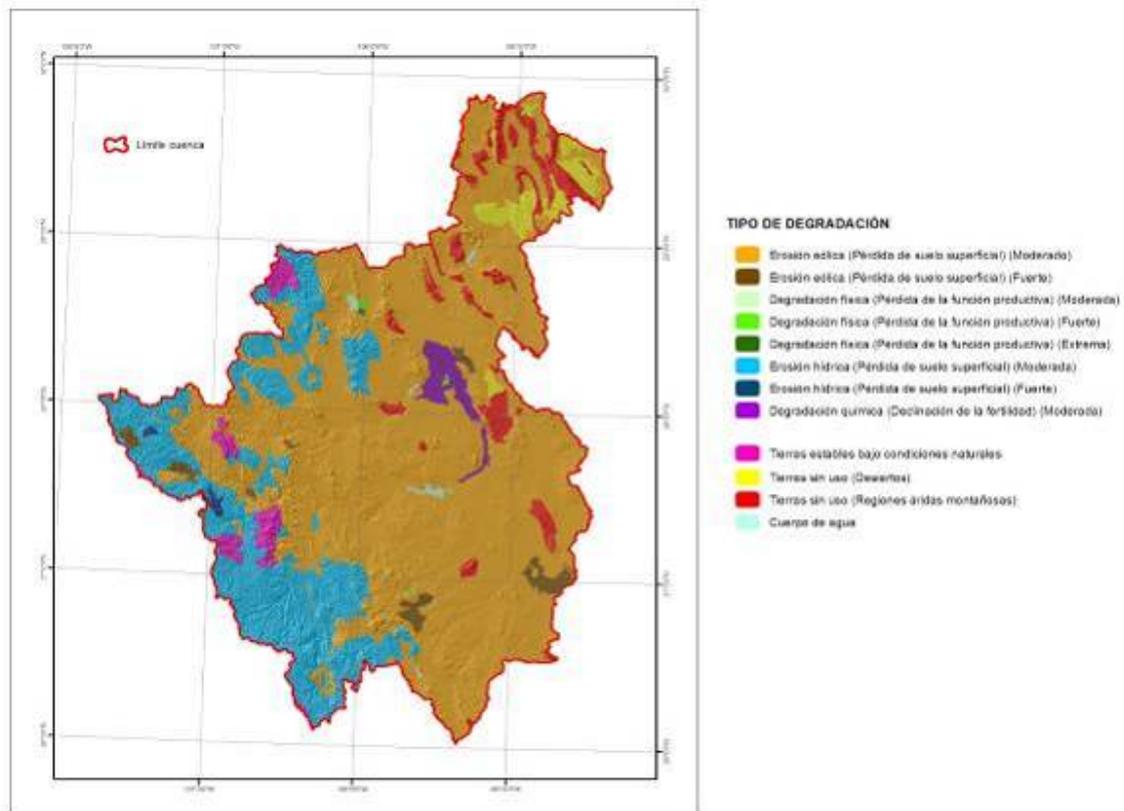


Figura 19. Tipos de degradación inducida por el hombre (GLASSOD, 1997) en la cuenca del Río Conchos (SEMARNAT-CP, 2001).

CAPITULO 2. METODOLOGÍA DE INDICADORES EDÁFICOS PARA EVALUAR Y MONITOREAR LA DESERTIFICACIÓN.

2.1 Contenido de Carbono Orgánico del Suelo.

Muchos procesos fundamentales que ocurren en el suelo dependen del contenido de carbono en el suelo. Éste ocurre en dos formas, como carbono orgánico del suelo (COS) y carbono inorgánico del suelo (CIS) (Lal, 2002). La medición del COS incluye al humus (generalmente el componente mayoritario) y algunas formas de carbono mineral (carbón vegetal, hulla, antracita, grafito, etc.). Denominaremos materia orgánica del suelo (MOS) a la suma de todas las sustancias orgánicas en el suelo. Esta consiste de una mezcla de residuos de plantas y animales en varias etapas de descomposición, de sustancias sintetizadas por microorganismos y/o químicamente, y de cuerpos de microorganismos y pequeños animales y sus productos de descomposición (Schnitzer, 1991).

En ecosistemas agrícolas, la calidad del suelo depende en gran medida de la cantidad, calidad y dinámica de las reservas de COS. Una reducción en el contenido de COS puede acentuar la degradación del suelo por erosión, compactación, pérdida de nutrientes, lavado y acidificación, y en general, provocar un decremento en la biodiversidad del suelo (Brady y Weil, 2001). Además de los efectos del COS en la productividad agrícola, es preciso enfatizar su importancia como componente principal en el ciclo global de carbono. Los suelos de las regiones agrícolas, boscosas y selváticas contienen en su condición natural o sin disturbar grandes cantidades de COS; su concentración depende de la temperatura (mayor en climas frescos que en cálidos), humedad (mayor en climas más húmedos y en suelos pobremente drenados que en climas secos y suelos con buen drenaje), textura del suelo (mayor en texturas finas que en gruesas) y estructura (mayor en suelos bien estructurados que en los de estructura pobre) (Lal, 2000). La pérdida del COS se acentúa cuando los aportes de carbono orgánico que hacen los sistemas cultivados disminuyen, y en los sistemas

naturales cuando éstas se acentúan debido a mineralización y erosión. Los rangos de pérdida del COS debido a la conversión de ecosistemas naturales a la agricultura son más drásticos en los trópicos que en los suelos de las regiones templadas, son mayores en los terrenos de cultivo que en los de pastoreo, mayores en suelos con niveles inicialmente altos de COS que en aquellos con niveles inicialmente bajos (Mann, 1986). Algunos suelos pueden perder el COS a rangos de 2 a 12% al año, llegando a presentar un total acumulado de 50 a 70% de su contenido original (Lal, 2000). Esta pérdida de C se acentúa por la deforestación, quema de la biomasa, drenaje de humedales, labranza y remoción de residuos de cosecha y biomasa del terreno (Lal, 2002). Las pérdidas más rápidas ocurren en los primeros 20 a 50 años en los suelos de las regiones templadas (Jansen et al., 1998) pero en los primeros 2 a 5 años en los suelos de los trópicos (Juo y Lal, 1977). Los suelos tropicales pueden perder de 0.5 a 1.7% del COS de la capa superficial en 2 años y de 1.0 a 2.3% en 5 años (Brams, 1971) después de una alteración. La tasa de disminución del COS en los años subsiguiente disminuye debido a que la fracción lábil es mineralizada en las primeras etapas. A consecuencia de las pérdidas rápidas iniciales después del disturbio es que muchos suelos cultivados en los trópicos presentan contenidos bajos de COS (Hartemink, 1997). Sin embargo, en ciertos casos especiales el contenido de COS puede incrementarse cuando se mejoran de ciertas limitantes del suelo (Coote y Ramsey, 1983).

El COS, como ya se indicó, es un importante componente del ciclo global del C, ya que constituye el reservorio terrestre más grande de este elemento (Chhabra et al., 2003). Prácticamente todos los modelos de cambio climático predicen la pérdida de C de los suelos como resultado del calentamiento global (Mc Guire et al., 1995). Sin embargo, la restauración de tierras degradadas y erosionadas, así como la intensificación de la agricultura en terrenos agrícolas puede favorecer el secuestro de C en los suelos (Lal, 1999).

Por la importancia biogeoquímica del COS, es necesario contar con estimaciones precisas de éste, para diferentes tipos de usos de la tierra; especialmente se requieren datos en series de tiempo largas correspondientes a esos usos de la tierra y a los manejos que se le da al suelo, lo cual permitirá tener mejores evaluaciones de los almacenes de C del suelo en el tiempo y realizar monitoreos más precisos (Beets et al., 2002). Existen técnicas y métodos para medir el C en el suelo y están basados en principios comúnmente aceptados de técnicas de muestreo y levantamientos ecológicos (Etchevers et al., 2005).

La mayor cantidad del COS se encuentra en las capas superficiales del suelo (Brady y Weil, 2001) con valores que van incluso por encima del 60% del total en los primeros 30 cm del perfil o más del 60% del total y conforme aumenta la profundidad la cantidad disminuye consistentemente.

Para el caso específico del presente estudio se ubicaron zonas de las diversas condiciones de uso del suelo, que van desde una agricultura de riego intensiva, agricultura de temporal, pastizales naturales e inducidos, hasta localizaciones con vegetación característica de la zona, considerando los puntos con datos de COS determinados en anteriores muestreos por diversas dependencias, principalmente el INEGI. Dichos puntos se posicionaron geográficamente y se tomaron muestras de suelo de los primeros 30 cm o de las profundidades que fueron muestreadas anteriormente. La colecta de muestras de suelo se realizó con barrenas cilíndricas con tubos dentro del cilindro para toma de muestras inalteradas, lo cual determinar la densidad aparente, y determinar en el suelo el contenido de COS. Las muestras se sometieron a un proceso de preparación antes de su análisis y se calculó la densidad aparente de acuerdo al procedimiento descrito por Etchevers et al. (2005) y la determinación de la concentración del C se hizo por combustión seca en un analizador automático de carbono Shimadzu TOC 5000-A. Posteriormente se analizó la razón de cambio de este parámetro en los diferentes usos de la tierra muestreados.

2.2. Aridización del Suelo

La aridización del suelo se refiere al cambio que éste experimenta, y que se manifiesta por una disminución de su habilidad de abastecer de agua a las plantas. El grado de aridización del suelo puede ser cuantitativamente determinado en términos de ciertas propiedades físicas en relación al régimen de agua del suelo, ya que ésta va a depender del estado del suelo en su conjunto. Desde un punto de vista hidrológico, la aridización del suelo bajo degradación puede manifestarse en dos formas (Ortiz et al., 1994):

- Disminución del abastecimiento del agua aprovechable como consecuencia de la disminución del agua aportada por la precipitación o el riego.
- Disminución del agua aprovechable como resultado de la degradación del suelo como compactación, pérdida del suelo por erosión, disminución de la capacidad de almacenamiento de agua, etc.

Las consecuencias de ambas manifestaciones es una disminución en el abastecimiento del agua aprovechable. De este modo, el abastecimiento anual del agua es un conveniente indicador del estado del suelo y su grado de aridización.

En el presente estudio para evaluar el cambio en el abastecimiento del agua aprovechable se consideró un periodo con datos climatológicos de series históricas hasta 1990, al que se indica como escenario base, y un segundo periodo con datos posteriores a 1990 que en la mayoría de las estaciones meteorológicas comprendió hasta 2003. Asimismo se seleccionaron tres Modelos Generales de Circulación Atmosférica (MGC) de acuerdo a los criterios detallados en el siguiente punto

2.2.1 Escenarios de Cambio Climático

Conde (2003), con base en información del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) señaló que “los escenarios de cambio climático son una descripción coherente, internamente consistente y plausible, de un posible estado futuro del mundo. No es un pronóstico, ya que cada escenario es una alternativa de cómo se puede comportar el clima futuro”. Continúa esta autora señalando que “en realidad, se elaboran escenarios no sólo para el clima, sino también para algunos factores socioeconómicos, para el uso y cubierta de suelo, para las emisiones y concentraciones de CO₂, para la disponibilidad de agua, o para el nivel del mar, por ejemplo. Son, en un sentido más amplio, escenarios del estado y crecimiento de la población y la economía.

En este sentido, los escenarios de cambio climático se pueden construir con base en los escenarios de emisiones reportados en el “Reporte Especial de Escenarios de Emisiones” (SRES, por sus siglas en inglés [IPCC, 2001]), subrayando que las emisiones de gases de efecto invernadero dependerán fundamentalmente del desarrollo socioeconómico futuro, más que del bienestar de la humanidad como factor principal a considerar. Así, apunta que hay dos grandes familias de escenarios: los escenarios “A” que describen un mundo futuro con alto crecimiento económico; mientras que en los escenarios “B” ese crecimiento es más moderado (Figura 20).

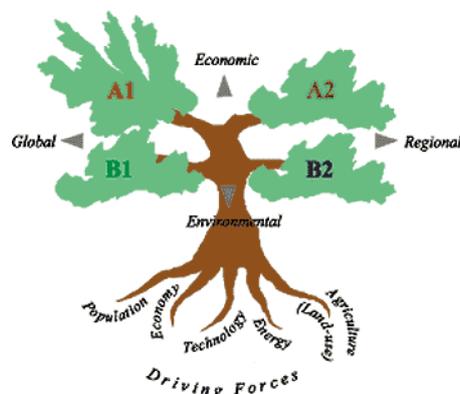


Figura 20. Familia de escenarios de emisiones del IPCC (2001).

Por otra parte, se tienen otros dos escenarios que hacen referencia al carácter del crecimiento económico, es decir, si habrá una tendencia a la globalización (escenarios 1) o si el desarrollo será más a nivel regional (escenarios 2). Se tiene entonces el conjunto de escenarios conocidos como A1, A2, B1 y B2. Conde (2003) también señala que estos escenarios parten de un conjunto de suposiciones acerca de la evolución de los forzantes (población, tecnología, economía, uso del suelo, agricultura y energía) a nivel global y regional.

Para la zona de estudio se seleccionaron tres modelos de circulación general (MCG): uno alemán (ECHAM), uno inglés (HADLEY) y uno norteamericano (GFDL), colocando como meta de predicción el año 2050 y seleccionando el escenario socioeconómico A2. Tal selección se realizó con base en la experiencia señalada por Conde (2003) quien analizó las salidas de catorce MCG contenidos en el programa de cómputo Magicc/Scengen versión 2.4 y encontró que los modelos conocidos como CCCM, GFDL, ECHAM y Hadley eran los más adecuados para generar escenarios de cambio climático para México. Cabe señalar que una restricción que se encuentra en los modelos de circulación general es que las salidas presentan resolución muy grande, por lo que es conveniente aplicar técnicas de *downscaling* o de ajuste de la escala, ya que permiten corregir y mejorar las resoluciones.

Es importante señalar que las diferencias entre los escenarios A2 y B2 no son significativas para el año 2020 (Figura 21), por lo que, como se señaló anteriormente, sólo se seleccionaron y aplicaron los resultados para los escenarios A2 para el año 2050.

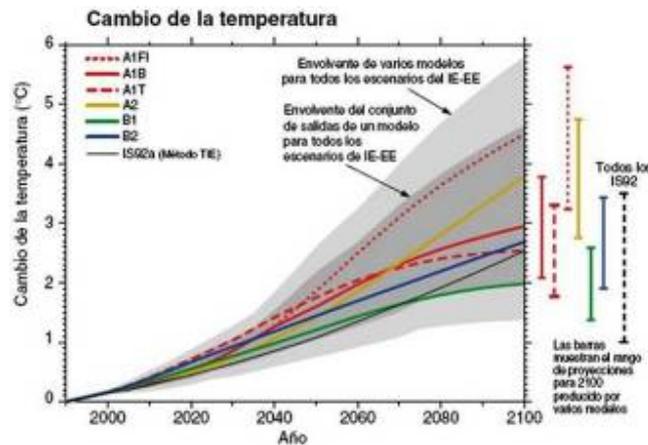


Figura 21. Escenarios globales de cambios en temperatura (IPCC, 2001).

2.2.2. Determinación de periodos de crecimiento y balances de humedad.

En el presente estudio se utilizó el análisis del cambio en el abastecimiento de agua aprovechable como consecuencia de la variación multitemporal del agua aportada por la precipitación comparándola con la evapotranspiración potencial (ETP) estimada con el método de Penman modificado por Monteith (Sys et al., 1991) a través de un modelo simple de balance de agua en el suelo bajo dos enfoques. El primero fue considerando el concepto de periodo de crecimiento definido por la FAO (1978) en su proyecto de Zonas Agroecológicas, que considera el número de días continuos durante el año en el que la precipitación es mayor que la mitad de la ETP estimada con el método de Penman, además de el número de días requeridos para utilizar la humedad almacenada en el suelo al final de las lluvias (hasta un máximo de 100 mm). En el segundo enfoque se consideró el balance de humedad propuesto por Dunne y Leopold (1978) para estimar los índices climáticos de Thornthwaite en donde se incluye el tipo de vegetación y las propiedades del suelo para estimar la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (CAP) en función de los anteriores parámetros. En este caso también se considero la ETP estimada con el método de Penman modificada por Monteith (Sys et al., 1991) dado que la estimada por el método de Thornthwaite presenta serias inconsistencias para los meses fríos y subestima considerablemente la pérdida de agua (Monterroso y Gómez, 2003).

En el primer enfoque para la determinación del inicio y final del periodo de crecimiento se uso la técnica de interpolación lineal basada en los datos mensuales de precipitación y ETP de estaciones meteorológicas ubicadas en los tres Distritos de Riego estudiados (Rio Florido, Delicias y Bajo Conchos). Para cada caso se consideraron dos meses consecutivos en donde R1 y R2 fue la precipitación y E1 y E2 la ETP en el primero y segundo mes, respectivamente. Para el inicio del periodo de crecimiento $R1 < E1/2$ y $R2 > E2/2$ y para el final de lluvias $R1 > E1/2$ y $R2 < E2/2$, representando la precipitación y la ETP como una función lineal del tiempo en días (t), la ecuación puede ser rescrita para encontrar una solución para t como lo expresa la ecuación 1.

$$t = \text{int} \left[\frac{(R1 - (E1/2)) * 30}{(R1 - R2 + (E2/2) - (E1/2))} \right] \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

donde:

t = tiempo en días a partir de la mitad del primer mes considerados en la intercepción (**int**).

En todos los casos estudiados el periodo de crecimiento coincidió con el final de lluvias al no existir humedad almacenada.

El segundo enfoque se refiere al balance entre el aporte de agua por la precipitación y en determinados casos por el derretimiento de la nieve y la pérdida de agua por la evapotranspiración, recarga de agua subterránea y los escurrimientos (Thornthwaite y Mather, 1955). El balance de agua es usado para estimar patrones estacionales y geográficos de necesidades de riego, el estrés de humedad del suelo bajo los cuales los cultivos y la vegetación natural puede sobrevivir, la predicción de escurrimientos y la fluctuación del nivel freático. El balance de agua es también útil para predecir algunos de los impactos de las actividades humanas en el ciclo hidrológico. Así mismo, pueden

estimarse los efectos de las modificaciones del clima o cambios en la cobertura vegetal en una etapa inicial que es muy útil para establecer medidas de prevención. Para estimar este parámetro como ya se indicó se usó el método propuesto por Dunne y Leopold (1978) que usaron como base la propuesta original de Thornthwaite y Mather (1957).

Las estimaciones se hicieron para las seis estaciones meteorológicas con datos completos de las áreas de estudio considerando la precipitación media mensual (P) , con la que se estimó la ETP con el método de Penman modificado por Monteith (Sys et al., 1991). Posteriormente se estimó la diferencia de P-ETP para definir la estación húmeda (P-ETP con valores positivos) y la estación seca (P-ETP con valores negativos). La severidad de la estación seca se calculó a partir de la pérdida potencial acumulada de agua (PPAA) que es la acumulación de los valores negativos de (P-ETP) para la estación seca solamente, empezando la contabilización a partir del final de la estación húmeda. La diferencia entre P-ETP será finalmente determinada parcialmente por la extracción de agua del suelo lo cual dependerá del agua que pueda acumular el suelo y la profundidad del sistema radicular activo que utilizará dicha humedad, lo cual determina la Capacidad de Almacenamiento de Agua (CAP) disponible de un suelo. La CAP del suelo es la cantidad máxima de agua disponible en las capas de éste, colonizadas por las raíces, y que puede ser tomada por las mismas cuando la planta lo requiera para la Evapotranspiración. La unidad en que se expresa la CAP es milímetros. La CAP se estima a partir del punto de marchitamiento permanente hasta la capacidad de campo. Este parámetro depende de la textura del suelo y de la vegetación o cultivo. Dunne y Leopold (1978) presentan un esquema detallado para la obtención de los valores de CAP, sin embargo Monterroso y Gómez (2003) realizaron un ajuste (Cuadro 17) para adecuar los datos al tipo de información que se puede encontrar en la cartografía publicada en México.

Cuadro 17. Valores de Capacidad de Almacenamiento de Agua en el Suelo (mm)

Textura/Usos	1	2	3	4	5	Usos:
Gruesa	62.5	112.5	125	200	275	1. Hortalizas, Frijol, Chícharo
Media	112.5	200	250	275	400	2. Maíz, Tabaco, Cereales 3. Arbustos, Pastizales
Fina	75	150	200	200	350	4. Árboles, Bosque, Selva 5. Selva Alta, Bosque Cerrado

El almacenamiento del agua por el suelo (AL) depende de la CAP y de la pérdida potencial de agua cuya estimación depende de la relación P-ETP, presentándose tres casos posibles: a) el almacenamiento de agua es igual a la CAP en todos los meses, que ocurre cuando en todos los meses la $P-ETP > 0$; b) el almacenamiento es cero debido a que en ningún mes se cubrió la demanda de agua (ETP) y no hay agua que pueda ser almacenada, esto sucede cuando en todos los meses $P-ETP < 0$; y, c) cuando algunos meses $P-ETP > 0$ y en otros $P-ETP < 0$ que puede presentar dos condiciones con base en la suma de los valores mensuales de P-ETP con valores positivos: si $\sum (P-ETP)_+ \geq CAP$ o si $\sum (P-ETP)_+ < CAP$. Para estos casos la estimación del almacenamiento de agua se realiza con la siguiente ecuación:

$$AL_n = CAP * e^{-\left(\frac{PPAA_n}{CAP}\right)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

donde:

AL_n = Almacenamiento en el mes n (mm)

CAP = Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (mm)

e = base de logaritmo natural (adim.)

$PPAA_n$ = Pérdida potencial de agua acumulada en el mes n (mm)

En el primer caso, cuando el AL es mayor que la CAP, se asigna el valor de este último parámetro como el valor del almacenamiento de agua por el suelo. En el segundo caso, el AL generalmente tendrá valores menores a la CAP, y en dado caso que la AL sea mayor que la CAP, se procede como se indicó en la situación anterior.

Otro parámetro a estimar es el cambio de almacenamiento de agua (ΔAL) que se calcula con la diferencia entre el *Almacenamiento* del mes actual y el del mes anterior: En los meses que $P-ETP < 0$, se estima si existe un déficit de humedad con la Ecuación 3 de la siguiente forma:

$$DEF_n = | (P-ETP)_n - \Delta AL_n | \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

donde:

- DEF_n = Déficit del mes n (mm)
- (P-ETP)_n = Precipitación menos Evapotranspiración en el mes n (mm)
- ΔAL_n = Cambio de almacenamiento del mes n (mm)
- | | = valor absoluto

Cuando $(P-ETP) \geq 0$ el déficit es igual a cero.

La cantidad de agua que no puede ser almacenada se le denomina demasías de agua (DA), la cual se infiltra al cuerpo de agua subterránea y eventualmente escurre a las corrientes de agua. Este parámetro se estima con la ecuación 4 de la siguiente manera:

$$DA_n = AL_{n-1} + (P-ETP)_n - CAP \dots\dots\dots \text{Ecuación 4}$$

donde:

- DA_n = Demasías de agua en el mes n (mm)
- AL_{n-1} = Almacenamiento en el mes anterior (mm)
- (P-ETP)_n = Precipitación menos Evapotranspiración en el mes n (mm)

CAP = Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (mm)

La demasía de agua no puede drenar el mismo mes que se generó, sino una cierta porción permanece en el suelo y escurre en meses posteriores (Dunne y Leopold, 1978). La fracción que escurre en una corriente varía con la profundidad y la textura del suelo así como la fisiográfica de la cuenca. Thornthwaite y Mather (1957) expusieron que aproximadamente el 50% de las demasías de agua de un mes es lo que actualmente escurre. Estos resultados no presentan grandes variaciones con los valores estimados por métodos con mediciones directas (Dunne y Leopold, 1978). Esta relación se expresa en la ecuación 5.

$$ES_n = \frac{DA_n + ES_{n-1}}{2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 5}$$

donde:

- ES_n = Escurrimiento en el mes n
- DA_n = Demasías de agua en el mes n
- ES_{n-1} = Escurrimiento en el mes anterior

Finalmente, el total de agua retenida (TAR) para cada mes se estima con la ecuación 6 en donde se expresa la cantidad total de agua almacenada menos la cantidad de agua que escurre en ese mes.

$$TAR_n = AL_n + ES_n \dots\dots\dots \text{Ecuación 6}$$

donde:

- TAR_n = Total de humedad retenida en el mes n (mm)
- AL_n = Almacenamiento en el mes n (mm)
- ES_n = Escurrimientos en el mes n (mm)

Este parámetro se estimó su valor anual al sumar los valores mensuales. Como se señaló anteriormente, dicho valor se usó para estimar la variación de la humedad retenida por el suelo que indica de manera indirecta la disponibilidad de agua en el suelo para el desarrollo de los cultivos o de la vegetación natural o inducida.

2.3. Estado Actual del Encostramiento y Compactación del Suelo

El encostramiento y compactación del suelo se puede analizar desde dos puntos de vista (Ortiz et al., 1994). El primero consiste en la formación de costras a determinadas profundidades del perfil, cuyo caso extremo consiste en el afloramiento de horizontes subsuperficiales endurecidos como lo son los horizontes petrocálcicos, petrogypsicos, duripanes y petroféricos. Este encostramiento es el resultado de la degradación de la cubierta vegetal y de la erosión hídrica, la que deja al descubierto esos horizontes. El segundo punto de vista se refiere a los cambios adversos en las propiedades físicas del suelo, como son la porosidad, permeabilidad, densidad aparente y estabilidad estructural.

El encostramiento y compactación del suelo resulta del paso continuo de maquinaria, vehículos y/o ganado en el terreno. Otro aspecto importante es la reducción en el contenido de materia orgánica del suelo, lo que implica que la estructura del suelo se debilita y el suelo adquiere una estructura débil o masiva, lo que implicara una disminución en su porosidad, lo cual hace que disminuya la permeabilidad, aumente la densidad aparente y el suelo se compacte (Brady y Weil, 2001).

La evaluación del primer caso depende la escala a la que se trabaje; si es a detalle, se obtiene información de profundidad de los suelos y presencia de capas endurecidas. En escalas menores, se analiza este proceso en fotografías aéreas y/o imágenes de satélite de alta resolución, en donde se visualizan las áreas blancas en las laderas que indican zonas severamente erosionadas donde afloran los horizontes endurecidos.

En el presente trabajo se aplicaron los dos enfoques para evaluar el encostramiento de la zona. Para escalas locales se ubicaron los perfiles en zonas de ladera descritos con anterioridad por las diversas dependencias, principalmente el INEGI, donde se tomó como referencia la profundidad reportada, mismo parámetro que se volvió a determinar para comparar la evolución de esta observación con las diferentes fechas muestreadas y determinar el cambio en la profundidad de los horizontes endurecidos. Para escalas más generales se sobrepuso la capa de curvas de nivel y la capa edafológica incluyendo fases físicas, sobre imágenes multitemporales LANDSAT con el apoyo del Sistema de Información Geográfica ArcView (ESRI, 2004). En el producto de este cruce se delimitando las áreas en laderas desprovistas de vegetación que aparecen como áreas blancas para realizar un análisis de la evolución de afectación por dicho proceso de degradación.

Respecto al cambio de las propiedades físicas que puede propiciar la compactación, en los sitios que contaban con información, se determinó en la capa superficial (0-15 cm) la densidad aparente para estimar la porosidad y tener un indicador inicial para en estudios futuros establecer el porcentaje de cambio por año para determinar los límites de clase de degradación. Asimismo se realizaron las determinaciones requeridas para estimar el Índice de Encostramiento como se describe en la ecuación 7 (Ortiz et al., 1994):

$$I_e = \frac{1.5Z_f + 0.75Z_c}{C + 10MO} \quad \dots\dots\dots\text{Ecuación 7}$$

donde:

- I_e = Índice de encostramiento
- Z_f = Limo fino de 2-20 μm (%)
- Z_c = Limo grueso de 20 a 50 μm (%)
- C = Arcilla < 2 μm (%)
- MO = Materia Orgánica (%)

2.4. Salinización.

Este proceso de la degradación incluye a la salinidad, sodicidad y a la concentración de boro en el suelo (Ortiz et al., 1994). La salinización se da normalmente en los suelos desarrollados en condiciones climáticas en donde la precipitación es menor a la evapotranspiración y asociado a condiciones de drenaje imperfecto (FAO, 1984).

Los suelos salinos, se encuentran frecuentemente en zonas depresionarias, presentando capas freáticas muy cercanas a la superficie o texturas finas que reducen el movimiento del agua al interior del suelo (FAO, 1997). Cuando existe gran presencia de sodio intercambiable y poca cantidad de sales solubles, se pueden generar los suelos sódicos. La alta cantidad de sodio intercambiable, genera una serie de problemas para el desarrollo de la vegetación (Brady y Weil, 2001). En primer lugar, cantidades muy elevadas de este elemento, son normalmente tóxicas para muchas plantas, en segundo término, el sodio en altas concentraciones, genera la dispersión de las arcillas y la materia orgánica provocando serios problemas de drenaje y permeabilidad de los suelos.

La acumulación producida por la acción del hombre de sales solubles, sodio de intercambio y boro soluble en el suelo, son de menor extensión y concentración que las ocurridas en forma natural (FAO, 1984). Pese a esto, en el proceso de desertificación, la salinización y sodificación de los suelos alcanza gran relevancia, ya que siendo el agua un recurso escaso en las zonas áridas y semiáridas, debe de hacerse más eficiente su uso para evitar que las tierras con posibilidades de ser regadas no se deterioren. Un mal manejo del ecosistema produce un efecto nocivo en las siembras y plantaciones no adaptadas a altas concentraciones de sales, incluso la vegetación natural puede desaparecer, siendo remplazada por vegetación salina. Las causas específicas de dichos problemas, se deben principalmente al aumento del potencial

osmótico del suelo, que induce a una menor absorción de agua, a un incremento de la toxicidad por cloruros, sulfatos, sodio o boro, a las interacciones negativas que impiden la absorción de otros elementos nutritivos y a un detrimento en la permeabilidad del suelo (Brady y Weil, 2001).

La salinización acelerada de las tierras o salinización de origen antrópico se da principalmente en áreas bajo riego y con aguas que presentan altas concentraciones de sales, las que son depositadas en los horizontes superficiales como consecuencia de las altas tasas de evapotranspiración (FAO, 1997). El drenaje restringido es un factor que frecuentemente contribuye a la salinización de los suelos y que puede llevar consigo a la presencia de una capa freática poco profunda o una baja permeabilidad del suelo. La capa freática poco profunda casi siempre guarda estrecha relación con la topografía del terreno como son las mencionadas zonas depresionarias (Ortiz et al., 1994).

El problema de salinidad de mayor importancia económica se presenta cuando a consecuencia de la irrigación, un suelo no salino se vuelva salino. Estos suelos frecuentemente se encuentran en valles cercanos a las corrientes, y por la facilidad con que pueden irrigarse las áreas más planas, puede ser que el drenaje del suelo no sea el más apto para la irrigación, propiciándose un incremento en la concentración de sales (FAO, 1984).

Para los fines de descripción del proceso de desertificación, sólo es importante la salinización y alcalinización antropogénica (FAO, 1984). El efecto que las sales producen en las tierras regadas se conocen y van desde los síntomas visuales en las plantas en las que disminuye el porcentaje de germinación, menor porte, reducciones continuas de los rendimientos, así como los cambios morfológicos en la superficie del suelo, debido a excesivas acumulaciones de sales (Brady y Weil, 2001). Con la salinización, comienza a observarse un cambio en la coloración natural de la superficie del suelo, la que puede llegar a formar costras salinas en la superficie (FAO, 1997).

Esta situación de cambio de coloración del suelo o bien en la formación de manchas o eflorescencias salinas en la superficie se ha usado como método descriptivo para establecer las clases para la presencia de sales en la superficie del suelo como se establece en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Límites de clases para la presencia de sales en la superficie del suelo (FAO, 1984).

Clases	Ligera	Moderada	Grave	Muy Grave
Presencia de sales en la superficie del suelo	Sin presencia	Manchas de color producidas por las sales	Manchas y cristales de sal en la superficie	Eflorescencias cristalinas de sales en la superficie, costras de sales

Generalmente los problemas de salinidad varían en sentido vertical, horizontal y en el transcurso del año, esta situación dificulta el uso de fotografías aéreas y/o imágenes de satélite para estimar las superficies afectadas por este proceso de degradación, ya que estos a menudo no se expresan en superficie y sólo son observables al interior del perfil de suelo. Sin embargo, es útil cuantificar la superficie de suelo descubierto mediante el uso de fotografías aéreas y/o imágenes de satélite buscando estimar la velocidad del proceso de salinización en un área determinada, incorporando los datos generados por los muestreos de salinidad en trabajos anteriores y muestreando de nuevo en los sitios referidos con datos para estimar la conductividad eléctrica (CE) del suelo, que es un parámetro indirecto de la cantidad de sales existentes en el suelo (Brady y Weil, 2001), a medida que aumentan los contenidos de sales solubles, aumenta la conductividad eléctrica. La forma de medirla es a través del extracto de saturación del suelo y se expresa en dS m^{-1} . Respecto al sodio intercambiable, su valor expresa la razón entre la cantidad presente de este elemento y la capacidad de intercambio de cationes del suelo (Ecuación 8).

$$PSI = \left(\frac{Na}{CIC} \right) 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 8}$$

donde,

PSI = Porcentaje de sodio intercambiable (%)

Na = Concentración de sodio intercambiable en el suelo

CIC = Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g de suelo seco)

En función de la CE del suelo y del PSI, se han definido los tipos de suelos salinos y/o sódicos (Cuadro 19)

Cuadro 19. Clasificación de los suelos salinos, sódicos y salino sódicos, en función de conductividad eléctrica (Honorato, 1993)

Clasificación general	Suelos no salinos y no sódicos		Suelos salinos y/o sódicos		
	Clasificación del suelo según modicidad (PSI)	No sódico 0 – 10	Ligeramente sódico 10 - 15	Sódico 15 - 25	Muy sódico 25 - 40
Clasificación del suelo según salinidad CE mmhos/cm)	No salino 0 – 2	Ligeramente salino 2-4	Salino 4 - 8	Muy salino 8 - 12	Extremadamente salino > 12

Debido a la alta variabilidad de los factores que determinan la acumulación de sales, la distribución de éstas en el área afectada es muy heterogénea, la que es acentuada con las irregularidades del terreno (Honorato, 1993). A este respecto para reducir la variabilidad de la información, se utilizó el criterio de FAO (1984) para la toma de muestras de suelos a los 75 cm de profundidad en donde estos parámetros son más homogéneos que en los estratos superficiales.

A partir de las consideraciones anteriores este indicador de degradación del suelo en el área de estudio, se estimó incorporando elementos de los diferentes procedimientos para determinarlo. Sobre las imágenes multitemporales de satélite LANDSAT se

sobrepuso la capa con curvas de nivel para identificar las áreas planas que se encuentran en zonas depresionarias, que pudieran presentar capas freáticas muy cercanas a la superficie o texturas finas que reduzcan el movimiento del agua al interior del suelo. Se adicionó la capa de Subunidades de suelos con detalle de las fases químicas, haciendo énfasis en las salinas y sódicas. En las áreas que se identificaron que poseían problemas de salinización se ubicaron los puntos con observaciones anteriores y se tomaron muestras a los 75 cm, a las cuáles se les determinó la CE y el PSI, para hacer los comparativos de la variación multitemporal. Visualmente se delimitaron las áreas descubiertas de vegetación y colores blanco brillantes en las imágenes de satélite para hacer un estimado de la superficie con afloraciones salinas y determinar el cambio de la superficie afectada por este proceso.

2.5. Pérdida de suelo por erosión

Como se señala en el Manual para la Predicción de Pérdidas de Suelo por Erosión (Figuroa et al., 1991), el proceso de erosión del suelo consiste en la remoción de las partículas individuales de la masa de suelo por acción del viento o de la lluvia. A la fecha, el término se emplea para referirse a cualquier forma de destrucción del suelo o de la superficie de la Tierra.

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), para el año 2002 se habían realizado por lo menos nueve estudios a nivel nacional en los que se ha evaluado el fenómeno de la erosión (Baldwin, 1945; SARH, 1960; Andrade, 1975; Estrada y Ortiz, 1982; García, 1983; SARH, 1986; Geissert y Rossignol, 1987; SARH, 1991 y SEMARNAT, 2002). Sin embargo, existe un amplio rango de variación en los resultados. El más conservador indica que 42% de la superficie está afectada por erosión en México, el más alarmante reporta este problema en 98% de la superficie nacional.

El análisis de la erosión en su contexto global, permite entender la importancia de las tasas de erosión en una escala de tiempo geológico y la determinación de tasas tolerables de erosión a largo plazo. Por su parte, el estudio de la erosión a un nivel regional permite entender los controles impuestos por el clima y la vegetación sobre las tasas erosivas. También es conveniente evaluar la erosión a través de su distribución en el tiempo y espacio (Figuroa et al., 1991).

La erosión del suelo consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas individuales del suelo, causada por la acción del agua o del viento (ASCE, 1975). Para su estudio, ha sido conveniente clasificarla desde diversos puntos de vista. Así, se tiene que por su naturaleza puede ser de dos formas: natural o geológica e inducida o acelerada. Por el agente activo que la produce puede ser hídrica o eólica. Por el modo de acción y/o señales dejadas en el terreno (formas de erosión) puede ser por salpicamiento, en canalillos, en surcos, en cárcavas, por caída o remontante. Finalmente, por la intensidad del proceso se califica como nula, ligera, moderada, severa y muy severa.

En teoría y como lo señala Figuroa et al. (1991), para que una tasa de pérdida de suelo se considere severa, debería ser mayor a la formación del suelo y en ese momento se considera que se tienen tasas de erosión acelerada o muy severa. Por su parte, las tasas de erosión permisibles debieran ser iguales a las tasas de formación química del suelo. Estos conceptos deben manejarse con precaución, ya que el aumento en la tasa de erosión está asociado a un incremento en el escurrimiento superficial. Como consecuencia, la infiltración se ve disminuida ligeramente y la cantidad de materiales químicos removidos en solución, que es una medida de la tasa de mineralización de la roca madre, también se reducen.

En principio y de acuerdo con Becerra (2005), los principales agentes que intervienen en la erosión pueden ser clasificados en los siguientes grupos: activos, predisponentes, amortiguador y pasivo. Los *agentes activos* son los que directamente realizan las fases

del proceso de la erosión, esto es, el desprendimiento, el transporte y la depósito de los materiales del suelo. Se denominan *agentes predisponentes* a todos aquellos fenómenos ambientales u organismos vivos que directa o indirectamente predisponen al suelo para ser erosionado. Tal es el caso de la oscilación térmica, la humedad relativa, la acción de algunos animales y diversos aspectos inherentes a la actividad del hombre. La vegetación es el *agente amortiguador* de la erosión, debido a su efecto disipador de la energía cinética de la lluvia, los escurrimientos superficiales y la velocidad del viento. Finalmente, el suelo es el *agente pasivo*, es el que recibe la acción de la erosión, y el cual, por su mayor o menor susceptibilidad a la misma, influye también en la magnitud del proceso.

De acuerdo con el último autor citado, la principal utilidad de clasificar la erosión lo constituye la posibilidad de definir prioridades, estrategias y acciones apropiadas para su prevención y/o control, una vez que han sido identificadas las causas del proceso, sus agentes predominantes y la magnitud del problema. Para el caso del presente estudio se considerará el agente activo y la intensidad del proceso.

2.5.1 Erosión Hídrica

La erosión del suelo por el agua ocurre cuando la infiltración de la lluvia en el suelo es de una magnitud tal que se produce un flujo superficial del agua sobre el terreno. El agua entonces, tiene una velocidad relativamente alta y puede acarrear materiales del suelo en función de la fuerza hidráulica de su flujo. Conforme el agua que fluye sobre la superficie tiene una carga más grande, se ejercen fuerzas hidráulicas mayores y la erosión del suelo puede actuar catastróficamente, aun en pendientes suaves. Estas condiciones ocurren comúnmente en las regiones semiáridas, aunque aquellos terrenos abiertos al cultivo son susceptibles a la erosión en cualquier clima. La erosión severa que se asocia con la formación de cárcavas puede iniciar movimientos de masas

en las pendientes abruptas de las paredes de las cárcavas, que son importantes en la remoción total de sedimentos (Figuroa et al., 1991).

La erosión de los suelos por causa de la lluvia involucra tres fases o etapas (SEMARNAT, 2002). Primero, el desprendimiento de las partículas del suelo de la superficie del mismo; segundo, el transporte de dichas partículas desprendidas; y por último, la depositación de las partículas desprendidas y transportadas. En este sentido, se argumenta que no existe la pérdida de suelo por erosión si no se presentan, de manera combinada, los tres procesos. Sin embargo, los dos primeros (desprendimiento y transporte) son los más importantes en el fenómeno de pérdida de suelo, dado que la depositación es consecuencia u ocurre cuando las fuerzas de desprendimiento y transporte se detienen o se presentan por debajo de la fuerza de gravedad de las partículas y estas caen o se depositan.

A escala mundial, investigaciones entre pérdida de suelo y clima han mostrado que la erosión alcanza un máximo en aquellas áreas con una precipitación efectiva media anual de 300 mm (Langbein y Schumm, 1958). En precipitaciones mayores a esta cifra, la erosión aumenta a medida que la precipitación aumenta, ya que la energía disponible para el transporte y el desprendimiento es limitada. Conforme la precipitación afectiva es mayor, se tiene una cobertura vegetal más grande, lo que trae como consecuencia una mejor protección de la superficie, de tal manera que la relación se ha explicado en función de la interacción de la energía erosiva y la densidad de vegetación (Figuroa et al., 1991). Sin embargo, esta relación suelo y clima aun sigue en discusión y nuevas investigaciones se están llevando a cabo.

La variación temporal de la erosión, como aquella que ocurre a lo largo del año, se presenta mayormente durante los eventos de lluvia con frecuencia moderada y magnitud pequeña, los eventos catastróficos son muy esporádicos pero contribuyen de forma apreciable al total del suelo erosionado en un periodo largo de tiempo. Pero los

estudios recientes de cambio climático predicen un aumento de éstos en los años venideros.

La magnitud de la erosión hídrica que se presenta en un momento dado, depende de cuatro factores principales: primeramente el clima, en particular la precipitación y la temperatura; segundo, el suelo, su resistencia natural a la dispersión, su capacidad de infiltración y su velocidad de transmisión del agua. En tercer lugar se encuentra la topografía, particularmente la inclinación, la longitud y la forma de la pendiente, y finalmente, como cuarto factor se encuentra la cobertura vegetal, ya sea en forma viviente o de residuos (Figueroa, 1975).

El primer factor señalado como causa de la erosión hídrica es el **clima**, en particular la que causa la **lluvia**. La pérdida de suelo está relacionada de manera muy estrecha con el poder de desprendimiento que tienen las gotas de lluvia que golpean la superficie del suelo y con la contribución de la lluvia al escurrimiento (Figueroa et al., 1991).

Cantidad de lluvia. Aunque existe una relación directa de la cantidad de lluvia y cantidad de suelo erosionado, en términos estadísticos ésta puede ser una correlación débil (Wischmeier, 1959). La misma cantidad de lluvia puede en ocasiones, resultar en cantidades diferentes de suelo erosionado, por lo que es difícil predecir la erosión a partir de los datos de precipitación. Por ejemplo, los reportados por el servicio meteorológico nacional, de precipitación total anual o total mensual (SEMARNAT, 2002).

Intensidad de la precipitación. La intensidad de la precipitación es un parámetro que indica la cantidad de lluvia en un lapso de tiempo determinado. Según Ortiz (1992), es complicado predecir qué precipitación provoca más erosión, si aquella que se presenta con alta intensidad en poco tiempo o aquella con baja intensidad, pero de larga duración. Siguiendo el razonamiento de Figueroa et al. (1991), la cantidad de lluvia necesaria para que se produzca una erosión significativa puede ser bajo eventos de

lluvia de entre 30 y 60 mm. Como señala, siempre es necesario poder contar con aparatos capaces de medir el momento o la energía cinética del impacto de una gota, y que además estos están sujetos a errores debido a influencias externas, tales como la turbulencia del aire cerca del instrumento y la adhesión de las gotas de agua (Hudson, 1995).

Tamaño de las gotas de lluvia. De acuerdo con SEMARNAT (2002), es de esperarse que bajas intensidades de lluvia generen gotas de lluvia pequeñas y que a medida que se aumenta la intensidad de la lluvia, el tamaño de las gotas se incrementa. El tamaño superior de las gotas, según Figueroa (1975), parece ser de 5 mm de diámetro, debido a que gotas mayores se rompen en un gran número de gotas pequeñas.

El momento y la energía cinética de las gotas de lluvia. Se refiere al proceso que involucra trabajo y mucha de la energía requerida para realizar este trabajo la proporciona el agua de lluvia. La energía de las gotas de lluvia se calcula más fácilmente de una manera indirecta utilizando las relaciones de intensidad de la lluvia (tamaño de gotas, velocidad final de las gotas y masa de las gotas).

El segundo factor que afecta la erosión es la capacidad del **suelo** y su resistencia natural al desprendimiento y transporte por los agentes erosivos se le conoce como erosionabilidad. Esta resistencia depende de factores intrínsecos del suelo, aunque se ve afectada por la posición topográfica, la pendiente y la cantidad de disturbio de la estructura del suelo que produce el hombre (Figueroa et al., 1991). La erosionabilidad varía en función de la textura del suelo, la estabilidad de los agregados, la resistencia al corte, la capacidad de infiltración y el contenido de materia orgánica y cementantes químicos del suelo.

La **topografía** del terreno es el tercer factor que interviene significativamente en la pérdida de suelos por erosión, de este factor interesa conocer el grado de inclinación, la longitud y la forma. El grado de la pendiente se define como el ángulo de inclinación de

una ladera, puede ser expresada en grados o en porcentaje. Aunque no existe una relación directamente proporcional se ha observado mayor pérdida de suelo a mayor pendiente. La longitud de la pendiente, se define como la distancia desde el punto de origen de flujo sobre la superficie hasta cualquiera de los siguientes puntos: cuando el gradiente de pendiente disminuye, tal que ocurre la depositación o bien, el escurrimiento alcanza un cauce o canal definido.

El cuarto y último factor se refiere a la **cobertura vegetal**, la cual tiene un efecto amortiguador del proceso de erosión hídrica. Es indiscutible el beneficio de la cobertura vegetal en la erosión de suelos, como disipador de la energía, obstáculo en la esorrentía y precursor de la conservación del agua en el suelo y subsuelo. De acuerdo con SEMARNAT (2002) son varios los procesos que se llevan a cabo en presencia de vegetación: a) las gotas de lluvia se rompen antes de alcanzar el suelo, b) se reduce la velocidad final de las gotas de lluvia, c) aumenta la duración de la precipitación, d) se presenta combinación de gotas pequeñas en gotas más grandes que caen a menor velocidad, y e) se divide la precipitación en lluvia directa y la que escurre lentamente por troncos y tallos.

La ecuación universal de pérdida de suelo por erosión hídrica se expresa como:

$$A = R K L S C P \dots\dots\dots\text{Ecuación 9}$$

donde el promedio anual de pérdida de suelo (A), expresado como toneladas por hectáreas por año, es función de los factores de erosividad de la lluvia (R), el factor de erosionabilidad del suelo (K), longitud de la pendiente (L), el grado de la pendiente (S), el factor de cobertura vegetal (C), y las prácticas mecánicas de control de erosión (P).

Factor de erosividad de la lluvia (R).

Para establecer este parámetro se utilizaron los resultados del trabajo de Cortés (1991), en el cual se generó un mapa de isoerosividad de la lluvia de la República Mexicana

con datos de 53 estaciones meteorológicas con periodos que varían de 1 a 11 años, tomando como la generalidad 4 años. Como resultado de dicho trabajo se establecieron 14 regiones diferentes, que caracterizaban las distintas áreas del país. Obtuvo entonces el mismo número de modelos que generó al analizar los eventos de lluvia, estimando el EI_{30} con las distintas ecuaciones.

Factor de erosionabilidad del suelo (K).

Se utilizará la tabla propuesta por FAO (1980) donde se propone calcular el factor a partir de la textura superficial (utilizando tres grupos texturales) y la unidad de suelo a que pertenece.

Factor de longitud de la pendiente (L) y el grado de la pendiente (S).

Los factores L y S comúnmente se combinan refiriéndose a ellos como el factor por longitud e inclinación de la pendiente. Para la evaluación de la erosión se consideran de igual manera, sin embargo, la estimación de cada uno se realiza de forma independiente. Estos factores se determinaron tomando como punto de partida el Modelo de Elevación Digital (MDE) que provee el INEGI a escala 1:50 000. Se calculó la pendiente máxima en dirección descendente y la dirección del flujo. Para el cálculo del factor S, se estimó entonces el ángulo de la pendiente y por medio de álgebra de mapas se obtuvo dicho valor.

Factor de cobertura vegetal (C).

Se asignó a cada categoría de uso de suelo (SEMARNAT-UNAM, 2001) y con ayuda de las ocho imágenes digitales del sensor MSS (Multi Spectral Scanner) en falso color que cubre la región de estudio, la relación de porcentaje de cobertura y suelo cubierto por esta, haciendo uso de las tablas generadas para este valor.

Factor de prácticas mecánicas de control de erosión (P).

Este se asignó el valor de 1 debido a la escala de trabajo.

2.5.2. Erosión Eólica

La erosión eólica es el proceso por el cual el viento recoge y transporta el material superficial del suelo y las partículas por él llevadas desgastan la superficie del terreno (Wilson, 1984). Así, la erosión eólica remueve de los terrenos la porción más fértil del suelo y por lo tanto disminuye la productividad de los terrenos (Lyles, 1974). Parte de este suelo entra en suspensión y se convierte en polvo atmosférico.

La erosión del suelo por el viento, de la misma manera que la del agua, depende de la fuerza con la que el fluido (el aire) actúa en las partículas del suelo. Para cualquier fluido, la fuerza que ejerce en una partícula depende de la rugosidad de la superficie, pero en el caso del viento, la rugosidad juega un papel particularmente crítico, debido a la baja densidad y, por lo tanto, capacidad de transporte del aire. Donde la superficie es muy rugosa, la velocidad del viento cerca de la misma será baja y ocurrirá una cantidad muy pequeña de erosión. Cualquier superficie relativamente suave, como el caso de un terreno desnudo, es muy susceptible a la erosión eólica, y este riesgo se incrementa para aquellos suelos que contienen cantidades apreciables de materiales con tamaño de limo. Estas condiciones son muy comunes en los desiertos y a lo largo de las planicies de inundación y costas, pero la remoción de la vegetación y las cortinas rompevientos para fines de cultivo, propician una erosión eólica intensa en cualquier lugar.

Cabe señalar que el viento causará erosión sólo si el suelo se encuentra suelto o si lleva partículas en suspensión, pero difícilmente lo hará sin estas condiciones (Becerra, 2005). El proceso erosivo es básicamente el mismo que en erosión hídrica: remoción, transporte y depositación de las partículas del suelo (SEMARNAT, 2002).

La erosión eólica es una función principalmente del clima, el suelo y la vegetación, los cuales, al conjugarse bajo determinadas condiciones propician o restringen este tipo de erosión. La erosión eólica ocurre bajo las siguientes condiciones: escasa precipitación,

fuertes oscilaciones de temperatura entre el día y la noche, así como vientos suficientemente fuertes para provocar el movimiento de las partículas del suelo; en áreas extensas de exposición, terrenos con superficie casi uniforme y plana, así como suelos secos y sueltos; y en áreas con escasa o ninguna cubierta vegetal (SEMARNAT, 2002).

Erosionabilidad del suelo. La erosionabilidad de los granos individuales del suelo depende de: diámetro, densidad y forma, sin embargo, la mayor parte de los suelos constan principalmente de agregados que contienen partículas individuales que se mantienen unidas por diversas fuerzas. El estado y la estabilidad de estas unidades estructurales es lo que determina en gran medida la erosionabilidad del suelo (Chepil y Woodruff, 1963). Si un suelo está bien estructurado, el número de partículas pequeñas que pueden ser removidas es muy bajo y la abrasión o desgaste es mínimo debido a que se desprenden pocos gránulos de suelo. Por el contrario, los suelos que tienen estructuras débiles y un amplio abastecimiento inicial de material erosionable pueden desgastarse rápidamente.

El principal factor de erosividad es la fuerza del viento sobre la superficie del suelo. Las características que afectan ésta fuerza pueden agruparse, según SEMARNAT (2002) en: los que se relacionan con la naturaleza del flujo atmosférico y los que se relacionan con la restricción a ese flujo, la aspereza superficial.

El **viento** a través de sus diferentes movimientos, actúa sobre el desprendimiento y transporte del suelo a lo largo de distancias variables de acuerdo a su velocidad, tamaño de las partículas y la rugosidad del terreno. La velocidad del viento es la que determina la magnitud de las fuerzas que éste ejerce sobre el suelo. Es así que a muy poca altura sobre la superficie, generalmente entre 0.3 y 2.5 mm, la velocidad del viento es casi nula, a poca altura por encima de este nivel el flujo de aire es laminar, e inmediatamente después de ésta capa el flujo es turbulento. Es precisamente dentro de ésta última capa, donde se generan las corrientes cuya fuerza es causante del

movimiento del suelo; las prominencias y ondulaciones del terreno que alcancen a penetrar en ésta capa de aire turbulento, absorberán la mayor parte de la energía del viento y de no tener un tamaño y peso más o menos grande o estar bien afianzadas, serán arrastradas por efecto de tales fuerzas.

Si una partícula penetra dentro de la capa de aire turbulento, ésta será transportada por la acción eólica, a menos que su diámetro, su densidad real y su grado de agregación con las partículas vecinas, le permita absorber la energía del viento y evitar su acarreo. Durante el desarrollo del proceso de erosión eólica, el suelo presenta simultáneamente tres tipos de movimientos, dependiendo de los diferentes diámetros de sus partículas; estos son: saltación, suspensión y rodamiento.

Saltación. Se considera como el movimiento más importante, debido no sólo a que la mayor parte del suelo se mueve de esta manera, sino que también cualquiera de los otros dos movimientos están sujetos a que previamente se haya presentado saltación. La saltación de las partículas son pequeños “saltos” sobre la superficie del suelo. Al ir cobrando fuerza el viento, su presión frontal, imparte a las partículas del suelo una velocidad horizontal, estas ruedan primero y luego se deslizan paralelamente al piso. Al hacer impacto con el suelo o algún obstáculo, su velocidad horizontal se convierte en vertical, lanzándose entonces las partículas del suelo hacia arriba para describir, al regresar al suelo una trayectoria parabólica. Este movimiento recibe el nombre de saltación. Al caer al piso las partículas saltantes rebotan y vuelven a saltar, o bien hacen saltar a otras. De esta forma se genera un intercambio continuo entre las partículas que saltan y las que se mueven por otros medios.

Suspensión. La suspensión actúa sobre las partículas más finas, generalmente de diámetro menor de 0.1 mm. Estas partículas al ser lanzadas hacia arriba durante la saltación y debido a lo reducido de su tamaño, la fuerza del viento vence la atracción de la gravedad y éstas son transportadas a grandes distancias en forma de nubes de polvo.

Rodamiento. Como su nombre lo indica es el arrastre de las partículas sobre la superficie del suelo, impulsadas por el viento u otras partículas en movimiento. El rodamiento se realiza con partículas de diámetro comprendido entre 0.5 y 2mm sin que esto excluya el arrastre del material de mayor tamaño.

En estudios realizados sobre la acción erosiva de cada uno de los tres movimientos antes discutidos, Chepil (1945) encontró que la saltación transporta entre 55 y 72% del material edáfico desprendido y desplazado por acción eólica; del 3 al 38% por suspensión y del 6 al 25% por rodamiento. Concluyó además que el 50% del movimiento tiene lugar en los 50mm superficiales, en tanto que el 90 % se desarrolla en los primeros 30 centímetros.

La evaluación de este tipo de erosión se desarrolló tomando como base el modelo propuesto por la FAO en el año 1980; este modelo parte de la ecuación generada por Woodruff y Siddoway (1965); el cual permite cuantificar la pérdida de suelo por acción del viento. La ecuación de la FAO (1980) se expresa mediante la siguiente igualdad:

$$E = C \times S \times T \times V \times L \dots\dots\dots \text{Ecuación 10}$$

donde **E** es la erosión actual expresado como toneladas por hectáreas por año que está en función de los factores de agresividad climática (**C**), factor edáfico (**S**), factor topográfico (**T**), factor de vegetación natural (**V**) y factor uso del suelo (**L**).

Factor de agresividad climática (C).

Este factor se calcula mediante el siguiente modelo matemático:

$$C = 1 / 100 \sum_{i=1}^{12} V^3 (ETP - P / ETP) n \dots\dots\dots \text{Ecuación 11}$$

donde **V** es la velocidad el viento (m/s) a 2 m de altura, **ETP** es la evapotranspiración potencial (mm), **P** se refiere a la precipitación (mm) y **n** es el número de días del mes que presentan erosión.

En lo concerniente al cálculo de la Evapotranspiración Potencial (**ETP**) se puede obtener de diversos métodos. Para el caso del presente estudio se usó la metodología de Thornthwaite modificada (Dunne y Leopold, 1978); la cual se expresa mediante la siguiente igualdad:

$$ETP = EV \times FC \dots\dots\dots Ecuación 12$$

En donde EV es la evaporación $[16 (10 Tm / I)^{(0.42621 / 2.42325 - \log I)}]$, TM es la temperatura media mensual, I se refiere al índice de calor $[Tm / 5]^{1.514}$ y FC es el factor de corrección que se obtiene de tablas por la latitud de la zona.

Factor edáfico (S)

Se obtuvo de la base de datos de las cartas edafológicas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Dichas cartas contienen unidades, subunidades, texturas y fases físicas de los diferentes tipos de suelos. A cada subunidad con su correspondiente textura y fase física se le asignó su correspondiente valor de erosionabilidad edáfica, según FAO (1980).

Factor topográfico (T).

Este se asignó el valor de 1 debido a la escala de trabajo y superficie de la cuenca.

Factor de cobertura de la vegetación (V) y factor de uso del suelo (L).

Se trabajó de manera conjunta a partir de las ocho imágenes digitales del sensor MSS (Multi Spectral Scanner) en falso color que cubre la región de estudio. De esta manera se generaron mediante procesos digitales e interpretación visual las áreas de similar porcentaje de cobertura vegetal, a partir de la reflectancia de cada tipo de vegetación y de los sistemas de cultivo en lo concerniente al factor uso del suelo.

CAPITULO 3. RESULTADOS

3.1. Contenido de Carbono Orgánico del Suelo.

El porcentaje de Carbono Orgánico del Suelo (COS) presenta un amplio rango en la cuenca del Río Conchos, lo que es indicativo de la diversidad de ambientes que se tienen; los porcentajes menores a 1% representan más del 55% (Cuadro 20), lo cual se explica por las condiciones climáticas prevaecientes, esto es, climas secos dominantes y el bajo aporte de materia orgánica al suelo en estas condiciones ecológicas. En general, la mayor concentración de COS se asocia a las áreas con mayor precipitación que son las ubicadas en la porción occidental de la Cuenca (Figura 22).

Cuadro 20. Porcentaje de Carbono Orgánico en la cuenca del Río Conchos y superficie ocupada. (Balbontin et al., 2007)

Contenido de COS (%)	Superficie (%)
0 a 0.5	10.5
0.5 a 1.0	45.1
1.0 a 1.5	28.5
1.5 a 2.0	9.8
2.0 a 2.5	0.6
> 3.5	5.5

El contenido de COS del área de estudio, expresado en Mg Ha^{-1} , refleja los valores anteriores en donde más del 65% de la superficie que reporta el Balbontin et al. (2007) tiene valores inferiores a los 50 Mg Ha^{-1} (Cuadro 21). La distribución se muestra en la Figura 23 y se asemeja a la distribución del porcentaje de COS de la Figura 22.

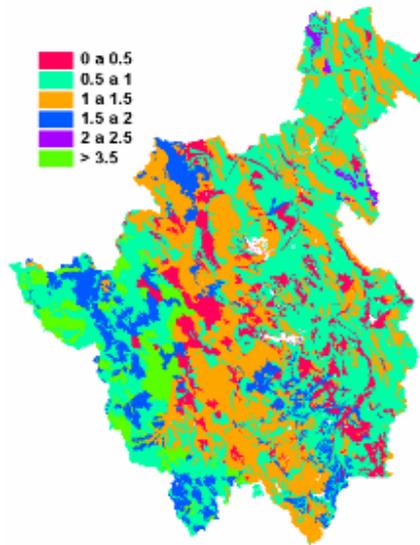


Figura 22. Rangos de Carbono Orgánico (%) en la cuenca del Río Conchos

Cuadro 21. Total de Carbono Orgánico del Suelo (Mg Ha^{-1}) y superficie ocupada en la cuenca del Río Conchos (Balbontin et al., 2007)

Contenido de Carbono Orgánico del Suelo (Mg Ha^{-1})	Superficie %
<5	0.18
5 a 10	19.02
10 a 20	6.86
20 a 30	19.25
30 a 40	10.07
40 a 50	9.82
50 a 60	11.36
60 a 70	5.84
70 a 80	4.91
80 a 90	4.21
90 a 100	1.65
100 a 200	6.68
200 a 300	0.02
300 a 400	0.15

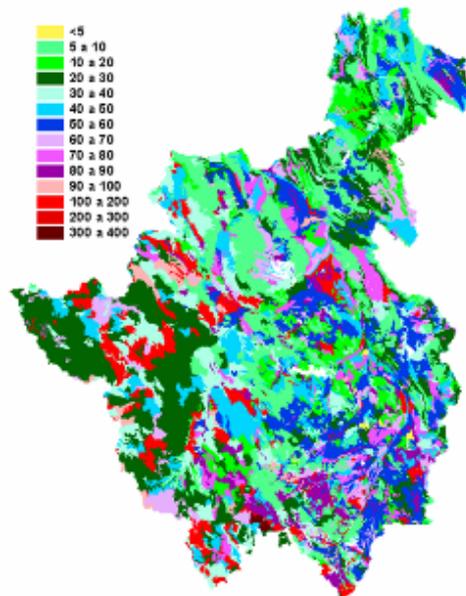


Figura 23. Carbono Orgánico del Suelo (Mg Ha^{-1}) para la cuenca del Río Conchos.

En las áreas específicas de los Distritos de Riego, el contenido de COS es más bajo que en la Cuenca en general. En el Cuadro 22 se detalla esta información donde resalta que para el Distrito de Riego del Bajo Río Conchos, el contenido menor a 1% representa el 75%, para el Distrito de Delicias, la proporción de la superficie total es mayor para estos contenidos de C, con más del 85%, y para el Río Florido la superficie con estos rangos de C, representan el 65%. Como se señaló anteriormente, los bajos contenidos de COS se explican por la escasa precipitación, lo que históricamente no favoreció el desarrollo de vegetación abundante que aportara materia orgánica al suelo. Para el caso del Río Florido, cercas del 30% de la superficie tiene contenidos de COS entre 1.5 y 2%, asociado principalmente en áreas con un poco más de precipitación que en los otros Distritos y donde la vegetación natural presenta un mejor desarrollo y consecuentemente aporta mayor cantidad de materia orgánica al suelo.

En las Figuras 24, 25 y 26 se muestran la distribución del porcentaje de COS en dichos Distritos de Riego.

Cuadro 22. Porcentaje de Carbono Orgánico en los Distritos de Riego Bajo Río Conchos, Delicias y Río Florido y superficie ocupada. (Balbontin et al., 2007)

Porcentaje de carbono (%)	Superficie por Distritos de Riego					
	Bajo Río Conchos		Delicias		Río Florido	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
0 a 0.5	4866	4.8	26374	23.8	2233	5.3
0.5 a 1	70249	69.8	70586	63.8	24940	59.7
1 a 1.5	25586	25.4	7302	6.6	2175	5.2
1.5 2.0	0	0	6383	5.8	12460	29.8
Total	100701	100.0	110644	100.0	41808	100.0

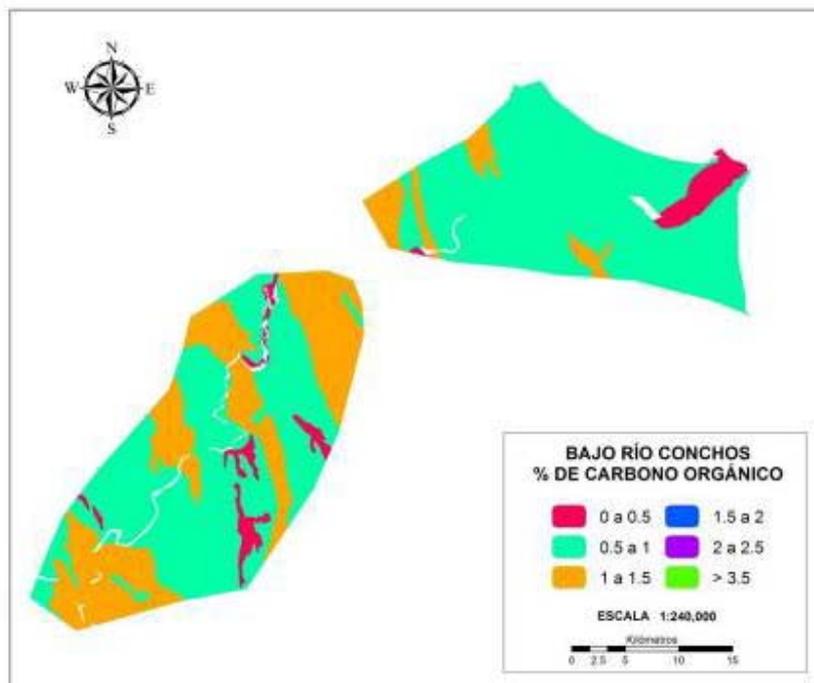


Figura 24. Distribución de rangos de Carbono Orgánico del Suelo (%) en el Distrito de Riego Bajo Conchos

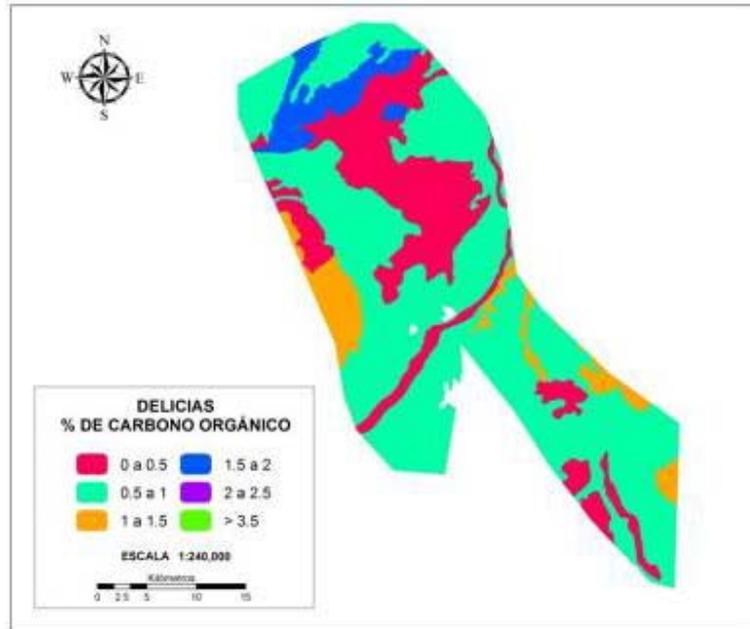


Figura 25. Distribución de rangos de Carbono Orgánico del Suelo (%) en el Distrito de Riego Ciudad Delicias.

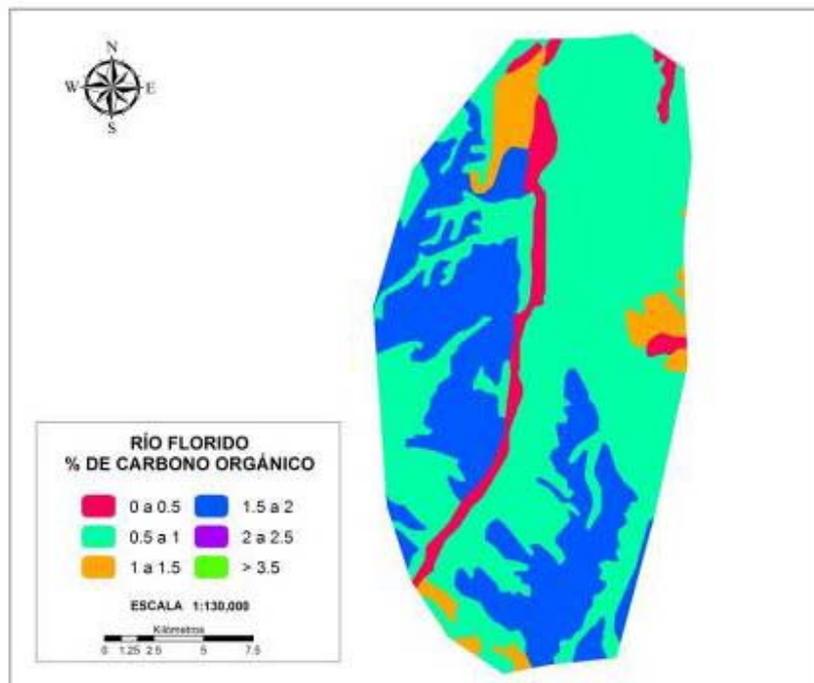


Figura 26. Distribución de rangos de Carbono Orgánico del Suelo (%) en el Distrito de Riego Río Florido.

Considerando la profundidad del suelo y la densidad aparente, las estimaciones hechas por Balbontin et al. (2007), (ver Cuadro 23) muestran el contenido de COS expresado en Mg Ha^{-1} . A diferencia del total del área de la cuenca, el porcentaje de la superficie con contenidos menores a 50 Mg Ha^{-1} es considerablemente menor, con proporciones cercanas al 50% para el Distrito Bajo Río Conchos, del 35% para el Distrito Delicias y con valores ligeramente superior a 15% para el Distrito del Río Florido. Esta situación se explica por la condición de suelos profundos existentes en las áreas de los distritos, lo que conlleva un mayor reservorio de C, que en el resto de la cuenca que exhibe suelos someros.

Cuadro 23. Contenido de Carbono Orgánico en el Suelo para los Distritos de Riego Bajo Río Conchos, Delicias y Río Florido y superficie ocupada (Balbontin et al., 2007)

Contenido de Carbono Mg ha^{-1}	Superficie por Distritos de Riego					
	Bajo Río Conchos		Delicias		Río Florido	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
<5	9	0.01	0	0	0	0
5 a 10	25586	25.41	9701	8.8	1302	3.1
10 a 20	5176	5.14	15662	14.2	1047	2.5
20 a 30	15068	14.96	2844	2.6	2272	5.4
30 a 40	1878	1.86	0	0	0	0
40 a 50	5683	5.64	9939	9.0	2360	5.6
50 a 60	35214	34.97	8397	7.6	13090	31.3
60 a 70	5046	5.01	19444	17.6	10444	25.0
70 a 80	2676	2.66	22392	20.2	4125	9.9
80 a 90	981	0.97	5472	4.9	1814	4.3
90 a 100	3131	3.11	4225	3.8	643	1.5
100 a 200	252	0.25	12569	11.4	3757	9.0
200 a 300	0	0	0	0	954	2.3
Total	100701	100.0	110644	100.0	41808	100.0

En las Figuras 27, 28 y 29 se muestran la distribución del contenido de COS en dichos Distritos de Riego. Los contenidos más altos se asocian a suelos profundos y de materiales aluviales ricos en materia orgánica depositados por las corrientes de los ríos.

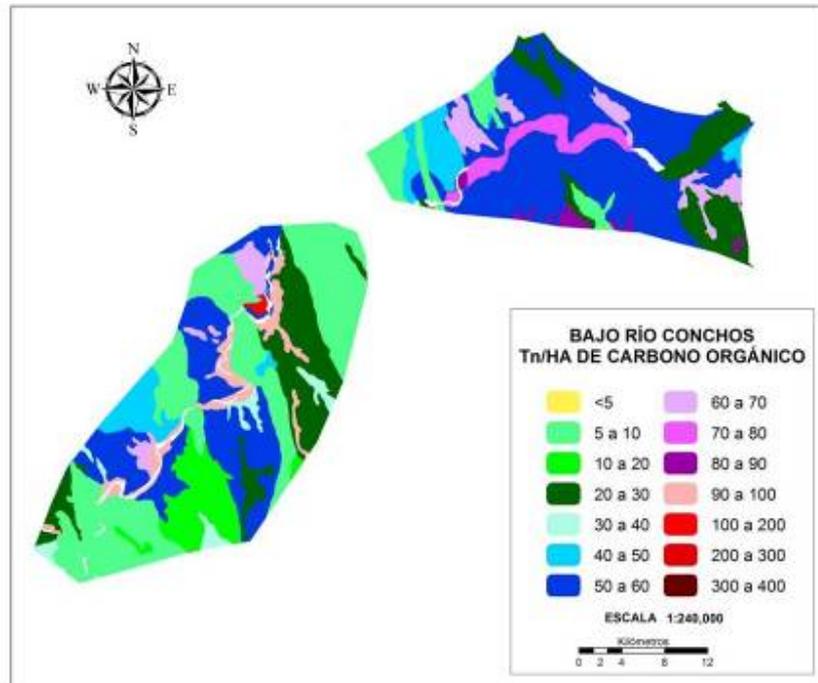


Figura 27. Distribución de contenido de Carbono Orgánico del Suelo (Mg Ha^{-1}) en el Distrito de Riego Bajo Conchos

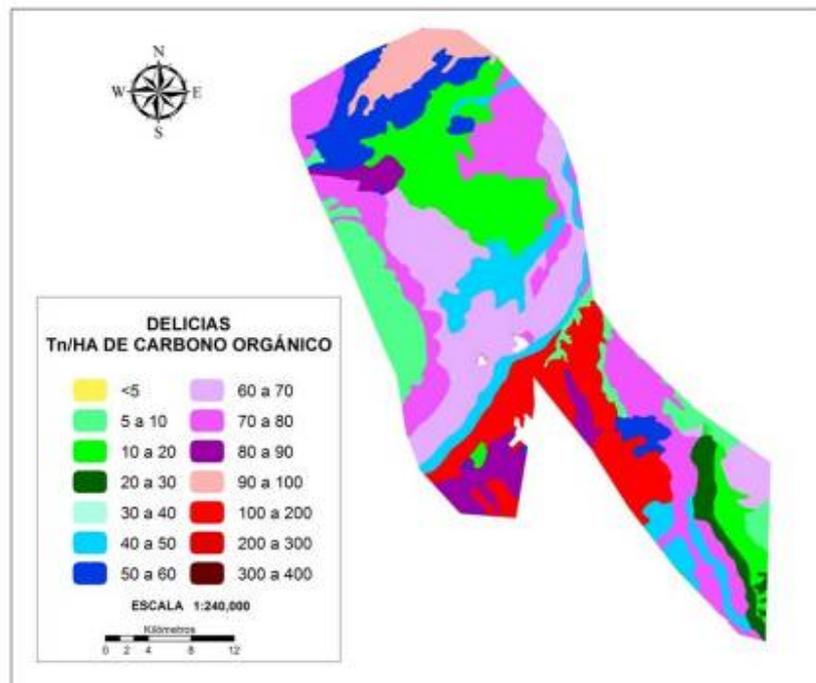


Figura 28. Distribución de contenido de Carbono Orgánico en el Suelo (Mg Ha^{-1}) en el Distrito de Riego Ciudad Delicias.

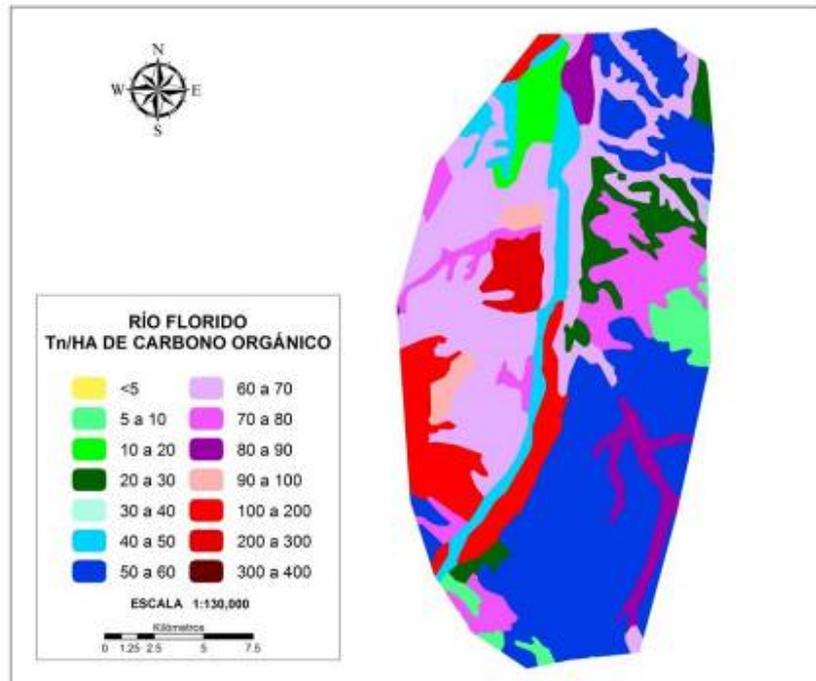


Figura 29. Distribución de contenido de Carbono Orgánico en el Suelo (Mg Ha^{-1}) en el Distrito de Riego Río Florida.

3.2. Aridización.

3.2.1. Escenarios de Cambio Climático

De acuerdo con el Canadian Climate Scenarios Network, quienes proveen información de salida para todos los modelos MCG de cambio climático, se estima que en la región de estudio puedan existir incrementos de temperatura que van desde medio grado centígrado hasta los 9°C para el año 2050 (Figura 30). La diferencia de valores es función del modelo aplicado.

En lo que se refiere a precipitación total anual, la misma red señala que las salidas de los escenarios MCG de cambio climático suponen disminuciones que van desde el 60% anual hasta incrementos de un 20% como máximo para el año 2050 (Figura 31).

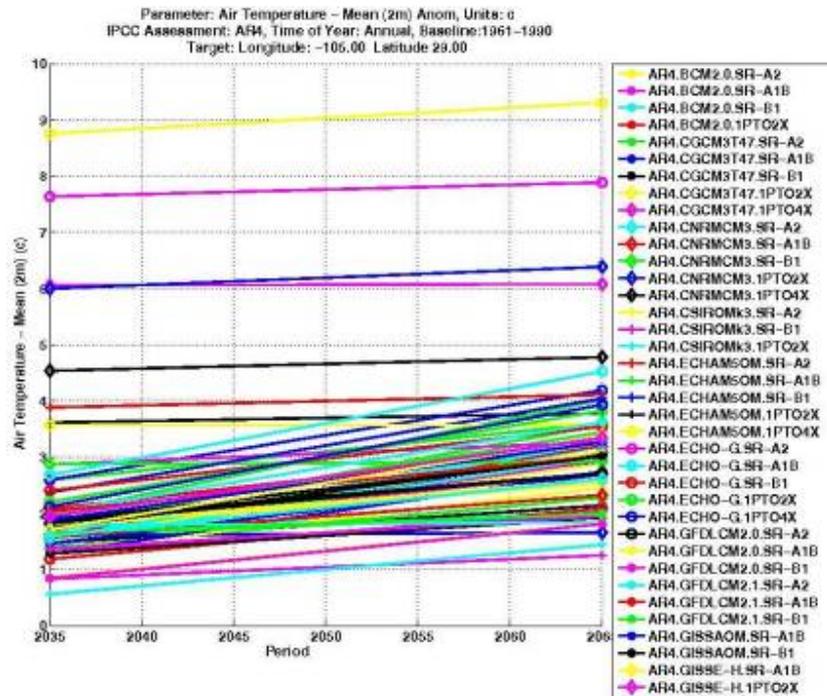


Figura 30. Anomalías para temperatura (°C) en comparación con el periodo 1961-1990 de acuerdo a diferentes modelos de cambio climático para diferentes años (2035-2065) en la región de estudio.

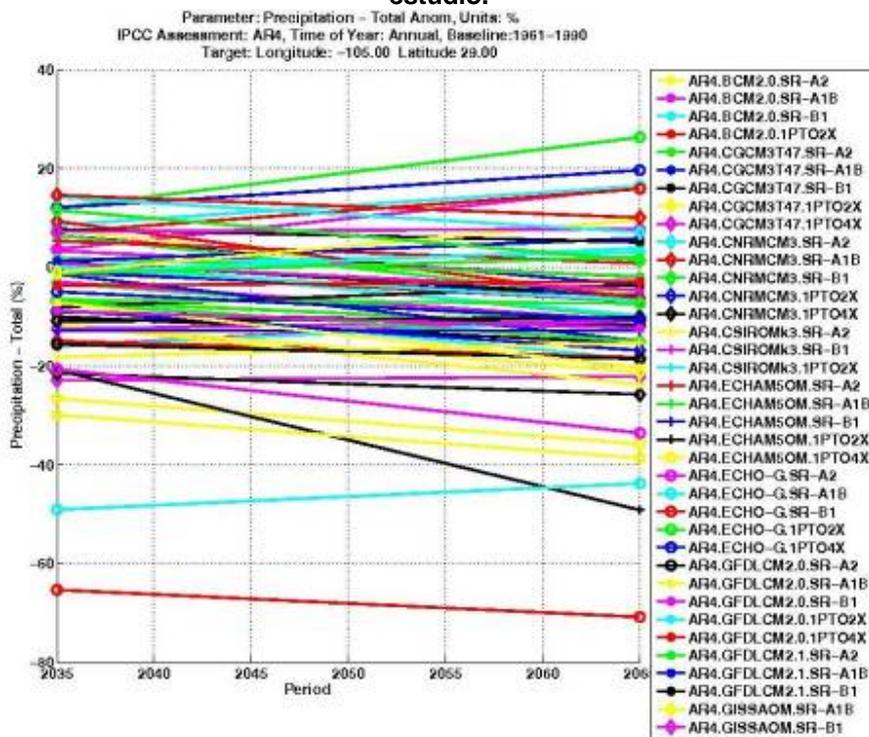


Figura 31. Anomalías para precipitación total anual (%) en comparación con el periodo 1961-1990 de acuerdo a diferentes modelos de cambio climático para diferentes años (2035-2065) en la región de estudio.

Como **escenario base**, es decir aquel obtenido con los promedios entre los años 1961-1990, se tiene que para el total de la cuenca, el 90% de superficie corresponde a los grupos de climas semiáridos, 6% a los subhúmedos y un 4% para los climas húmedos y muy húmedos.

Los climas semiáridos se distribuyen en casi toda la cuenca y los climas húmedos hacia las partes altas de la Sierra, en los estado de Chihuahua y Durango, donde se forma el parteaguas principal de la región de estudio. Por su parte, los climas subhúmedos van a cubrir la franja de transición entre los climas anteriores. En los climas húmedos va a ser característica la vegetación de bosque de abies, de encino, de pino o sus variantes. Estas comunidades también llegan a cubrir zonas importantes de climas subhúmedos. Como referencia se puede señalar a la ciudad de Cuauhtémoc y sus alrededores. Es hacia los climas semiáridos que se pueden encontrar las comunidades de chaparrales, matorrales desérticos, mezquitales y pastizales, principalmente en las cercanías de la capital del Estado y en Hidalgo del Parral.

En lo que se refiere a los distritos de riego estudiados, estos se encuentran en un tipo de clima denominado semiárido seco ó D1, que se caracteriza porque el déficit de humedad es severo en la mayor parte del año. El periodo de lluvias llega a ser de tres meses, en los cuales el déficit de humedad se reduce considerablemente, aunque es raro que se presenten demasías. La precipitación media anual es ligeramente superior a 200 mm. Los rangos de temperatura media anual donde se presenta este tipo climático abarcan de los 16 a los 28°C, presentando una evapotranspiración potencial anual de los 700 a los 1800 mm. En los alrededores del distrito de riego de Ciudad Delicias se observa un ejemplo característico de este tipo de clima. Así, no está por demás señalar la importancia que representan los distritos de riego para la zona, ya que climáticamente no se podría hacer producir la tierra únicamente con agua de temporal.

En lo que se refiere a los escenarios de cambio climático en la cuenca y de acuerdo al grupo de **escenarios A2 para el año 2050**, se obtuvo que dos de los tres escenarios

aplicados sugieren mayores condiciones de aridez. Estos escenarios, el norteamericano (GFDL) y el inglés (HADLEY), apuntan a que desaparecerá completamente el grupo climático Per Húmedo y surgirá el grupo Árido (Cuadro 1 y Figura 5). Este nuevo grupo climático árido se prevé afecte a los distritos de riego Conchos y Ciudad Delicias, para poco más de un 8% de acuerdo a los dos escenarios. Los climas semiáridos posiblemente se comportarán de una manera semejante al escenario base, ya que de un 90% que se observa actualmente, el primer escenario sugiere un 84% y el segundo un 85% de superficie ocupada. Los climas subhúmedos señalan el mismo comportamiento, al disminuir de un 6% en el escenario base a un 5% y 4% de acuerdo al modelo norteamericano e inglés, respectivamente. Cabe señalar que estos dos escenarios sugieren en general disminuciones en la cantidad de lluvia en la cuenca. Por su parte, el escenario ECHAM sugiere condiciones futuras de un poco más de humedad en la cuenca, reflejándose en el incremento de superficie ocupada por el grupo climático Per Húmedo Húmedos. Los climas subhúmedos de acuerdo a este modelo también señalan incrementos, al pasar de un 6% a un 14% aproximadamente.

Cuadro 24. Cambio en el clima por superficie ocupada (%) para el año 2050 de acuerdo al escenario A2 en la cuenca.

Grupo	Tipo	Clima Base	Escenario A2 al 2050		
			ECHAM	GFDL	HADLEY
A	Per Húmedo	0.05	1.81		
B4	Húmedo 4	0.17	0.87	0.17	0.05
B3	Húmedo 3	0.59	1.95	0.14	0.17
B2	Húmedo 2	1.18	1.44	1.20	1.23
B1	Húmedo 1	2.05	3.08	1.26	1.00
C2	Subhúmedo húmedo	2.71	6.04	2.74	2.93
C1	Subhúmedo seco	3.63	8.15	2.13	1.11
D3	Semiárido húmedo	11.51	21.04	9.35	10.20
D2	Semiárido intermedio	24.64	37.80	28.91	25.15
D1	Semiárido seco	53.49	17.55	45.47	49.34
E	Árido			8.62	8.83
TOTAL		100	100	100	100

Si se considera el **escenario B2 al año 2050**, los resultados muestran una tendencia muy similar a la antes descrita, aunque no tan drásticas. Por ejemplo, el grupo de climas perhúmedo permanecerá y aumentará ligeramente de acuerdo al modelo ECHAM, pero no así para el modelo norteamericano e inglés, los que sugieren que desaparecerá de la zona de estudio, comportamiento similar al grupo de escenarios A2. En lo que se refiere a los climas semiáridos, el escenario base señala que un 90% de la superficie está cubierta por este grupo, mientras que el escenario GFDL sugiere un 91%, el inglés un 90% y el alemán un 79% (Cuadro 2 y Figura 2).

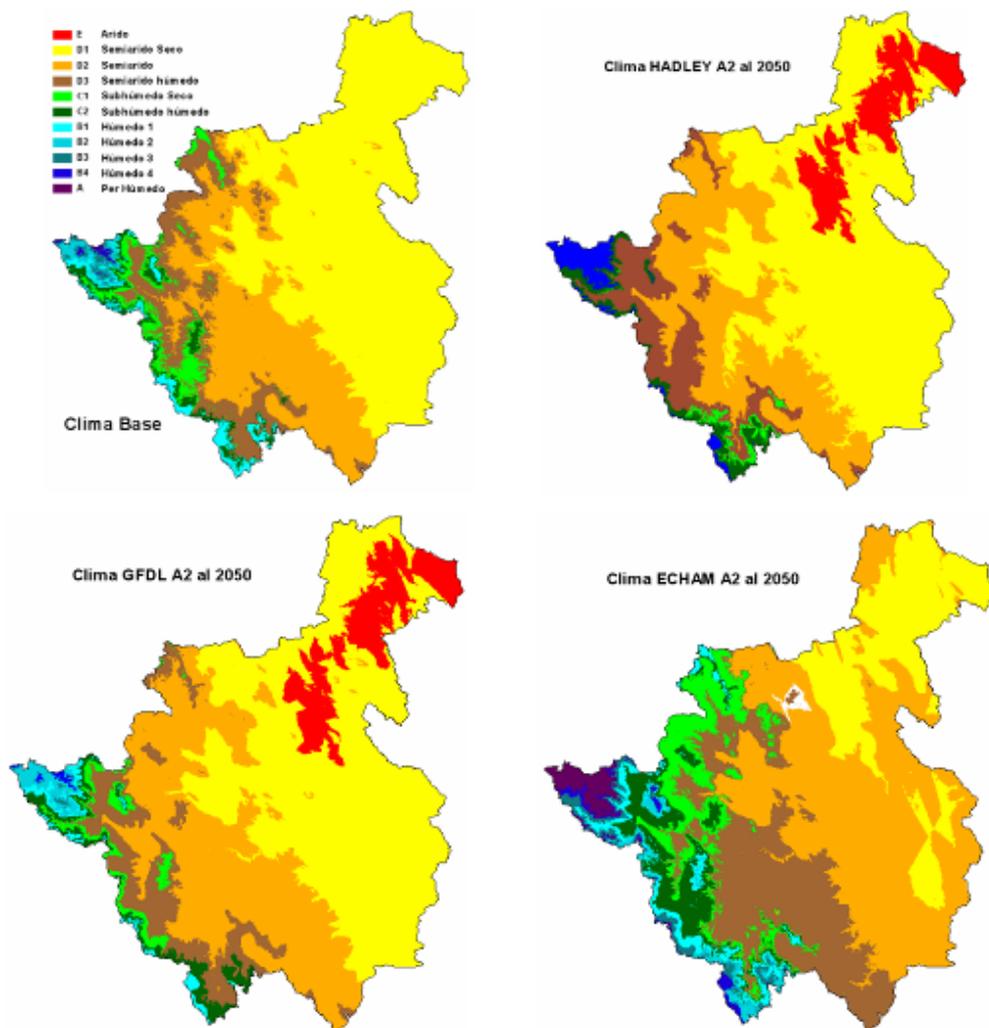


Figura 32. Escenarios de Cambio Climático para el 2050 según escenario socioeconómico A2

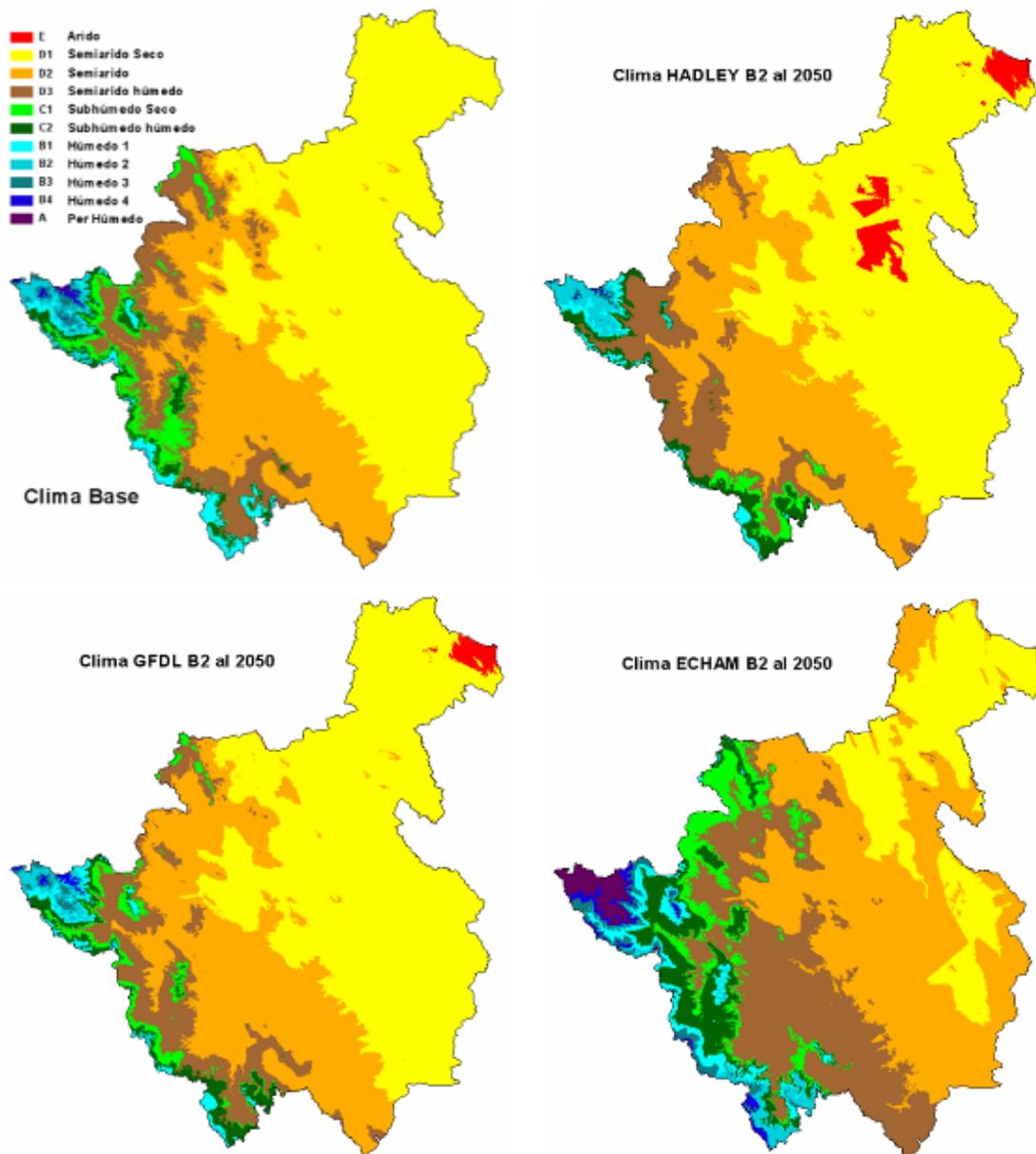


Figura 33. Escenarios de Cambio Climático para el 2050 según escenario socioeconómico B2.

Cuadro 25. Cambio en el clima por superficie ocupada (%) para el año 2050 de acuerdo al escenario B2 en la cuenca.

Grupo	Tipo	Clima Base	Escenarios al B2 al 2050		
			ECHAM	GFDL	HADLEY
A	Per Húmedo	0.05	1.54		
B4	Húmedo 4	0.17	0.99	0.18	0.05
B3	Húmedo 3	0.59	1.61	0.43	0.16
B2	Húmedo 2	1.18	1.48	1.00	1.34
B1	Húmedo 1	2.05	2.82	1.28	1.17
C2	Subhúmedo húmedo	2.71	6.44	2.73	2.81
C1	Subhúmedo seco	3.63	5.90	2.45	1.20
D3	Semiárido húmedo	11.51	22.92	9.81	10.37
D2	Semiárido intermedio	24.64	37.04	28.16	28.80
D1	Semiárido seco	53.49	19.25	53.10	51.23
E	Árido			0.85	2.86
TOTAL		100	100	100	100

3.2.2. Duración del periodo de crecimiento y balance de humedad.

En el Cuadro 26 se muestran las estaciones meteorológicas en la zona de estudio en donde se indica el periodo de observación, quedando dos estaciones para cada Distrito de Riego.

Cuadro 26. Estaciones meteorológicas de las áreas de estudio en la Cuenca del Río Conchos.

Clave	Localidad	Lat. °N	Long °W	Elevación (msnm)	Periodo de observación
Distrito de Riego del Bajo Río Conchos					
8049	Luís L. León	29.99	105.27	1019	1964-2003
8037	Coyame	29.47	105.10	1214	1961-2003
Distrito de Riego de Ciudad Delicias					
8019	Canal Principal	28.22	105.57	1199	1961-2003
8135	Saucillo	28.03	105.57	1183	1935-1999
Distrito de Riego del Río Florido					
8029	Ciudad Jiménez	27.13	104.93	1382	1903-2003
8078	Hidalgo del Parral	26.93	105.67	1716	1921-2003

Como se indicó en la metodología, la información se seccionó en dos periodos, el primero a partir del año con información en las estaciones meteorológicas hasta 1990,

esto de acuerdo al escenario base que plantea por el IPCC (2007) para estimar las razones de cambio con los modelos generales de circulación atmosférica (MGC) y el segundo periodo de 1990 en adelante hasta el año que cuentan con información las estaciones.

Al escenario base de precipitación y temperatura se le aplicaron las razones de cambio de tres MGC para el escenario A2 y para el año 2050. Los MGC que se utilizaron fueron el GFDL (de Estados Unidos de América), el ECHAM (de Alemania) y el HADLEY (de Inglaterra). Con la información climatológica adicional, generada de acuerdo al procedimiento descrito por Gómez et al. (2007), para cada periodo se estimó la Evapotranspiración Potencial (ETP) de acuerdo con Penman modificado por Monteith (Sys et al., 1991) auxiliado con el programa CROPWAT ver. 2.1 (1991). En los Cuadros 27, 28 y 29 se presenta la información de temperatura, precipitación y ETP para las estaciones de los tres Distrito de Riego estudiados, cada periodo (el escenario base que comprende información histórica hasta 1990 y el periodo comprendido después de 1990), y para los escenarios de cambio climático con las razones de cambio de los MGC descritos. Esta fue la información base para la estimación de los periodos de crecimiento y el balance de humedad.

La variación de la temperatura media anual con información posterior a 1990, comparándola con el escenario base, en cinco de las seis estaciones aumentó en valores que van de 0.4 a 1.3°C, lo que es consistente con la información reportada por el IPCC (2007) en donde se considera la década de los años 90 es la de mayor temperatura del siglo pasado y lo que va de este siglo. Este parámetro aumentó en todas las estaciones al considerar los escenarios de cambio climático señalados; con el modelo GFDL, el incremento en la temperatura media anual fue de 1.7 a 2.1°C; con el modelo ECHAM, el incremento fue el mayor de todos con valores que fueron de 2.2 a 2.6°C; y, con el modelo HADLEY el incremento fue de 2.1 a 2.5°C, muy similar a los estimados con el modelo anterior.

La variación de la precipitación media anual comparándola con el escenario base, en el periodo posterior a 1990, en cuatro estaciones de las seis estudiadas, disminuyó con respecto al total con porcentajes que fueron del 8% para la estación más lluviosa (Hidalgo del Parral) a cercas del 50% en la estación Canal Principal en el Distrito de Riego de Delicias, en las otras estaciones la disminución fue del 10 a 15%. En las otras dos estaciones el incremento fue de menos de 5% para la estación de Ciudad Jiménez en el Distrito de Río Florido y de cercas de 30% en la estación de Coyame en el Distrito de Bajo Río Conchos. Esta situación se atribuye a la gran variación espacial de este parámetro y la variabilidad interanual en las zonas secas como son la totalidad de las estaciones consideradas. Aunada a esta situación, la variación puede también asociarse a la situación de que el periodo posterior a 1990 es relativamente corto (casi en la generalidad fue de 1991 a 2003), en el cual se han presentado periodos extremos de poca precipitación, así como algunos años con precipitaciones considerablemente por arriba del promedio en algunos meses, lo que aumenta la variabilidad. La mayor variación se dio en las zonas con precipitación más escasa, como es el caso de la estación de Canal Principal y de Coyame.

En los escenarios de cambio climático la variación fue diferente en cada uno de ellos, con el modelo GFDL se estimó una disminución para todas las estaciones con proporciones que fueron del 1% en Coyame, de 6 y 7% para Ciudad Jiménez e Hidalgo del Parral, respectivamente y de 12% para las estaciones de Luis León y Saucillo. La estación con mayor disminución fue la de Canal Principal en Delicias con cercas del 18%. Con el modelo ECHAM, los resultados de la aplicación de las razones de cambio mensuales arrojan un incremento anual que va del 18% para la estación de Canal principal y cercana a 30% para cuatro estaciones (Saucillo, Hidalgo del Parral, Ciudad Jiménez y Luís León) y para Coyame el incremento estimado fue cercano a 50%, siendo para todos los casos el mes de Junio el que presenta incrementos considerables en esta variable. Con el modelo HADLEY, los resultados fueron mixtos pero sin gran variación, en cuatro estaciones se prevé un decremento en la precipitación media anual que va de 3% para Ciudad Jiménez e Hidalgo del Parral, de 5% para Luís León y de

11% para Canal Principal en Delicias y un aumento para las estaciones de Coyame y de Saucillo con 1 y 6%, respectivamente.

La ETP con respecto al escenario base, comparando el periodo posterior a 1990, sólo disminuyó en cerca del 1% para la estación Luis León y para las otras estaciones en este periodo aumentó en proporción de 3% para Canal Principal y Ciudad Jiménez, de 5% para Hidalgo del Parral y Saucillo y de 7% para Coyame. En los escenarios de cambio climático en todos los casos la ETP estimada aumentó con respecto a la del escenario base. Con el modelo GFDL, los incrementos estimados fueron de 7% para las estaciones de Luis León y Ciudad Jiménez, de 9% para las estaciones de Canal Principal y Saucillo, de 10 y 11% para las estaciones de Hidalgo del Parral y Coyame, respectivamente. Con el modelo ECHAM el incremento estimado fue de 9% para las estaciones de Luis León y Ciudad Jiménez, de 10% para Saucillo, 11% para Canal Principal, 12% para Hidalgo del Parral y de 13% para Coyame. En el caso del modelo HADLEY, el incremento fue muy similar al anterior modelo con 9% para Luis León y Ciudad Jiménez, de 10% para Canal Principal y Saucillo y de 12 y 13% para Hidalgo del Parral y Coyame, respectivamente.

Cuadro 27. Datos de variables climáticas de las estaciones del Distrito de Riego del Bajo Río Conchos

Periodo/ Escenario	Parámetro	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Estación 8049 Luís León														
Antes de 1990	T. Med (°C)	10.1	12.8	16.8	20.7	24.9	28.5	28.3	27.1	24.7	20.4	14.5	10.8	20.0
	Precip. (mm)	6.9	3.9	3.1	6.4	13.2	36.3	59.6	74.4	56.2	22.3	7.9	9.6	299.7
	ETP (mm)	54.9	71.1	108.5	129.0	161.8	178.5	173.9	158.7	141.9	119.7	77.7	56.4	1432.1
1990 en adelante	T. Med (°C)	10.5	12.6	15.5	19.9	25.1	25.5	28.1	27.0	24.8	19.7	14.7	10.7	19.8
	Precip. (mm)	4.5	7.2	2.7	3.1	9.6	21.0	60.5	73.1	29.1	39.7	7.6	9.0	267.1
	ETP (mm)	57.0	70.8	103.2	125.7	159.3	179.7	178.3	161.5	141.6	117.2	77.1	56.7	1428.2
GFDL A2 al 2050	T. Med (°C)	12.2	14.3	17.7	20.5	26.5	30.3	30.1	29.7	27.4	22.6	16.2	12.4	21.7
	Precip. (mm)	7.5	5.4	3.3	5.4	7.9	44.3	47.8	55.6	44.3	22.4	10.2	9.4	263.4
	ETP (mm)	59.2	76.7	112.8	129.6	167.4	192.0	191.3	176.4	158.7	130.2	83.4	60.8	1538.5
ECHAM A2 al 2050	T. Med (°C)	11.9	15.0	18.2	22.9	27.9	31.7	30.1	29.3	27.5	22.3	16.5	12.8	22.2
	Precip. (mm)	5.3	4.0	1.0	4.6	24.2	113.9	71.8	74.1	54.1	26.4	7.0	5.2	391.5
	ETP (mm)	58.6	77.3	114.4	135.9	174.5	198.0	194.4	176.1	157.8	129.3	83.4	61.1	1560.7
HADLEY A2 al 2050	T. Med (°C)	12.0	14.9	18.1	22.7	28.0	31.0	30.2	29.2	27.6	22.6	16.4	12.1	22.1
	Precip. (mm)	4.7	4.0	2.4	3.0	7.2	30.1	62.8	59.3	59.0	37.0	6.3	9.0	284.5
	ETP (mm)	58.9	77.6	118.1	135.9	173.6	195.6	193.8	175.8	157.5	131.4	84.6	60.1	1562.9
Estación 8037 Coyame														
Antes de 1990	T. Med (°C)	8.2	10.8	14.2	18.8	23.1	26.8	26.4	25.7	23.5	19.4	12.9	9.2	18.2
	Precip. (mm)	7.2	6.2	2.7	7.3	14.6	46.2	45.7	62.8	55.3	23.5	7.7	8.2	287.4
	ETP (mm)	52.4	66.4	100.1	122.7	155.3	171.0	173.9	157.2	140.4	115.0	71.7	53.0	1379.1
1990 en adelante	T. Med (°C)	9.9	11.8	15.5	20.2	24.9	28.3	27.6	26.5	22.5	20.1	14.2	10.3	19.3
	Precip. (mm)	11.9	18.6	4.3	5.6	20.7	27.9	106.7	80.2	48.4	23.8	10.1	9.7	367.9
	ETP (mm)	57.7	72.5	101.4	130.8	161.8	186.0	180.1	168.6	153.9	125.6	79.8	57.7	1475.8
GFDL A2 al 2050	T. Med (°C)	10.5	12.5	15.8	19.2	24.9	28.9	28.5	28.4	25.9	21.9	14.8	11.0	20.2
	Precip. (mm)	9.8	8.9	3.3	6.9	10.2	59.4	48.6	49.5	48.5	20.0	10.7	8.5	284.2
	ETP (mm)	58.0	75.3	107.0	131.1	164.9	190.8	188.2	177.0	166.8	134.5	83.4	59.5	1536.5
ECHAM A2 al 2050	T. Med (°C)	10.1	13.2	16.3	21.6	26.3	30.3	28.4	28.0	26.0	21.6	15.1	11.4	20.7
	Precip. (mm)	7.0	6.5	1.0	6.2	25.2	152.6	68.6	62.7	59.3	24.7	7.4	4.7	425.8
	ETP (mm)	58.3	76.2	107.9	136.5	172.1	195.6	188.8	176.1	167.1	134.2	83.7	59.8	1556.2
HADLEY A2 al 2050	T. Med (°C)	10.2	13.1	16.2	21.4	26.4	29.7	28.5	27.9	26.1	21.9	15.0	10.8	20.6
	Precip. (mm)	6.1	6.5	2.4	4.1	10.2	40.3	60.0	49.5	64.7	33.0	6.6	8.1	291.4
	ETP (mm)	58.6	76.2	108.2	135.6	171.4	194.7	189.4	176.1	167.4	135.5	84.0	59.8	1556.9

Cuadro 28. Datos de variables climáticas de las estaciones del Distrito de Riego de Ciudad Delicias

Periodo/ Escenario	Parámetro	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
Estación 8019 Canal Principal														
Antes de 1990	T. Med (°C)	9.5	11.8	15.0	18.6	21.7	25.1	25.0	23.9	21.8	17.9	13.4	10.5	17.9
	Precip. (mm)	7.1	5.2	2.9	11.6	13.6	30.0	62.3	68.3	74.5	23.4	7.9	10.0	316.8
	ETP (mm)	54.56	68.88	102.92	124.2	154.38	167.7	165.23	149.42	132.3	113.15	74.1	55.49	1362.33
1990 en adelante	T. Med (°C)	10.3	13.3	15.6	20.7	26.4	26.9	25.4	24.1	20.9	16.2	11.5	8.4	18.3
	Precip. (mm)	1.0	0.2	4.0	0.0	14.1	14.8	31.2	48.5	32.4	10.6	1.7	1.0	159.5
	ETP (mm)	54.56	69.72	104.78	129.6	169.26	180	175.15	155.31	133.2	106.95	68.7	51.46	1398.69
GFDL A2 al 2050	T. Med (°C)	11.6	13.7	16.3	19.1	24.1	27.2	26.8	26.5	24.1	19.9	14.6	11.6	19.6
	Precip. (mm)	7.3	4.9	3.4	9.7	8.2	37.3	44.3	47.9	62.2	17.5	8.5	8.1	259.3
	ETP (mm)	57.97	75.04	110.36	130.5	166.16	187.5	182.59	167.09	149.1	123.07	78.9	58.59	1486.87
ECHAM A2 al 2050	T. Med (°C)	11.3	14.5	17.0	21.5	25.6	28.6	26.8	26.0	24.2	19.6	14.8	12.0	20.2
	Precip. (mm)	4.8	3.6	1.2	7.0	32.9	90.6	63.7	67.1	72.0	20.5	5.9	4.1	373.5
	ETP (mm)	57.66	75.60	112.22	143.10	177.63	188.40	184.45	165.54	148.80	122.76	78.90	58.90	1513.96
HADLE Y A2 al 2050	T. Med (°C)	11.4	14.4	17.0	21.3	25.6	27.9	27.0	26.0	24.3	19.9	14.7	11.4	20.1
	Precip. (mm)	4.2	3.6	2.6	5.1	8.2	26.7	58.2	51.1	78.5	28.8	5.6	8.1	280.7
	ETP (mm)	57.66	75.32	111.91	135.6	172.36	186	184.45	166.78	149.1	123.38	78.9	58.28	1499.74
Estación 8135 Saucillo														
Antes de 1990	T. Med (°C)	10.8	13.1	16.7	20.3	24.0	27.3	26.8	25.8	23.7	19.7	14.6	11.5	19.5
	Precip. (mm)	9.4	7.0	3.3	10.2	9.3	39.8	69.2	93.4	72.0	22.8	8.3	6.8	351.5
	ETP (mm)	55.8	72.24	106.64	128.4	160.27	174.3	168.64	153.14	138	117.8	77.7	57.66	1410.59
1990 en adelante	T. Med (°C)	13.0	15.1	17.5	21.0	25.5	28.5	27.5	26.7	24.9	21.0	16.1	13.3	20.8
	Precip. (mm)	9.3	6.1	6.3	3.0	15.4	25.8	81.7	65.5	50.9	17.6	11.5	10.2	303.3
	ETP (mm)	57.04	76.16	110.67	132.6	167.71	183	173.91	159.65	148.2	129.58	82.2	58.9	1479.62
GFDL A2 al 2050	T. Med (°C)	13.5	15.2	18.1	20.6	25.9	29.3	28.7	28.5	26.5	22.4	16.7	13.6	21.6
	Precip. (mm)	11.3	7.8	4.3	8.9	6.6	49.7	58.5	63.5	62.6	17.5	12.1	8.2	311.1
	ETP (mm)	58.9	78.68	114.39	133.8	168.33	188.1	182.59	168.02	158.1	135.47	84.9	61.69	1532.97
ECHAM A2 al 2050	T. Med (°C)	13.2	16.0	18.8	23.0	27.4	30.7	28.7	28.0	26.6	22.1	16.9	14.0	22.1
	Precip. (mm)	7.6	5.8	1.6	6.4	26.6	120.6	84.0	88.9	72.5	20.6	8.4	4.1	446.9
	ETP (mm)	58.28	79.52	116.25	139.20	176.08	194.10	184.45	167.40	158.40	135.78	85.20	62.00	1556.66
HADLE Y A2 al 2050	T. Med (°C)	13.3	15.9	18.8	22.8	27.4	30.0	28.9	28.0	26.7	22.4	16.8	13.4	22.0
	Precip. (mm)	6.6	5.8	3.3	4.7	6.6	35.5	76.7	67.7	79.1	28.8	7.9	8.2	331.0
	ETP (mm)	58.59	79.52	116.25	137.4	176.08	192.6	184.76	167.71	158.4	136.71	84.6	61.69	1554.31

Cuadro 29. Datos de variables climáticas de las estaciones del Distrito de Riego del Río Florido

Periodo/ Escenario	Parámetro	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
Estación 8029 Ciudad Jiménez														
Antes de 1990	T. Med (°C)	10.6	12.8	16.5	20.2	23.7	26.6	26.0	25.1	23.2	19.5	14.2	10.8	19.1
	Precip. (mm)	6.9	5.2	4.6	5.1	13.2	38.3	77.7	60.9	58.1	25.8	6.6	7.5	309.9
	ETP (mm)	56.73	73.36	108.19	129.3	160.89	170.7	166.47	150.35	136.2	117.18	77.1	57.04	1403.51
1990 en adelante	T. Med (°C)	11.6	13.8	16.8	20.9	26.1	28.3	27.0	26.1	23.5	20.0	14.9	12.3	20.1
	Precip. (mm)	8.8	6.7	3.9	1.4	13.4	28.2	73.6	66.8	73.9	26.5	9.5	6.2	318.8
	ETP (mm)	57.66	75.32	110.05	133.2	168.64	181.8	170.5	156.86	139.8	120.9	78.3	58.59	1451.62
GFDL A2 al 2050	T. Med (°C)	12.7	14.6	17.8	20.4	25.5	28.5	27.7	27.8	25.6	21.9	15.9	12.5	20.9
	Precip. (mm)	8.6	6.2	5.0	4.7	8.6	49.5	65.5	43.3	63.3	20.7	9.1	7.3	291.8
	ETP (mm)	59.52	78.68	114.08	134.7	168.02	183.9	177.32	164.61	150.9	129.58	82.8	60.45	1504.56
ECHAM A2 al 2050	T. Med (°C)	12.5	15.4	18.7	22.9	27.0	29.9	27.7	27.2	25.7	21.6	16.0	12.8	21.5
	Precip. (mm)	5.7	4.9	1.8	3.6	26.5	110.0	88.6	65.0	63.3	23.3	6.3	3.7	402.6
	ETP (mm)	58.90	79.52	116.56	140.70	174.84	189.60	179.18	162.75	151.20	127.72	82.80	60.76	1524.53
HADLEY A2 al 2050	T. Med (°C)	12.6	15.5	18.6	22.6	27.0	29.2	28.0	27.3	25.9	22.0	16.0	12.2	21.4
	Precip. (mm)	5.0	4.6	4.3	2.7	8.0	36.7	77.0	46.4	69.3	32.4	6.3	6.9	299.6
	ETP (mm)	59.21	79.52	115.94	138	174.84	187.5	179.49	163.99	151.8	129.58	83.1	60.14	1523.11
Estación 8078 Hidalgo del Parral														
Antes de 1990	T. Med (°C)	10.2	12.1	15.0	18.4	21.8	24.5	23.2	22.3	20.8	17.9	13.9	10.9	17.6
	Precip. (mm)	5.3	4.7	2.2	6.6	13.4	47.4	112.3	125.1	114.9	30.6	13.0	9.1	484.6
	ETP (mm)	56.73	70.28	102.3	120.9	149.73	161.4	153.14	140.12	128.4	110.36	75.6	57.66	1326.62
1990 en adelante	T. Med (°C)	10.9	12.6	15.4	18.9	23.0	25.9	24.0	23.1	21.3	18.5	14.3	11.1	18.3
	Precip. (mm)	12.9	5.8	3.6	2.8	12.3	52.3	139.9	84.0	95.8	20.6	8.4	5.5	443.7
	ETP (mm)	57.97	72.24	105.71	125.7	156.55	170.7	164.3	149.73	134.4	114.39	78.3	58.9	1388.89
GFDL A2 al 2050	T. Med (°C)	12.2	13.8	16.3	18.6	23.4	26.3	24.8	24.8	23.2	20.3	15.6	12.4	19.3
	Precip. (mm)	7.3	5.5	2.8	6.5	7.9	64.9	98.5	89.9	118.0	23.4	16.1	8.5	449.3
	ETP (mm)	61.69	77.56	111.6	128.1	159.96	176.1	169.57	158.41	144.3	124.31	84.9	63.86	1460.36
ECHAM A2 al 2050	T. Med (°C)	12.0	14.6	17.2	21.0	24.9	27.6	25.0	24.2	23.2	20.2	15.7	12.6	19.8
	Precip. (mm)	4.8	4.1	1.1	4.3	34.3	153.8	127.5	131.8	123.6	26.3	10.5	3.8	626.0
	ETP (mm)	61.69	78.68	113.77	134.70	166.78	180.30	172.05	156.86	144.30	123.69	84.30	64.17	1481.29
HADLEY A2 al 2050	T. Med (°C)	12.2	14.7	17.2	20.8	24.8	26.9	25.1	24.2	23.4	20.3	15.7	12.2	19.8
	Precip. (mm)	4.5	4.1	2.2	3.4	7.9	48.0	115.9	95.8	129.3	39.5	11.1	8.1	469.9
	ETP (mm)	61.69	78.96	114.08	134.1	165.85	178.5	172.36	157.79	144.9	124	84.9	63.55	1480.68

En las Figuras de la 34 a la 39 se muestran los cambios de las distintas variables climáticas medias mensuales: **a** = temperatura; **b** = precipitación y **d** = evapotranspiración potencial estimada con el método de Penman modificado por Monteith (Sys et al., 1991), para cada estación meteorológica de acuerdo al escenario y/o periodo considerado, así como **c** = déficit de humedad mensual estimado de acuerdo al procedimiento de Dune y Leopold (1978) y **d** = relación de la precipitación media mensual y el 0.5 de la ETP para estimar el periodo de crecimiento.

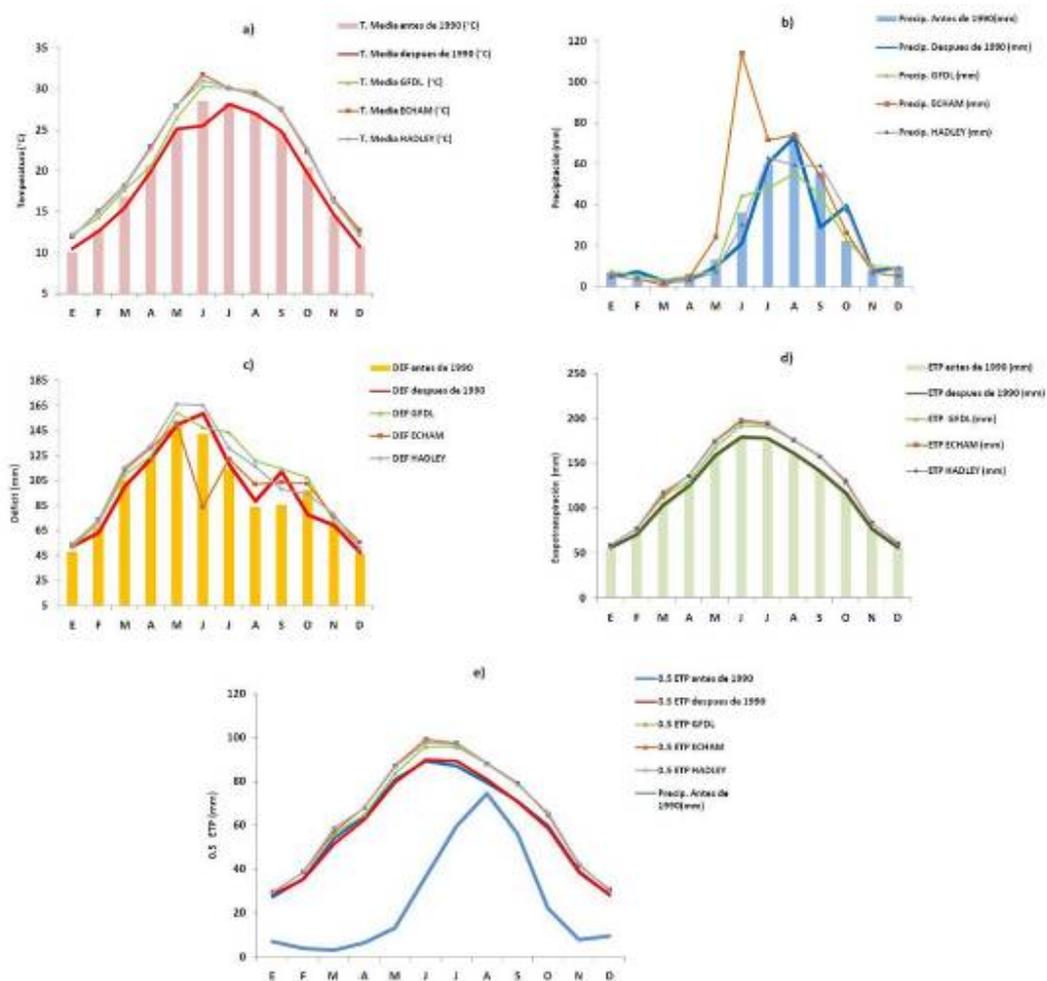


Figura 34. Gráficos de a) temperatura media mensual, b) precipitación media mensual, c) déficit medio mensual, d) evapotranspiración media mensual y e) periodo de crecimiento para la estación Luis León (08049), para los periodos: hasta 1990, después de 1990 y tres escenarios de cambio climático.

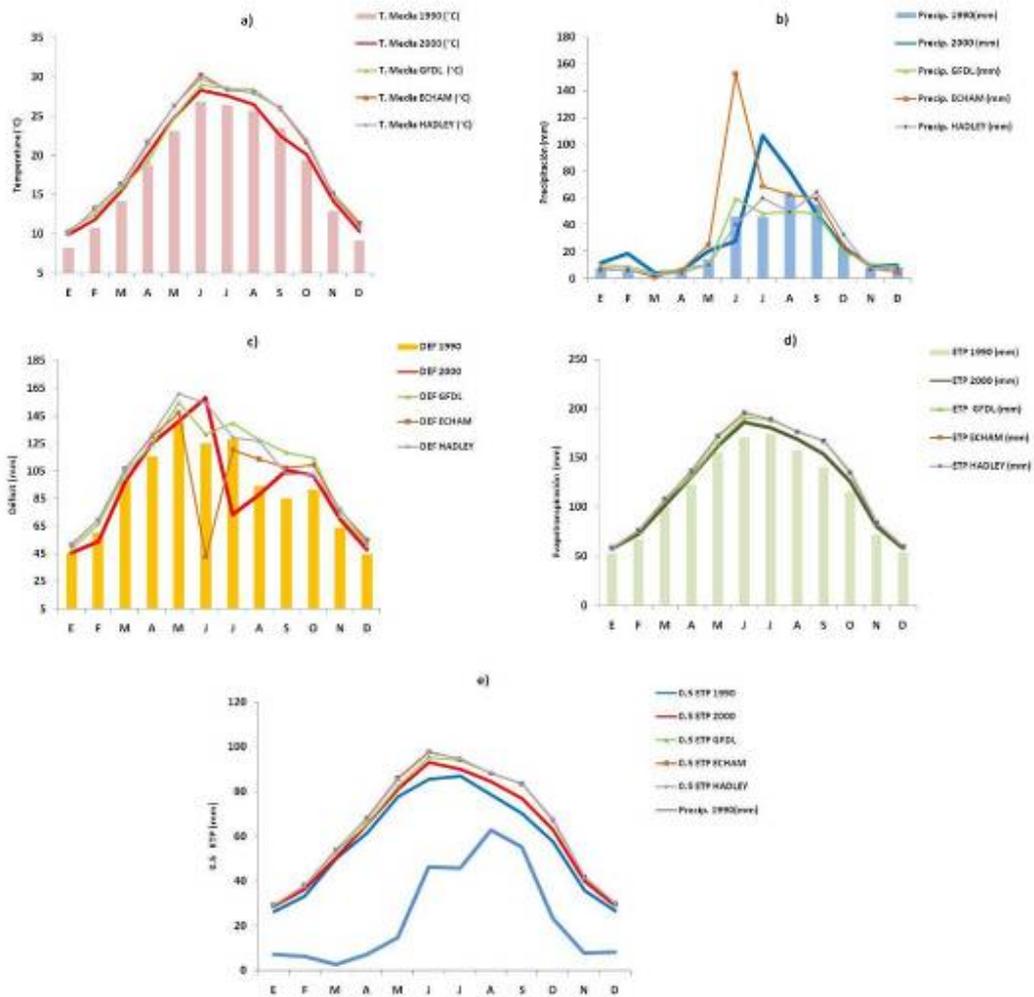


Figura 35. Gráficos de a) temperatura media mensual, b) precipitación media mensual, c) déficit medio mensual, d) evapotranspiración media mensual y e) periodo de crecimiento para la estación Coyamé (08037), para los periodos: antes de 1990, después de 1990 y tres escenarios de cambio climático.

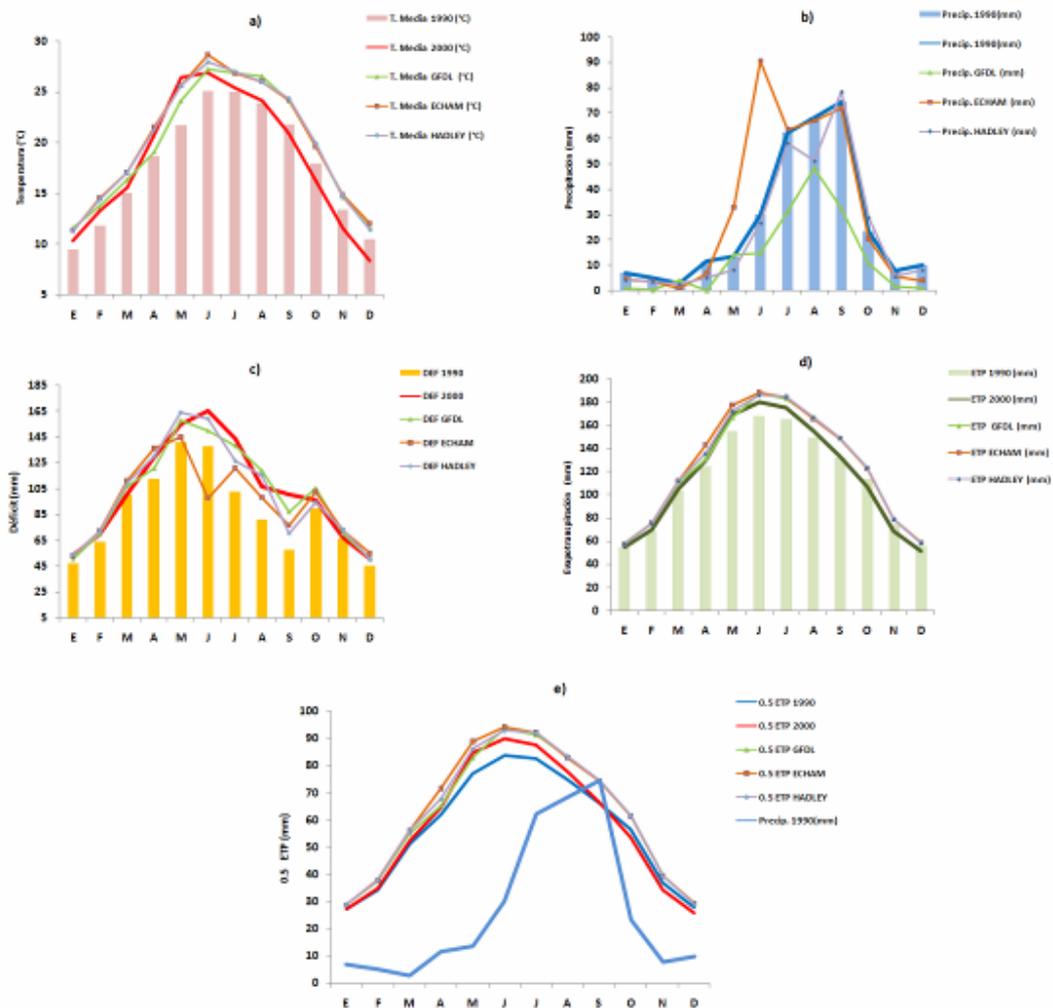


Figura 36. Gráficos de a) temperatura media mensual, b) precipitación media mensual, c) déficit medio mensual, d) evapotranspiración media mensual y e) periodo de crecimiento para la estación Canal Principal (08019), para los periodos: antes de 1990, después de 1990 y tres escenarios de cambio climático.

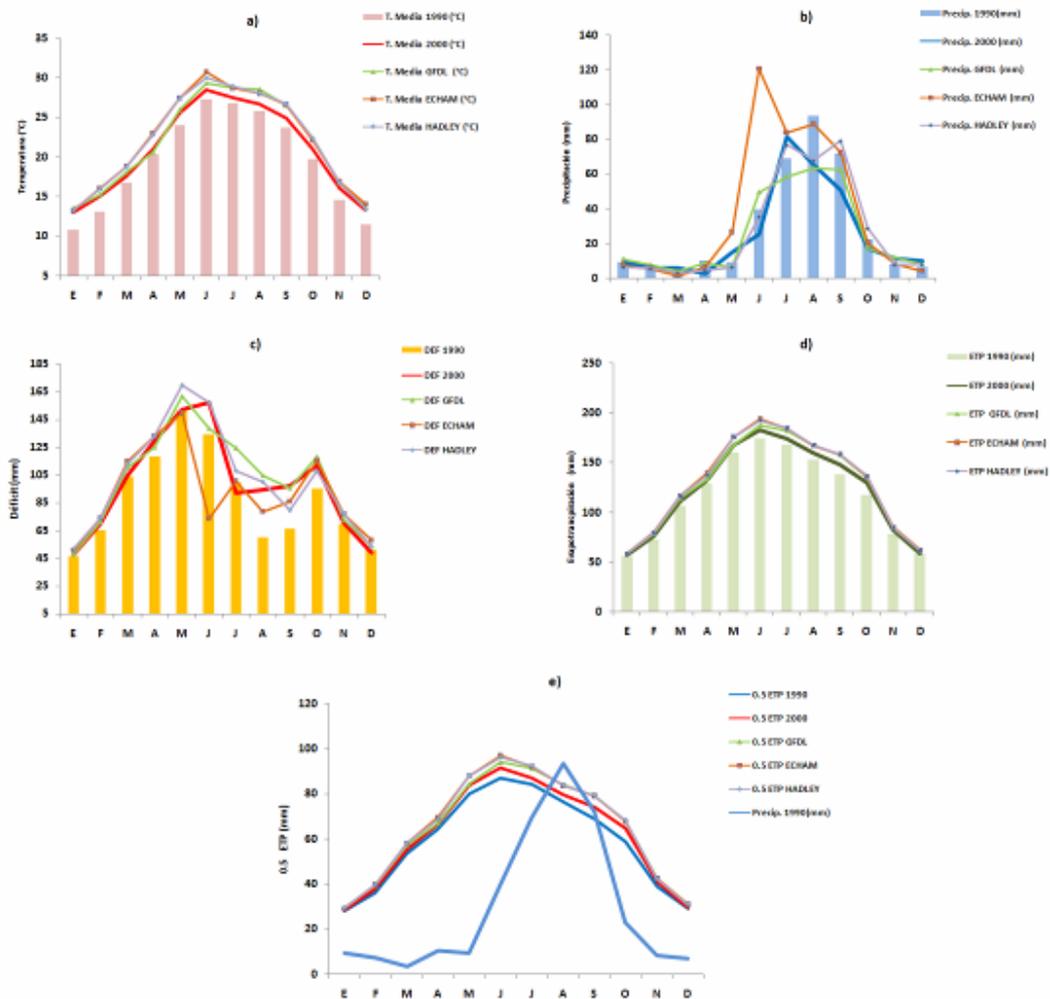


Figura 37. Gráficos de a) temperatura media mensual, b) precipitación media mensual, c) déficit medio mensual, d) evapotranspiración media mensual y e) periodo de crecimiento para la estación Saucillo (08135), para los periodos: antes de 1990, después de 1990 y tres escenarios de cambio climático.

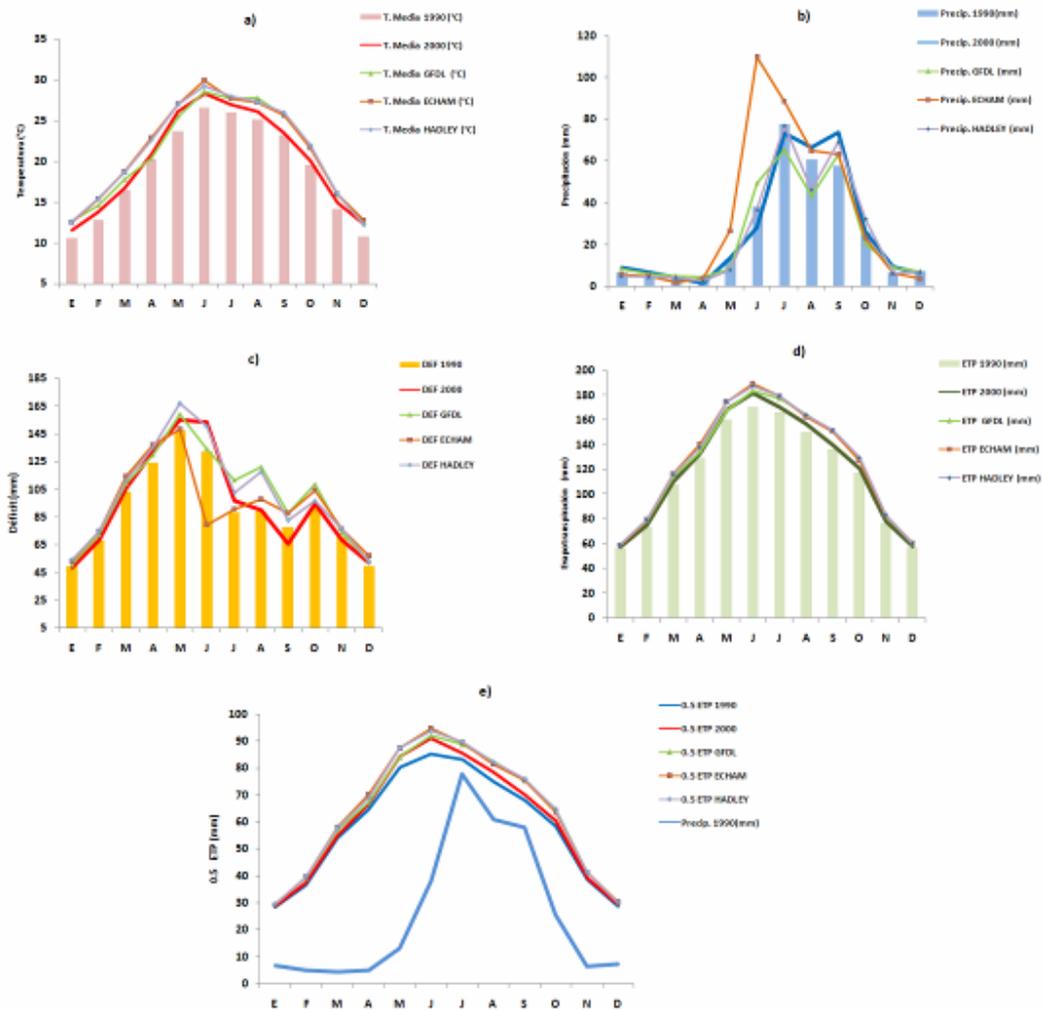


Figura 38. Gráficos de a) temperatura media mensual, b) precipitación media mensual, c) déficit medio mensual, d) evapotranspiración media mensual y e) periodo de crecimiento para la estación Ciudad Jiménez (08029), para los periodos: antes de 1990, después de 1990 y tres escenarios de cambio climático.

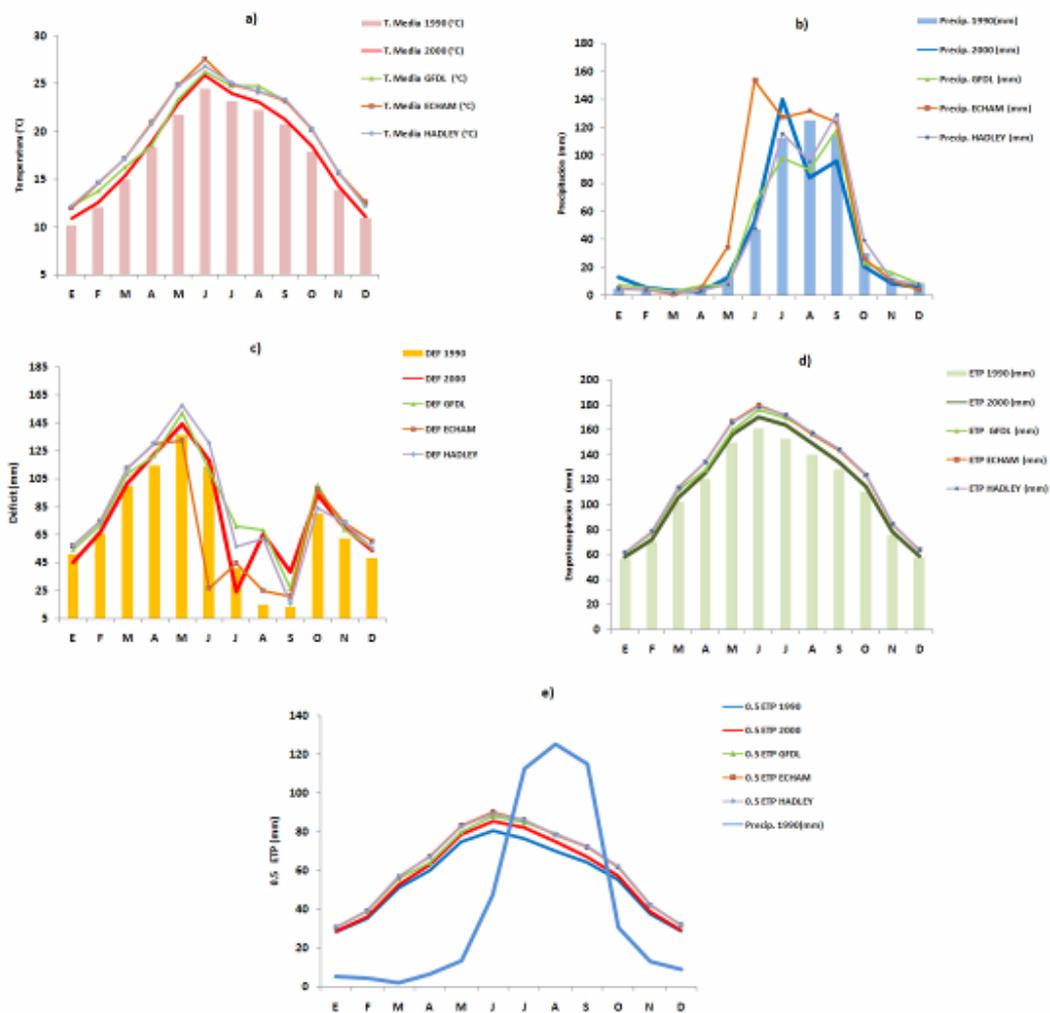


Figura 39. Gráficos de a) temperatura media mensual, b) precipitación media mensual, c) déficit medio mensual, d) evapotranspiración media mensual y e) periodo de crecimiento para la estación Hidalgo del Parral (08078), para los periodos: antes de 1990, después de 1990 y tres escenarios de cambio climático.

En el Cuadro 30 se detallan los periodos de crecimiento y balance de humedad anual para cada una de las estaciones y los periodos y escenarios de cambio climático considerados en el estudio.

La duración del periodo de crecimiento así como el inicio y final de este parámetro presentó variaciones entre estaciones y dentro de cada una de ellas. En la estación Luis

León, que tiene el déficit de humedad anual mayor en el escenario base, el periodo de crecimiento es del tipo seco todo el año (duración de 0 días) en el escenario base, para el periodo posterior a 1990 y para los modelos GFDL y HADLEY. Sin embargo, el escenario del modelo ECHAM se estimó un periodo de crecimiento de 17 días que comprende del 9 al 26 de Junio, lo que está relacionado al considerable incremento de la precipitación que se prevé para este mes con dicho modelo.

Las estaciones de Ciudad Jiménez y Coyame son las que tuvieron el déficit de humedad anual que siguieron en orden de magnitud y se estima que se tengan condiciones de crecimiento de cultivos en el periodo posterior a 1990 y en el escenario del modelo ECHAM. Para Coyame, la duración del periodo de crecimiento para el periodo posterior a 1990 fue de 30 días con inicio del 9 de Julio y final el 8 de Agosto y para el modelo ECHAM la duración estimada fue de 35 días con un inicio el 31 de Mayo y final el 5 de Julio y en este último caso es consecuencia de lo antes mencionado para este modelo que estima un incremento considerable en la precipitación en el mes de Junio. En el caso de la estación de Ciudad Jiménez, la duración del periodo de crecimiento para el periodo posterior a 1990 fue de 11 días y se presentó en el mes de Septiembre, para el escenario del modelo ECHAM la duración de este parámetro fue de 35 días que se ubican principalmente en el mes de Junio.

La estación de Saucillo sigue a las anteriores en la magnitud del déficit de humedad anual y se estimó un periodo de crecimiento en el escenario base de 49 días, mismo que comprende del 30 de Julio al 17 de Septiembre así como un periodo de 31 días para el escenario del modelo ECHAM que se ubica como en los otros casos principalmente en el mes de Junio. Para el periodo posterior a 1990 y los escenarios de los otros MGC el periodo de crecimiento fue seco con una duración de cero días.

En el orden de déficit de humedad anual sigue la estación del Canal Principal en el Distrito de Riego de Delicias, con un periodo de crecimiento seco para la mayoría de los

escenarios y periodos, con excepción del modelo HADLEY que se estimó con duración de un día en el mes de Septiembre.

La estación con el déficit de humedad anual menor fue la de Hidalgo del Parral, misma que para todos los periodos y escenarios se tienen condiciones en las que la precipitación media de algunos meses sobrepasa el 0.5 de la ETP. Para el periodo del escenario base se estimó una duración de este parámetro de 97 días que comprende los meses de Julio a Septiembre, lo mismo ocurre para el periodo posterior a 1990 con una duración de 94 días y en con la misma estacionalidad. El modelo GFDL estima un patrón similar al anterior con una duración de 89 días y para el modelo HADLEY es también similar con una duración de 95 días. Con las variables climáticas estimadas con las razones de cambio del modelo ECHAM, el periodo de crecimiento se incrementa considerablemente con una duración de 127 días y el inicio a finales del mes de Mayo para terminar a inicios del mes de Octubre.

En el balance de humedad para determinar el total de la humedad retenida (THR), al no presentarse demasías de agua en todas las estaciones, el anterior parámetro es también igual a cero, por lo que el cambio para este parámetro se asoció con la intensidad del déficit para cada periodo y los escenarios de cambio climático considerados, mismos que se reportan en el Cuadro 30 y se muestran gráficamente en las Figuras 34c, 35c, 36c, 37c, 38c y 39c para las estaciones meteorológicas Luis León, Coyame, Canal Principal, Saucillo, Ciudad Jiménez e Hidalgo del Parral, respectivamente.

Cuadro 30. Periodo de crecimiento y balance de humedad de las estaciones de los Distritos de Riego de la zona de estudio

Periodos/Escenarios	Periodo de crecimiento			Balance de humedad	
	Inicio	Final	Duración (días)	Demasía anual (mm)	Déficit anual (mm)
Estación 8049 Luis León					
Antes de 1990	--	--	0	0	1132.5
1990 en adelante	--	--	0	0	1161.1
GFDL A2 al 2050	--	--	0	0	1275.1
ECHAM A2 al 2050	9 de Jun.	26 de Jun.	17	0	1169.2
HADLEY A2 al 2050	--	--	0	0	1278.3
Estación 8037 Coyame					
Antes de 1990	--	--	0	0	1091.7
1990 en adelante	9 de Jul.	8 de Ags.	30	0	1107.9
GFDL A2 al 2050	--	--	0	0	1252.3
ECHAM A2 al 2050	31 de May.	5 de Jul.	35	0	1130.4
HADLEY A2 al 2050	--	--	0	0	1265.4
Estación 8019 Canal Principal					
Antes de 1990	--	--	0	0	1045.5
1990 en adelante	--	--	0	0	1239.2
GFDL A2 al 2050	--	--	0	0	1227.5
ECHAM A2 al 2050	--	--	0	0	1140.5
HADLEY A2 al 2050	17 de Sep.	18 de Sep.	1	0	1219.0
Estación 8135 Saucillo					
Antes de 1990	30 de Jul	17 de Sep.	49	0	1059.1
1990 en adelante	--	--	0	0	1176.3
GFDL A2 al 2050	--	--	0	0	1221.9
ECHAM A2 al 2050	6 de Jun.	7 de Jul.	31	0	1109.7
HADLEY A2 al 2050	--	--	0	0	1223.3
Estación 8029 Ciudad Jiménez					
Antes de 1990	--	--	--	0	1093.6
1990 en adelante	7 de Sep.	18 de Sep.	11	0	1132.8
GFDL A2 al 2050	--	--	0	0	1212.8
ECHAM A2 al 2050	8 de Jun.	13 de Jul.	35	0	1121.9
HADLEY A2 al 2050	--	--	0	0	1223.6
Estación 8078 Hidalgo del Parral					
Antes de 1990	30 de Jun.	5 de Oct.	97	0	842.0
1990 en adelante	26 de Jun.	28 de Sep.	94	0	945.1
GFDL A2 al 2050	4 de Jul.	10 de Oct.	89	0	1011.0
ECHAM A2 al 2050	28 de May.	2 de Oct.	127	0	855.3
HADLEY A2 al 2050	3 de Jul.	6 de Oct.	95	0	1010.8

3.3. Estado Actual del Encostramiento y Compactación del Suelo

En los Cuadros 31 y 32 se detallan las áreas que se delimitaron en la sobreposición de la cartografía en formato digital de las unidades de suelos. El énfasis se colocó en los suelos someros, como son los Litosoles y las Rendzinas, así como otras unidades con

fases líticas, en la capa de pendientes, considerando las áreas con más alta posibilidad de presentar afloramientos de capas endurecidas por remoción del material superficial debido principalmente a la erosión hídrica. Para este efecto se sobrepuso la división en formato digital de pendientes de 3 a 15 % y mayores de 15%. Todo lo anterior se trabajó sobre las imágenes multitemporales Landsat que se señalan en dichos cuadros y que se muestran en las Figuras 40 a 43, para los años 1970, 1980, 1990 y 2000, respectivamente. La escala de trabajo fue 1:30 000 en la cual se tiene una resolución aceptable para cada una de las imágenes y para delimitar las áreas que aparecen desprovistas de vegetación y donde se aprecia que hay afloramiento de estratos endurecidos.

Es importante resaltar que en las imágenes más recientes (1990 y 2000), que tienen una mayor resolución fue posible hacer una identificación más detallada de las áreas señaladas.

En el comparativo de las superficies con afloramientos de las capas endurecidas se muestra una tendencia a que las superficies con problema de pérdida de capas superficiales y afloramiento de capas endurecidas se incrementen, de tal manera que en las imágenes del 2000 casi se duplicó la superficie afectada por este proceso con respecto a la situación del año 1970. Asimismo se aprecia que del año 1990 al 2000 el incremento ocurre a una tasa que duplica los incrementos previos.

Cuadro 31. Áreas con afloramientos de estratos endurecidos delimitadas sobre Imágenes de Satélite multitemporales Landsat en los Distritos de Riego del Bajo Río Conchos, Delicias y Río Florido.

Año	Plataforma	Fecha de Imágenes	Distrito de Riego	Superficie con afloramientos de horizontes cementados (Ha)		
				3-15 % de pendiente	> 15% de pendiente	Total
2000	Landsat ETM+	Sep-1999 a Dic -2001	Bajo Río Conchos	5133	3662	8791
			Delicias	454	484	937
			Río Florido	1201	77	1278
			Total	6787	4223	11009
1990	Landsat TM	Mar-87 a Jul-93	Bajo Río Conchos	3960	2942	6903
			Delicias	276	969	1245
			Río Florido	596	77	673
			Total	4833	3989	8821
1980	Landsat MSS	May-85 a Jul-86	Bajo Río Conchos	3017	2433	5450
			Delicias	552	1176	1728
			Río Florido	285	128	413
			Total	3853	3737	7591
1970	Landsat MSS	Feb-73 a Mar-75	Bajo Río Conchos	2763	2524	5287
			Delicias	375	443	818
			Río Florido	172	92	264
			Total	3311	3058	6369

Cuadro 32. Superficie de Suelos Litosoles y Rendzinas y otras unidades con fase lítica en los Distritos de Riego del Bajo Río Conchos, Delicias y Río Florido reportados por INEGI (2000).

Distrito de Riego	Superficie de suelos someros (ha)		
	Unidad de Suelos Litosoles y Rendzinas	Otras Unidades con fase lítica	Total
Bajo Río Conchos	25651	11737	37388
Delicias	13704	2892	16596
Río Florido	14657	175	14832
Total	54012	14804	68816

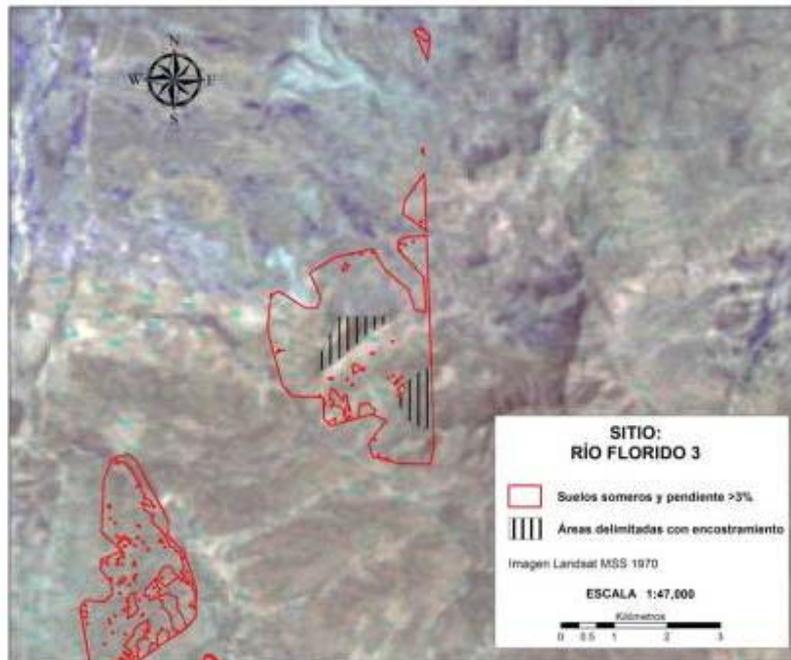


Figura 40. Áreas delimitadas con afloración de estratos endurecidos en el sitio 1 del Distrito de Riego de Ciudad Delicias delimitadas en la imagen Landsat MSS 1970.

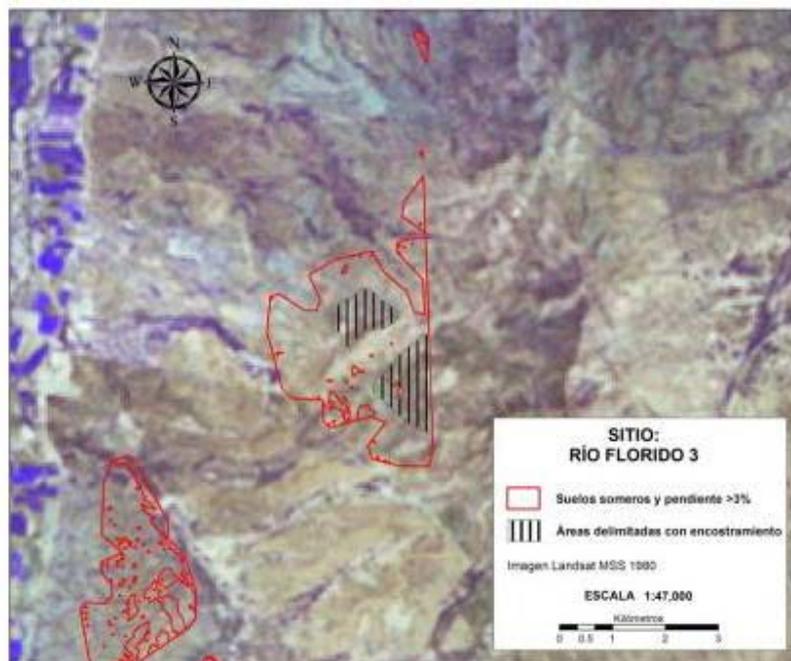


Figura 41. Áreas delimitadas con afloración de estratos endurecidos en el sitio 1 del Distrito de Riego de Ciudad Delicias delimitadas en la imagen Landsat MSS 1980.

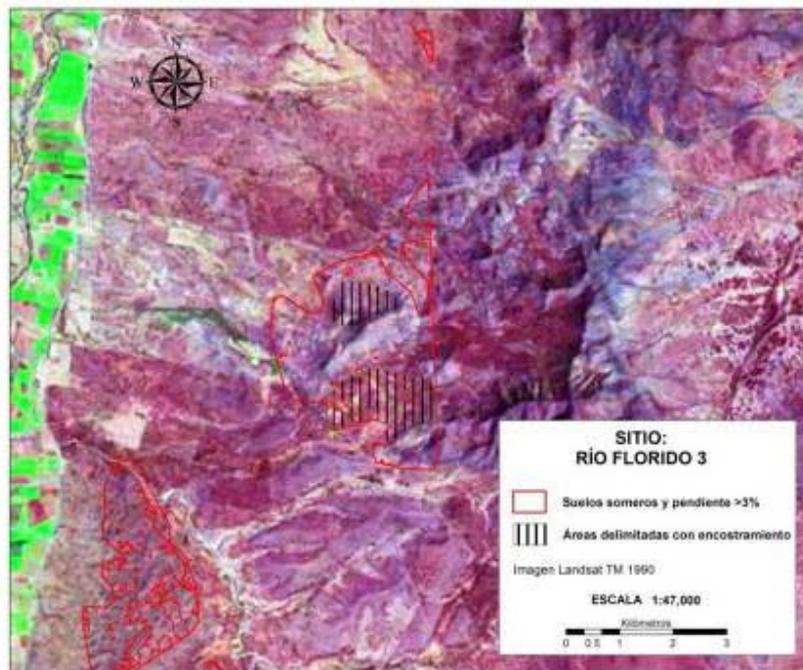


Figura 42. Áreas delimitadas con afloración de estratos endurecidos en el sitio 1 del Distrito de Riego de Ciudad Delicias delimitadas en la imagen Landsat MSS 1980.

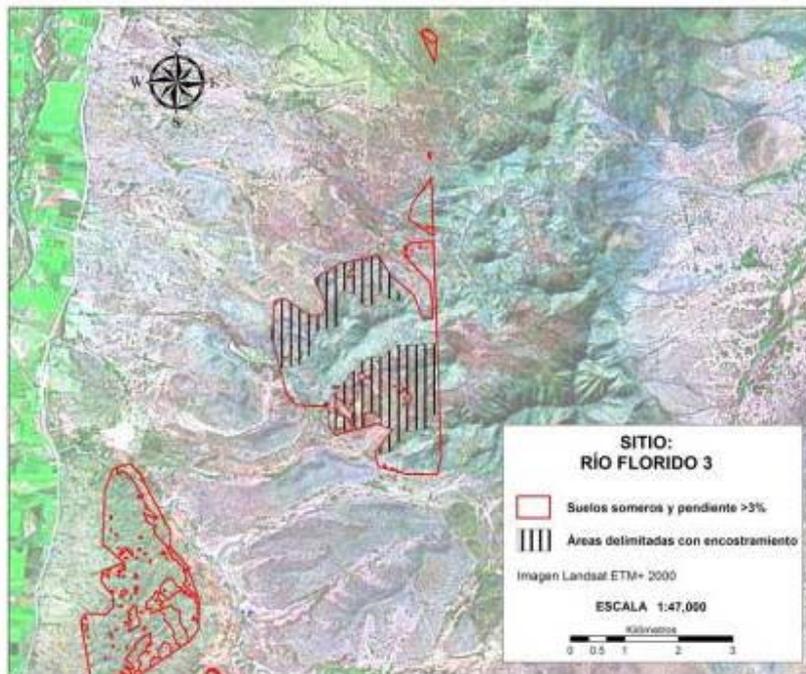


Figura 43. Áreas delimitadas con afloración de estratos endurecidos en el sitio 1 del Distrito de Riego de Ciudad Delicias delimitadas en la imagen Landsat MSS 1980.

3.4. Salinidad

En el Cuadro 33 se detallan las áreas que se delimitaron al sobreponer: (a) la cartografía en formato digital de las unidades de suelos, haciendo énfasis en los suelos con alto contenido de sales como los Solonchaks y otras unidades con fases salinas y/o sódicas, y (b) la capa de pendientes, considerando las áreas con más alta posibilidad de presentar afloramientos salinos como son de 0 a 1% y de 1 a 3%. Lo anterior se hizo empleando las imágenes multitemporales Landsat que se señalan en el cuadro y se muestran en las Figuras 44 a 47, para los años 1970, 1980, 1990 y 2000, respectivamente. La escala de trabajo fue 1:30 000 en la cual se tiene una resolución aceptable para cada una de las imágenes.

Es importante resaltar la resolución de las imágenes más recientes, que permitió hacer una identificación más detallada de las áreas sin vegetación y con colores blancos brillantes. En el comparativo de las superficies con afloramientos, cuando se emplearon las imágenes más recientes (1990 y 2000), resalta la tendencia de las superficies con problema de afloramiento a incrementarse. En contraste, en la imagen de 1980, hay una disminución sensible de las áreas con tonalidades que pueden indicar presencia de afloramientos, lo que se atribuyó a las condiciones del terreno cuando se incluyeron las observaciones correspondientes a la época húmeda, lo que cambia la tonalidad del terreno y como consecuencia de ello resulta que disminuyen afloramientos de sales. Es importante resaltar también la menor resolución de las imágenes de los años 1970 y 1980.

En el Cuadro 34 se muestra la superficie reportada por el INEGI (2000) con suelos salinos y/o sódicos en los que se distinguen los Solonchaks sódicos con una superficie similar a la delimitada en las imágenes multitemporales más recientes (1990 y 2000) en terrenos con 0 a 1% de pendiente que son las áreas con propensión a tener mal drenaje y donde se da el proceso que desencadena la acumulación de sales.

Cuadro 33. Áreas con afloramientos de sales delimitadas sobre Imágenes de Satélite multitemporales Landsat en los Distritos de Riego del Bajo Río Conchos, Delicias y Río Florido.

Año	Plataforma	Fecha de Imágenes	Distrito de Riego	Superficie con afloramientos (Ha)	
				0-1% de pendiente	1-3 % de pendiente
2000	Landsat ETM+	Sep-1999 a Dic -2001	Bajo Río Conchos	3256	7792
			Delicias	1015	1471
			Río Florido	26	37
			Total	4197	9300
1990	Landsat TM	Mar-87 a Jul-93	Bajo Río Conchos	3638	8504
			Delicias	479	631
			Río Florido	38	55
			Total	4155	9190
1980	Landsat MSS	May-85 a Jul-86	Bajo Río Conchos	670	2074
			Delicias	79	117
			Río Florido	10	12
			Total	759	2203
1970	Landsat MSS	Feb-73 a Mar-75	Bajo Río Conchos	2033	4975
			Delicias	531	605
			Río Florido	2	4
			Total	2566	5584

No en todas las superficies afectadas por sales se da el proceso de acumulación superficial generalizada de sales y la afectación severa a los cultivos y/o vegetación natural, de tal manera que pueda ser identificado en las imágenes de satélite como áreas blancas brillantes, ya que del total de las áreas con fases salinas y/o sódicos (incluyendo a los Solonchaks), la superficie es cercana al doble que la delimitada con afloramientos salinos con pendientes de 0 a 3%,

En los Cuadros 35 al 39 se detallan las características de los perfiles con suelos con alta concentración de sales y/o sodio reportados por INEGI (2000).

El Cuadro 35 muestra los resultados de los análisis de laboratorio del suelo caracterizado como Solonchaks sódico (WRB, 1999), ubicado en un terreno plano con mal drenaje y textura fina, derivado de materiales aluviales. Es evidente la alta acumulación de sales a lo largo de todo el perfil así como la elevada saturación de sodio.

Cuadro 34. Superficie de Suelos salinos y/o sódicos en los Distritos de Riego del Bajo Río Conchos, Delicias y Río Florido reportados por INEGI (2000).

Distrito de Riego	Superficie afectada con sales (ha)		
	Unidad de Suelos Solonchaks (WRB)	Otras Unidades con fase salina y/o sódica	Total
Bajo Río Conchos	0	16219	16219
Delicias	4037	4225	8262
Río Florido	559	0	559
Total	4596	20444	25040

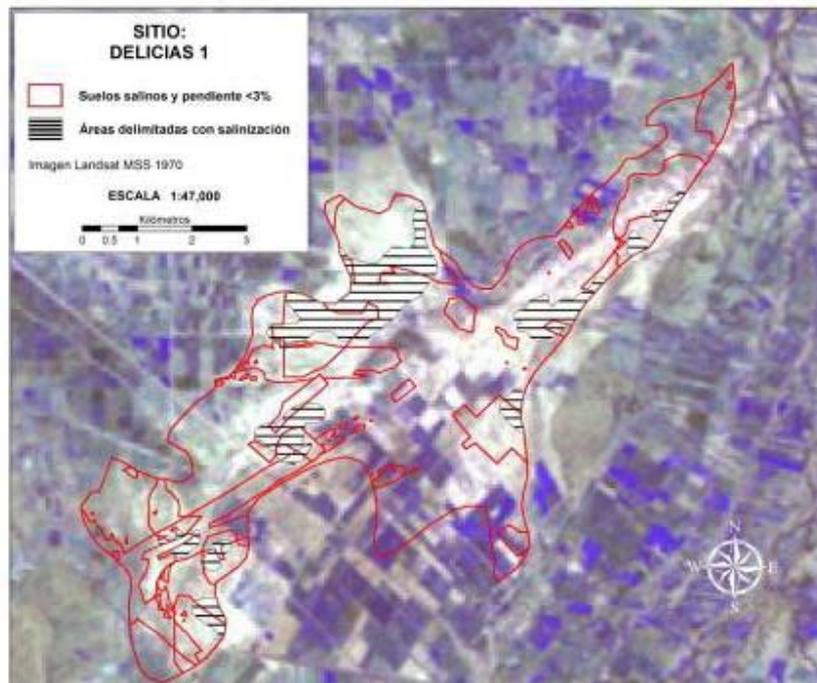


Figura 44. Áreas delimitadas con afloración salina en el sitio 1 del Distrito de Riego de Ciudad Delicias delimitadas en la imagen Landsat MSS 1970.

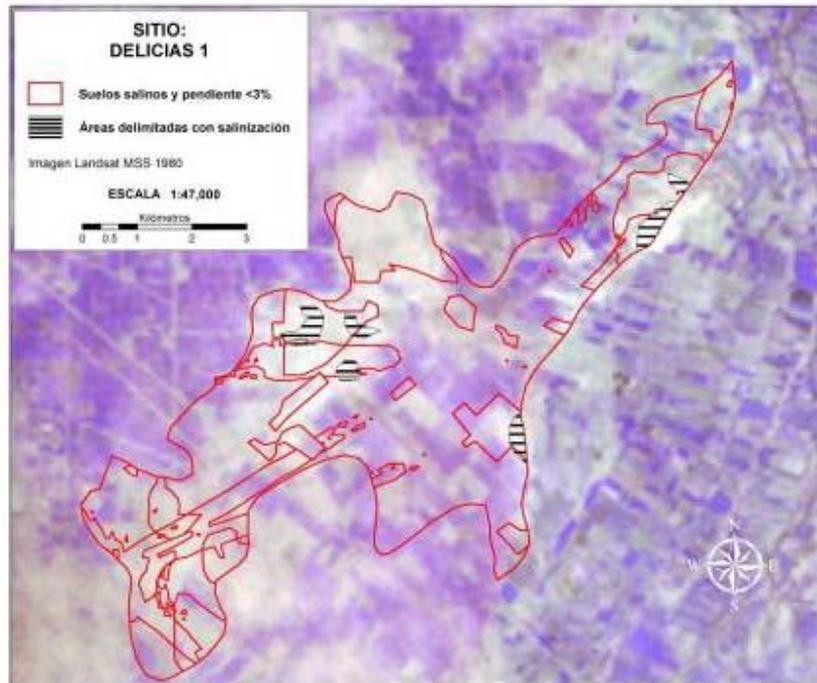


Figura 45. Áreas delimitadas con afloración salina en el sitio 1 del Distrito de Riego de Ciudad Delicias delimitadas en la imagen Landsat MSS 1980.

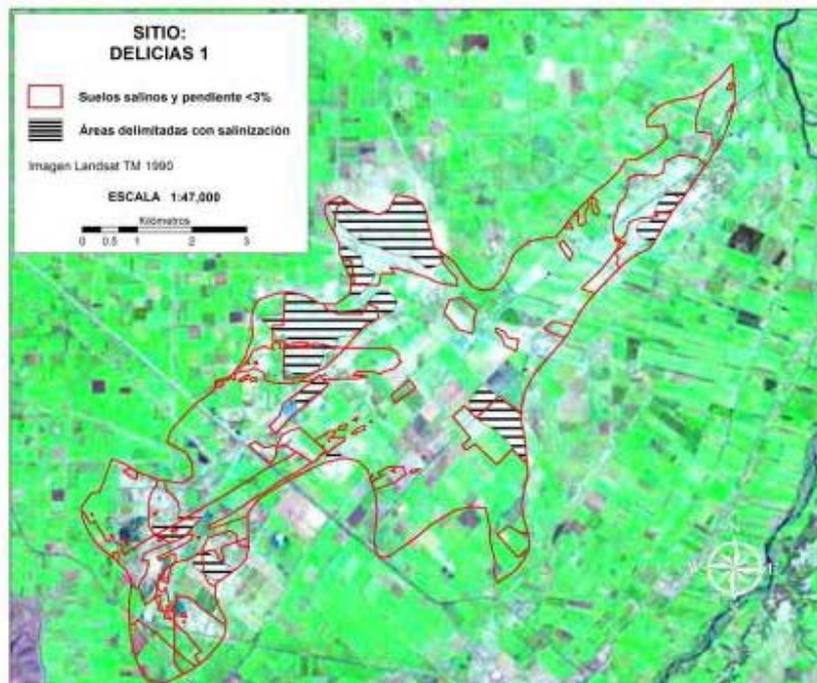


Figura 46. Áreas delimitadas con afloración salina en el sitio 1 del Distrito de Riego de Ciudad Delicias delimitadas en la imagen Landsat TM 1990.



Figura 47. Áreas delimitadas con afloración salina en el sitio 1 del Distrito de Riego de Ciudad Delicias delimitadas en la imagen Landsat ETM+ 2000.

Cuadro 35. Características del Perfil de la Serie A-205 clave h1311, con identificación 228069 y numero de control 69 en el Distrito de Riego Delicias clasificado como Solonchack sódico (SCso)

Horizonte	Ap	Cnz1	Cnz2	Cnz3	Cnz4	
Profundidad (cm)	0-25	25-46	46-65	65-86	86-120	
Textura	Arcilla	40	42	34	26	26
	Limo	26	28	38	44	54
	Arena	34	30	28	30	20
	Clase	Arcilla	Arcilla	Franco arcilloso	Franco	Franco limoso
CE dS m ⁻¹	12.5	15.0	10.0	10.0	12.5	
pH	8.4	9.5	9.7	9.5	9.5	
Carb.Org. (%)	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	
CIC me/100g	25.0	30.0	26.0	37.5	36.5	
Cationes Interc. me/100g	Na	17.9	25.6	26.5	37.5	36.5
	K	1.2	0.5	0.4	0.5	0.4
	Ca	17.2	8.8	11.6	14.4	9.4
	Mg	2.4	0.6	0.5	1.0	0.5
PSB	100	100	100	100	100	
PSI	71.6	85.3	100	100	100	
P	8.0	7.1				

El Cuadro 35 muestra las propiedades físicas y químicas de otro punto de muestreo del INEGI (2000) dentro del Distrito de Riego de Delicias, que corresponde a un Calcisol sódico con una moderada concentración de sales que al igual que la concentración de

sodio que es elevada aumenta con la profundidad. Otro suelo con problemas de sales dentro de este mismo Distrito de Riego se describe en el Cuadro 36, y corresponde a un Vertisol hiposódico con una concentración de sales y sodio que aumenta con la profundidad y va de moderada a alta. En este mismo Distrito se ubica un perfil que se cartografió como fase salina, sin embargo el análisis de los datos de laboratorio no indican problemas de acumulación de sales ni de sodio, clasificándose como Calcisol arídico (Cuadro 37).

Para el Distrito de Riego de Bajo Río Conchos, se reporta el perfil del Cuadro 38 en donde el suelo es de poco espesor y presenta alta acumulación de sales y de sodio, lo que se incrementa con la profundidad; el suelo corresponde a un Regosol hiposódico-hiposálico con fase lítica, la pendiente es de 1 a 3% y de textura fina imperfectamente drenado.

Cuadro 36. Características del Perfil de la Serie A-205 clave h1311, con identificación 228073 y numero de control 73 en el Distrito de Riego Delicias clasificado como Calcisol sódico (CLso)

Horizonte		Ap	Ckn1	Ckn2	Ckn3	Ckn4	Ckn5
Profundidad (cm)		0-30	30-46	46-78	78-99	99-113	113-130
Textura	Arcilla	38	36	42	44	42	24
	Limo	32	32	36	24	24	32
	Arena	30	32	22	32	34	44
	Clase	Franco arcilloso	Franco arcilloso	Arcilla	Arcilla	Arcillo	Franco
CE dS m ⁻¹		2.7	4.5	5.0	5.5	5.0	5.0
pH		7.7	7.7	7.7	7.8	7.7	7.8
Carb.Org. (%)		4.8	2.3	2.8	1.6	1.4	0.9
CIC me/100g		23.3	17.5	13.8	9.3	11.3	9.5
Cationes Interc. me/100g	Na	1.7	2.9	2.8	2.5	2.2	2.2
	K	2.3	1.1	0.6	0.5	0.4	0.5
	Ca	25.9	40.6	20.9	18.1	20.9	19.7
	Mg	7.4	6.3	5.5	4.9	4.1	3.5
PSB		100	100	100	100	100	100
PSI		7.3	16.2	20.3	26.9	19.5	23.2
P		0.4	0.4				

Cuadro 37. Características del Perfil de la Serie A-205 clave h1311, con identificación 228094 y número de control 94 en el Distrito de Riego Delicias clasificado como Vertisol cálcico-hiposódico (VRcc-sow)

Horizonte		Ap	AB	Bknss1	Bknss2
Profundidad (cm)		0-41	41-60	60-79	79-100
Textura	Arcilla	56	58	56	56
	Limo	26	24	24	24
	Arena	18	18	20	20
	Clase	Arcilla	Arcilla	Arcilla	Arcilla
CE dS m ⁻¹		2.8	3.5	6.5	7.5
pH		8.0	8.1	8.0	7.9
Carb.Org. (%)		0.5	0.3	0.2	0.1
CIC me/100g		33.0	34.8	31.0	31.0
Cationes Interc. me/100g	Na	2.5	4.2	4.8	5.3
	K	1.4	1.4	0.7	0.6
	Ca	33.8	34.7	32.8	29.7
	Mg	7.4	7.6	5.4	3.8
PSB		100	100	100	100
PSI		7.6	12.1	15.5	17.1
P		2.6			

Cuadro 38. Características del Perfil de la Serie A-205 clave h1311, con identificación 228081 y número de control 81 en el Distrito de Riego Delicias clasificado como Calcisol árido (CLad)

Horizonte		Ap	Ak	ACk	Ck
Profundidad (cm)		0-23	23-40	40-75	75-100
Textura	Arcilla	44	46	30	24
	Limo	34	32	46	44
	Arena	22	22	24	32
	Clase	Arcilla	Arcilla	Franco arcilloso	Franco
CE dS m ⁻¹		1.0	1.0	1.0	1.0
pH		8.1	8.0	8.0	8.0
Carb.Org. (%)		2.0	1.8	1.1	0.8
CIC me/100g		26.0	27.3	18.3	18.0
Cationes Interc. me/100g	Na	1.3	1.2	1.0	1.0
	K	1.1	1.1	0.6	0.3
	Ca	28.4	33.8	27.2	20.9
	Mg	6.0	6.0	4.0	3.2
PSB		100	100	100	100
PSI		5.0	4.4	5.5	5.6
P		5.6	4.6		

Cuadro 39. Características del Perfil de la Serie A-205 clave h1308, con identificación 222039 y número de control 39 en el Distrito de Riego Bajo Río Conchos, clasificado como Regosol hiposódico- hiposálico (RGsow-szw)

Horizonte		Ap	AC
Profundidad (cm)		0-21	21-45
Textura	Arcilla	38	40
	Limo	32	30
	Arena	30	30
	Clase	Franco arcillosos	Arcilla
CE dS m ⁻¹		4.5	10.0
pH		8.2	8.1
Carb.Org. (%)		0.2	0.3
CIC me/100g		11.5	15.0
Cationes Interc. me/100g	Na	2.4	8.4
	K	0.4	0.4
	Ca	30.9	34.1
	Mg	1.7	2.7
PSB		100	100
PSI		20.9	56.0
P		3.9	3.2

3.5. Erosión

3.5.1 Erosión Hídrica

La evaluación de los factores que determinan la erosión hídrica, mismos que se describen, en la metodología se presenta a continuación.

a) Factor de erosividad de la lluvia (R).

Cuadro 40. Rangos de Erosividad de la lluvia en la cuenca.

Rango	Ha	%	Rango	Ha	%
500-1000	263195	3.7	4000-4500	32505	0.5
1000-1500	2627338	36.9	4500-5000	215039	3.0
1500-2000	1059481	14.9	5000-5500	167158	2.3
2000-2500	1620733	22.8	5500-6000	203933	2.9
2500-3000	135012	1.9	6000-6500	30037	0.4
3000-3500	424915	6.0	6500-7000	8925	0.1
3500-4000	298957	4.2	8500-9000	27159	0.4

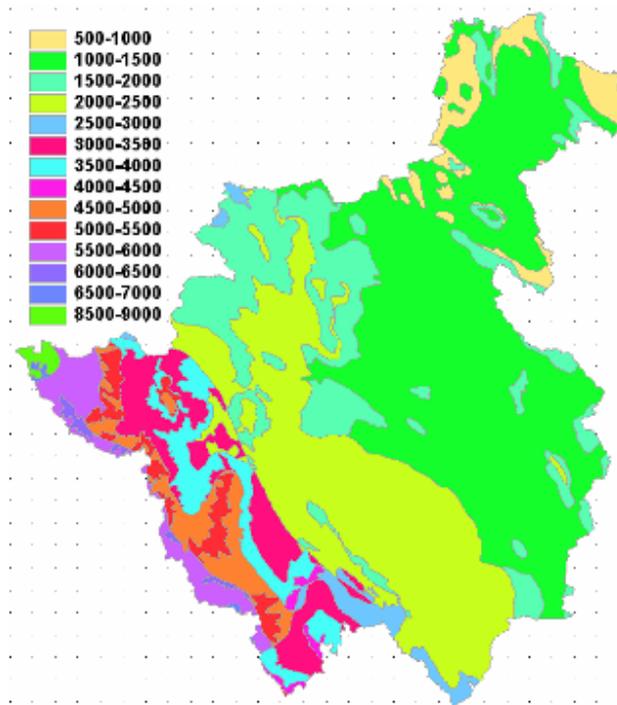


Figura 48. Mapa de Rangos de erosividad de la lluvia "R" para la cuenca.

b) Factor de erosionabilidad del suelo (K).

Cuadro 41. Rangos para el factor K en la cuenca.

Rango	Ha	%
0.007	69238	1.0
0.013	201503	2.8
0.020	3092948	43.5
0.026	543487	7.6
0.040	1513667	21.3
0.053	152410	2.1
0.079	1520167	21.4
1.000	20856	0.3

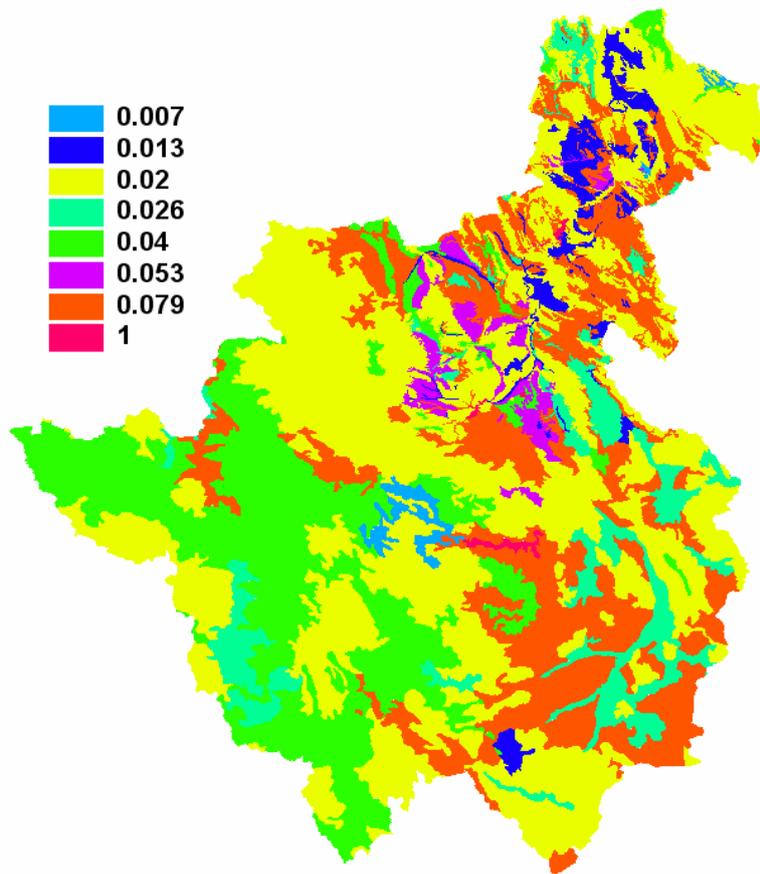


Figura 49. Rangos del factor "K" en la cuenca.

c) Factor de longitud de la pendiente (L) y el grado de la pendiente (S).

Cuadro 42. Valores del factor LS para la cuenca.

Rango	Ha	%
< 1	74325	1.0
1 a 3	62862	0.9
3 a 5	85247	1.2
5 a 10	470674	6.5
10 a 20	5109410	70.4
20 a 30	1243873	17.1
30 a 40	164948	2.3
40 a 50	32056	0.4
> 50	17879	0.2

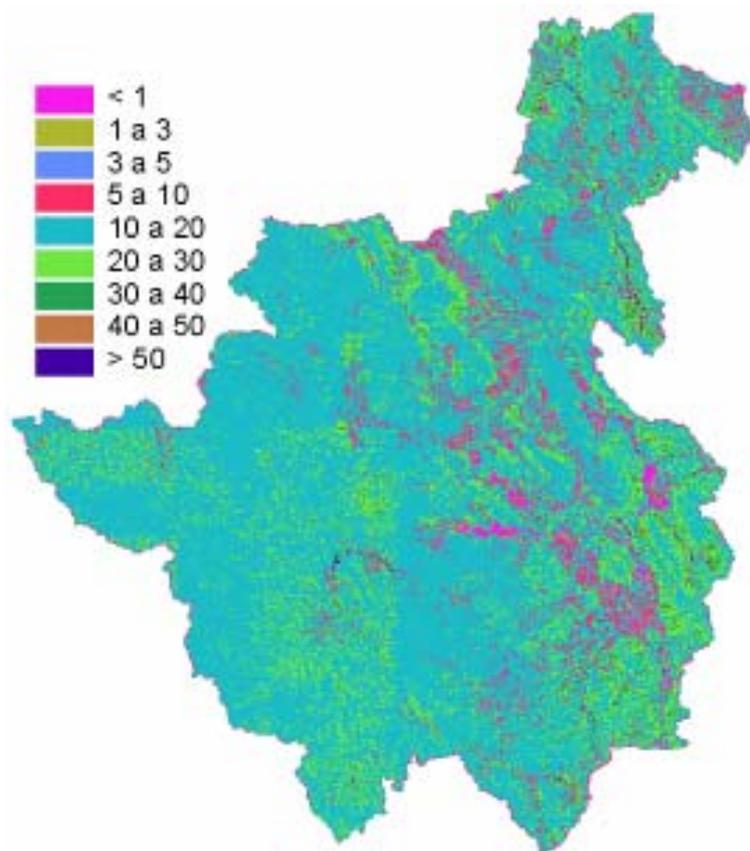


Figura 50. Factor L y S para la cuenca.

d) Factor de cobertura vegetal (C).

Cuadro 43. Valor y porcentaje de ocupación del factor C en la cuenca

Rango	Ha	%
0.050	373607	5.3
0.150	483797	6.8
0.200	102059	1.4
0.300	59567	0.8
0.400	113165	1.6
0.500	893002	12.6
0.700	1927526	27.1
1.000	3161658	44.4

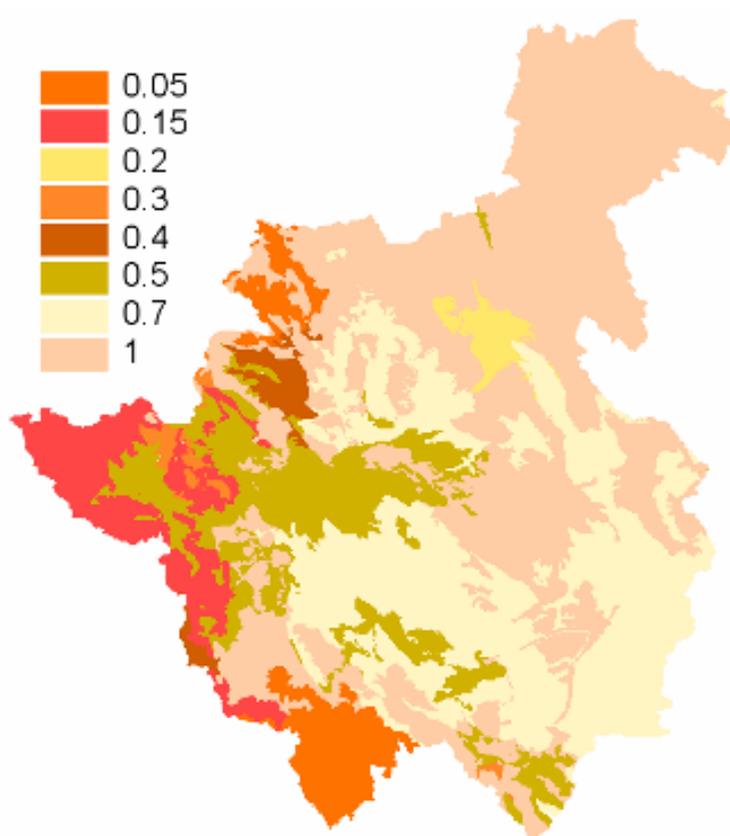


Figura 51. Valores para el factor de cobertura vegetal "C".

e) Factor de prácticas mecánicas de control de erosión (P).

Este se asignará el valor de 1 debido a la escala de trabajo.

f) Erosión Hídrica Actual y Potencial.

Cuadro 44. Clases y porcentaje de erosión hídrica actual y potencial en la cuenca.

Clase	Rango	% de Erosión	
		Actual	Potencial
Nula	0 a 5 Tn/Ha	19.6	0.01
Ligera	5 a 10 Tn/Ha	52.9	0.01
Moderada	10 a 50 Tn/Ha	23.3	2.00
Muy Severa	50 a 200 Tn/Ha	0.1	7.46
Severa	Mas de 200 Tn/Ha	4.0	90.53

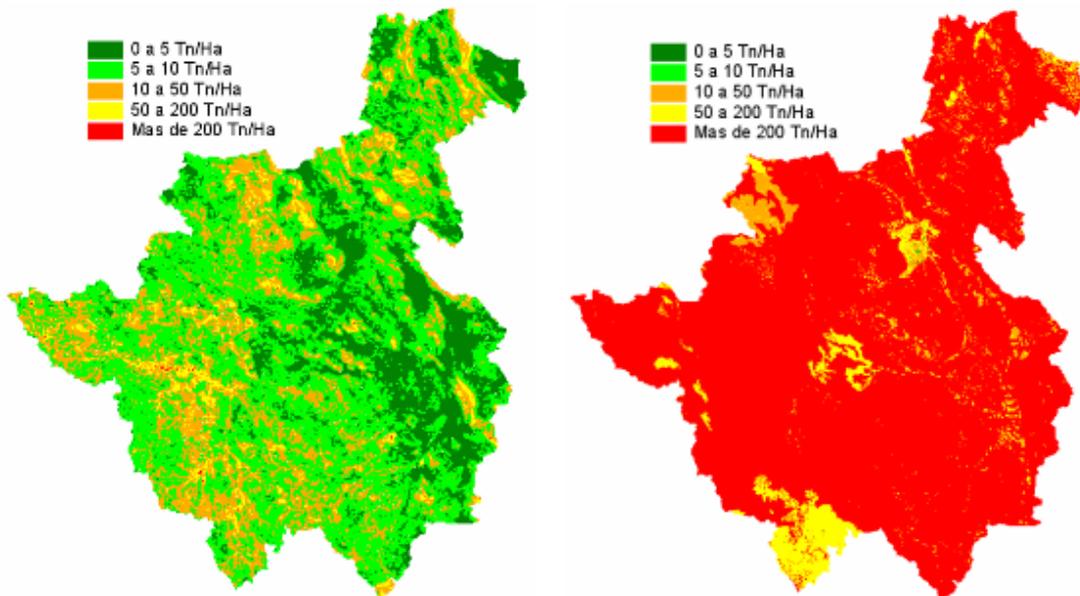


Figura 52. Pérdida de suelo por erosión hídrica actual (izquierda) y potencial (derecha) en la cuenca.

3.5.2. Erosión Eólica

a) Factor de agresividad climática (C).

Para el cálculo de este factor se dividió a la región de estudio en tres zonas considerando la intensidad de la velocidad del viento. Estas fueron denominadas Parral, Temosachic y Chihuahua, se muestran en la siguiente Figura 53 y los valores de velocidad del viento en el Cuadro 45.



Figura 53. Regiones definidas para velocidad del viento.

Como se observa, la velocidad del viento es en promedio más fuerte hacia las partes bajas de la cuenca, toda vez que no existen barreras naturales que causen fricción y disminuya la velocidad al viento. Hacia las partes altas de la cuenca el viento también toma fuerza al descender.

Cuadro 45. Valores de velocidad del viento (m/s) para las regiones.

Región	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Parral	2.8	4.2	5.9	5.5	3.7	3.0	3.0	2.8	2.9	2.8	3.0	4.2
Temosachic	1.3	1.9	2.8	2.6	2.5	2.6	2.6	2.7	2.4	2.2	2.1	2.1
Chihuahua	3.1	4.2	5.8	4.4	3.9	4.2	3.5	2.9	2.1	2.6	3.6	4.3

Una vez obtenidos los valores de velocidad del viento y a partir de los valores de precipitación y evapotranspiración ya generados previamente se procedió al cálculo de los valores finales del factor C, los cuales se presentan en el Cuadro 46 y en la Figura 54. Se presenta que mas de la mitad de la cuenca presenta valores de entre 150 y 230, presentándose éstos hacia la región central de la cuenca.

Cuadro 46. Valores del factor C y porcentaje de ocupación en la cuenca

Rango	Ha	%
130-150	836057	11.8
150-170	1030081	14.5
170-200	4156819	58.4
200-230	792297	11.1
230-260	124143	1.7
260-300	174989	2.5

b) Factor edáfico (S)

A partir de la cartas edafológicas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y tomando en consideración las unidades, subunidades, texturas y fases físicas de los diferentes tipos de suelos, se le asignó el valor correspondiente de erosionabilidad edáfica. Los resultados se presentan en el Cuadro 47 y en la Figura 55.

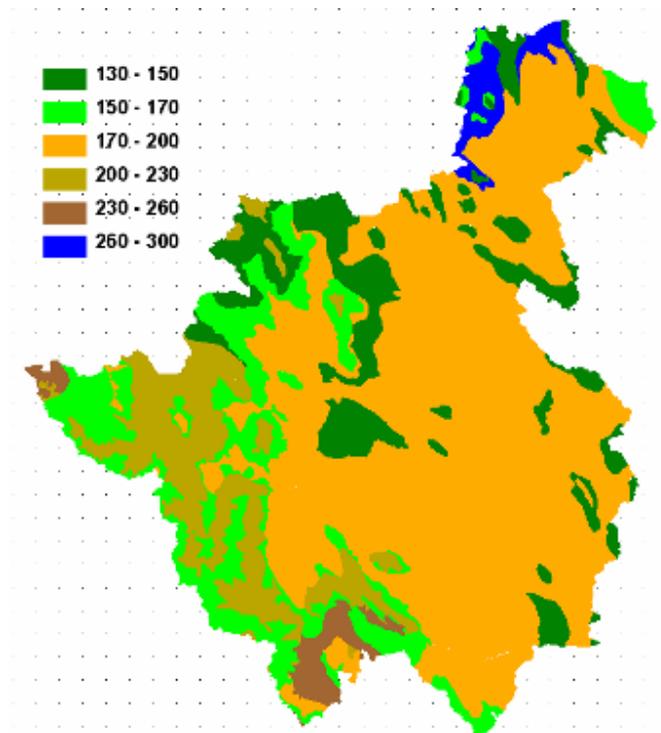


Figura 54. Valores del factor C en la cuenca.

Cuadro 47. Valores asignados del factor S en la cuenca y superficie ocupada.

Valor	Ha	%
0.00	20856	0.3
0.62	529400	7.4
0.87	446308	6.3
0.92	242386	3.4
1.25	3596678	50.6
1.75	1738483	24.4
1.85	374815	5.3
3.50	165349	2.3

Los tipos de suelo dominantes en la cuenca son Regosol y Xerosol, con cerca de un 50% de presencia. Son seguidos por Feozems y litosoles, a rangos de 17% de superficie ocupada por cada uno. El 86% de la cuenca presenta una textura media y el restante presenta textura gruesa. De lo anterior es entonces que se desprenden los valores para el cálculo del factor S.

c) Factor topográfico (T).

Este se asignó el valor de 1 debido a la escala de trabajo y superficie de la cuenca.

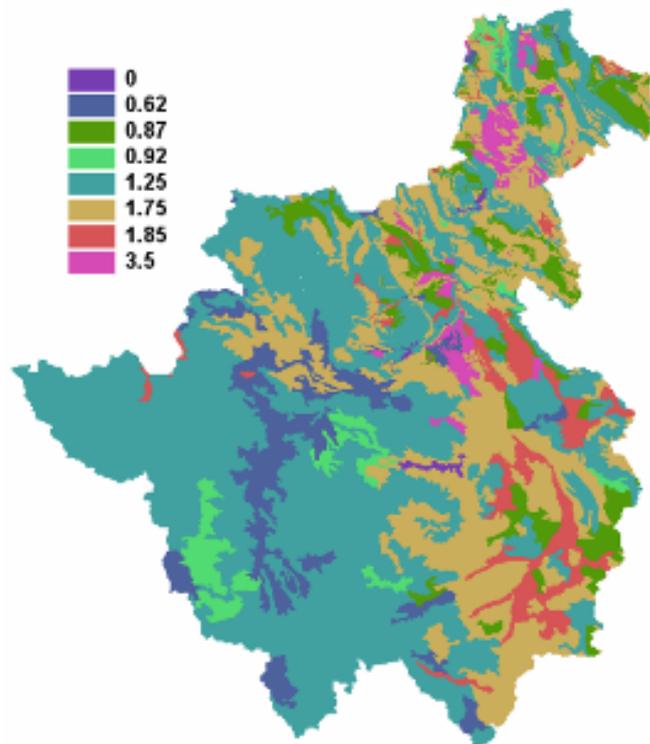


Figura 55. Valores del factor S en la cuenca.

d) Factor de cobertura de la vegetación (V) y factor de uso del suelo (L).

Los factores de cobertura de vegetación (V) y de uso del suelo (L) fueron trabajados de manera conjunta a partir de los diversos tipos presentados por el Inventario Nacional Forestal (SEMARNAT-UNAM, 2001) y verificados con ayuda de las imágenes de satélite antes señaladas. Se presentan los resultados en el Cuadro 48 y Figura 56.

Cuadro 48. Valores asignados para el factor V y L con superficie ocupada en la cuenca.

Valor	Ha	%
0.05	373,607	5.3
0.15	483,797	6.8
0.20	102,059	1.4
0.30	59,567	0.8
0.40	113,165	1.6
0.50	893,002	12.6
0.70	1,927,526	27.1
1.00	3,161,658	44.4

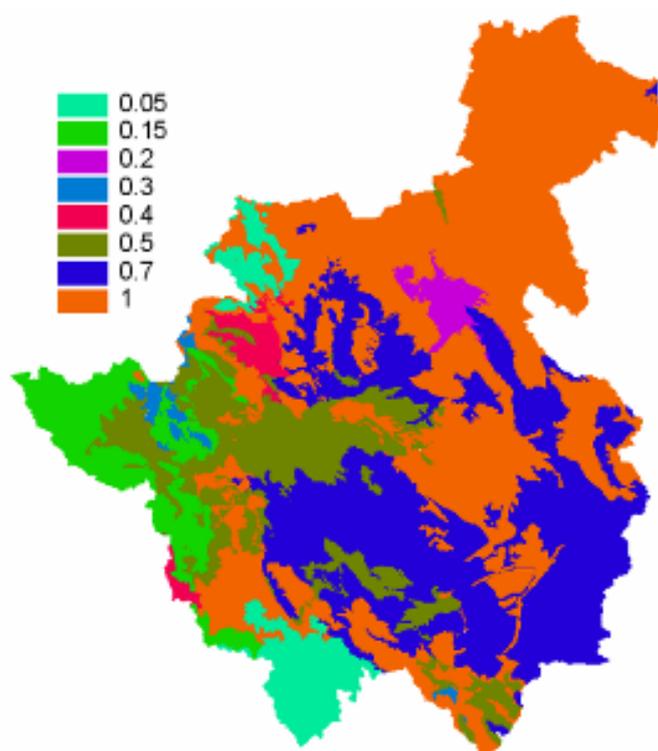


Figura 56. Valores asignados a los factores V y L en la cuenca.

e) Erosión Eólica Actual y Potencial

El grado de afectación que presenta la erosión por efecto del viento en la cuenca se presenta en la Figura 57 y en el Cuadro 49. Se señala que aproximadamente el 83% de la superficie total de la cuenca presenta una pérdida de suelo de severa a muy severa (de más de 50 ton/ha/año), la categoría ligera y moderada (5-50 ton/ ha/año) con

14% en conjunto y por último la clase de erosión nula (0 a 5 ton/ha/año) no significan más de un 2%.

Sin embargo, las condiciones de erosión eólica potencial (aquella que ocurre sin la intervención de la cobertura vegetal y prácticas de conservación) cobran importancia cuando se pueden presentar cambios en la cuenca, específicamente de remoción de cobertura vegetal. Así, se observa que en la cuenca se tienen cambios significativos que podrían ocurrir potencialmente, llegando a incrementarse la pérdida de suelo en su categoría de muy severa (>200 tn/ha/año), que en su conjunto significan un 67% de superficie.

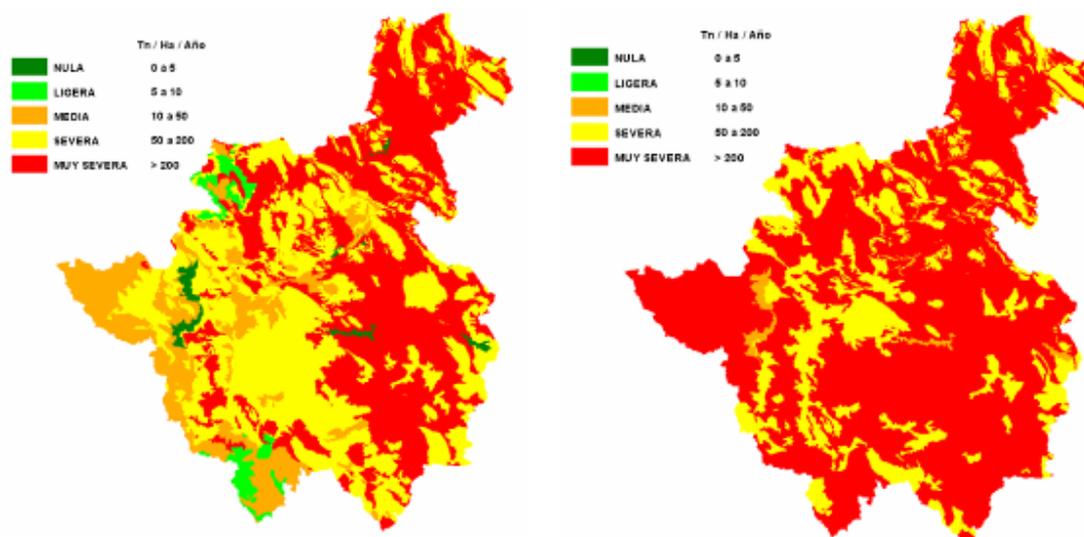


Figura 57. Pérdida de suelo por erosión eólica actual (izquierda) y potencial (derecha) en la cuenca.

Cuadro 49. Superficie ocupada por pérdida de suelo por Erosión Eólica actual y potencial en la cuenca.

Clase	Rango	% de Superficie	
		Actual	Potencial
Nula	0 a 5 Tn/Ha/Año	2.04	1.16
Ligera	5 a 10 Tn/Ha/Año	1.68	
Moderada	10 a 50 Tn/Ha/Año	12.46	
Muy Severa	50 a 200 Tn/Ha/Año	42.45	24.20
Severa	Más de 200 Tn/Ha/Año	41.36	74.64

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

1.- Se obtuvieron los indicadores edáficos de desertificación en base a información histórica reportada por varias instituciones, estableciendo tendencias, considerando la temporalidad de las observaciones y con información recolectada en campo, para evaluar el estado de este proceso en las áreas de los distritos de riego en la Cuenca del Río Conchos

2.- El contenido de Carbono Orgánico del Suelos (COS), presenta un amplio rango en la Cuenca del Río Conchos, dominando los contenidos bajos (menores a 1%), los cuales se asocian a la baja incorporación de biomasa por la condición restrictiva en la disponibilidad de humedad. La superficie con contenidos mayores a 2%, representa menos del 10% de la Cuenca y se ubica en las áreas con precipitaciones más altas y vegetación natural de bosque de pino y/ o encino.

3.- De acuerdo a los reportes de las estaciones meteorológicas de los Distritos de Riego de la Cuenca, se observa un aumento en la temperatura en rangos de 0.4 a 1.3°C, en el periodo posterior a 1990, y una tendencia heterogénea en la precipitación media anual, con incrementos del 20% a decrementos del 50%, predominando los decrementos en valores del 10%. Esta situación genera una disminución en la humedad disponible para las plantas. En la mayor parte de los Distritos de Riego, la precipitación a lo largo del año no sobrepasa a la mitad de la evapotranspiración potencial, por lo que no existe humedad disponible para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos de temporal.

4. Las razones de cambio en las variables climáticas bajo el escenario A2 para el año 2050, con los modelos GFDL y HADLEY, se observa un aumento en el déficit de humedad anual como consecuencia del aumento en la temperatura, que en lo general es superior a 2°C y una disminución en la precipitación. En el modelo ECHAM, el

aumento de temperatura es similar a los anteriores, y aunque se incrementa el déficit de humedad anual, se estima un aumento considerable en la precipitación del mes de junio, lo que conlleva a un periodo breve de disponibilidad de humedad para los cultivos.

5. En los Distritos de Riego de la Cuenca del Río Conchos, en el análisis multitemporal de imágenes de satélite Landsat, la superficie con afloramientos de horizontes cementados prácticamente se ha duplicado de 1970 al 2000, como consecuencia de la remoción de los horizontes superficiales por erosión hídrica y/o eólica.

6. A pesar de que no en todas las superficies afectadas por sales se da el proceso de afloramiento generalizado de sales, en el análisis multitemporal de las imágenes de satélite Landsat, se apreció una duplicación de este proceso de 1970 al 2000.

7. La erosión hídrica en la Cuenca del Río Conchos, en general es baja, con cercas del 20% de la superficie sin afectación y un poco más del 75% con tasas de pérdida de suelo de ligera a moderada, lo que se asocia a los valores bajos del factor de erosividad de la lluvia, principalmente. En cambio más del 80% de la superficie corresponde a la clase de afectación severa y muy severa de erosión eólica, lo que conlleva a la formación de pisos pedregosos superficiales en gran parte de las áreas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvares, T. y F. de Lachica. 1991. Zoogeografía de los vertebrados de México. Instituto Politécnico Nacional. México. 65 pp.
2. Andrade, A. 1975. La erosión. Fondo de Cultura Económica. México. 63 pp.
3. ASCE. 1975. Sedimentation Engineering. Ed. V. A. Vanoni. American Society of civil engineering. Manuals and Reports No. 54. 745 pp.
4. Balbontín, C, C.O. Cruz, F. Paz and J. Etchevers. 2007. Soil carbon sequestration in different ecoregions of Mexico. Soil Science Society of America. (en prensa)
5. Becerra, M. 2005. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 375 pp.
6. Becerra, C. 2000. Proyecto de recuperación del lobo mexicano. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 120 pp.
7. Beets, P.N., G.R. Oliver, and P.W. Clinton. 2002. Soil carbon protection in podocarp/hardwood forest, and the effects of conversion to pasture and exotic pine forest. J. Env. Pollut. 166: 563-573.
8. Brady, N.C. and R.R., Weil. 2001. The nature and properties of soils. 13a ed. Printice Hall, New Jersey.
9. Brams, E.A. 1971. Continuous cultivation of west African soils: Organic matter diminution and effects of applied lime and phosphorus. Plant Soil 35:401-414.
10. Carabias, J. y R. Landa. 2005. Agua, medio ambiente y sociedad, hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México A.C. y Fundación Gonzalo Río Arronte IAP. México. 217 pp.
11. Carreón, E, C. Pinedo y A. Lafón. 2001. Aplicación de tecnología geoespacial en el estudio de cuencas: caso río conchos. Memorias del XI Congreso Nacional de Irrigación. México. p. 15-22
12. Cervantes, M.C. 2002. Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 155 pp.
13. Chepil, W.S. 1945. Dynamics of wind erosion: 1; the nature of movement of soil by wind. Soil Sci. 60: 305-320
14. Chepil, W.S., and N.P. Woodruff. 1963. The physics of wind erosion and its control. Adv. In Agron. 15: 211-302.
15. Chhabra, A., S. Palria, and V.K. Dadhwal. 2003. Soil organic carbon pool in Indian forests. Forest Ecol. and Manag. 173: 187-199.
16. COFEMERMIR. Diagnóstico socioeconómico y pesquero de la presa la boquilla (documento electrónico). Comisión Federal de Mejoría Regulatoria, Portal de Manifestación de Impacto Regulatorio. México. (www.cofemermir.gob.mx) (30 Julio 2007)
17. CONABIO. 1998. La diversidad biológica de México: estudio de país. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 200 pp.
18. CONAFOR. 2007. Ecosistemas forestales: Bosques. Comisión Nacional Forestal. México. (www.conafor.gob.mx/portal/index.php?s1=3&s2=2&s3=2) (18 Abril 2007)
19. CONAGUA. 2007. Estudios y proyectos de infraestructura hidroagrícola. Comisión Nacional del Agua. México. (www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Organismos/Central/Publicaciones/ProyectoInfraestructura_CNA.htm) (14 Junio 2007)

20. CONAGUA. 2007a. Cambio del volumen útil de las presas la boquilla, francisco i. madero y luís I. león. Comisión Nacional del Agua. México. (www.conagua.gob.mx)
21. CONAGUA. 2007b. Delimitación de los acuíferos de la República Mexicana escala 1 millón (cobertura digital). Comisión Nacional del Agua. México.
22. Conde, C. 2003. Cambio y variabilidad climáticos en México. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. 220 pp.
23. Coote, D.R., and J.F. Ramsey. 1983. Quantification of the effects of over 35 years of intensive cultivation on four soils. *Can. J. Soil Sci.* 63:1-14.
24. Cortés, H. 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. 168 pp.
25. Dumanski, J. 2004. Carbon sequestration, soil conservation, and the Kyoto Protocol: Summary of implications. *Climate Change* 65: 255-261.
26. Dunne, T. and L. B. Leopold. 1978. *Water in Environmental Planning*. W.H. Freeman and Co. San Francisco CA. 818 pp.
27. ESRI, 2004. Environmental Systems Research Institute, Inc., 380 New York Street. Redlands. CA. 92373 USA.
28. Estrada, J.W. y C.A. Ortiz. 1982. Plano de erosión hídrica del suelo en México. *Geografía Agrícola*. Vol. 3. 23-27
29. Etchevers, J.D., C.M. Monreal, C. Hidalgo, M. Acosta, J. Padilla y R. M. López. 2005. Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas. Colegio de Postgraduados, México.
30. FAO. 1978. Reporto n the Agro-ecological Zons Proyect. Vol. 1 Methodology and Results for Africa. *World Soil Resources Report* 48. Rome. 158 pp.
31. FAO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. FAO. Roma. 86 pp.
32. FAO. 1984. Metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertificación. Roma, Italia. 74 pp.
33. FAO. 1997. Metodología unificada para la evaluación y monitoreo de la desertificación en América Latina; indicadores de la desertificación. Santiago de Chile. 183 pp.
34. Figueroa, B., A. Amante, H. Cortés, J. Pimentel, E. Osuna, J. Rodríguez y F. Morales. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Edit. SARH-Colegio de Posgraduados. Subsecretaría de Agricultura, Dirección General de Política Agrícola. México. D. F. 150 pp.
35. Figueroa, B. 1975. Pérdida de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del rio Texcoco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo México.
36. García, R. 1983. Diagnóstico sobre el estado actual de la erosión en México. *Terra* Vol. 1 Num. 1 11-14.
37. Geissert, D y S.R. Rossignol. 1987. La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales. Conceptos y primeras aplicaciones en México. INIREB. 85 pp.
38. GLASSOD. 1997. Global assessment of soil degradation. Food and Agriculture Organization. Rome.
39. Gómez, J.D., J.D. Etchevers, A.I. Monterroso, C. Gay, J. Campo and M. Martinez. 2007. Spatial estimation of mean temperature and precipitation in areas of scarce meteorological information. Aceptado para publicarse en *Atmosfera*.

40. González, F. 2004. Las comunidades vegetales de México. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
41. Hartemink, A.E. 1997. Soil fertility decline in some major soil groupings permanent cropping in Tanga region. *Geoderma* 75:215-229.
42. Honorato, R. 1993. Manual de edafología. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. 196 pp.
43. Hudson Norman W. 1995. Soil conservation. Third Edition. Batsford London. UK. 391 pp.
44. INEGI. 1999. Superficies Continental e Insular del Territorio Nacional. Documento Interno. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
45. INEGI. 2000. Mapa de suelos predominantes de la República Mexicana. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
46. INEGI. 2001a. Conjunto de Datos Vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000. Serie I. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Dirección General de Geografía, Aguascalientes, México.
47. INEGI. 2001b. Inventario Nacional Forestal Escala 1: 1'000,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Dirección de General de Geografía, Aguascalientes, México.
48. INEGI. 2002. Conjunto de Datos Vectoriales Geológicos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Dirección General de Geografía, Aguascalientes, México.
49. INEGI. 2003. Sistema de topofomas de la República Mexicana. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
50. INEGI. 2004. Continuo de elevaciones mexicano. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
51. INEGI. 2006. Conjunto de datos hidrológicos de la República Mexicana escala 250,000 (cobertura digital). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
52. INEGI. 2007. Cartografía de las unidades de suelo de acuerdo al sistema WRB. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
53. IPCC. 2001. Tercer informe de evaluación. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Suiza. 184 pp.
54. Janzen, H. H., C. A. Cambell, E.G. Gregorich, and B.H. Ellert. 1998. Soil carbon dynamics in Canadian agroecosystems. In: R. Lal, J. Kimble, R. Follet, and B. A. Stewart (eds). *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press. Boca raton, FL.
55. Jiménez, A. 1993. La producción de forrajes en México. Universidad Autónoma Chapingo y Banco de México-FIRA. México. 100 pp.
56. Jiménez, G. 2002. Uso agrícola del agua en la cuenca del río conchos. Texas Center for Policy Studies y Universidad Autónoma Chapingo. México. 20 pp.
57. Jiménez, G. 2004. El valle de Ojinaga: en la junta del bajo conchos y el bravo. Environmental Defense y Universidad Autónoma Chapingo. México. 20 pp.
58. Juo, A.S.R., and R. Lal. 1977. The effect of fallow and continuous cultivation on the chemical and physical properties of an Alfisol in western Nigeria. *Plant Soil* 47:567-584.
59. Lal, R. 1999. Soil management and restoration for carbon sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. *Prog. Env. Sci.* 1(4): 307-326.

60. Lal, R. 2000. World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Adv. Agron.*, 71: 145-191.
61. Lal, R. 2002. Why Carbon sequestration in Agricultural Soils. In: J.M. Kimble, R. Lal and R.F. Follett (Eds.) 2002. *Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil*. Lewis Publishers. Boca Raton, FL. pp 21-30.
62. Langbein W.B and S.A Schumm. 1958. Yield of sediments in relation to mean annual precipitation. *Trnas. Am. Geophys. Union* 39:1076-1084.
63. Lyles L. 1974. Speculation on the effects of wind erosion on productivity. Special Report to task Force on Wind Erosion Damage Estimates. Washington D.C. U.S Department of Agriculture. 70 pp.
64. Maderey, L.E. y J.J. Carrillo. 2005. El recurso agua en México: un análisis geográfico. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 128 pp.
65. Mann, L.K. 1986. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Sci.* 142:279-288.
66. McGuire, A.D., J.M. Melillo, D.W. Kicklighter, and L.A. Joyce. 1995. Equilibrium responses of soil carbon to climate change: empirical and process based estimates. *J. Biogeogr.* 22: 785-796.
67. Monterroso, A.I. y J.D. Gómez. 2003. Escenarios climatológicos de la República Mexicana ante el cambio climático. Comisión Nacional de las Zonas Áridas- Universidad Autónoma Chapingo. 170 pp.
68. Oldeman, L. R. (ed.) 1988. Guidelines for General Assessment of the Status of Human – Induced Soil Degradation. ISRIC Working Paper and Preprint 88/4.
69. Ortiz, M. M., Anaya, M. y J. W. Estrada-Berg. 1992. Evaluación y cartografía de la erosión eólica en la República Mexicana. Cuaderno de Edafología 19. Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 161 pp.
70. Ortiz, M. M., Anaya, M. y J. W. Estrada-Berg. 1994. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. Colegio de Posgraduados- Universidad Autónoma Chapingo y Comisión Nacional de Zonas Áridas. 161 pp
71. SAGARPA. 2007. Distrito de Desarrollo Rural 013 Delicias. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca. México. (www.sagarpa.gob.mx/dlg/chihuahua/ddr_13_delicias/ddr_13.htm) (20 Junio 2007)
72. SARH. 1960. Censo de la erosión en México. Documento interno SAG. México.
73. SARH. 1986. Inventario de áreas erosionadas en México. SARH. México.
74. SARH. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Colegio de Postgraduados/CREZAS. 116 pp.
75. Schnitzer, M. 1991. Soil organic matter- The next 75 years. *Soil Sci.* 151:41-58.
76. SEMARNAP. 2000. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000, que establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis. Diario Oficial de la Federación. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo DLXV, No. 12: 6-74.
77. SEMARNAT-CP. 2001. Evaluación de la degradación causada por el hombre en la Republica Mexicana escala 1: 250 000. Memoria Nacional. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales- Colegio de Posgraduados. 69 pp.
78. SEMARNAT-UNAM. 2001. Inventario nacional forestal de la República Mexicana (cobertura digital). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad Nacional Autónoma de México. México.

79. SEMARNAT. 2002. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, esc. 1:1 000 000. México, D.F. 146 pp.
80. SIAP. 2005. Sistema de Información Agrícola y Pecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca. México.
81. Sys C., E. Van Ranst and J. Debaveye. 1991. Land Evaluation Part I. Principles in Land Evaluation and crop production calculations. International Training Centre for Post-graduate Soil Scientists, University of Ghent. Belgium. 274 pp.
82. Thornthwaite, C.W., and J.R. Mather. 1955. The water balance; Laboratory of Climatology, Publication N°. 8 Centerton, NJ.
83. Thornthwaite, C.W., and J.R. Mather. 1957. Instruction and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance; Laboratory of Climatology, Publication N°. 10 Centerton, NJ.
84. UACH-CONAFOR. 2007. Actualización de mapas de escenarios climatológicos en la República Mexicana ante el cambio climático y zonificación agroecológica de 16 especies forestales de interés para la CONAFOR. En proceso.
85. Van Lynden, G. W. J. and L. R. Oldeman, 1997. The Assessment of the Human – Induced Soil Degradation in South and Southeast Asia. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, The Netherlands.
86. Wilson S.J y R.U. cooke. 1984. Erosion eólica. En R.J. Kirkby y R.P.C Morgan (eds). Erosión de Suelos. México. Limusa. 277-302 pp.
87. Wischmeier, W.H. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc.23 246 – 249.
88. Woodruff N.P and F.H. Siddoway. 1965. A wind erosion equation. Soil Sci. Am. Proc. 29(5); 602-608.
89. WRB. 1999. Base Referencial Mundial del Recursos Suelo. Informe sobre recursos mundiales de suelos. Publicación 84. FAO, Roma. 93 pp.

FORMULACIÓN DE INDICADORES PARA EVALUAR Y MONITOREAR LA DESERTIFICACIÓN EN MÉXICO

