

**SEMARNAT**  
SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES



**SINADES**  
SISTEMA NACIONAL DE LUCHA CONTRA LA  
DESERTIFICACIÓN Y LA DEGRADACIÓN DE LOS  
RECURSOS NATURALES



# LÍNEA BASE NACIONAL DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS Y DESERTIFICACIÓN

## INFORME FINAL

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL  
COORDINACIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN  
GERENCIA DE SUELOS  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO  
DEPARTAMENTO DE SUELOS

# LÍNEA BASE NACIONAL DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS Y DESERTIFICACIÓN.

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL  
COORDINACIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN  
GERENCIA DE SUELOS

INFORME FINAL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO  
DEPARTAMENTO DE SUELOS

DICIEMBRE DE 2013

TÍTULO:  
LÍNEA BASE NACIONAL DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS Y DESERTIFICACIÓN

### **Informe Final**

EDICIÓN:  
UACH- Departamento de Suelos  
Dr. Jesús David Gómez Díaz  
Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas  
Ing. Lizeth Margarita Lechuga Gayosso  
Ing. Claudio César Hernández Vásquez

© **Comisión Nacional Forestal**

Diciembre de 2013

Reservados todos los derechos. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio mecánico, electrónico, térmico u otros, sin autorización de la Comisión Nacional Forestal.

**Hecho en México** *Made in Mexico*

### **COMISIÓN NACIONAL FORESTAL**

Periférico Poniente No. 5360, San Juan de Ocotán C.P. 45019 Zapopan, Jalisco.  
Conmutador: +52 (33) 37 77 70 00 - 01 800 7370000 <http://www.conafor.gob.mx>

### **Universidad Autónoma Chapingo**

Departamento de Suelos. Km 38.5 de la carretera México-Texcoco, Chapingo, Edo. De México. C.P. 56230. Tel/Fax: (595) 95 2 16 20 <http://www.chapingo.mx>

### **Se sugiere citar como:**

CONAFOR-UACH. 2013. Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final. Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma Chapingo. Zapopan, Jalisco.

DIRECTORIO  
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

Ing. Jorge Pérez Rescala  
Director General

Dr. Octavio Salvador Magaña Torres  
Coordinador General de Conservación y  
Restauración

Ing. Ramón Cardoza Vázquez  
Gerente de Suelos

M.C. Jorge Luis Gracia Rodríguez  
Subgerente de Inventario y Monitoreo de  
Suelos Forestales

DIRECTORIO  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Dr. Carlos Alberto Villaseñor Perea  
Rector

Dr. Ramón Valdivia Alcalá  
Director General Académico

Dr. J. Reyes Altamirano Cárdenas  
Director General de Investigación y Posgrado

Ing. Raúl Reyes Bustos  
Director General de Difusión Cultural y  
Servicio

M.C. Domingo Montalvo Hernández  
Director General de Patronato Universitario

Dr. Antonio Vázquez Alarcón  
Director del Departamento de Suelos

Dr. Jesús David Gómez Díaz  
Responsable del Proyecto

### PERSONAL TÉCNICO RESPONSABLE

Dr. Jesús David Gómez Díaz  
Coordinador Técnico

Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas  
Responsable Técnico

M.C. Carlos A. Tavarez Espinosa  
Responsable Técnico

Ing. Lizeth Margarita Lechuga Gayosso  
Especialista en SIG

Ing. Joel Villegas Flores  
Especialista en SIG

Ing. Claudio César Hernández Vásquez  
Especialista en SIG

## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>19</b> |
| <b>2. METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS Y DESERTIFICACIÓN.....</b> | <b>21</b> |
| <b>3. RECURSOS BIÓTICOS.....</b>  | <b>24</b> |
| 3.1. TIPOS DE COBERTURA VEGETAL Y USO DE LA TIERRA.....   | 27        |
| 3.1.1. USOS DE SUELO Y TOPOFORMAS DOMINANTES.....   | 29        |
| 3.2. DINÁMICA DE CAMBIO EN LA COBERTURA VEGETAL .....   | 32        |
| 3.2.1. CAMBIOS DE USO DE SUELO .....  | 32        |
| 3.2.2. DINÁMICA SEGÚN NDVI .....  | 39        |
| 3.2.3. DINÁMICA SEGÚN LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA (PPN) .....                                    | 46        |
| 3.2.4. ESTADO DE LA CUBIERTA VEGETAL.....   | 51        |
| 3.2.5. PRESENCIA DE DUNAS EN EN PAÍS .....  | 52        |
| 3.3. INDICADOR INTEGRADO DE RECURSOS BIÓTICOS .....   | 54        |
| <b>4. RECURSOS EDÁFICOS .....</b>   | <b>57</b> |
| 4.1. INDICADORES DE RECURSOS EDÁFICOS .....   | 58        |
| 4.1.1. CARTOGRAFÍA DE SUELOS .....  | 59        |
| 4.1.2. EROSIÓN HÍDRICA.....   | 61        |
| 4.1.3. EROSIÓN EÓLICA .....   | 66        |
| 4.1.4. DEGRADACIÓN DE SUELOS CAUSADA POR EL HOMBRE .....  | 67        |
| 4.2. INDICADOR INTEGRADO DE DEGRADACIÓN DEL RECURSO EDÁFICO.....                                    | 71        |
| <b>5. RECURSOS HÍDRICOS .....</b>   | <b>76</b> |
| 5.1. CONDICIÓN DE LOS ACUÍFEROS .....   | 80        |
| 5.2. DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES.....   | 84        |
| 5.3. CONTAMINACIÓN POTENCIAL .....  | 84        |
| 5.4. CALIDAD DEL AGUA.....  | 85        |
| 5.5. INTRUSIÓN SALINA.....  | 91        |
| 5.6. DESECACIÓN DE CUERPOS DE AGUA.....   | 93        |
| 5.7. INDICADOR INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS .....   | 94        |
| <b>6. ASPECTOS CLIMÁTICOS .....</b>   | <b>97</b> |
| 6.1. ÍNDICE DE ARIDEZ .....   | 98        |
| 6.2. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO .....   | 100       |
| 6.3. ANÁLISIS DE SEQUÍA .....   | 101       |
| 6.3.1. ESQUEMA METODOLÓGICO.....  | 101       |
| 6.3.2. COMPORTAMIENTO DE LA SEQUÍA A NIVEL REGIONAL .....   | 106       |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 6.3.3.    | COMPORTAMIENTO DE LA SEQUÍA A NIVEL DE DÉCADAS .....   | 121        |
| <b>7.</b> | <b>DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN DE TIERRAS EN MÉXICO ...</b>  | <b>128</b> |
| 7.1.      | INDICADOR INTEGRADO DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS. ....  | 130        |
| 7.2.      | INDICADOR INTEGRADO DE DESERTIFICACIÓN DE TIERRAS PARA LAS CONDICIONES ACTUALES Y CON CAMBIO CLIMÁTICO. .... | 132        |
| <b>8.</b> | <b>ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS .....</b>  | <b>139</b> |
| 8.1.      | DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE ACUERDO A LOS ÍNDICES DE ARIDEZ .....  | 140        |
| 8.2.      | DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN LOS DIFERENTES NIVELES DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS. ....                       | 145        |
| 8.3.      | DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN LOS DIFERENTES NIVELES DE DESERTIFICACIÓN DE TIERRAS. ....                   | 148        |
| 8.4.      | POBLACIÓN RURAL Y URBANA .....   | 151        |
| 8.5.      | POBREZA .....  | 152        |
| 8.6.      | MIGRACIÓN.....   | 155        |
| 8.7.      | DESARROLLO HUMANO.....   | 158        |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 3.1 Matriz de decisión para integrar el indicador de degradación de recursos bióticos.....  | 27 |
| Cuadro 3.2 Superficie ocupada por ecosistemas forestales de acuerdo con el uso de suelo para el 2007 de la Serie IV de INEGI (2008). .....   | 27 |
| Cuadro 3.3 Superficie ocupada (miles de ha) por tipo de cobertura vegetal, agrupada por ecosistema forestal.....   | 29 |
| Cuadro 3.4 Distribución del uso de suelo y vegetación, agrupado en ecosistemas forestales de acuerdo a topografía en miles de ha. ....   | 31 |
| Cuadro 3.5 Comparación de la superficie ocupada en miles de hectáreas por vegetación y uso de suelo, de acuerdo a las cartas de Uso de suelo y vegetación (series II, III y IV), con respecto a la Vegetación primaria potencial. .... | 34 |
| Cuadro 3.6 Superficie (%) ocupada por vegetación de desiertos arenosos y dunas costeras en el país. ....   | 53 |
| Cuadro 3.7 Superficie a nivel nacional según el nivel de degradación en recursos bióticos. ....  | 56 |
| Cuadro 4.1 Superficie afectada por erosión hídrica en México, resultado de evaluaciones en diferentes fechas.....  | 62 |
| Cuadro 4.2 Asignación de categorías de erosión hídrica de acuerdo al espesor del suelo. ....   | 64 |
| Cuadro 4.3 Superficie afectada por grado de erosión hídrica y porcentaje del total del país.....   | 65 |
| Cuadro 4.4 Superficie afectada por grado de erosión eólica.....  | 66 |
| Cuadro 4.5 Superficie ocupada por degradación física y química del recurso edáfico. ....   | 69 |
| Cuadro 4.6 Indicador Integrado del factor edáfico por superficie y porcentaje del país. ....   | 73 |
| Cuadro 5.1 Matriz de asignación del nivel de afectación en el indicador integrado de recursos hídricos ...   | 79 |
| Cuadro 5.2 Comparativo de grado de explotación de los acuíferos en 2006 y 2010 para la República Mexicana.....   | 81 |
| Cuadro 5.3 Acuíferos sobreexplotados en el año 2010.....   | 82 |
| Cuadro 5.4 Superficie (%) nacional de acuerdo con la dinámica de cambio en acuíferos de 2006 a 2010. ..  | 83 |
| Cuadro 5.5 Número de cuencas y porcentaje de la superficie nacional ocupado por contaminación potencial difusa por uso de agroquímicos. ....   | 85 |
| Cuadro 5.6 Escalas de clasificación de la calidad del agua de acuerdo a la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días. ....  | 86 |
| Cuadro 5.7 Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador DBO5 en el período 2003 al 2012.....   | 88 |
| Cuadro 5.8 Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador DQO en el período 2003 al 2012. ....   | 89 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Cuadro 5.9 . Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador SST en el período 2003 al 2012. ....</b>   | <b>90</b>  |
| <b>Cuadro 5.10 Proporción de la superficie a nivel nacional según el nivel de degradación en recursos hídricos.....</b>   | <b>96</b>  |
| <b>Cuadro 6.1 Tipos climáticos definidos por el Índice de Aridez de acuerdo a los criterios de la CNULD. ....</b>   | <b>97</b>  |
| <b>Cuadro 6.2 Superficie ocupada de acuerdo al Índice de Aridez en México para el escenario base a partir de la estimación de evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite y Penman.....</b>                | <b>99</b>  |
| <b>Cuadro 6.3 Proporción de la superficie ocupada por los diferentes tipos climáticos definidos con el Índice de Aridez en condiciones actuales y de cambio climático al 2050 en el escenario socioeconómico A2 .....</b> | <b>100</b> |
| <b>Cuadro 6.4 Número de estaciones por Región de Precipitación. ....</b>  | <b>104</b> |
| <b>Cuadro 6.5 Municipios declarados con sequía del 2000 al 2011 por Región de Influencia de Precipitación .....</b>   | <b>106</b> |
| <b>Cuadro 6.6 Años que presentaron sequías y su grado de severidad en el periodo 1960 – 2012 a partir del análisis del SPI anual para la Región Mediterránea. ....</b>  | <b>107</b> |
| <b>Cuadro 6.7 Años que presentaron sequías y su grado de severidad en periodo 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la Región de Península de Baja California Seca.....</b>                                 | <b>108</b> |
| <b>Cuadro 6.8 Años que presentaron sequías y su severidad en el periodo 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la Región de parte Sur de la Península de Baja California. ....</b>                           | <b>109</b> |
| <b>Cuadro 6.9 Años que presentaron sequías en periodo 1960–2012 y su severidad por medio del análisis del SPI anual para la Región de Monzón Mexicano A (seco). ....</b>  | <b>110</b> |
| <b>Cuadro 6.10 Años que presentaron sequías en periodo 1960–2012 y su intensidad por medio del análisis del SPI anual en la Región de Monzón Mexicano B (húmedo). ....</b>  | <b>111</b> |
| <b>Cuadro 6.11 Años que presentaron sequías anuales en el periodo 1960–2012 y su intensidad, estimadas por el SPI anual para la Región Monzón de Norteamérica A (seco). ....</b>  | <b>112</b> |
| <b>Cuadro 6.12 Años que presentaron sequías y su intensidad en el periodo de 1960–2012 estimadas por el SPI anual para la Región de Monzón de Norteamérica B (húmedo). ....</b>   | <b>113</b> |
| <b>Cuadro 6.13 Años que presentaron sequías y su intensidad en periodo 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la región de Alisios y Monzón de Norteamérica.....</b>   | <b>114</b> |
| <b>Cuadro 6.14 Años que presentaron sequías y su intensidad en el periodo 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la Región de Mesa del Centro. ....</b>  | <b>115</b> |
| <b>Cuadro 6.15 Años que presentaron sequías y su severidad en el periodo de 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la región de Depresión del Balsas. ....</b>   | <b>116</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Cuadro 6.16 Años que presentaron sequías y su severidad en el periodo de 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la región de Componente de vientos del pacífico de las ondas tropicales.</b>  | <b>117</b> |
| <b>Cuadro 6.17 Años que presentaron sequías y su intensidad en el periodo de 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la región de Barlovento de Alisos.</b>   | <b>118</b> |
| <b>Cuadro 6.18 Años que presentaron sequías y su severidad en el periodo de 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la región de Depresión Central de Chiapas.</b>  | <b>119</b> |
| <b>Cuadro 6.19. Años que presentaron sequías y su intensidad en el periodo de 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual en la región de península de Yucatán.</b>  | <b>120</b> |
| <b>Cuadro 7.1 Esquema de integración de la degradación de los recursos bióticos, edáficos e hídricos. En donde los niveles de degradación integrada se denotan por: D0 nula, D1 ligera, D2 moderada, D3 severa, D4 extrema.</b>   | <b>129</b> |
| <b>Cuadro 7.2 Superficie y porcentaje de la misma por nivel de degradación integrada a partir de los factores bióticos, edáficos e hídricos.</b>  | <b>130</b> |
| <b>Cuadro 7.3 Superficie y porcentaje de la misma por nivel de Desertificación integrada para las condiciones climáticas actuales y bajo escenarios de cambio climático estimados para el 2050 y escenario socioeconómico A2 con los modelos GFDL y el modelo HADLEY.</b> | <b>133</b> |
| <b>Cuadro 8.1 Total de población y porcentaje del total nacional según el censo de población 2010, 2000 y 1990 y el conteo de población 1995 por clase de Índice de Aridez actual.</b>  | <b>141</b> |
| <b>Cuadro 8.2 Total de población (2010) por entidad federativa y clase de Índice de Aridez.</b>   | <b>143</b> |
| <b>Cuadro 8.3 Distribución porcentual de la población estatal habitando las tierras secas y húmedas del país.</b>   | <b>144</b> |
| <b>Cuadro 8.4 Distribución de la población en los diferentes niveles de Degradación para el censo de 2010.</b>  | <b>145</b> |
| <b>Cuadro 8.5 Total de población (2010) por entidad federativa y grado de Degradación.</b>  | <b>146</b> |
| <b>Cuadro 8.6 Distribución porcentual de la población estatal habitando en los diferentes grados de Degradación.</b>  | <b>147</b> |
| <b>Cuadro 8.7 Distribución de la población en los diferentes niveles de Desertificación para el censo de 2010.</b>  | <b>148</b> |
| <b>Cuadro 8.8 Total de población (2010) por entidad federativa y grado de Desertificación.</b>  | <b>149</b> |
| <b>Cuadro 8.9 Distribución porcentual de la población estatal habitando en los diferentes grados de Desertificación.</b>  | <b>150</b> |
| <b>Cuadro 8.10 Población rural y urbana por índice de aridez.</b>   | <b>151</b> |

**Cuadro 8.11 Población rural y urbana por clase de Degradación..... 152**  
**Cuadro 8.12 Población rural y urbana por clase de Desertificación..... 152**

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 Conjunto de indicadores para estimar Degradación de Tierras y Desertificación. ....  | 23 |
| Figura 3.1 Esquema metodológico para la obtención del indicador del estado de la cubierta vegetal. ....   | 25 |
| Figura 3.2 Distribución espacial de los tipos de cobertura vegetal, agrupados en ecosistemas forestales, de acuerdo al uso de suelo y vegetación para 2007, serie IV del INEGI (2008). ....   | 28 |
| Figura 3.3 Mapa de ecosistemas forestales en México, Serie IV, INEGI. ....  | 32 |
| Figura 3.4 Mapa de toposformas en México.....   | 32 |
| Figura 3.5 Distribución gráfica de la superficie ocupada por vegetación primaria y secundaria para 1990 (Serie II), 2004 (Serie III) y 2007 (Serie ¿?).....   | 35 |
| Figura 3.6 Distribución de superficie ocupada por uso de suelo y vegetación a) Vegetación primaria (año 2002) b) Vegetación secundaria (año 2002) .....   | 36 |
| Figura 3.7 c) Vegetación primaria (año 2007) y d) Vegetación secundaria (año 2007) generada a partir de las cartas de uso de suelo y vegetación series II, III y IV. ....   | 37 |
| Figura 3.8 Procesos de cambio de uso de suelo para el período 1993-2002 (SEMARNAT, 2006).....   | 38 |
| Figura 3.9 Distribución de estaciones meteorológicas con información de precipitación en el período 2000-2011. ....   | 40 |
| Figura 3.10 Comportamiento de precipitación trimestral para bosque de coníferas, bosque de encino y bosque cultivado, de acuerdo al índice de aridez. ....  | 41 |
| Figura 3.11 Comportamiento de NDVI para bosque de coníferas, bosque de encino y bosque cultivado, de acuerdo al Índice de Aridez.....   | 42 |
| Figura 3.12 Cambios anuales en NDVI anualmente para el período 2000-2010.....   | 44 |
| Figura 3.13 Valores promedio de NDVI anual para el período 2000-2010, con énfasis en el año 2008. ....  | 46 |
| Figura 3.14 Comportamiento de PPN para bosque de coníferas, bosque de encino y bosque cultivado, de acuerdo al Índice de Aridez.....  | 47 |
| Figura 3.15 Diferencias anuales de PPN, para el período 2000-2010. ....   | 49 |
| Figura 3.16 Valores promedio de PPN para el período 2000-2010, con énfasis en el año 2008.....  | 50 |
| Figura 3.17 Valores medios de Productividad Primaria Neta agrupados por índice de aridez (IA) con respecto a la precipitación anual promedio. a) IA: árido, semiárido, seco subhúmedo y sub-húmedo. b) IA: húmedo, muy húmedo y per-húmedo..... | 51 |
| Figura 3.18 Áreas de reforestación, recuperación y posible degradación para el período 2005-2012.....   | 52 |
| Figura 3.19 Diferencias entre los mapas de uso de suelo y vegetación INEGI a) Serie II (1990), b) Serie III (2002), c) Serie IV (2007), d) Serie V (2010) y e) gráfica comparativa entre series.....  | 53 |
| Figura 3.20 Indicador Integrado de Degradación del Recurso Biótico, por grado de afectación.....  | 55 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.21 Causas de la Degradación del Recurso Biótico. ....   | 56 |
| Figura 4.1 Esquema de integración del indicador de la degradación del recurso edáfico.....   | 58 |
| Figura 4.2 Distribución de las unidades de suelos dominantes en México.....  | 60 |
| Figura 4.3 Intervalos del espesor del suelo de acuerdo a las unidades y perfiles de suelos, escala 1:250 000<br>.....  | 61 |
| Figura 4.4 Erosión hídrica estimada por medio de RUSLE, en el presente estudio.....  | 63 |
| Figura 4.5 Categorías de pérdida de suelo por erosión hídrica, considerando su profundidad. ....   | 65 |
| Figura 4.6 Grado de la superficie afectada por erosión eólica y su distribución.....   | 67 |
| Figura 4.7 Distribución de la degradación de suelos causada por el hombre en México (2002). a) Tipo de<br>degradación; b) Nivel de degradación. ....           | 68 |
| Figura 4.8 a) Degradación física, b) Degradación química dominante en el país.....   | 70 |
| Figura 4.9 Tipos de degradación de suelos: a) Erosión eólica. b) Erosión hídrica. c) Degradación química. d)<br>Degradación física. ....                       | 72 |
| Figura 4.10 Indicador Integrado de Degradación del Recurso Edáfico, por grado de afectación. ....  | 74 |
| Figura 4.11 Causas de la Degradación del recurso Edáfico.....  | 75 |
| Figura 5.1 Esquema de integración de la degradación de los recursos hídricos .....   | 77 |
| Figura 5.2 Condición de extracción de los acuíferos a) en 2006 y b) en 2010.....   | 80 |
| Figura 5.3 Cuencas hidrográficas definidas con disponibilidad, déficit o sin escorrentía superficial .....   | 84 |
| Figura 5.4 Contaminación potencial difusa por agroquímicos a nivel de cuenca en México .....   | 85 |
| Figura 5.5 Estaciones de monitoreo de agua superficial.....  | 87 |
| Figura 5.6 Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador<br>DBO <sub>5</sub> en el período 2003 al 2012. .... | 88 |
| Figura 5.7 Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador<br>DQO en el período 2003 al 2012. ....              | 90 |
| Figura 5.8. Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador<br>SST en el período 2003 al 2012. ....             | 91 |
| Figura 5.9 a) Sólidos totales disueltos en acuíferos y b) Acuíferos con intrusión salina y/o salinización de<br>suelos y aguas subterráneas salobres .....     | 92 |
| Figura 5.10. Superficie ocupada por cuerpos de agua de acuerdo a la cartografía de Uso de Suelo y<br>Vegetación (series I a la V).....                         | 93 |
| Figura 5.11. Volumen almacenado en el Lago de Chapala, de 1935 a 2011 .....  | 94 |
| Figura 5.12 . Indicador Integrado de Degradación del Recurso Hídrico, por grado de afectación. ....  | 95 |
| Figura 5.13 Factores que determinan la condición de degradación del recurso hídrico en México.....   | 96 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Figura 6.1 Índice de aridez en México según a) ETP estimada con el método de Thornthwaite y b) ETP estimada con el método de Penman. ....</b>   | <b>98</b>  |
| <b>Figura 6.2 Comparación de la superficie ocupada por índice de aridez estimado a partir de la Evapotranspiración Potencial (ETP) por los métodos de Thornthwaite y Penman. ....</b>              | <b>99</b>  |
| <b>Figura 6.3 Índice de aridez en México según a) con el modelo GFDL y b) con el modelo HADLEY. ....</b>   | <b>101</b> |
| <b>Figura 6.4 Clasificación del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) ....</b>   | <b>103</b> |
| <b>Figura 6.5 Esquema metodológico del análisis del comportamiento de la sequía. ....</b>  | <b>103</b> |
| <b>Figura 6.6 Esquema metodológico de la tendencia del comportamiento de la sequía en el país para los años 2030 y 2050. ....</b>  | <b>104</b> |
| <b>Figura 6.7. Distribución de las estaciones meteorológicas de referencia en las Regiones de Precipitación de México. ....</b>  | <b>105</b> |
| <b>Figura 6.8 Frecuencia de sequías en las décadas de 1960 al 2010 para las estaciones de referencia de la República Mexicana. ....</b>  | <b>121</b> |
| <b>Figura 6.9 Frecuencia de sequías en la década de 1960 al 1970 para las estaciones de referencia de la República Mexicana. ....</b>  | <b>122</b> |
| <b>Figura 6.10 Frecuencia de sequías en la década de 1970 a 1980 para las estaciones de referencia de la República Mexicana. ....</b>  | <b>123</b> |
| <b>Figura 6.11 Frecuencia de sequías en la década de 1980 a 1990 para las estaciones de referencia de la República Mexicana. ....</b>  | <b>123</b> |
| <b>Figura 6.12 Frecuencia de sequías en la década de 1990 al 2000 para las estaciones de referencia de la República Mexicana. ....</b>   | <b>124</b> |
| <b>Figura 6.13 Frecuencia de sequías en la década de 2000 al 2010 para las estaciones de referencia de la República Mexicana. ....</b>   | <b>124</b> |
| <b>Figura 6.14 Cambio de precipitación estimado para el 2030 estimadas con el modelo GFDL en el escenario socioeconómico A2 para las estaciones de referencia de la República Mexicana. ....</b>   | <b>125</b> |
| <b>Figura 6.15 Cambio de precipitación estimado para el 2030 estimadas con el modelo HADLEY en el escenario socioeconómico A2 para las estaciones de referencia de la República Mexicana. ....</b> | <b>126</b> |
| <b>Figura 6.16 Cambio de precipitación estimado para el 2050 estimadas con el modelo GFDL en el escenario socioeconómico A2 para las estaciones de referencia de la República Mexicana. ....</b>   | <b>126</b> |
| <b>Figura 6.17 Cambio de precipitación estimado para el 2050 estimadas con el modelo HADLEY en el escenario socioeconómico A2 para las estaciones de referencia de la República Mexicana. ....</b> | <b>127</b> |
| <b>Figura 7.1 Degradación de tierras en México. ....</b>   | <b>131</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Figura 7.2 Distribución de las clases de Desertificación de tierras en México bajo las condiciones climáticas actuales (escenario base 1970-2000).</b> .....         | <b>136</b> |
| <b>Figura 7.3 Distribución de las clases de Desertificación de tierras en México bajo escenario de cambio climático al 2050 estimado con el modelo GFDL- A2</b> .....   | <b>137</b> |
| <b>Figura 7.4 Distribución de las clases de Desertificación de tierras en México bajo escenario de cambio climático al 2050 estimado con el modelo HADLEY -A2</b> ..... | <b>138</b> |
| <b>Figura 8.1 Esquema metodológico de los indicadores socioeconómicos.</b> .....  | <b>140</b> |
| <b>Figura 8.2 Población total y porcentaje respecto del total nacional por clase de Índice de Aridez (a partir del INEGI, 2011)</b> .....                               | <b>141</b> |
| <b>Figura 8.3 Total de población en pobreza, en pobreza moderada y en pobreza extrema según tipo del Índice de Aridez</b> .....   | <b>153</b> |
| <b>Figura 8.4 Total de población en pobreza, en pobreza moderada y en pobreza extrema según grado de Degradación de las tierras.</b> .....                              | <b>154</b> |
| <b>Figura 8.5 Total de población en pobreza, en pobreza moderada y en pobreza extrema según grado de Desertificación</b> .....  | <b>155</b> |
| <b>Figura 8.6 Total de municipios según grado de intensidad migratoria y clase del Índice de Aridez</b> .....   | <b>156</b> |
| <b>Figura 8.7 Población según grado de intensidad migratoria y las clases de Degradación de tierras</b> .....   | <b>157</b> |
| <b>Figura 8.8 Total de municipios según grado de intensidad migratoria y las clases de Desertificación</b> .....  | <b>158</b> |
| <b>Figura 8.9 Población total por grado de desarrollo y tipo de Índice de Aridez</b> .....  | <b>159</b> |
| <b>Figura 8.10 Población total por grado de desarrollo y niveles de Degradación de las tierras</b> .....  | <b>159</b> |
| <b>Figura 8.11 Número de municipios por grado de desarrollo y los grados de afectación por Desertificación.</b> .....   | <b>160</b> |

## RESUMEN EJECUTIVO

---

La Comisión Nacional Forestal, en cumplimiento de los compromisos adquiridos a nivel nacional e internacional en materia de Lucha contra la Desertificación, tanto con el Programa de Acción para el Combatir la Desertificación en México, como con el Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (SINADES) y con la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD), ha realizado el primer estudio nacional que integra los indicadores de la degradación de las tierras y la desertificación, conforme a los estándares nacionales e internacionales legalmente aceptados.

La línea base nacional tuvo como principal objetivo determinar las condiciones actuales de la degradación de tierras y la desertificación en México. Se realizó a partir del análisis de variables agrupadas en seis componentes sobre degradación de tierras provenientes de informes generados por instituciones oficiales. En total se generaron 17 indicadores, de estos, fueron 12 indicadores del medio biofísico, cuatro del medio socioeconómico y el indicador que integró a todos los anteriores. Después, mediante sobreposición y análisis de las capas temáticas se definió la dominancia de un atributo por unidad ambiental, definiéndose así la degradación de tierras dominante. A continuación se presentan los principales resultados:

Dentro del **INDICADOR DE RECURSOS BIÓTICOS** se consideró al 1) pérdida de la cubierta vegetal o deforestación, 2) degradación de la cubierta vegetal, 3) cambio en la cubierta vegetal del 2000 al 2010 y 4) recuperación. **Los resultados muestran que la degradación de la cubierta vegetal con grados que van de ligeros a extremos comprenden aproximadamente 105.799 millones de hectáreas, el 54% del territorio nacional. De estos 39.185 millones de hectáreas (20% del territorio nacional) presentan degradación ligera, 7.837 millones (4% del país) tienen degradación moderada, 52.900 millones de hectáreas (27.0% del país) con degradación severa y 5.878 millones de hectáreas (3.0% del país) con degradación extrema.**

El **INDICADOR DE RECURSOS EDÁFICOS** consideró la fragilidad de los suelos de acuerdo a su espesor y la pérdida del suelo por: 1) erosión hídrica, 2) erosión eólica, además de 3) degradación física expresada principalmente por la compactación y 4) la degradación química expresada fundamentalmente por la declinación de la fertilidad. **Los resultados muestran que la degradación de los suelos nacionales está presente en 111.472 millones de hectáreas, o bien, el 63.02% del total nacional. La categoría de degradación ligera representa el 24.21% (47.433 millones de hectáreas), la moderada el 27.2% (53.291 millones de hectáreas), la severa el 10.01% (19.612 millones de hectáreas) y la degradación extrema el 1.59% (3.115 millones de hectáreas.).**

Por su parte, el **INDICADOR DE RECURSOS HÍDRICOS** integró a 1) calidad del agua, 2) acuíferos sobre explotados y con intrusión salina así como 3) contaminación de

cuencas. **La degradación de los recursos hídricos cubre el 64.77% (126.9 millones de hectáreas) de la superficie del país. La categoría ligera representa el 37.04% (72.571 millones de hectáreas), la moderada el 8.91% (17.457 millones de hectáreas), la degradación severa el 13.77% (26.979 millones de hectáreas) y la extrema el 5.06% (9.914 millones de hectáreas).**

El **INDICADOR INTEGRADO DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS** incluyó la intersección de los indicadores parciales de recursos bióticos, recursos edáficos y recursos hídricos en todos los ecosistemas del país (de acuerdo a la LDRS, 2001). **Los resultados indican que 90.7% de la superficie nacional presenta algún tipo de degradación de tierras (177.642 millones de hectáreas) por causas naturales y antrópicas. El 24.3% (47.541 millones de hectáreas) presentan degradación ligera, mientras el 17.2% con degradación moderada (33.672 millones de hectáreas), con degradación severa es el 38.4% (75.259 millones de hectáreas) y el 9.4% con degradación extrema (18.499 millones de hectáreas).**

El **FACTOR CLIMÁTICO** integró información sobre 1) Índice de Aridez a partir de los que se delimitaron los medios hiper-áridos, áridos, semiáridos y subhúmedos secos, así como los húmedos. Del mismo modo, se determinaron estos mismos medios bajo escenarios de cambio climático a partir de dos Modelos Generales de Circulación Atmosférica, el GFDL, desarrollado en Estados Unidos de América, y el HADLEY, desarrollado en Inglaterra, ambos se trabajaron al escenario de tiempo del 2050 y para los criterios socioeconómicos A2. Asimismo se determinó el Índice Estandarizado de Precipitación y se dio el análisis de frecuencia y severidad de las sequías en el periodo de 1960 al 2012. Los resultados muestran que **las tierras secas del país ocupan 127.939 millones de hectáreas que representan el 65.3% del territorio nacional. Las tierras hiper-áridas ocupan 0.7% (1.371 millones de hectáreas), las áridas el 18.9% (37.030 millones de hectáreas), las semiáridas el 34.8% (68.182 millones de hectáreas) y las subhúmedas secas el 11.0% (21.552 millones de hectáreas).** Se comprobó que se han presentado sequías severas de forma recurrente a lo largo de las cinco décadas analizadas, pero al haber mayor presión sobre los recursos naturales y con la subsecuente disminución o pérdida del potencial productivo, las tierras tienen una fragilidad mayor y su incidencia genera consecuencia catastróficas en muchas regiones del país.

Los indicadores anteriores condujeron a determinar **la situación actual de la DESERTIFICACIÓN (de acuerdo a la CNUDL, 1994), el cual está presente en 115.987 millones de hectáreas lo que constituye el 59.2% de la superficie del país. Los tipos de desertificación determinados fueron la afectación ligera que representó el 13.2% (25.923 millones de hectáreas), la moderada con 13.9% (27.232 millones de hectáreas), la severa fue del 25.7% (50.277 millones de hectáreas) y la extrema el 6.4 % de la superficie del país (12.463 millones de hectáreas).**

**Bajo los escenarios de cambio climático al 2050 con el Modelo GFDL el 55.7% (109.130 millones de hectáreas) de la superficie del país estará afectada por la Desertificación, con el 12.1% (23.628 millones de hectáreas) como ligera, el 13.4% (26.301 millones de hectáreas) como moderada, la desertificación severa representaría el 24.0% (46.950 millones de hectáreas) y la extrema con el 6.2% (12.218 millones de hectáreas). Para el Modelo HADLEY y al mismo escenario de tiempo, la afectación se estima que será mayor, con el 61.9% (121.277 millones de hectáreas), con 14.1% (27.530 millones de hectáreas) con desertificación ligera, el 14.4% (28.160 millones de hectáreas) como moderada, la degradación severa se estimó que será de 26.8% (52.491 millones de hectáreas) y la extrema de 6.6% (12.994 millones de hectáreas).**

Adicionalmente, se analizó la información sobre degradación de tierras y desertificación utilizando cuatro **INDICADORES DEL MEDIO SOCIOECONÓMICO**, a) total de población nacional, b) población rural y urbana, c) número de personas por debajo de la línea de pobreza y d) migración así como el índice de desarrollo humano. Los resultados muestran que **65.4 millones de personas habitan las tierras secas del país**, es decir, el 58.22% (al año 2010). Las poblaciones de **17 de las 20 ciudades más pobladas del país** están viviendo en zonas **afectadas por procesos de degradación de tierras, sequía y desertificación**. La población de las tierras secas vive predominantemente **en zonas urbanas (48.4% del total de la población) y el 9.82% de la población vive en zonas rurales**.

De los **52.6 millones de personas en pobreza en el país, 27 millones viven en tierras secas** y 25.6 millones en tierras subhúmedas húmedas y húmedas. Lo anterior se traduce en que del **58.2% de la población nacional que vive en las tierras secas del país más de la mitad está en situación de pobreza**.

La gente que vive en las tierras secas del país observa una intensidad migratoria en todas las clases reportadas (desde nula hasta muy alta), **aunque se concentran en las clases de intensidad baja y media. El nivel de degradación severo es el que presenta el mayor número de personas en los diferentes grupos de intensidad migratoria**, en el nivel **muy alto representa 1.8 millones de habitantes**, en el nivel **alto son 5.5 millones** y en el nivel **medio son 8.8 millones**.

**En el índice de desarrollo humano (IDH), la mayoría de los habitantes de las tierras secas se ubican en el nivel alto (35.3 millones), en medio alto 29.07 millones y medio bajo con cerca de un millón de personas.**

## 1. INTRODUCCIÓN

---

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) fue designada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) como el punto focal nacional del gobierno de México ante la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD). La entrada en vigor de dicha Convención fue el 26 de diciembre de 1996. Le corresponde a la CONAFOR dar cumplimiento a los compromisos adquiridos con la Convención según lo establecido en el Plan Estratégico Decenal (PED 2008-2018) y en el Plan de Acción Nacional para el Combate de la Desertificación (PACD, México).

En este sentido, a partir del año 2006 el gobierno de México inició un proceso de actualización y alineación del PACD con el PED de la CNULD, que demanda el establecimiento de una línea de base nacional que sea referencia para las próximas evaluaciones e informes nacionales ante dicha Convención.

Por la magnitud del problema el trabajo no ha sido fácil. Le ha significado a CONAFOR y otras dependencias trabajar arduamente tanto en revertir los procesos de degradación y sus causas así como en mitigar los impactos tales como baja en la productividad de las tierras, aumento en la fragilidad de los ambientes, usos inapropiados de las tierras, pérdida de la biodiversidad tanto vegetal como animal, presión sobre los diversos recursos naturales, entre otros. Para ello se impulsan actividades concretas de manejo sustentable de tierras así como de acciones para el control y la mitigación de la sequía, problemas que han requerido atención prioritaria por parte de las dependencias de gobierno en los tres niveles pero principalmente a las del gobierno federal dentro de las cuales la participación de la CONAFOR ha sido decisiva en tales acciones.

Sin embargo, además de lo antes señalado, la CONAFOR continúa llevando a cabo otro tipo de actividades que son imperativas para el combate a la desertificación. Tal es el caso del presente documento, cuya idea se remonta a aquellos años pero es finalmente hasta el presente año 2013 que el esfuerzo logra cristalizarse.

De esta forma, el estudio de línea base tiene como principal objetivo determinar las condiciones actuales de la degradación de tierras y la desertificación en México. Para ello, se evaluó la situación actual, la tasa de avance y tendencias de la degradación de las tierras y de la desertificación en el país. Además se establecieron indicadores para evaluar y monitorear la desertificación y sus tendencias. Finalmente, se generó información sobre las afectaciones actuales y

las proyectadas en los escenarios de cambio climático al intervalo de tiempo de 2050, para México.

Cabe señalar que el estudio se realizó a partir de la obtención de indicadores de Degradación de Tierras (DT), a partir de productos cartográficos digitales existentes, informes de dependencia oficiales, y también a partir de información generada ex profeso para el presente estudio.

De tal manera que el documento se encuentra organizado en 8 apartados. El primero corresponde a la descripción metodológica seguida en el trabajo. Después, se presentan los principales resultados obtenidos por cada indicador por separado así como una propuesta de indicador integrado de degradación de tierras. El siguiente apartado comprende la información socioeconómica y su integración con los resultados de degradación. Al último se encuentran las referencias bibliográficas utilizadas así como los anexos que dan soporte al documento.

Por otro lado, se agruparon los ecosistemas forestales separados por Índice de Aridez (IA), el cual se obtiene al dividir la precipitación (PP) y la evapotranspiración potencial (ETP), empleando la clasificación UNEP del Programa de Naciones Unidas para el Ambiente (1997), se clasifican en las siguientes categorías:

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| <i>Híper-árido:</i>      | PP/ETP menor que 0.05    |
| <i>Árido:</i>            | PP/ETP entre 0.05 y 0.2  |
| <i>Semiárido:</i>        | PP/ETP entre 0.2 y 0.5   |
| <i>Subhúmedo seco:</i>   | PP/ETP entre 0.5 y 0.65  |
| <i>Subhúmedo húmedo:</i> | PP/ETP entre 0.75 y 1.25 |
| <i>Muy húmedo:</i>       | PP/ETP entre 1.25 y 2.5  |
| <i>Per-húmedo:</i>       | PP/ETP mayor que 2.5     |

Las tierras secas serán aquellas clases híper-áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas.

## 2. METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DE TIERRAS Y DESERTIFICACIÓN

---

Con base en el esquema metodológico elaborado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), en conjunto con un grupo de expertos del Sistema Nacional en Contra de la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (SINADES), determinaron los lineamientos para determinar los indicadores de degradación de los distintos componentes del medio natural asociado a la capacidad productiva de las tierras. Para ello se realizó el análisis detallado de los recursos bióticos, edáficos y los hídricos que en forma conjunta se usaron para determinar el indicador que define el grado de degradación del medio natural y con la determinación de las distintas clases de tierras secas con el criterio de la UNEP (1997) a partir de los rangos del Índice de Aridez, se establecieron el grado de afectación por la desertificación en el país. Adicionalmente se trabajó el componente socioeconómico para concatenarlo a las condiciones actuales del medio biofísico y tener un panorama más completo de la magnitud de los problemas que se presentan en las diferentes zonas del país. La mayoría de los productos se generaron a escala regional (1:250 000) y se incluyen las bases de datos para que sean el preámbulo de trabajos posteriores en los que pueda evaluarse el impacto de planes y programas que se establezcan para revertir la pérdida del potencial productivo de los distintos ecosistemas, establecimiento de acciones en áreas prioritarias, monitoreo del comportamiento de la desertificación a lo largo del tiempo, entre otras.

De esta forma, el presente informe integra un grupo de componentes de la degradación de tierras, como el estado y tendencia de la cobertura vegetal (recursos bióticos); la integración de los indicadores de la degradación del recurso edáfico, que considera la erosión hídrica y la erosión eólica, así como la degradación física y química de los suelos. En cuanto al recurso hídrico, se contemplaron las condiciones de los acuíferos de México, de acuerdo con la información de las publicaciones en el período 2000 a 2012 de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). En ellos se contemplaron la dinámica de utilización de los acuíferos a partir de la información del estado de los mismos en 2006 y en 2010, la disponibilidad de agua superficial en las cuencas del país, la contaminación potencial de los acuíferos por actividades agropecuarias, además de los resultados reportados por la Red Nacional de Monitoreo de la calidad del agua superficial, aunque éste último factor se usó como referencia de las tendencia que se están presentando, ya que se monitorea a nivel puntual y no es

posible establecer zonas de afectación. Asimismo, se incluyó la información referente a la desecación de los cuerpos de agua y la intrusión salina en los acuíferos.

Es importante indicar el método de incorporación seguido al tratarse de una integración cartográfica de indicadores nacionales de diferentes temáticas en el mismo espacio geográfico. En primer término se muestra la superficie ocupada y su distribución espacial de manera independiente de los distintos factores que componen los tres componentes incluidos en este estudio, que como se mencionó son el componente biótico, el edáfico y el hídrico. Para cada uno de los tres componentes por sobreposición y bajo el criterio del factor más limitativo se determinaron las clases que describen el grado de pérdida del potencial productivo que indica el nivel de degradación. Posteriormente, se realizó el análisis integrado de los indicadores de los tres componentes y de acuerdo al grado y extensión de la pérdida del potencial productivo, y bajo el mismo criterio de factor más limitativo se determinó el nivel de degradación de las distintas unidades del paisaje del territorio nacional. En cada una de las integraciones se conservaron las características que definen el grado de afectación de cada uno de los componentes del medio biofísico, por lo que el indicador integrado cuenta con una base de datos completa de cada una de las unidades del paisaje, sus características y condiciones, de tal manera que puede identificarse la degradación y sus causas de manera puntual y regional de acuerdo como lo requieran los tomadores de decisiones para el establecimiento de políticas y acciones encaminadas a revertir el proceso de deterioro o para establecer los programas que eviten que se dé la pérdida del potencial productivo. Referente a la información climática, con la información generada a nivel regional por Gómez et al. (2012), en el proyecto de Actualización de la Delimitación de las Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas secas de México a nivel regional, se utilizaron las bases de datos de precipitación y de evapotranspiración determinada por el método de Penman para la estimación del Índice de Aridez, con lo cual se definieron las tierras secas para el escenario base que se construyó con información de los promedios de precipitación y de la evapotranspiración de 3770 estaciones meteorológicas del periodo de 1970 al 2000, con ello se determinaron las áreas afectadas por diferentes niveles de Desertificación. Asimismo se realizaron los ajustes con las razones de cambio en la precipitación y en las variables que determinan el cálculo de la evapotranspiración para el 2050 con los Modelos Generales de Circulación Atmosférica inglés (HADLEY) y el norteamericano (GDFL) para el escenario socioeconómico A2, con lo que se reestimaron los Índices de Aridez y se estableció las condiciones de la

Desertificación bajo los escenarios de cambio climático. Además se analizó el comportamiento de la precipitación a nivel mensual y anual de las 325 estaciones de referencia del Servicio Meteorológico Nacional para evaluar la sequía, para este estudio se trabajó el periodo de 1960 a 2012, agrupando las estaciones meteorológicas en las catorce regiones de influencia de la precipitación definidas por Gómez y Monterroso (2008) y con la estimación del SPI (Standard Precipitation Index), que es el criterio establecido por la Convención de Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación para evaluar la sequía, con ello se buscó posibles tendencias en la frecuencia y severidad de la sequía a nivel regional en México. Asimismo se realizó la proyección del comportamiento de la precipitación para cada una de las estaciones al año 2050 con los modelos HADLEY y el GDFL.

Se reportan los resultados de la sobreposición de los tipos de degradación integrados de los componentes biológicos, edáficos e hídricos con la cartografía del Índice de Aridez en el país. En la figura 2.1 se muestran los indicadores considerados por componente, así como al grupo perteneciente.



Figura 2.1 Conjunto de indicadores para estimar Degradación de Tierras y Desertificación.

Fuente: Elaboración propia.

En cada uno de los capítulos se describe la metodología y las fuentes de información utilizadas para la obtención e integración de los indicadores, así como los resultados en cada uno de ellos.

### 3. RECURSOS BIÓTICOS

---

Los recursos bióticos son referidos al estado general de la cobertura vegetal, en este estudio se complementó con el análisis de los cambios y tendencias de la Productividad Primaria Neta estimada a partir del Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (PPN y NDVI). Los factores que se utilizaron para estimar el estado de la cubierta vegetal para generar el indicador integrado del estado de los recursos bióticos fueron: 1) pérdida de la cubierta vegetal o deforestación, 2) degradación de la cubierta vegetal, 3) presencia de dunas arenosas, 4) recuperación de la cubierta vegetal y 5) cambio de uso de suelo del 2002 al 2010.

Para realizar el análisis se sobrepusieron diferentes capas de información referente al uso de suelo y vegetación de las series II, III, IV y V que corresponden al período de 1992 a 2010 del INEGI, en donde se identificaron los principales cambios de uso de suelo y/o tipo de cubierta vegetal entre las diferentes fechas en que se realizaron los inventarios nacionales de la cubierta vegetal y uso del suelo. Cabe señalar que la información de la Serie IV (la cual tiene como base el año 2007) fue considerada como las condiciones actuales o el uso de suelo actual. Lo anterior para compararlo con la vegetación primaria potencial y definir el cambio entre la cobertura vegetal asociado principalmente a las actividades antrópicas como son la agricultura, ganadería, aprovechamiento de los recursos forestales, asentamientos humanos, entre otros. De esta forma se definieron los niveles de deterioro de los ecosistemas originales y se estableció el nivel de degradación como consecuencia de la perturbación por las actividades mencionadas.

Por otro lado, se realizó un análisis del Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) y de la Productividad Primaria Neta (PPN) para el período 2000 a 2010, por tipo de vegetación y su asociación con las condiciones de balance de humedad representada por el Índice de Aridez, para identificar posibles tendencias de cambio en el periodo de tiempo indicado, como se describe en la figura 3.1.

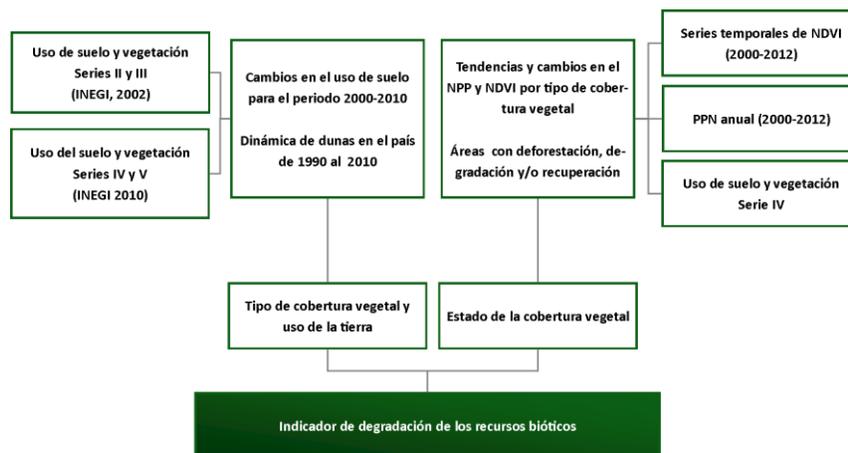


Figura 3.1 Esquema metodológico para la obtención del indicador del estado de la cubierta vegetal.

Fuente: Elaboración propia

También como lo indica la figura 3.1, se usó la información de las series II, III, IV y V de uso de suelo y vegetación del INEGI para obtener el comportamiento de las dunas para saber si aumentaban y tener un criterio más, sin embargo, al observar que las dunas arenosas disminuían (atribuible a que el mar se está llevando la arena de las costas) descartamos ésta como un indicador de degradación y el mapa de cambio de uso de suelo del año 2000 al 2010 (Serie III y V). Así pues, los criterios se acomodaron en una matriz de decisión la cual se muestra en el cuadro 3.1 con los siguientes elementos de decisión: a) zonas deforestadas, b) zonas con degradación en la cubierta vegetal, c) cambio de uso de suelo del 2000 al 2010 y d) zonas de recuperación de la cubierta vegetal.

En el criterio de cambio de uso de suelo del 2000 al 2010 se consideró la información obtenida de los mapas de uso de suelo y vegetación de la serie III y de la serie V. Se unieron los mapas y según el comportamiento observado se le asignó una clase de acuerdo con:

-*Cambios muy altos (C4)*: cuando en el 2000 aparecía en esa región como Vegetación primaria, secundaria o inducida y en el año 2010 aparecen como asentamientos humanos, zonas urbanas o áreas desprovistas de vegetación.

-*Cambios altos (C3)*: cuando en el 2000 aparecía esa región como Vegetación primaria, secundaria o inducida y en el año 2010 aparecen como áreas de producción agrícola, pecuaria y forestal.

-*Cambios moderados (C2)*: cuando en el 2000 aparecía esa región como Vegetación primaria y en el año 2010 aparecen como vegetación inducida.

-*Cambios bajos (C1)*: cuando en el 2000 aparecía esa región como Vegetación primaria y en el año 2010 aparecen como vegetación secundaria.

-*Sin cambio aparente (C0)*: cuando en el 2000 aparecía esa región con el mismo uso de suelo que en el año 2010.

-*Cambios bajos positivos (C0+)*: cuando en el 2000 aparecía esa región con un uso que dañaba más a los recursos bióticos que en el año 2010 ejemplo: Zonas desprovistas de vegetación a asentamientos humanos o áreas de producción agrícola, pecuaria o forestal.

-*Cambios bajos positivos de mayor impacto (C0++)*: cuando en el 2000 aparecía esa región como Vegetación inducida o secundaria y en el año 2010 aparecen como vegetación primaria, es decir, es una zona recuperada.

Una vez integrada la cartografía se analizó su comportamiento y se establecieron cinco niveles de afectación para conformar el indicador integrado de recursos bióticos.

B4: Degradación Extrema

B3: Degradación Severa

B2: Degradación Moderada

B1: Degradación Ligera

B0: Sin degradación aparente o recuperación

Esta integración se puede ver en el cuadro 3.1 que muestra la integración de las variables en un esquema de cuatro entradas, en el plano horizontal: recuperación de la cubierta vegetal y cambio de uso de suelo, mientras que en el plano vertical: deforestación y degradación de la cubierta vegetal.

**Cuadro 3.1 Matriz de decisión para integrar el indicador de degradación de recursos bióticos.**

|                  |                |                | D) RECUPERACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL     |    |    |    |                     |                  |    |    |    |                     |    |
|------------------|----------------|----------------|--|----|----|----|---------------------|------------------|----|----|----|---------------------|----|
|                  |                |                | Sin recuperación                           |    |    |    |                     | Con recuperación |    |    |    |                     |    |
|                  |                |                | C) CAMBIO DE USO DE SUELO DEL 2000 AL 2010 |    |    |    |                     |                  |    |    |    |                     |    |
|                  |                |                | C4   | C3 | C2 | C1 | C0,<br>C0+,<br>C0++ | C4               | C3 | C2 | C1 | C0,<br>C0+,<br>C0++ |    |
| A) DEFORESTACIÓN | Deforestado    | B) DEGRADACIÓN | Degradado                                  | B4 | B4 | B4 | B4                  | B4               | B0 | B0 | B0 | B0                  | B0 |
|                  |                |                | Sin degradar                               | B4 | B4 | B4 | B4                  | B4               | B0 | B0 | B0 | B0                  | B0 |
|                  | Sin deforestar | Degradado      | B4   | B3 | B3 | B3 | B3                  | B0               | B0 | B0 | B0 | B0                  |    |
|                  |                | Sin degradar   | B4   | B3 | B2 | B1 | B0                  | B0               | B0 | B0 | B0 | B0                  |    |

Fuente: Elaboración propia

### 3.1. TIPOS DE COBERTURA VEGETAL Y USO DE LA TIERRA

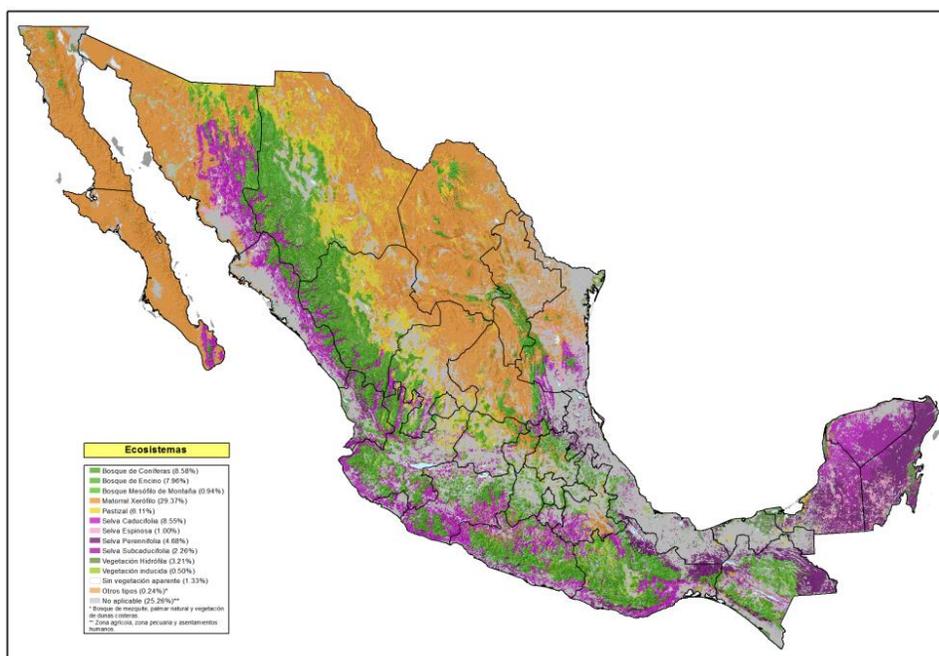
Como ya se mencionó, se consideró que las condiciones actuales o el uso de suelo actual fuera a partir de la información presentada en la cartografía de uso de suelo y vegetación Serie IV del INEGI (la cual tiene como base el año 2007). De acuerdo con esta información, el ecosistema forestal dominante es el matorral xerófilo que casi ocupa un tercio de la superficie del país, y el segundo uso del suelo dominante es el dedicado a la agricultura, ganadería, forestaría y asentamientos humanos que representan un cuarto de la superficie del país. En disminución progresiva en la superficie que ocupan están otros ecosistemas forestales como se muestra en el cuadro 3.2 y en la figura 3.1.

**Cuadro 3.2 Superficie ocupada por ecosistemas forestales de acuerdo con el uso de suelo para el 2007 de la Serie IV de INEGI (2008).**

| Ecosistema  | Superficie (miles ha) | Por ciento |
|---|-----------------------|------------|
| Matorral xerófilo                                 | 57,585.2              | 29.39      |
| Agrícola-Pecuario-Forestal, Asentamientos humanos | 49,391.1              | 25.21      |
| Bosque de coníferas                               | 16,833.9              | 8.59       |
| Selva caducifolia                                 | 16,748.05             | 8.56       |
| Bosque de encino                                  | 15,596.0              | 7.96       |
| Pastizal  | 11,985.4              | 6.12       |
| Selva perennifolia                                | 9,177.3               | 4.68       |
| Vegetación inducida                               | 6,291.7               | 3.21       |
| Selva subcaducifolia                              | 4,425.0               | 2.26       |

| Ecosistema                 | Superficie (miles ha) | Por ciento    |
|----------------------------|-----------------------|---------------|
| Vegetación hidrófila       | 2,598.6               | 1.33          |
| Selva espinosa             | 1,969.2               | 1.01          |
| Bosque mesófilo de montaña | 1,848.5               | 0.94          |
| Sin vegetación aparente    | 979.6                 | 0.5           |
| Especial (otros tipos)     | 468.9                 | 0.24          |
| <b>Total general</b>       | <b>195,924.8</b>      | <b>100.00</b> |

Fuente: *Elaboración propia con información del uso de suelo y vegetación, Serie IV del INEGI (2008).*



**Figura 3.2 Distribución espacial de los tipos de cobertura vegetal, agrupados en ecosistemas forestales, de acuerdo al uso de suelo y vegetación para 2007, serie IV del INEGI (2008).**

Fuente: *Elaboración propia con información del uso de suelo y vegetación, Serie IV del INEGI (2008).*

En el Anexo 1, se presentan de manera detallada, los tipos de vegetación incluidos en cada ecosistema vegetal, así como el porcentaje relativo respecto a cada grupo, según la cartografía de uso de suelo Serie IV (INEGI, 2008).

En el cuadro 3.3 se muestran las condiciones de los ecosistemas forestales en donde se detalla la condición y la superficie que representan la vegetación primaria y los componentes de la vegetación secundaria. De acuerdo con lo reportado en la serie IV se deduce que alrededor del 48% de la superficie (93 millones de ha) aún tiene vegetación primaria, mientras que alrededor de 7%, 14%

y 0.1% de la superficie presentan vegetación secundaria arbórea, arbustiva y herbácea, respectivamente.

**Cuadro 3.3 Superficie ocupada (miles de ha) por tipo de cobertura vegetal, agrupada por ecosistema forestal.**

| Ecosistema                 | Vegetación primaria | Vegetación secundaria |                 |                 | No aplica*      | No disponible   | Superficie (miles de Ha) |
|----------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
|                            |                     | Herbácea              | Arbustiva       | Arbórea         |                 |                 |                          |
| Bosque de coníferas        | 10,856.1            | 26.4                  | 3,901.8         | 2,123.8         |                 |                 | 16,908.2                 |
| Bosque de encino           | 9,649.1             | 30.7                  | 4,869.1         | 1,071.7         |                 |                 | 15,620.6                 |
| Bosque mesófilo de montaña | 853.8               | 11.7                  | 527.5           | 474.0           |                 |                 | 1,867.0                  |
| Matorral xerófilo          | 50,319.2            | 12.2                  | 4,949.0         |                 |                 | 2,058.0         | 57,338.4                 |
| Pastizal                   | 8,000.3             | 1.9                   | 3,916.4         |                 |                 |                 | 11,918.6                 |
| Selva caducifolia          | 7,400.1             | 29.6                  | 6,392.9         | 2,851.7         |                 |                 | 16,674.3                 |
| Selva espinosa             | 772.0               | 1.3                   | 506.7           | 599.3           |                 |                 | 1,879.3                  |
| Selva perennifolia         | 2,946.5             | 68.5                  | 1,510.6         | 4,671.3         |                 |                 | 9,196.9                  |
| Selva subcaducifolia       | 425.1               | 4.9                   | 925.3           | 2,900.9         |                 |                 | 4,256.3                  |
| Vegetación hidrófila       | 1,271.7             | 0.1                   | 70.3            | 18.3            |                 | 1,063.0         | 2,423.4                  |
| Vegetación inducida        |                     |                       |                 |                 |                 | 6,308.7         | 6,308.7                  |
| Sin vegetación aparente    |                     |                       |                 |                 |                 | 886.3           | 886.3                    |
| Especial (Otros tipos)*    | 334.4               |                       | 51.5            | 4.5             |                 |                 | 390.4                    |
| No aplica*                 |                     |                       |                 |                 | 50,256.5        |                 | 50,256.5                 |
| <i>Superficie (Ha)</i>     | <i>92,828.3</i>     | <i>187.3</i>          | <i>27,621.1</i> | <i>14,715.7</i> | <i>50,256.5</i> | <i>10,316.0</i> | <i>195,924.8</i>         |
| <i>Superficie (%)</i>      | <i>47.4</i>         | <i>0.0</i>            | <i>14.1</i>     | <i>7.5</i>      | <i>25.7</i>     | <i>5.3</i>      | <i>100.0</i>             |

\* Zona acuícola, Zona agrícola, Zona pecuaria, Zona urbana.

Fuente: Elaboración propia con base en el uso de suelo y vegetación Serie IV (INEGI, 2008).

### 3.1.1. USOS DE SUELO Y TOPOFORMAS DOMINANTES

Se generó un mapa de topofomas principales de acuerdo a la metodología de FAO (figura 3.3) denominada Bases de Datos Digitales de Suelos y Terrenos (SOTER, por sus siglas en inglés), adaptada para la evaluación de la degradación de tierras a nivel nacional por Bai, (2010). Dicha capa temática se obtuvo mediante el procesamiento del modelo digital del terreno escala 1:50 000 (Continuo de Elevación Digital de México, INEGI), en el que se combinaron los atributos de pendiente del terreno, intensidad de relieve y altura sobre el nivel del mar. Se clasificaron en 7 categorías:

- (LPi) Planicie de inundación.- Tierras con pendiente menor de 2%, intensidad de relieve menor de 50 m Km<sup>-1</sup>, altitud menor de 10 msnm.
- (LP) Planicie.- Tierras cuya pendiente está entre 2 y 5%, intensidad de relieve menor de 50 m Km<sup>-1</sup>.
- (SP) Planicie disectada.- Áreas con pendiente entre 5 y 10% e intensidad de relieve de menor de 50 m Km<sup>-1</sup>.

- (SE) Zona escarpada de gradiente medio.- Pendiente del terreno entre 10 y 15%, intensidad de relieve entre 50 y 100 m Km<sup>-1</sup>.
- (SH) Colina de gradiente medio.- Pendiente del terreno entre 10 y 15%, intensidad de relieve de 100 a 150 m Km<sup>-1</sup>.
- (TE) Tierra de gradiente alto.- Pendiente de 30 a 45%, intensidad de relieve de 150 a 300 m Km<sup>-1</sup>.
- (TM) Montaña de gradiente alto.- Pendiente del terreno arriba de 45% intensidad de relieve mayor de 300 m Km<sup>-1</sup>.

En el cuadro 3.4 se presentan los resultados de la combinación de ecosistemas forestales con las topofomas descritas. Resalta que las superficies ocupadas por planicie ocupa alrededor de 42.59% (83.32 millones de hectáreas), seguida por las tierras de gradiente alto (24.99%), zona escarpada de gradiente medio (12.70%) y 10.75% corresponde a montañas de gradiente alto, lo que manifiesta que México es un país predominantemente de relieve complejo ya que el 57% presenta pendientes superiores al 10%.

Dentro de las planicies se encuentra aproximadamente el 58% del matorral xerófilo (incluidos matorral xerófilo de zonas áridas y semiáridas); así como el 63% de las actividades agropecuarias y asentamientos humanos, analizando esto desde la perspectiva de la cobertura vegetal y uso del suelo, el 41.22% de las planicies lo ocupa el matorral xerófilo y el 34.29% por actividades agropecuarias y asentamientos humanos.

Por otro lado, los bosques de coníferas, se encuentran principalmente en tierra de gradiente alto (TE) y montaña de gradiente alto (TM), con el 60.57 y 26.03%, respectivamente); el bosque de encino, se encuentra principalmente en TE (51.14%) y en TM 36.34%. En las figuras 3.3 y 3.4 se muestra la distribución primero la distribución de los tipos de uso de la tierra y por otro lado las distintas topofomas del país.

**Cuadro 3.4 Distribución del uso de suelo y vegetación, agrupado en ecosistemas forestales de acuerdo a topoforma en miles de ha.**

| Ecosistema forestal                       | Superficie ocupada por topoforma (miles de ha) |                           |                  |                        |                    |                           |                                    |                               | Total             |
|---|--|---------------------------|------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
|   | Colina de gradiente medio                      | Montaña de gradiente alto | Planicie         | Planicie de inundación | Planicie disectada | Tierras de pendiente alta | Zona escarpada con gradiente medio | Área sin información temática |                   |
| Información Agrícola, Pecuaria y Forestal | 170.41   | 1,151.78                  | 28,572.28        | 3,705.10               | 1,464.60           | 4,398.7                   | 5,689.72                           | 0.03                          | 45,214.15         |
| M. xerófilo semiárido*                    | 139.74   | 1,976.97                  | 24,943.81        | 550.42                 | 898.33             | 5,359.25                  | 4,803.07                           | 0.31                          | 38,724.60         |
| M. xerófilo árido*                        | 71.99  | 1,515.49                  | 9,404.76         | 314.10                 | 551.68             | 5,223.88                  | 3,065.14                           | 2.86                          | 20,177.36         |
| B. de coníferas                           | 99.49  | 4,360.66                  | 362.00           | 0.20                   | 84.83              | 10,148.18                 | 1,698.13                           | ---                           | 16,776.33         |
| B. de encino                              | 72.26  | 5,650.53                  | 292.31           | 5.86                   | 115.22             | 7,951.69                  | 1,462.31                           | ---                           | 15,571.38         |
| S. caducifolia                            | 81.14  | 2,935.28                  | 1,429.08         | 592.87                 | 368.06             | 7,339.87                  | 2,659.49                           | 0.17                          | 15,426.96         |
| Pastizal                                  | 29.57  | 601.59                    | 5,692.52         | 156.87                 | 707.85             | 2,273.25                  | 2,511.12                           | ---                           | 11,989.09         |
| S. perennifolia                           | 8.77   | 630.16                    | 4,285.07         | 1,071.66               | 367.17             | 1,995.83                  | 797.87                             | ---                           | 9,169.01          |
| S. caducifolia                            | 2.61   | 200.86                    | 2,636.89         | 177.65                 | 176.25             | 922.91                    | 298.01                             | 0.01                          | 4,421.22          |
| Cuerpo de agua                            | 2.64   | 9.42                      | 786.55           | 1,697.95               | 17.73              | 49.02                     | 50.06                              | ---                           | 2,616.92          |
| Otros conceptos                           | 4.02   | 17.95                     | 1,446.07         | 779.63                 | 42.26              | 76.94                     | 207.04                             | 3.35                          | 2,580.78          |
| S. espinosa                               | 0.66   | 5.66                      | 1,482.18         | 301.74                 | 48.14              | 20.77                     | 107.62                             | ---                           | 1,969.43          |
| B. mesófilo                               | 2.73   | 1,129.55                  | 1.45             | ---                    | 0.64               | 676.09                    | 31.43                              | ---                           | 1,844.41          |
| B. cultivado                              | 0.05   | ---                       | 13.28            | 0.07                   | 6.12               | 5.78                      | 11.87                              | ---                           | 37.23             |
| V. inducida*                              | ---  | ---                       | 2.73             | 1.50                   | ---                | 0.07                      | 0.20                               | ---                           | 4.51              |
| V. inducida 2*                            | 41.95  | 826.80                    | 1,379.74         | 83.48                  | 160.20             | 2,396.86                  | 1,387.88                           | ---                           | 6,285.45          |
| V. hidrófila*                             | 0.37   | 1.34                      | 60.40            | 943.96                 | 1.03               | 6.77                      | 4.78                               | 2.56                          | 1,022.59          |
| V. hidrófila 2*                           | 0.51   | 4.00                      | 243.39           | 1,278.45               | 4.17               | 24.40                     | 21.24                              | 0.27                          | 1,578.58          |
| Otros conceptos*                          | 0.86   | 5.56                      | 252.37           | 5.59                   | 11.91              | 19.29                     | 30.27                              | ----                          | 326.29            |
| Otros tipos *                             | ---  | ---                       | 42.10            | 105.14                 | 2.47               | 0.41                      | 2.96                               | 0.81                          | 154.10            |
| Área sin información temática             | ---  | ---                       | ---              | 33.74                  | ----               | ---                       | ---                                | 0.63                          | 34.42             |
| <b>Total general</b>                      | <b>729.77</b>                                  | <b>21,023.61</b>          | <b>83,328.98</b> | <b>11,805.99</b>       | <b>5,028.68</b>    | <b>48,889.94</b>          | <b>24,840.21</b>                   | <b>11.01</b>                  | <b>195,924.81</b> |

\*M. xerófilo árido: *Matorral crasicaule*, *M. desértico micrófilo*, *M. desértico rosetófilo*, *M. rosetófilo costero*, *V. de desiertos arenosos*, *V. halófila*, *V. gipsófila*; | M. xerófilo semiárido: *M. espinoso tamaulipeco*, *M. de coníferas*, *Mezquital xerófilo*, *Chaparral*, *M. sarcocraule*, *M. sacro-crasicaule*, *Matorral submontano*, *M. sacro-crasicaule de neblina*, *M. subtropical*; | Otros conceptos: *Área desprovista de vegetación*, *Asentamiento humano*, *Sin vegetación aparente*, *Zona urbana*; | Otros tipos: *Mezquital (otros tipos)*, *Palmar natural*, *V. de dunas costeras*; | *V. hidrófila*: *Bosque de galería*, *Peten*, *Selva de galería*, *Manglar*; | *V. hidrófila 2*: *Popal*, *Vegetación de galería*, *Vegetación halófila (hidrófila)*, *Tular*; | *V. inducida*: *Bosque inducido*; | *V. inducida 2*: *Pastizal inducido*, *Palmar inducido*, *Sabanoide*

Fuente: Elaboración propia con base en el *Uso de Suelo y Vegetación, Serie IV de INEGI, (2008)*.



Figura 3.3 Mapa de ecosistemas forestales en México, Serie IV, INEGI.



Figura 3.4 Mapa de topoformas en México.

Fuente: Elaboración propia con base en el Uso de Suelo y Vegetación, Serie IV de INEGI, (2008).

### 3.2. DINÁMICA DE CAMBIO EN LA COBERTURA VEGETAL

El análisis de la dinámica de cambio en la cobertura vegetal se realizó en tres vertientes: a partir de las coberturas de uso de suelo y vegetación del INEGI, así como la información generada a partir del análisis del NDVI en la estimación de la PPN.

#### 3.2.1. CAMBIOS DE USO DE SUELO

De acuerdo a comparaciones reportadas por SEMARNAT (2007), entre la vegetación primaria potencial y la carta de uso de suelo Serie I, en la década de los 1970's aún se mantenían tres cuartas partes de la superficie originalmente cubierta por bosques y poco más de 60% de la extensión original de las selvas; los pastizales naturales se habían reducido a casi la mitad de su extensión original (cuadro 3.5 y figura 3.4). Según comparaciones entre la vegetación primaria potencial y la Carta de Uso del Suelo y Vegetación serie III, para el 2004 aún se conservaba poco más de 70% de la superficie original de bosques, 56% de las selvas, 77% de los matorrales y sólo 55% de los pastizales, lo que en teoría representaría una pérdida histórica neta de hasta 250 mil kilómetros cuadrados de selvas, 129 mil kilómetros cuadrados de bosques templados, 155 mil kilómetros cuadrados de matorrales y más de 83 mil kilómetros cuadrados de pastizales. Aun cuando la mayor parte de estas transformaciones habrían ocurrido a lo largo de la historia previa a los 1970's, en las últimas décadas (1970's–2002) se han seguido registrando pérdidas importantes (superiores a las 100 000 hectáreas anuales), particularmente en el caso de las selvas y los matorrales (SEMARNAT, 2006).

Entre los años 1993 y 2002, de acuerdo a la SEMARNAT (2006), alrededor de 2.8 millones de hectáreas cambiaron de ser bosques, selvas, matorrales y pastizales para convertirse en otro uso, a un ritmo de cerca de 306 mil hectáreas al año. Los ecosistemas más afectados fueron las selvas, matorrales y bosques templados (con pérdidas de alrededor de 1.3, 0.95 y 0.37 millones de hectáreas, respectivamente).

Por otro lado, del año 2002 al 2007, se presentó una reducción en la superficie de vegetación primaria de 1.4 millones de hectáreas respecto al año 2002, además de una disminución de 500 mil hectáreas en vegetación secundaria, que pasaron a otros usos.

**Cuadro 3.5 Comparación de la superficie ocupada en miles de hectáreas por vegetación y uso de suelo, de acuerdo a las cartas de Uso de suelo y vegetación (series II, III y IV), con respecto a la Vegetación primaria potencial.**

| Grupo                            | V. primaria       | S. II (1990)      |                  | S. III (2002)     |                  | S. IV (2007)      |                  | Tasa anual de cambio |            |            |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|----------------------|------------|------------|
|                                  |                   | Primaria          | Secundaria       | Primaria          | Secundaria       | Primaria          | Secundaria       | 1976-1990            | 1990-2002  | 2002-2007  |
| Mat. Xerófilo                    | 66,404.49         | 54,164.19         | 6,413.24         | 52,057.24         | 5,312.16         | 51,559.17         | 5,148.37         | -0.539               | -0.603     | -0.129     |
| S. caducifolia                   | 25,304.04         | 6,947.49          | 8,111.80         | 6,715.84          | 8,708.09         | 6,398.35          | 9,015.50         | -3.007               | 0.266      | -0.007     |
| Bosque de encino                 | 22,189.40         | 11,091.90         | 4,333.50         | 9,982.24          | 5,548.81         | 9,597.45          | 5,964.10         | -2.116               | 0.076      | 0.022      |
| B. coníferas                     | 21,766.22         | 12,679.68         | 3,840.74         | 11,366.68         | 5,426.46         | 10,772.61         | 6,024.13         | -1.609               | 0.182      | 0.002      |
| Pastizal                         | 18,677.87         | 9,486.03          | 3,386.18         | 8,502.86          | 4,125.05         | 8,180.44          | 3,907.91         | -2.166               | -0.213     | -0.484     |
| S. perennifolia                  | 17,823.26         | 1,756.06          | 2,126.62         | 1,461.81          | 2,025.86         | 1,379.54          | 1,979.67         | -8.575               | -1.185     | -0.416     |
| S. espinosa                      | 7,205.61          | 186.96            | 439.19           | 246.25            | 501.62           | 226.36            | 474.72           | -13.386              | 1.993      | -0.715     |
| S. subcaducifolia                | 6,274.37          | 529.95            | 4,121.39         | 477.67            | 4,261.50         | 473.79            | 3,941.45         | -1.745               | 0.208      | -0.784     |
| V. hidrófila                     | 3,570.68          | 5,214.81          | 144.69           | 4,926.22          | 254.25           | 4,859.32          | 269.66           | 2.418                | -0.377     | -0.111     |
| B. mesófilo de montaña           | 3,088.26          | 1,016.84          | 798.72           | 878.24            | 944.98           | 850.44            | 994.00           | -3.076               | 0.047      | 0.129      |
| Otros tipos de veg.*             | 871.98            | 294.76            | 0.13             | 270.83            | 1.50             | 265.91            | 0.83             | -6.178               | -0.880     | -0.230     |
| Área sin vegetación              | 734.93            | 974.58            | ---              | 971.05            | ---              | 998.17            | ---              | 1.674                | -0.040     | 0.307      |
| Agrícola y asentamientos humanos | 467.81            | 41,561.87         | ---              | 44,767.15         | ---              | 46,730.30         | ---              | 30.204               | 0.829      | 0.478      |
| B. inducido                      | ---               | ---               | ---              | ---               | ---              | 4.51              | ---              | ---                  | ---        | ---        |
| Cuerpo de agua                   | ---               | 2,569.80          | ---              | 1,393.98          | ---              | 2,630.22          | ---              | ---                  | -6.570     | 7.309      |
| Pastizal inducido                | ---               | 6,164.79          | ---              | 6,337.56          | ---              | 6,048.20          | ---              | ---                  | 0.308      | -0.518     |
| S. subperennifolia               | ---               | 2,222.62          | 5,036.32         | 2,112.14          | 4,861.45         | 2,036.69          | 4,859.70         | ---                  | -0.445     | -0.124     |
| ND                               | ---               | ---               | 2.77             | ---               | 1,178.15         | ---               | 26.10            | ---                  | ---        | -          |
| <b>Total</b>                     | <b>194,378.92</b> | <b>115,300.45</b> | <b>38,755.29</b> | <b>107,700.17</b> | <b>43,149.87</b> | <b>106,281.17</b> | <b>42,606.14</b> | <b>---</b>           | <b>---</b> | <b>---</b> |

Nota: La suma de vegetación primaria, no considera usos agrícolas y asentamientos humanos

\*M. xerófilo árido: Matorral crasicaule, M. desértico micrófilo, M. desértico rosetófilo, M. rosetófilo costero, V. de desiertos arenosos, V. halófila, V. gipsófila; | M. xerófilo semiárido: M. espinoso tamaulipeco, M. de coníferas, Mezquital xerófilo, Chaparral, M. sarcocraule, M. sacro-crasicaule, Matorral submontano, M. sacro-crasicaule de neblina, M. subtropical; | Otros tipos veg: Mezquital (otros tipos), Palmar natural, V. de dunas costeras; | V. hidrófila: Bosque de galería, Peten, Selva de galería, Manglar; | V. hidrófila 2: Popal, Vegetación de galería, Vegetación halófila (hidrófila), Tular;

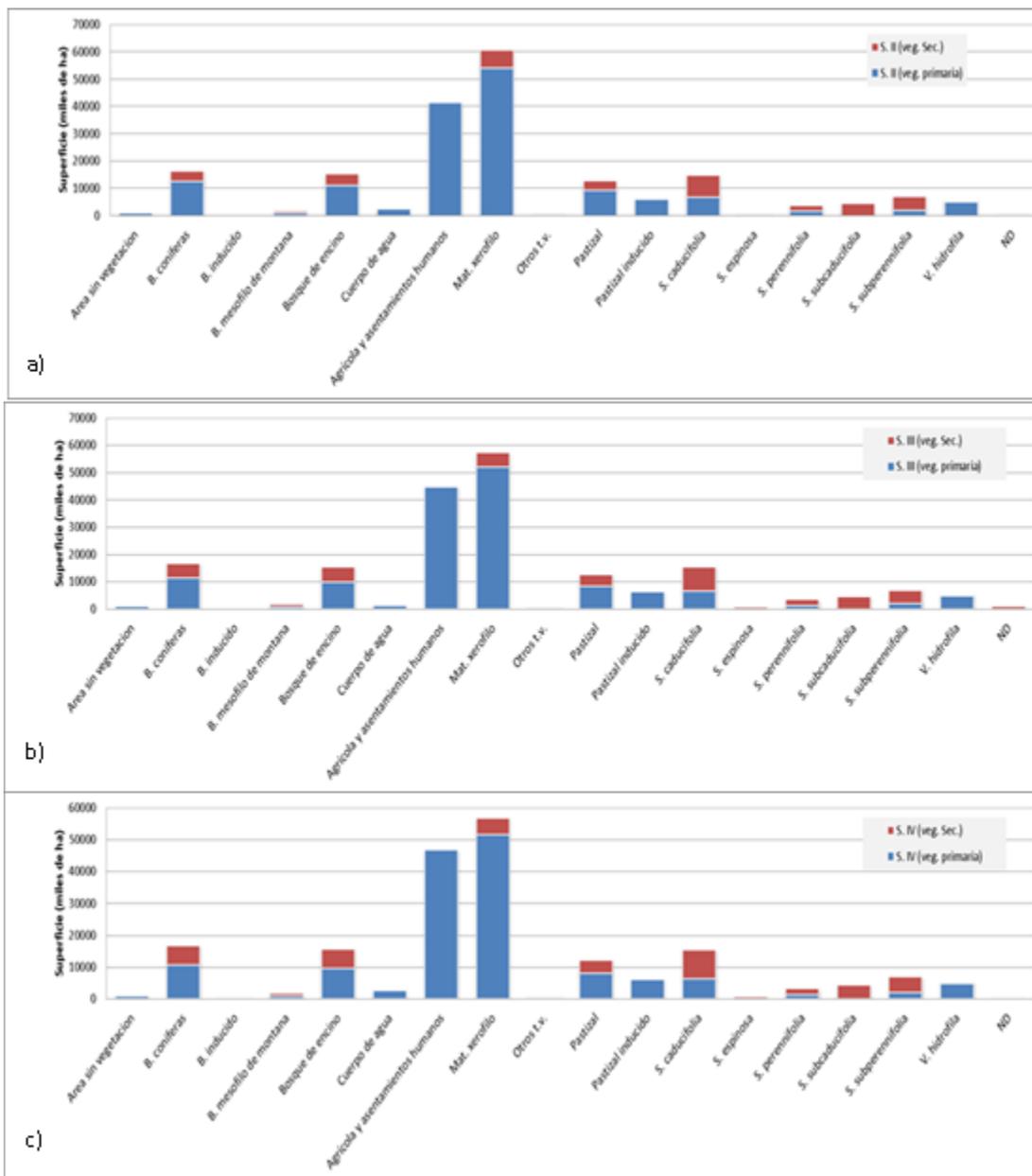
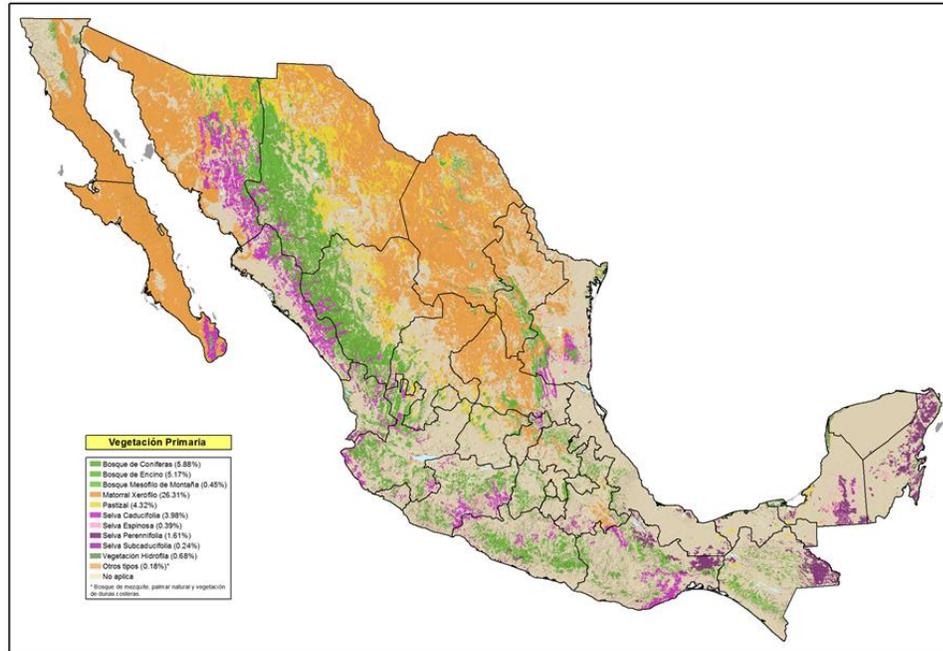


Figura 3.5 Distribución gráfica de la superficie ocupada por vegetación primaria y secundaria para 1990 (Serie II), 2004 (Serie III) y 2007 (Serie IV?).

Fuente: Elaboración propia con información de las cartas de uso de suelo y vegetación, Series: II, III y IV, (INEGI).

La figura 3.6 a), b) y la figura 3.7 c), d) muestran la distribución de la superficie ocupada por los tipos de cobertura vegetal diferenciados por vegetación primaria y vegetación secundaria y uso de suelo en las series III y IV.

a)



b)

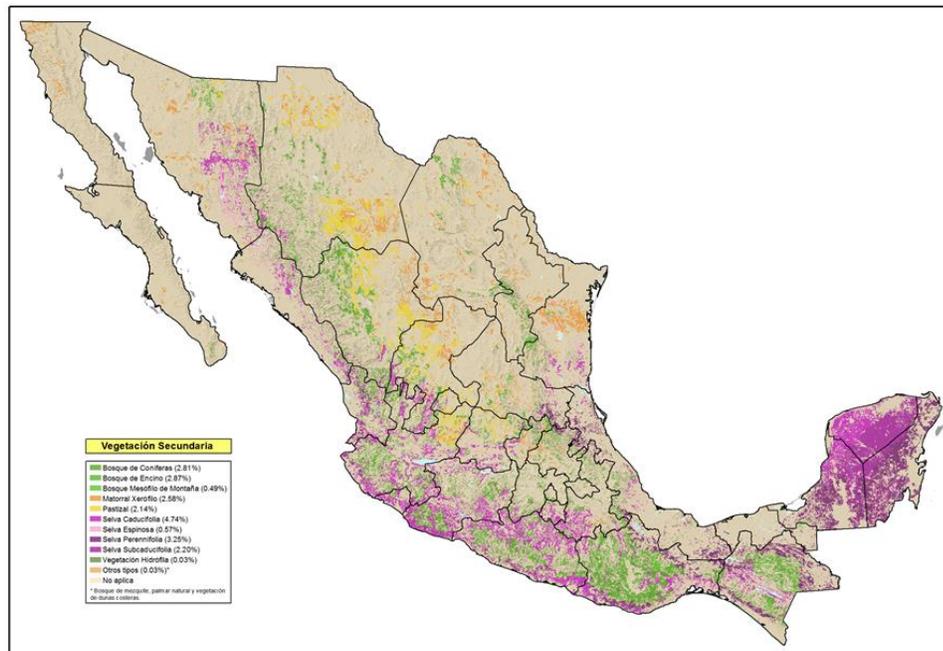
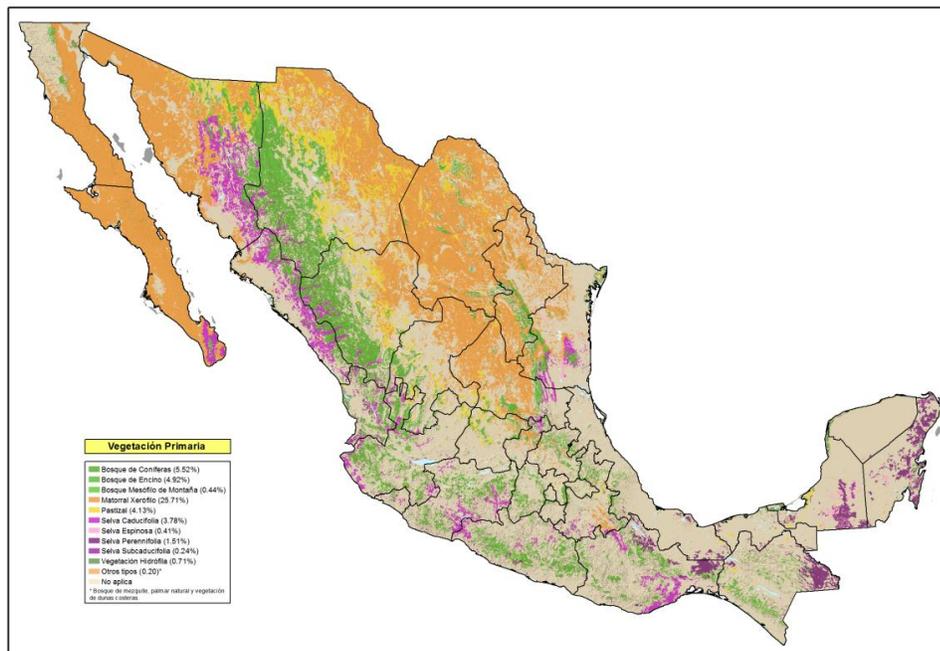


Figura 3.6 Distribución de superficie ocupada por uso de suelo y vegetación a) Vegetación primaria (año 2002) b) Vegetación secundaria (año 2002)

c)



d)

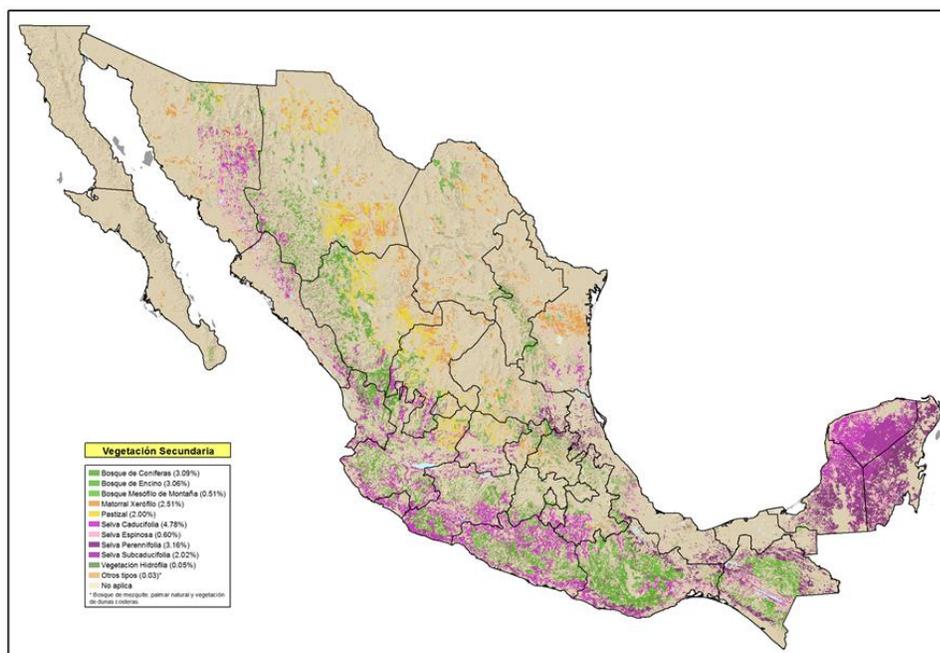
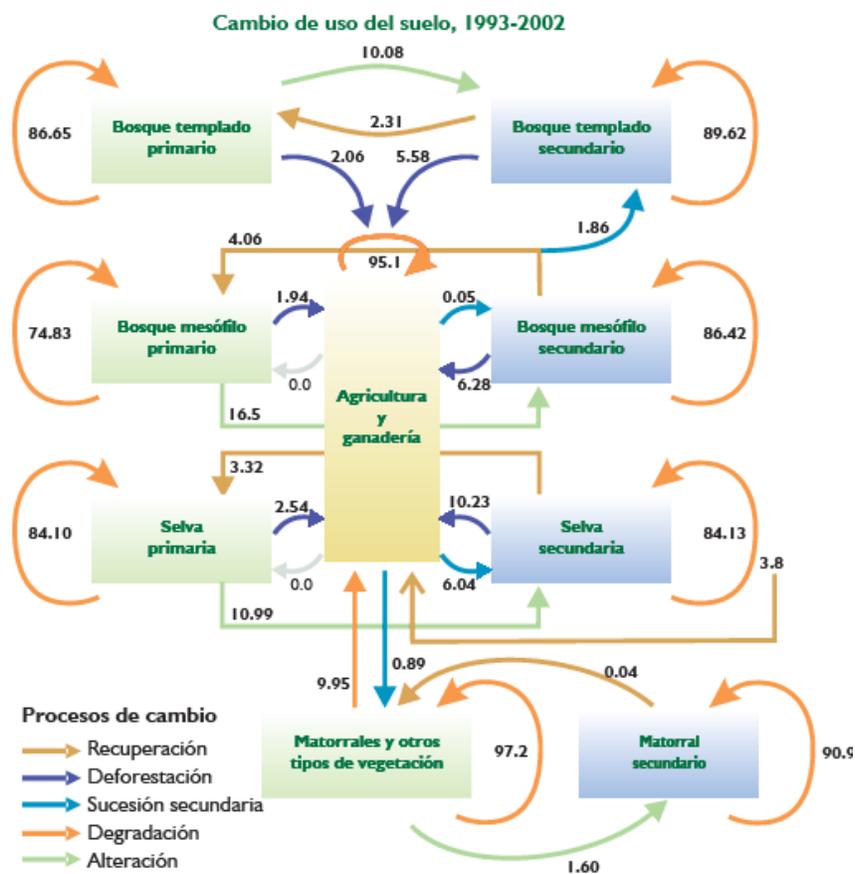


Figura 3.7 c) Vegetación primaria (año 2007) y d) Vegetación secundaria (año 2007) generada a partir de las cartas de uso de suelo y vegetación series II, III y IV.

Fuente: Elaboración propia.

El portal de internet de la Dirección General de Información Estadística y Ambiental (DGEIA) de la SEMARNAT, presenta el análisis de los cambios en el uso de suelo al año 2003. Ahí se presenta el análisis de la información de las cartas de uso de suelo y vegetación Serie II y Serie III. El cambio de una cobertura de tipo primario a una secundaria fue mayor en los bosques mesófilos de montaña, seguidos por las selvas, bosques y matorrales. La agricultura y la ganadería ganaron una mayor superficie a los distintos tipos de vegetación vía las cubiertas secundarias por la remoción de las cubiertas no alteradas. Comparativamente con la ganadería, la agricultura fue, en todos los casos, la mayor responsable del cambio de uso del suelo en el país figura 3.7.



Nota:  
Los valores corresponden a las probabilidades (expresadas en porcentaje) de que la superficie cubierta por un uso de suelo cambie a otra condición.

Figura 3.8 Procesos de cambio de uso de suelo para el período 1993-2002 (SEMARNAT, 2006).

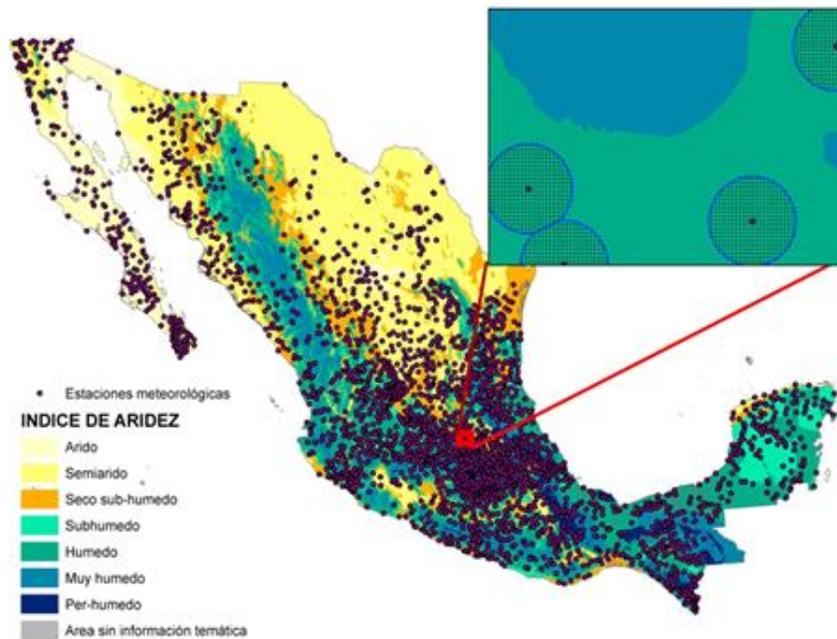
### 3.2.2. DINÁMICA SEGÚN NDVI

El estado de la cobertura vegetal se realizó a partir del análisis del Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés), el cual se ha empleado ampliamente para la caracterización e identificación de posibles cambios en la cubierta vegetal a nivel nacional e internacional. Se realizó la compilación y análisis de NDVI para el período 2000 a 2010, considerando 4 fechas interanuales: principios de los meses de enero y abril y finales de junio y septiembre con lo que se contó con el valor de NDVI trimestral, el análisis se realizó por tipo de vegetación y su distribución en el país asociada a las condiciones de humedad expresado en el valor del Índice de Aridez y la acumulación de la precipitación para cada trimestre en el periodo de análisis (2000 al 2010).

Por otro lado, de manera similar a NDVI, se partió de la información de Productividad Primaria Neta (NPP) anual, para el período 2000 a 2010 y se realizaron comparaciones y correlaciones entre PPN y precipitación anual que ocurrió en cada uno de los años analizados.

Para poder hacer este análisis se definió una red de puntos (1'097,869 puntos) alrededor de las estaciones meteorológicas (3,088 estaciones) con observaciones de precipitación y temperatura, asignando a dicha red el tipo de cobertura vegetal dominante, así como el Índice de Aridez. Posteriormente se extrajeron los valores de PPN y NDVI de los períodos señalados. De tal manera que se estimaron los valores estadísticos máximos, mínimos, promedio e intervalo de confianza, con el fin de generar la distribución espacial de las variaciones anuales de PPN y NDVI.

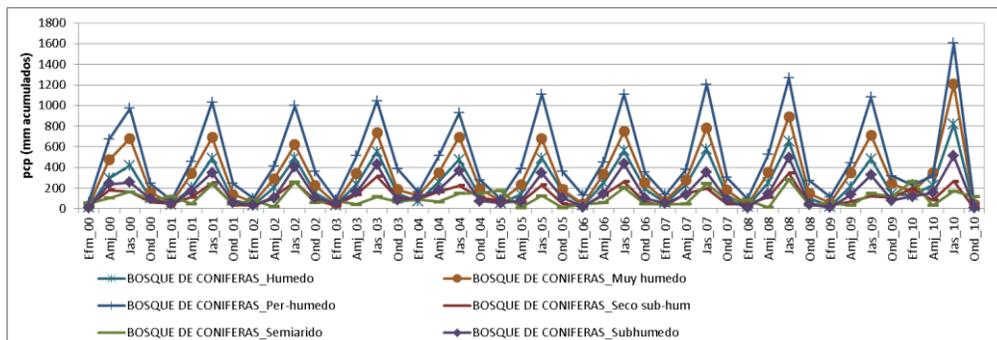
Se encontraron 3,088 estaciones con información de precipitación en el período 2000-2010 (incluidas las estaciones con información incompleta), sobre las cuales se generaron mallas con radio de 2 km, de tal manera que se tuvieron 1'097,869 puntos, a los cuales se les asignó valores de NDVI, PPN, Índice de Aridez, uso de suelo y vegetación. En la figura 3.9, se muestra la distribución de la red de puntos generada alrededor de las estaciones meteorológicas.

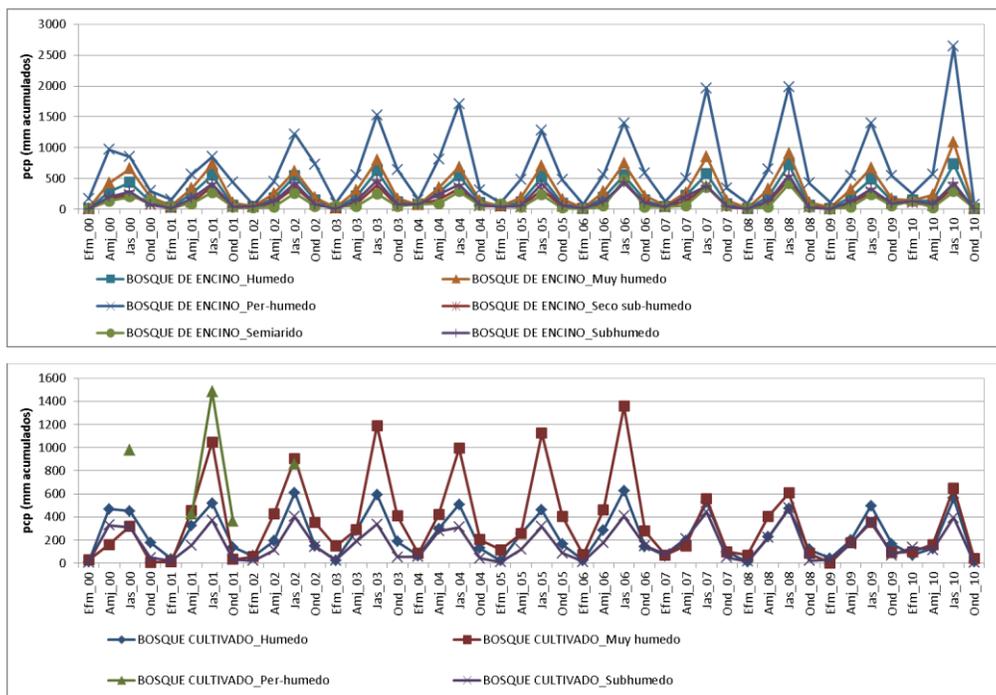


**Figura 3.9** Distribución de estaciones meteorológicas con información de precipitación en el período 2000-2011.

*Fuente: Elaboración propia con información obtenida del CLICOM – SMN.*

En la figura 3.10, se presenta la distribución anual de los valores de precipitación trimestral agrupados para los usos de suelo: bosque de coníferas, bosque de encino y bosque cultivado; las gráficas de todos los casos, se encuentran en el Anexo 2. La información se muestra en precipitación acumulada para los períodos enero-febrero-marzo (EFM), abril-mayo-junio (AMJ), julio-agosto-septiembre (JAS) y octubre-noviembre-diciembre (OND).





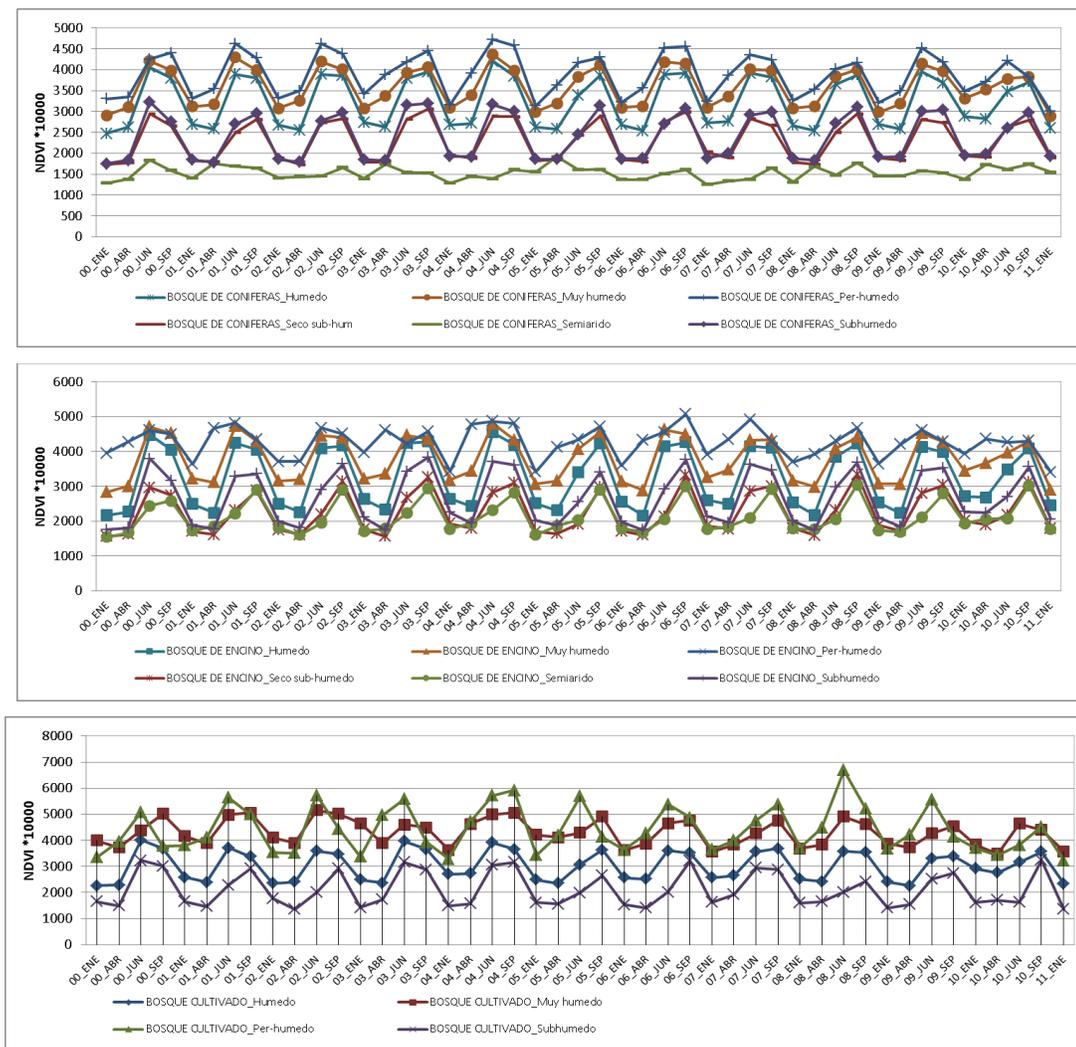
**Figura 3.10 Comportamiento de precipitación trimestral para bosque de coníferas, bosque de encino y bosque cultivado, de acuerdo al índice de aridez.**

*Fuente: Elaboración propia.*

El comportamiento presentado en la figura 3.10, es similar en las diferentes condiciones del país, sin embargo, en la mayoría de los casos, el año 2010, es el que presenta una mayor cantidad de lluvia registrada, con excepción del bosque cultivado, en el que la mayor cantidad de lluvia se presenta en el período 2001 a 2006 en el Índice de Aridez muy húmedo; para el caso de bosque cultivado encontrado bajo Índice de Aridez per-húmedo, este solo cuenta con información de precipitación para el año 2000 y 2001. En todos los tipos de Índice de Aridez es notable la concentración de la precipitación en el segundo y tercer trimestre de cada año.

Cabe señalar que en algunos de los ecosistemas forestales, no se encontró información continua en registros de precipitación, esto debido a la distribución de las estaciones meteorológicas del país, sin embargo, en los ecosistemas con mayor superficie ocupada si se encontraron registros continuos.

Con respecto a la distribución temporal de NDVI, en la figura 3.9, se muestra el comportamiento temporal para los tipos de cobertura considerados en la distribución trimestral de la precipitación (figura 3.10). El análisis de la distribución para todos los tipos de cobertura, se encuentran en el Anexo 3.



**Figura 3.11 Comportamiento de NDVI para bosque de coníferas, bosque de encino y bosque cultivado, de acuerdo al Índice de Aridez.**

Fuente: Elaboración propia.

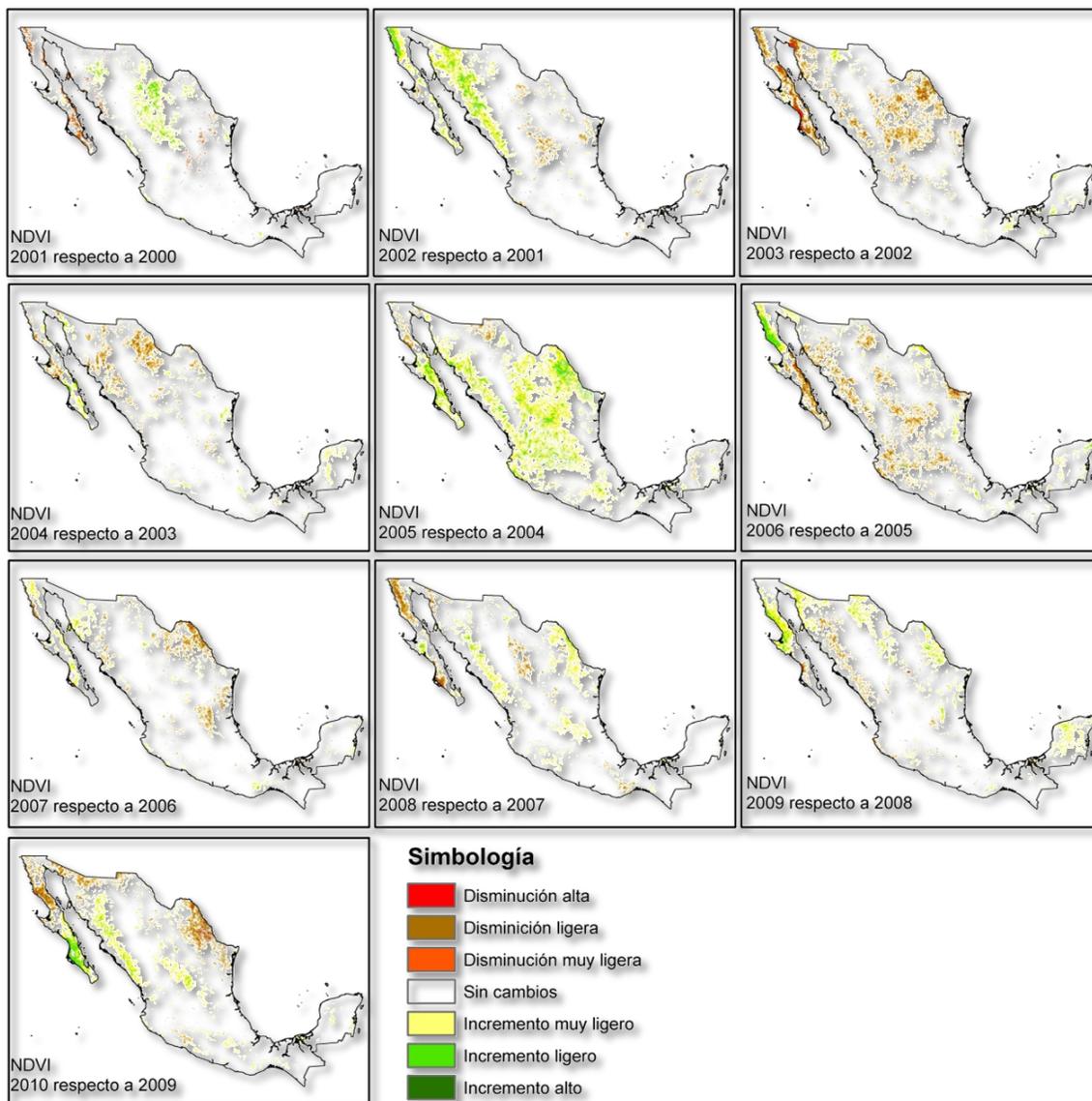
Es evidente en la anterior figura las diferencia tan marcadas para un mismo tipo de vegetación en el valor del NDVI, en donde se tienen mayores valores conforme aumenta la disponibilidad de humedad representada por los tipos de Índice de Aridez. Además, hay una asociación entre la precipitación acumulada de los trimestres de los años analizados con el valor del NDVI estimado, sin embargo, no se encontraron correlaciones que puedan ser representadas mediante ecuaciones de regresión, salvo algunos casos, principalmente en zonas con Índice de Aridez subhúmedo seco, húmedo y muy húmedo; por lo cual, se definieron intervalos de confianza, y a partir de estos, identificar cambios significativos. En el

Anexo 4, se presenta de manera gráfica, la variación encontrada en los valores de NDVI por Índice de Aridez.

De acuerdo al comportamiento de los valores de NDVI, la variabilidad más alta se encuentra en el bosque de coníferas y de encino, para el caso del grupo “otros conceptos”, la alta variación se debe a que dentro de esta se encuentran las áreas agrícolas, las zonas con selva perennifolia presentan un amplio intervalo de valores, mientras que las diferencias menores entre valores máximos y mínimos se observan principalmente en las áreas con matorral xerófilo.

Por otro lado, la ubicación de los valores medios con respecto al intervalo de máximos y mínimos, resulta ser un valor indicativo de la respuesta del tipo de cobertura ante fenómenos de lluvia, ejemplo de estos son los bosques de coníferas, encino y “otros tipos”, en los cuales el valor medio de NDVI es más cercano al mínimo promedio, mientras que en las selvas, la media se encuentra prácticamente a la mitad del intervalo, dicha condición está presente en todos los Índices de Aridez.

A partir del análisis del comportamiento del NDVI, es clara la diferencia en su distribución, de acuerdo al tipo de cobertura vegetal e Índice de Aridez, para encontrar diferencias significativas entre los valores anuales, se establecieron intervalos de confianza para cada caso, separadas en 7 categorías, 3 de ellas para indicar la disminución significativa, 3 para incremento y una que indica que no existen cambios. La figura 3.12, muestra las diferencias entre los valores anuales de NDVI de cada año en comparación con el que le antecede, para el período considerado. Los cambios más significativos con relación a disminución de NDVI se observaron en el año 2003 con respecto al año 2002. El mayor incremento de NDVI, considerando la superficie ocupada de NDVI, se presentó en el año 2005 respecto al año 2004.



**Figura 3.12 Cambios anuales en NDVI anualmente para el período 2000-2010.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Se consideró 2008 como año base, debido a que el mapa de uso de suelo y vegetación, serie IV del INEGI, se realizó con imágenes SPOT de los años 2007 y 2008, tiene una fecha de referencia editorial entre los años 2006 a 2009 y la fecha de datos de campo corresponde a los años 2007 y 2008. Por otro lado el comportamiento de la precipitación de los años 2000 al 2010, como se señala en la figura 3.12 correspondiente a la distribución de la precipitación por Índice de Aridez agrupada por ecosistema forestal dicha información se encuentra en el

Anexo 5 considerando que los valores de NDVI tienen relación muy estrecha con la cantidad de lluvia, el año 2008 presenta condiciones cercanas a la precipitación media en la mayor parte del país.

La figura 3.12 presenta la distribución de NDVI en los años 2000 al 2010. Por definición, las variaciones en NDVI van de -1.0 a 1.0, sin embargo, en dicha figura la variación es de -0.30 a 0.85; el primer intervalo de valores corresponde a -0.3 a 0.097, representa los cuerpos de agua y las áreas urbanas, a medida que los valores se incrementan, aumenta también la cantidad y vigor de vegetación, el último intervalo (0.49 a 0.85) se refiere a zonas de vegetación densa y bien desarrollada.

Como se aprecia en la figura 3.12 los primeros dos intervalos correspondientes a valores de -0.3 a 0.1267 permanecen prácticamente constantes a lo largo de los 10 años, el intervalo que va de 0.1657 a 0.2023 ocupa mayor superficie en los años 2003, 2004, 2008, 2009 y 2010, lo cual corresponde a los períodos en los que existió un incremento en la superficie ocupada por valores más elevados de NDVI, es decir el periodo entre los años 2003 a 2004 y 2009 a 2010, presentan una mayor área ocupada por valores de NDVI arriba de 0.2023.

Los períodos correspondientes a los años 2000 a 2002 y 2006 a 2008, presentan una menor variación en la superficie ocupada por los intervalos de NDVI.

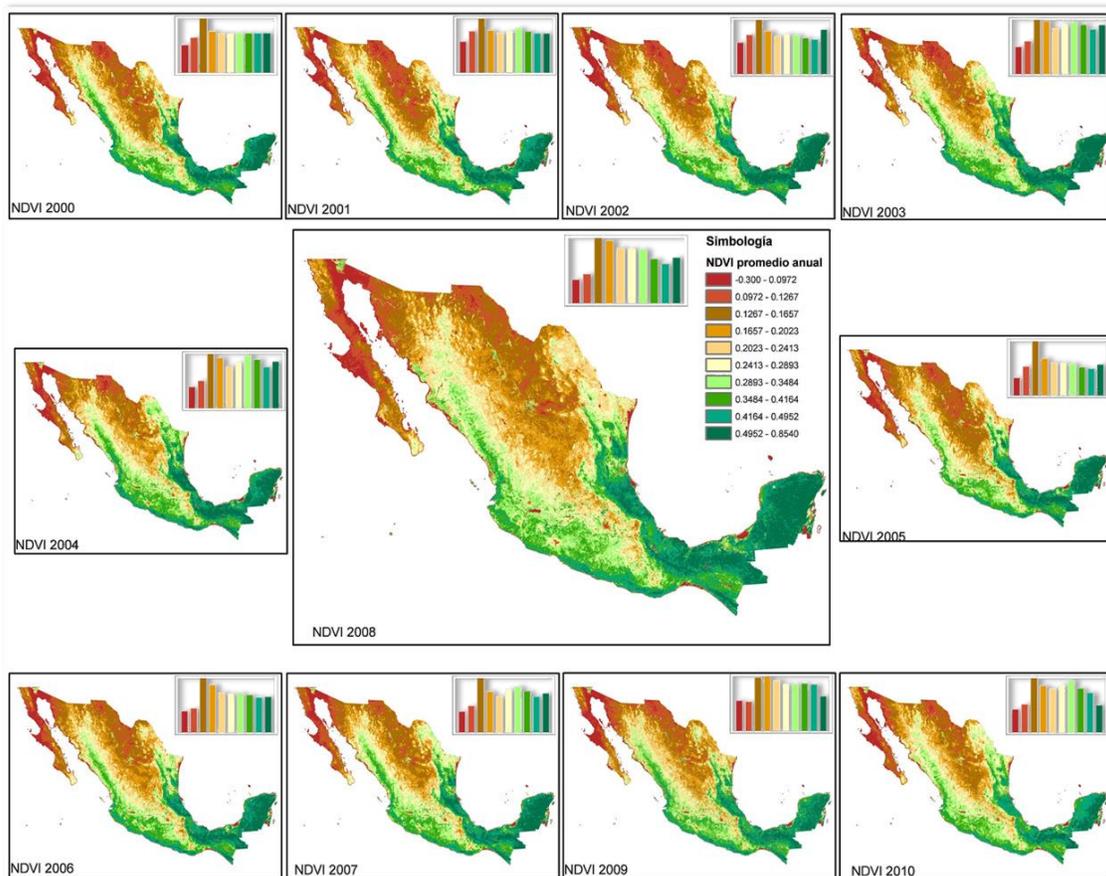
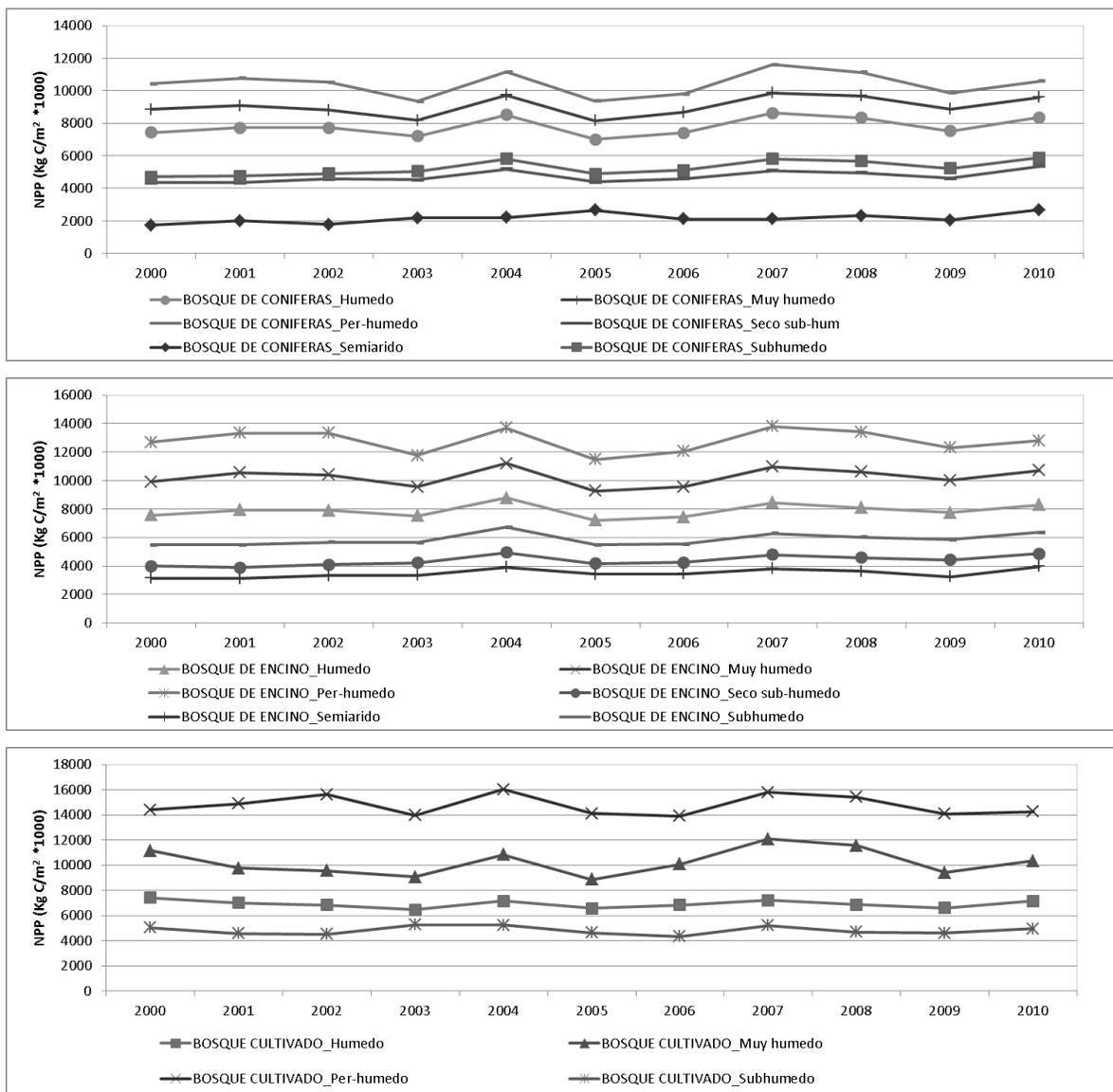


Figura 3.13 Valores promedio de NDVI anual para el período 2000-2010, con énfasis en el año 2008.

Fuente: Elaboración propia .

### 3.2.3. DINÁMICA SEGÚN LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA (PPN)

Con respecto a la distribución temporal de PPN, en la figura 3.13 se muestra el comportamiento para los tipos de cobertura considerados en el análisis de NDVI y de precipitación, así mismo, las gráficas para los tipos de cobertura, se encuentran en el Anexo 5.



**Figura 3.14 Comportamiento de PPN para bosque de coníferas, bosque de encino y bosque cultivado, de acuerdo al índice de Aridez.**

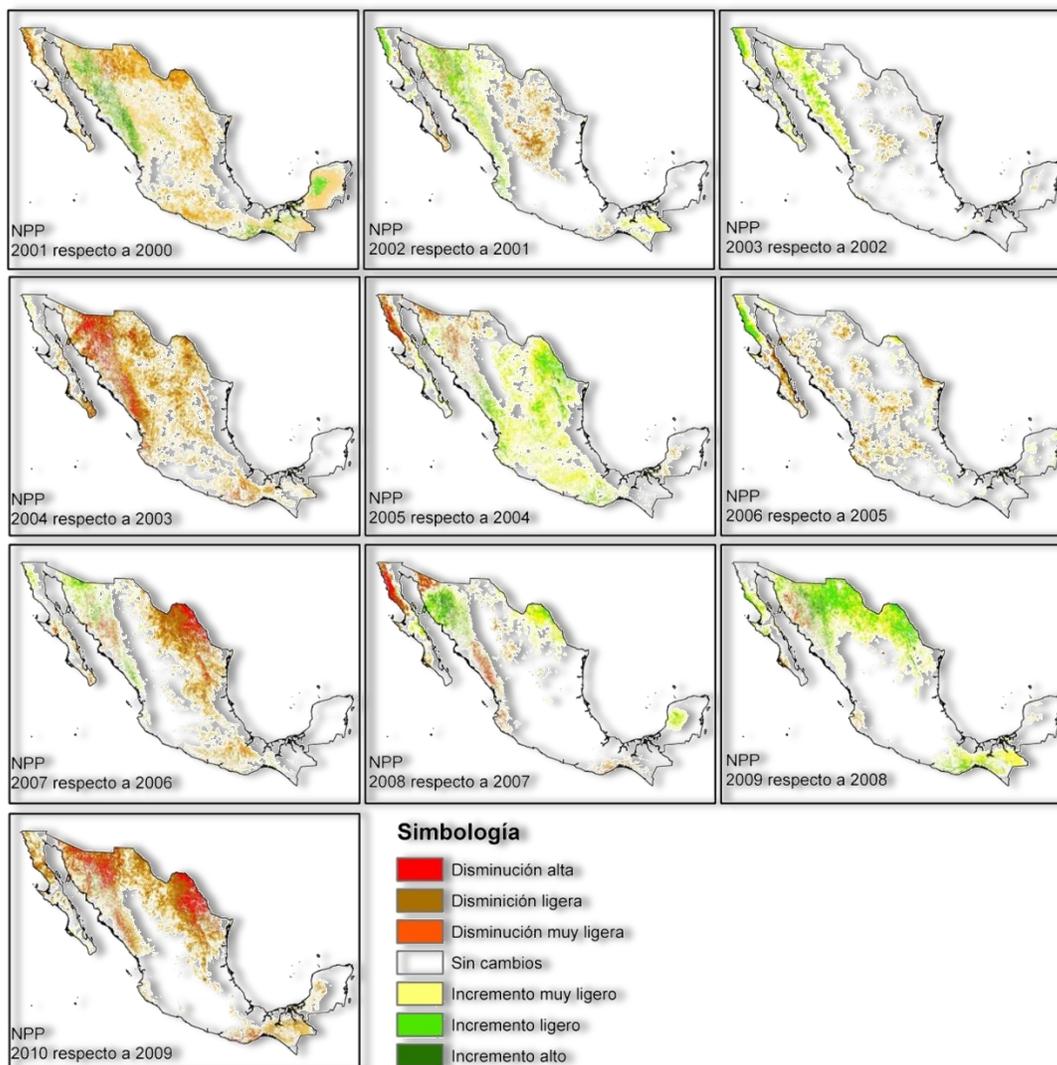
Fuente: Elaboración propia.

Dado que la PPN se estima a partir del NDVI, aquí también las diferencias son marcadas en cuanto a los valores calculados de acuerdo a las condiciones del Índice de Aridez, encontrándose diferencias de más del 100% para el mismo ecosistema forestal de acuerdo a la condición más seca con la más húmeda.

También se buscó si se presenta correlación entre la PPN con la precipitación, a partir de la red de puntos de las estaciones meteorológicas, sin embargo,

después del análisis de datos, no se encontró relación para ser representadas mediante ecuaciones de regresión, por lo que se definieron intervalos para identificar cambios significativos. En Anexo 6, se presenta de manera gráfica, la variación encontrada en los valores de PPN por Índice de Aridez.

La variación más amplia en cuanto a valores de PPN, se presenta en el grupo “otros conceptos”, que agrupa al uso de suelo agrícola. Por otro lado en la mayoría de los casos, el valor medio se encuentra más cercano al mínimo promedio dentro del intervalo de variación, sin embargo, dicha condición es menos notoria en las condiciones de Índice de Aridez per-húmedo a húmedo. En la figura 3.14, se presentan las áreas con diferencias significativas de valores de PPN de un año a otro, entre 2000 y 2010 de tal manera que el cambio representa el comportamiento del valor de PPN de un año determinado, respecto al valor anterior. El comportamiento es muy similar al del NDVI por lo antes señalado. La disminución más significativa de PPN, se presenta en el año 2004 respecto a 2003; por otro lado, dichas diferencias son más marcadas en el norte del país, lo cual corresponde a las áreas con menor precipitación y con mayor ocurrencia de sequías. Para el caso de 2001-2002, 2005-2006 y 2008-2009 se observa más de una dominancia en incrementos de PPN.



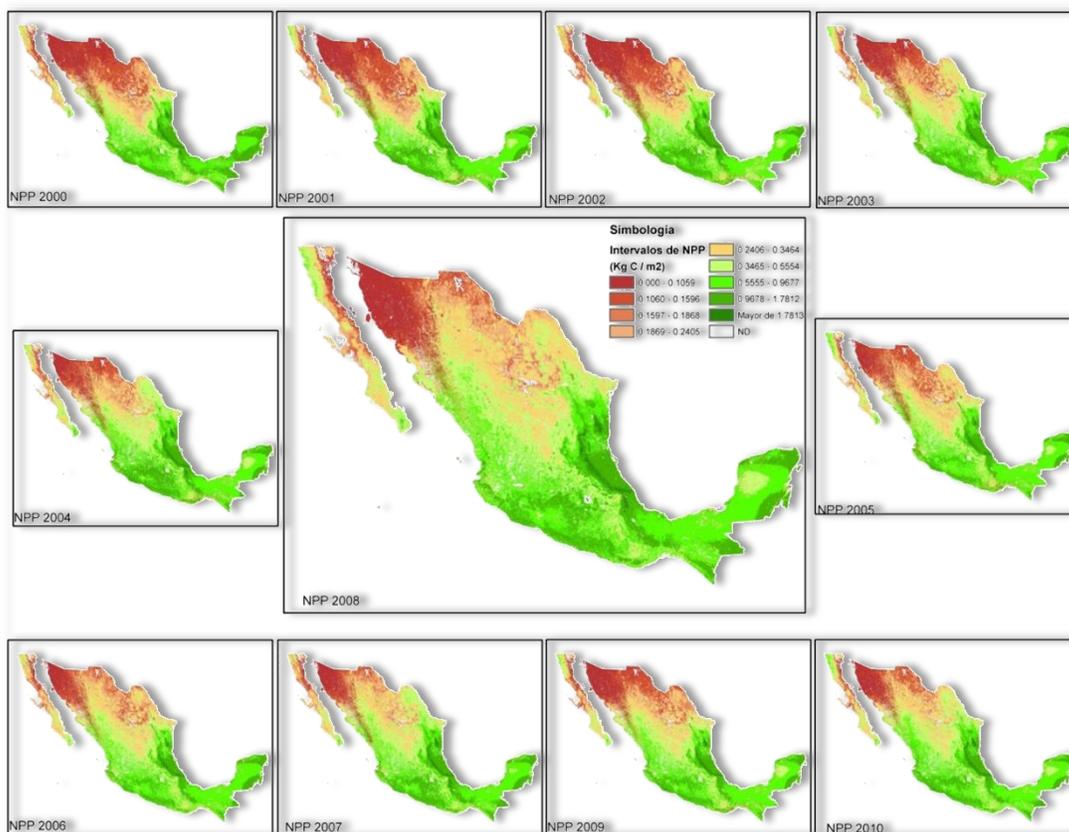
**Figura 3.15 Diferencias anuales de PPN, para el período 2000-2010.**

*Fuente: Elaboración propia.*

La figura 3.15 muestra los valores anuales de Productividad Primaria Neta con énfasis en el año 2008, el cual, como se mencionó en el caso de NDVI, en dicho año es en el que se presentan condiciones de precipitación similar a la media en el país, además que la información de campo correspondiente a la carta de uso de suelo y vegetación serie IV del INEGI, se levantó entre los años 2006 a 2009 y las imágenes de satélite, corresponden a los años 2007 y 2008.

La distribución de PPN en el país para el período con que se cuenta información muestra diferencias en cuanto a la superficie ocupada por cada

intervalo de PPN ( $\text{Kg C/m}^2$ ), en la figura 3.15, por un lado las dos categorías con valores más bajos (menor de  $0.16 \text{ Kg C/m}^2$ ) ocuparon una distribución y superficie similar en los años 2000 a 2002, desde el año 2003 al 2007 la superficie presentó una disminución, mientras que en los años 2008 y 2009 la superficie se incrementa de nuevo, para finalmente disminuir en el año 2010.



**Figura 3.16 Valores promedio de PPN para el período 2000-2010, con énfasis en el año 2008.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Para ilustrar el comportamiento de PPN anual con respecto a las condiciones del Índice de Aridez (IA), en la figura 3.16 se muestran los valores de PPN agrupados por IA, en la cual se presenta la precipitación anual promedio para las estaciones que se encuentran en cada IA en conjunto con los valores medios de PPN en dichas áreas. De acuerdo a esta y las líneas de tendencia de PPN, se observa una reducción para el caso de las áreas con IA seco-subhúmedo y subhúmedo (reducción de  $0.0039$  y  $0.0003 \text{ Kg C /m}^2$  anual), mientras que hay incrementos en las condiciones de IA per-húmedo ( $0.0044 \text{ Kg C /m}^2$  anual), el

menor cambio se tiene en el IA húmedo, en el que la tasa de cambio es de un incremento de 0.0001 Kg C/m<sup>2</sup> por año.

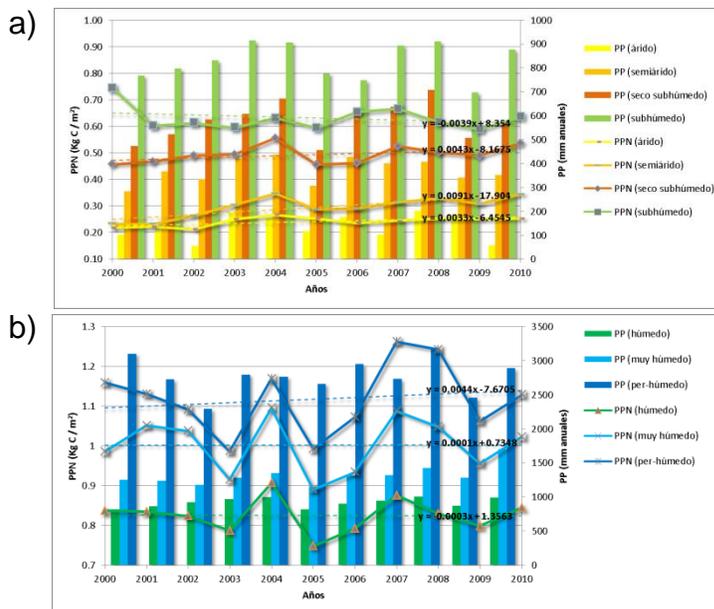


Figura 3.17 Valores medios de Productividad Primaria Neta agrupados por índice de aridez (IA) con respecto a la precipitación anual promedio. a) IA: árido, semiárido, seco subhúmedo y subhúmedo. b) IA: húmedo, muy húmedo y per-húmedo.

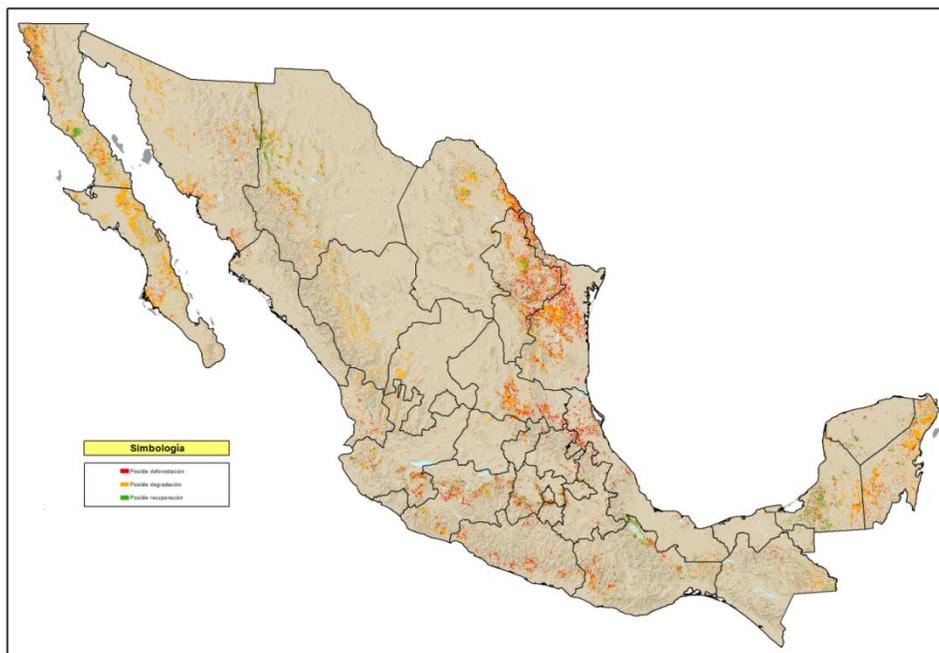
Fuente: Elaboración propia.

Dado que el periodo estudiado comprende solo 10 años, y éste es un período corto de tiempo como para determinar con mayor precisión la tendencia que se pueda presentar en un futuro, puesto que los valores de PPN dependen de diversas condiciones, principalmente la disponibilidad de agua, reflejada en la cantidad y distribución temporal de la lluvia, conservación de la vegetación, salud del ecosistema, entre otros. En los anexos se presenta el comportamiento anual de la Productividad Primaria Neta agrupado por ecosistema forestal e Índice de Aridez.

### 3.2.4. ESTADO DE LA CUBIERTA VEGETAL

De acuerdo con la información cartográfica de los documentos de trabajo para la Evaluación de los Recursos Forestales para el período 2005-2012 (CONAFOR, 2012), la figura 3.18 muestra los procesos de recuperación, deforestación y degradación, resultado del análisis obtenido a través de la evaluación de la cobertura forestal.

En el período analizado, alrededor de 6.4 millones de hectáreas presentaron cambios relacionados a deforestación, en términos porcentuales: 3.27% del territorio nacional presentó cambios relacionados a deforestación, 0.63% con posible recuperación y 0.82% con degradación de la cobertura vegetal.

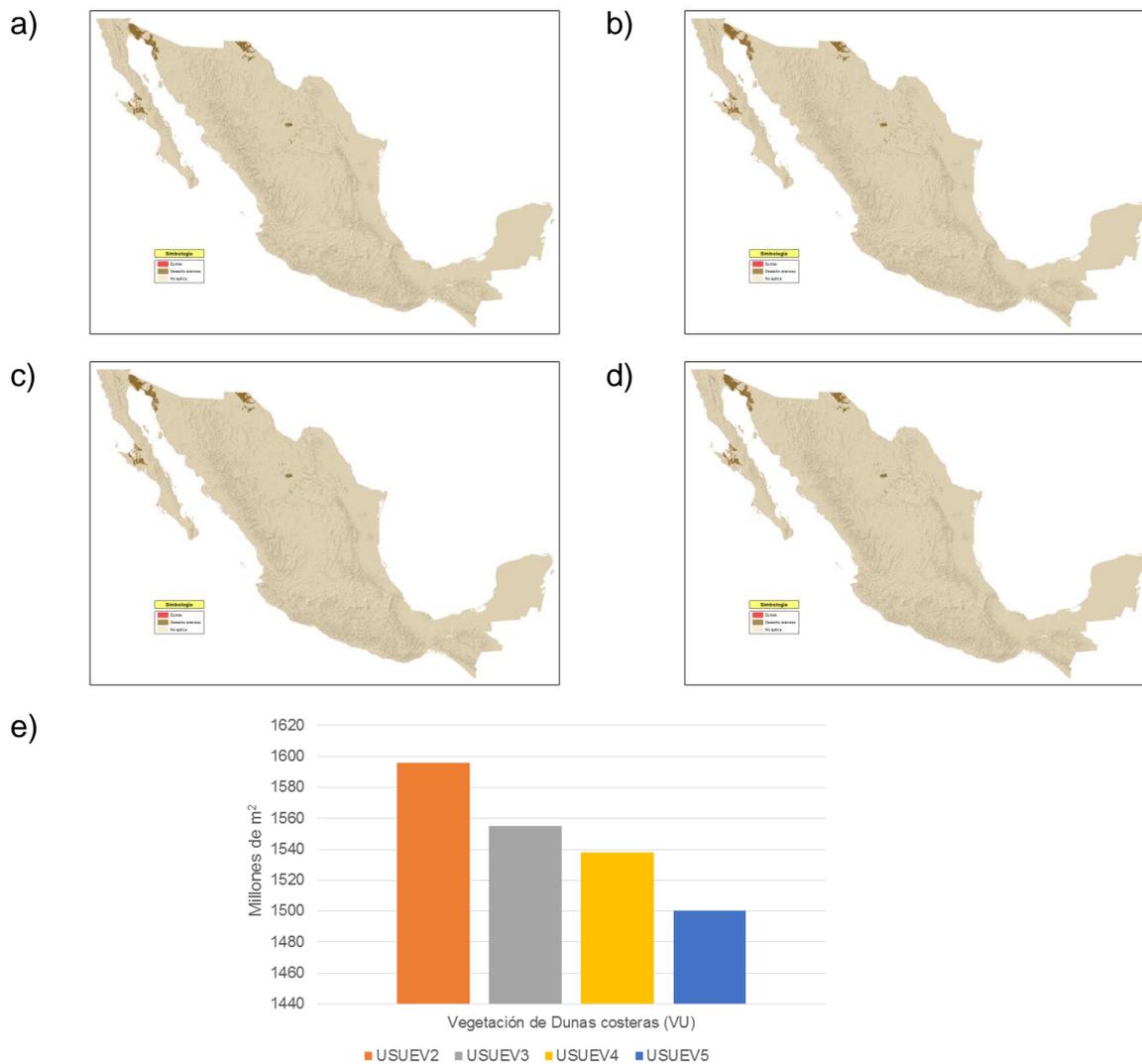


**Figura 3.18 Áreas de reforestación, recuperación y posible degradación para el período 2005-2012.**

*Fuente: Elaboración propia con base en la información cartográfica de la Evaluación de los Recursos Forestales en los años 2005 a 2012 (CONAFOR).*

### 3.2.5. PRESENCIA DE DUNAS EN EN PAÍS

Como se aprecia en la figura 3.19 las dunas arenosas han disminuido en el país, lo cual es atribuible a que en las zonas costeras (que es donde se encuentran la mayor cantidad de dunas) el mar se lleva año con año gran cantidad de arena de las playas.



**Figura 3.19** Diferencias entre los mapas de uso de suelo y vegetación INEGI a) Serie II (1990), b) Serie III (2002), c) Serie IV (2007), d) Serie V (2010) y e) gráfica comparativa entre series.

Fuente: Elaboración propia con base en la información cartográfica de mapa de Uso de Suelo y Vegetación de las Series II, III, IV y V de INEGI.

**Cuadro 3.6** Superficie (%) ocupada por vegetación de desiertos arenosos y dunas costeras en el país.

| Tipo                                  | Cartografía de Uso de suelo y vegetación |          |           |          |         |
|---------------------------------------|--|----------|-----------|----------|---------|
|                                       | Serie I                                  | Serie II | Serie III | Serie IV | Serie V |
| Vegetación de Desiertos arenosos (VD) | 1.16                                     | 1.11     | 1.12      | 1.10     | 1.10    |
| Vegetación de Dunas costeras (VU)     | 0.08                                     | 0.08     | 0.08      | 0.08     | 0.08    |
| Total                                 | 1.25                                     | 1.19     | 1.20      | 1.18     | 1.18    |

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. INDICADOR INTEGRADO DE RECURSOS BIÓTICOS

A partir de la información mostrada en este apartado, se realizó el análisis e integración del estado de la cubierta vegetal, partiendo de la premisa de que el tipo de degradación está asociado al grado de conservación de la cobertura. Se tomó como base el tipo de cobertura vegetal del mapa de uso de suelo y vegetación serie IV (INEGI), de tal manera que al compararlo al tipo de vegetación primaria potencial, se asignó un grado de degradación.

En la figura 3.20 se muestra la distribución espacial de los tipos de degradación de la cubierta vegetal mientras que en el cuadro 3.7 indica la superficie en miles de Ha y su representación en porcentaje a nivel nacional. Con esto se indica que, por recursos bióticos, el 54% del país se encuentra degradado en algún grado, siendo la severa con la mayor representación en el país 27.0%, siguiéndole la degradación ligera con el 20%, la moderada con el 4% y la degradación extrema representa el 3%.



Figura 3.20 Indicador Integrado de Degradación del Recurso Biótico, por grado de afectación.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 3.7 Superficie a nivel nacional según el nivel de degradación en recursos bióticos.**

| Grado de degradación de los recursos bióticos | Superficie (Miles de Ha.) | Porcentaje de la superficie del país |
|---|---------------------------|--------------------------------------|
| Sin degradación                               | 88,166.16                 | 45.00                                |
| Degradación ligera                            | 39,184.96                 | 20.00                                |
| Degradación moderada                          | 7,836.99                  | 4.00                                 |
| Degradación severa                            | 52,899.70                 | 27.00                                |
| Degradación extrema                           | 5,877.75                  | 3.00                                 |
| Cuerpos de agua                               | 1,959.25                  | 1.00                                 |
| <b>Total</b>                                  | <b>195,924.80</b>         | <b>100.00</b>                        |

Fuente: *Elaboración propia.*

Las causas de la degradación de los recursos bióticos se muestran en la figura 3.21.



**Figura 3.21 Causas de la Degradación del Recurso Biótico.**

Fuente: *Elaboración propia.*

## 4. RECURSOS EDÁFICOS

---

El componente de recursos edáficos comprendió el análisis e integración de la información sobre la pérdida de suelo por erosión hídrica y por erosión eólica, así como de la degradación química y física de los suelos.

Para el caso de la pérdida de suelos por erosión hídrica, se generó la cartografía y bases de datos a partir del modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, Universal Soil Loss Equation, Wischmeier, 1978) adaptado a las condiciones de México por Figueroa, et. al., (1991) y considerando la metodología seguida por SEMARNAT-UACH (2002). Además, se incorporó el esquema simplificado de Hua Lu et. al. (2003), para la estimación de erosión hídrica por medio del modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation, Renard, 1997); el cual ha sido implementado en México, en algunos trabajos específicos (CONAGUA-CP, 2009 y Cortés, 2012). De manera paralela a la elaboración de la cartografía de la erosión hídrica se generó el mapa del espesor del suelo, tomando como base las unidades de suelos de la carta edafológica del INEGI (escala 1:250 000, serie I) y la base de datos de perfiles de suelos que reportan el espesor promedio asociado a las diferentes unidades de suelos en el territorio nacional, a partir de esta información, se definió el espesor promedio por unidad cartográfica de la carta edafológica.

La pérdida de suelo por erosión eólica se estimó por medio de la Ecuación de Erosión Eólica (Wind Erosion Equation, Woodruff, 1965), adaptado para las condiciones de México por Figueroa, et. al. (1991) y considerando la metodología empleada por SEMARNAT-UACH, (2002), para la cuantificación nacional de pérdida de suelo por erosión eólica. Finalmente, la degradación de suelos química y física, fue tomada de los resultados obtenidos por SEMARNAT-CP, (2002), de la cartografía de la degradación de suelos causada por el hombre.

Del conjunto de indicadores del componente edáfico, se obtuvo un indicador de degradación único o “dominante”, el cual fue generado a partir de la sobreposición cartográfica de los tipos de degradación antes descritos, con el fin de identificar o seleccionar la degradación dominante, considerando la extensión de la degradación de suelos sobre de la superficie ocupada por unidad cartográfica, considerando el factor más limitativo de acuerdo a los lineamientos establecidos por el USDA en el esquema de determinación de las clases y subclases de las unidades de suelo por capacidad de uso (Klingebiel y Montgomery, 1966). El esquema metodológico para la obtención del indicador único de recursos edáficos,

se muestra en la figura 4.1.

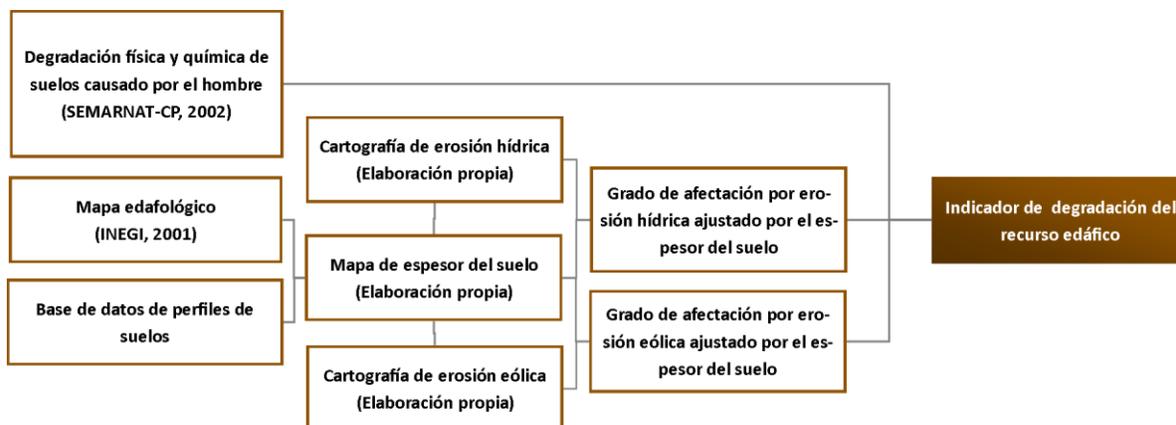


Figura 4.1 Esquema de integración del indicador de la degradación del recurso edáfico.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1. INDICADORES DE RECURSOS EDÁFICOS

Para establecer el grado de afectación del suelo por acción de la erosión hídrica y la erosión eólica, se ajustaron los impactos de estos procesos a el espesor del suelo, para ello se elaboró la carta de espesor promedio de las diferentes unidades del suelo partiendo de la carta edafológica del INEGI escala 1:250 000, versión I, junto con la información de perfiles de suelo que cuenta con los datos georreferenciados de los perfiles de suelos que se usaron en la elaboración de la carta edafológica y que reporta el espesor promedio de las unidades de suelo particulares de todo el país.

A partir de la base de datos y la cartografía que se generaron por la SEMARNAT-UACH (2002) para la evaluación de la erosión hídrica, Cortés (2012), se realizó la actualización de la cartografía de erosión hídrica en México escala 1:250 000, estimada con el esquema simplificado de Hua Lu, et. al. (2003), del modelo Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Con la información de erosión hídrica y espesor de suelos, se realizó una clasificación de las categorías de grado de afectación por erosión hídrica.

Para el caso de la cartografía correspondiente a la erosión eólica, se partió también de la base de datos y cartografía generada en la estimación de la erosión eólica en la República Mexicana realizada por SEMARNAT-UACH (2002), con escala de 1:1 000 000, a partir de los criterios y metodología establecida en dicho proyecto (Wind Erosion Equation, Woodruff, 1965, Figueroa, et. al. 1991), y con la base de datos generada por Gómez et. al. (2012) en el proyecto de Actualización

de la Delimitación de las Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas secas de la República Mexicana a escala regional, se elaboró el mapa de erosión eólica escala 1:250 000. También en este caso se consideró el grado de afectación por este proceso considerando el espesor de las unidades de suelo.

Con base en la cartografía de degradación de suelos, realizada con la metodología ASSOD escala 1:250 000 (SEMARNAT-CP, 2002), se retomaron los tipos de degradación química y física del suelo y su grado de afectación, se generó el mapa con sus bases de datos que sirvió como uno de los elementos para la determinación del indicador de degradación del suelo.

El Indicador integrado de degradación del suelo se obtuvo con la sobreposición de los tres mapas: grado de afectación por erosión hídrica, grado de afectación por erosión eólica y el grado de afectación por degradación química y/o física, a partir del criterio de factor más limitante.

#### **4.1.1. CARTOGRAFÍA DE SUELOS**

En México existen 25 de las 30 unidades de suelo reconocidas por la FAO, UNESCO y la ISRIC. Los suelos regosoles, litosoles, xerosoles, feozem y vertisoles son los suelos de más amplia distribución nacional, ocupando alrededor del 68% de la superficie del país. Los suelos regosoles y litosoles son por lo general suelos someros y con poco desarrollo, lo que limita su aprovechamiento agrícola. Los suelos en los que se desarrollan de mejor manera las actividades agrícolas son los feozem y vertisoles, que ocupan el 18% de la superficie del país (Figura 4.2).

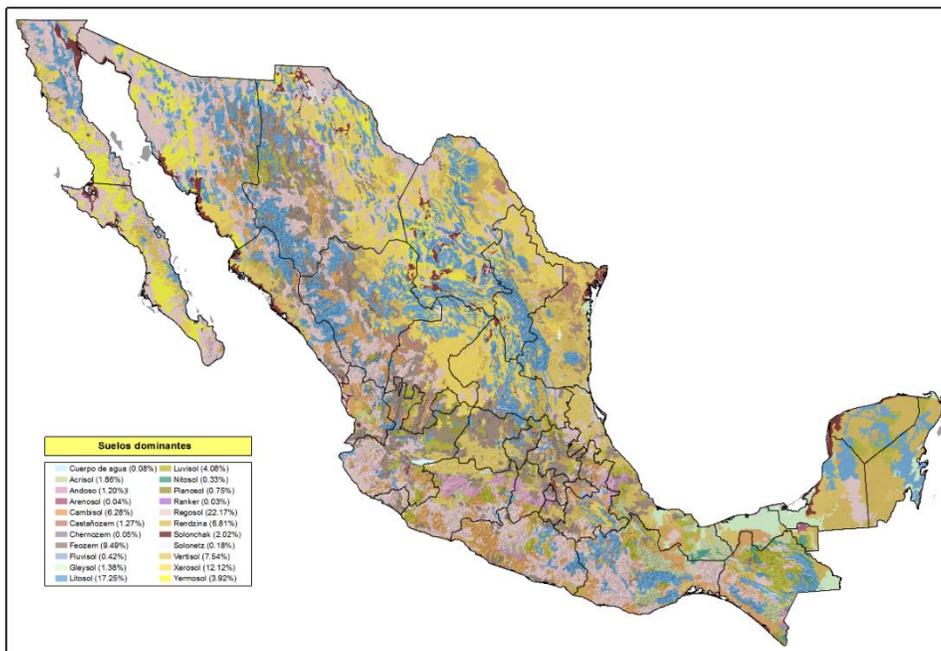
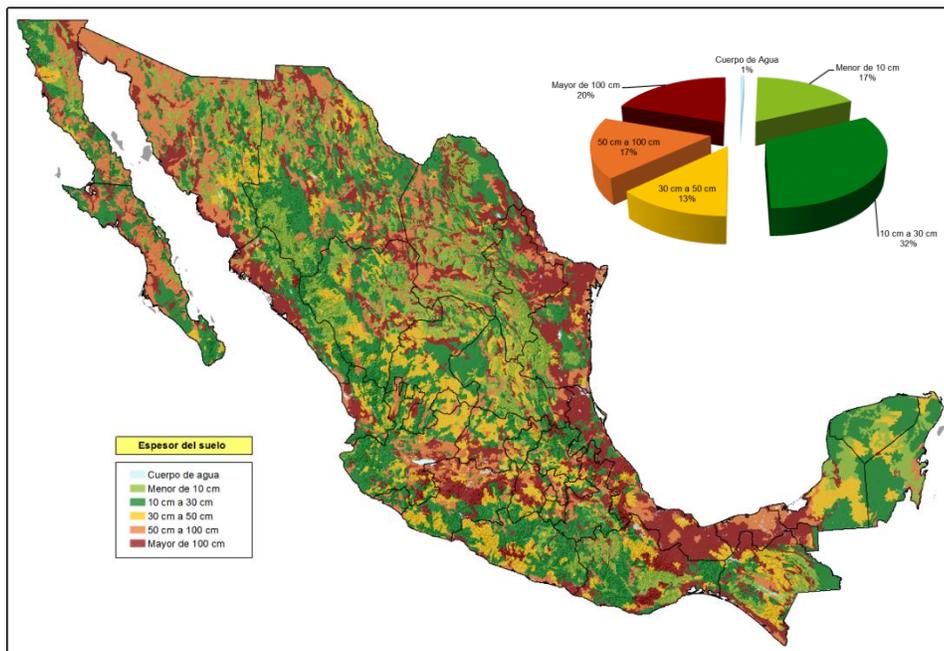


Figura 4.2 Distribución de las unidades de suelos dominantes en México.

Fuente: Edafología de la República Mexicana escala 1:250 000 (INEGI, 2004).

Con base en la información edafológica y de perfiles de suelos escala 1:250 000 (INEGI, 2004), se elaboró un mapa en el que se indican valores de espesor del suelo. En la figura 4.3, se muestra la distribución espacial y de forma gráfica las categorías agrupadas de acuerdo al espesor del suelo, se encontró que alrededor del 17% de los suelos tienen un espesor menor o igual a 10 centímetros, el 32% del total presentan una profundidad de entre 10 a 30 centímetros, el 13 % se tiene un espesor de 30 a 50 centímetros, alrededor del 17% se encuentra entre 50 a 100 centímetros y aproximadamente el 20% son suelos considerados como profundos (más de 100 centímetros de espesor).

Estos intervalos pueden usarse para identificar las áreas en las que la pérdida de suelos por erosión es más significativa en relación al espesor del mismo. Es decir, la pérdida de 1 cm de suelo en 10 años, representa una mayor disminución de la productividad en suelos someros que en suelos profundos.



**Figura 4.3 Intervalos del espesor del suelo de acuerdo a las unidades y perfiles de suelos, escala 1:250 000**

*Fuente: Elaboración propia con información de la Edafología de la República Mexicana escala 1:250 000 (INEGI, 2004); perfiles de suelo versión 1, escala 1:250 000, (INEGI, 2004).*

#### 4.1.2. EROSIÓN HÍDRICA

Desde mediados del siglo pasado se han realizado diversos estudios a nivel nacional para cuantificar la superficie afectada por erosión hídrica. Sin embargo, existen diferencias significativas en la superficie cuantificada con algún grado de erosión hídrica, debido principalmente a los métodos empleados. En el cuadro 4.1 se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas a nivel nacional para cuantificar la superficie afectada por erosión hídrica.

**Cuadro 4.1 Superficie afectada por erosión hídrica en México, resultado de evaluaciones en diferentes fechas.**

| Autor                      | Método de evaluación                                | Superficie afectada (%) |
|----------------------------|---|-------------------------|
| Badwin (1945)              | Indirecta   | 45.00                   |
| SARH (1960)                | Estimaciones visuales                               | 69.00                   |
| Andrade (1975)             | Estimaciones visuales                               | 80.00                   |
| Estrada y Ortiz (1982)     | Ecuaciones paramétricas                             | 98.00                   |
| García (1983)              | Imágenes de satélite                                | 71.00                   |
| SARH (1986)                | Imágenes de satélite                                | 81.00                   |
| Gissert y Rossignol (1987) | Indirecta   | 86.00                   |
| SEMARNAT-UACH (2002)       | Ecuación Universal de Pérdida de Suelos             | 42.04                   |
| SEMARNAT-CP (2002)         | Degradación de suelos causada por el Hombre (ASSOD) | 11.80                   |

*Fuente: Elaboración propia.*

De las dos últimas evaluaciones, se encuentra una diferencia importante, debido a que la evaluación realizada por SEMARNAT-CP (2002), aunque cuenta con un alto grado de trabajo de campo y se trabajó a escala 1:250 000, ésta se realizó de manera cualitativa, a partir de la observación general del grado de afectación del terreno, mientras que el trabajo desarrollado por SEMARNAT-UACH (2002) que se realizó a escala 1:1 000 000, se empleó como base la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE, por sus siglas en inglés) adaptada por Figueroa, et.al (1991), en la cual se usó la carta de uso de suelo y vegetación de INEGI Serie II, junto con observaciones de campo.

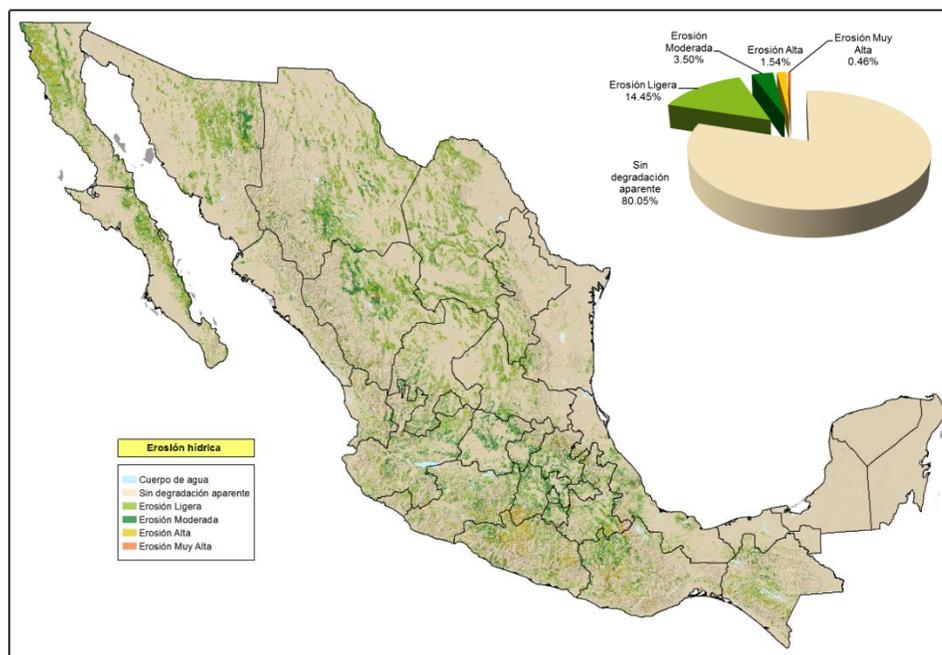
CONAGUA-CP, (2009) y Cortés, (2012), emplearon una versión simplificada de RUSLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada), para evaluar la erosión hídrica con base en los trabajos de Hua Lu, (2003) y SEMARNAT-UACH, (2002); calculando los factores de erosividad de la lluvia (R) y cobertura vegetal (C) a nivel mensual. Para el factor C, se realizaron correlaciones entre NDVI del período 2002 a 2006 y tomando como base el uso de suelo y vegetación Serie III (INEGI, 2004).

A partir de 2009, por parte de INEGI existe el proyecto de evaluación de la erosión en México, sin embargo no ha sido publicado (INEGI, 2011) y no estuvo disponible para este estudio.

Considerando lo anterior y debido a la escala de trabajo, se retomó la metodología de SEMARNAT-UACH (2002), y con la base de datos de la erosividad de la lluvia y erodabilidad del suelo, se recalculo la pérdida de suelo por efecto de

la lluvia y escorrentía, en este proceso el factor de longitud e inclinación de la pendiente se retomó del trabajo de Cortés, (2012); el factor de cobertura vegetal fue actualizado de acuerdo con la carta de uso de suelo y vegetación serie IV del INEGI, complementada con los resultados del análisis del estatus de la cobertura vegetal, considerando las propuestas de Hua Lu, (2003) y CONAGUA-CP, (2009).

De acuerdo a los resultados obtenidos, alrededor del 20% de la superficie presenta algún grado de erosión hídrica. La categoría ligera y moderada ocupan el 14.45% y 3.50% respectivamente, la categoría alta el 1.54% y el 0.46% en categoría muy alta. La figura 4.4 muestra la distribución de la erosión hídrica, obtenida en el presente estudio.



**Figura 4.4 Erosión hídrica estimada por medio de RUSLE, en el presente estudio.**

*Fuente: Elaboración propia, con base en la cartografía de SEMARNAT-UACH (2002) y Cortés (2012).*

Debido a que los valores de erosión obtenida por medio de la metodología empleada representa un valor indicativo de degradación, no es posible considerar los valores de pérdida de suelos como un valor absoluto, sino que es referido a un intervalo de pérdida de suelo estimado.

Una de las ventajas de la metodología empleada, es que puede ser tomada como base para identificar la distribución espacial de las áreas con problemas de pérdida de suelos por erosión hídrica e identificar las zonas de aporte de

sedimentos. Una de las desventajas principales es que no se considera el espesor del suelo. Por lo tanto, una tasa de pérdida sobre suelos someros representa una mayor disminución de la capacidad de sostener vegetación a diferencia de suelos profundos. Considerando lo anterior, de acuerdo a las categorías de erosión establecidas por SEMARNAT-UACH, (2002), y al mapa de espesor de suelos se reasignaron las categorías de severidad de la erosión hídrica, lo cual se muestra en el cuadro 4.2.

La reasignación de clases de pérdida de suelos se realizó mediante la relación existente entre una densidad aparente promedio general (1.3 toneladas por m<sup>3</sup>) y la cantidad de suelo que se pierde estimada mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. La categoría de erosión “nula” se refiere a una pérdida de suelos menor a 5 toneladas por hectárea al año, que representa una pérdida menor a 0.38 centímetros de suelo en 10 años, para un suelo de espesor a 10 centímetros, representa una pérdida de espesor menor a 3.8% en dicho período de tiempo. Sin embargo, en la categoría “ligera” (pérdida de suelo entre 5 y 10 toneladas por hectárea al año) representa una pérdida de 0.38 a 0.77 centímetros de suelo en 10 años, por lo tanto, en suelos con espesor menor a 10 cm la categoría original “ligera” fue reasignada a categoría moderada, y con este criterio se reasignaron las categorías en todos los niveles de profundidad del suelo.

**Cuadro 4.2 Asignación de categorías de erosión hídrica de acuerdo al espesor del suelo.**

| Categoría de pérdida de suelo | Intervalo de pérdida de suelo en 10 años (cm) | Profundidad del suelo (cm) |          |          |              |
|-------------------------------|---|----------------------------|----------|----------|--------------|
|                               |   | Menor 10                   | 10 a 50  | 50 a 100 | Mayor de 100 |
| Nula                          | Menor de 0.38                                 | Nula                       | Nula     | Nula     | Nula         |
| Ligera                        | 0.38 a 0.77                                   | Moderada                   | Ligera   | Ligera   | Ligera       |
| Moderada                      | 0.77 a 3.85                                   | Alta                       | Moderada | Moderada | Moderada     |
| Alta                          | 3.85 a 15.38                                  | Extrema                    | Muy alta | Muy alta | Alta         |
| Muy alta                      | Mayor de 15.38                                | Extrema                    | Extrema  | Extrema  | Muy alta     |

*Nota: El intervalo de pérdida de suelo en profundidad es estimado considerando una densidad aparente de 1.3 toneladas por metro cúbico.*

*Fuente: Elaboración propia.*

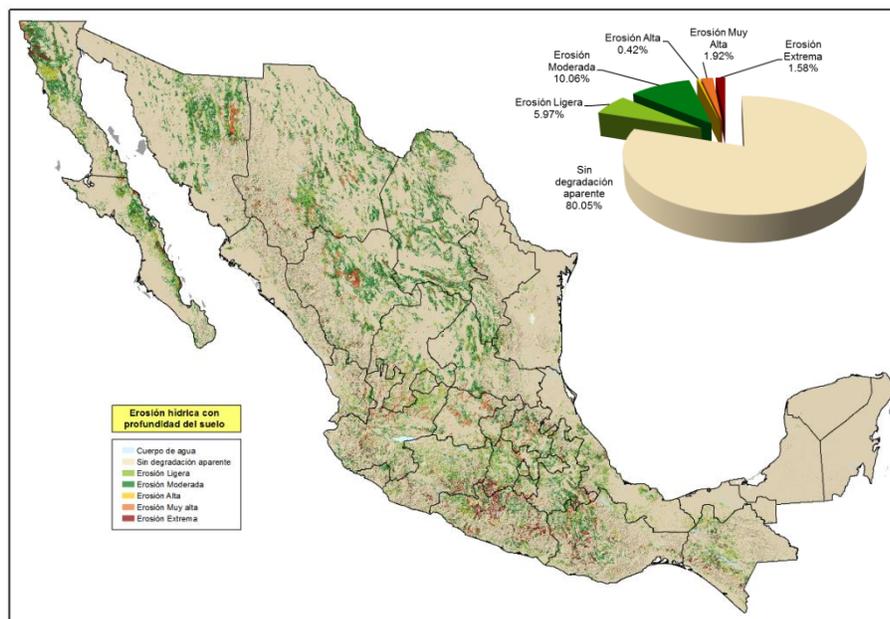
El cuadro 4.3 muestra la superficie y el porcentaje del país en cuanto a las categorías de erosión, respecto a la profundidad del suelo para todo el país.

**Cuadro 4.3 Superficie afectada por grado de erosión hídrica y porcentaje del total del país.**

| Grado        | Superficie (miles de hectáreas) | Porcentaje del país |
|--------------|---------------------------------|---------------------|
| Nula         | 156,837.8                       | 80.05               |
| Ligera       | 11,696.7                        | 5.97                |
| Moderada     | 19,710.0                        | 10.06               |
| Alta         | 822.9                           | 0.42                |
| Muy alta     | 3,761.8                         | 1.92                |
| Extrema      | 3,095.6                         | 1.58                |
| <b>Total</b> | <b>195,924.8</b>                | <b>100.00</b>       |

Fuente: Elaboración propia.

Como puede apreciarse, en la reasignación de las categorías por fragilidad asociada a al espesor del suelo, sigue siendo el 80% del país sin afectación por erosión hídrica y la categoría ligera pasa de 14.45% a 5.97%, la moderada de 3.50% a 10.06%, la alta de 1.54% a 0.42%, la muy alta de 0.46% a 1.92% y aparece la clase extrema con 1.58% de la superficie del país. La figura 4.5, muestra la distribución de las categorías de erosión hídrica reasignadas conforme al espesor del suelo en la superficie del territorio nacional.



**Figura 4.5 Categorías de pérdida de suelo por erosión hídrica, considerando su profundidad.**

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, Universal Soil Loss Equation, Wischmeier, 1978) adaptado a las condiciones de México por Figueroa, et. al., (1991) y la metodología por SEMARNAT-UACH (2002).

### 4.1.3. EROSIÓN EÓLICA

Como ya se describió, se recalculó la pérdida del suelo afectada por el viento a partir del trabajo de SEMARNAT-UCh, (2002), verificando y actualizando los factores que definen la erosión eólica, haciendo un ajuste a escala 1:250 000 con la información generada en el proyecto de Actualización de la Delimitación de las Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas secas de la República Mexicana a escala regional a partir de las bases climáticas de balance de humedad en el suelo, definidas en las Áreas de Influencia Climática del país y recalculando la velocidad media del viento (Gómez et al., 2012).

El resumen de los resultados obtenidos en la elaboración de la cartografía de la erosión eólica, se presentan en el cuadro 4.4 y figura 4.6.

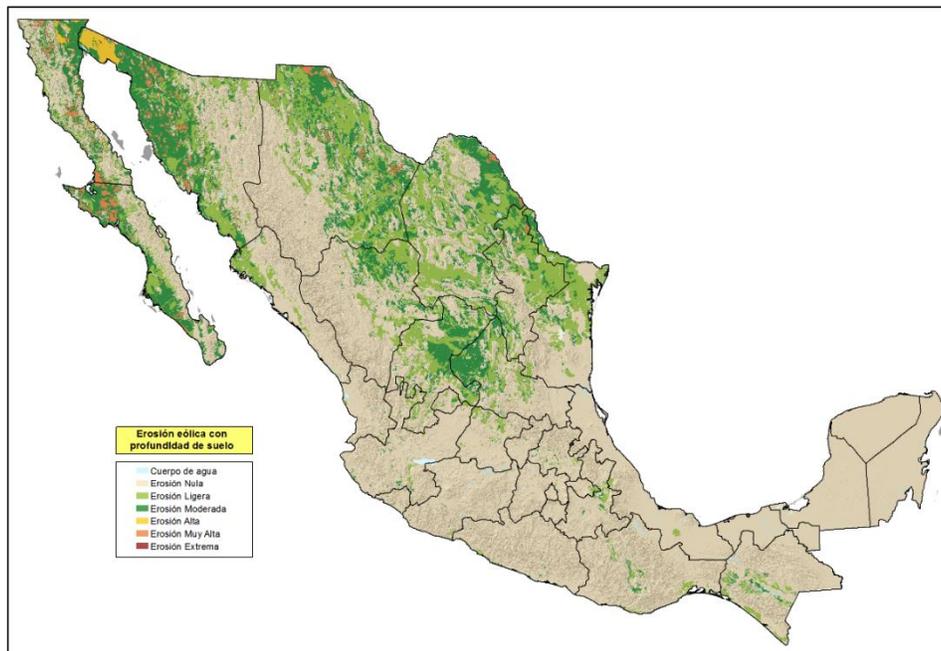
**Cuadro 4.4 Superficie afectada por grado de erosión eólica.**

| <b>Grado</b>       | <b>Superficie (miles de hectáreas)</b> | <b>Por ciento</b> |
|--------------------|--|-------------------|
| Sin erosión eólica | 127,468.7                              | 65.06             |
| Ligera             | 10,751.4                               | 5.49              |
| Moderada           | 45,236.6                               | 23.09             |
| Alta               | 11,474.5                               | 5.86              |
| Muy alta           | 988.3                                  | 0.5               |
| <b>Total</b>       | <b>195,924.8</b>                       | <b>100.0</b>      |

*Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo a la figura 4.6 la erosión eólica se concentra en el norte del país y de manera aislada en áreas de la región occidente, centro y sur principalmente en las áreas con déficit fuerte de humedad, baja cobertura vegetal y alta velocidad del viento. Con base en los resultados obtenidos, la superficie nacional afectada por algún grado de erosión eólica es de 68,456.1 miles de hectáreas, que representan el 34.94% del país y se ubica principalmente en la planicie costera del Pacífico norte en lo que corresponde al noroeste del estado de Sonora y una pequeña porción del noroeste de Sinaloa, así como en porciones de la Península de Baja California, en Mesa del Norte y en la planicie costera del Golfo Norte, en particular en la parte de Coahuila, Nuevo León y parte norte de Tamaulipas: La categoría de moderada afectación de este proceso fue la de mayor proporción en el país con 45,236.6 miles de hectáreas (23% del país). La erosión eólica en categoría alta se presenta en 11,442.0 miles de hectáreas (5.84% del territorio) la erosión eólica en grado alto ocupa una superficie de 11,474.5 miles de hectáreas (5.86% del país),

seguida en cuanto a superficie por el grado ligero y muy alto, que ocupan 10,751.4 y 988.2 miles de hectáreas, respectivamente.



**Figura 4.6 Grado de la superficie afectada por erosión eólica y su distribución.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de la Ecuación de Erosión Eólica (Wind Erosion Equation, Woodruff, 1965), adaptado para las condiciones de México por Figueroa, et. al. (1991) y la metodología SEMARNAT-UACH, (2002).*

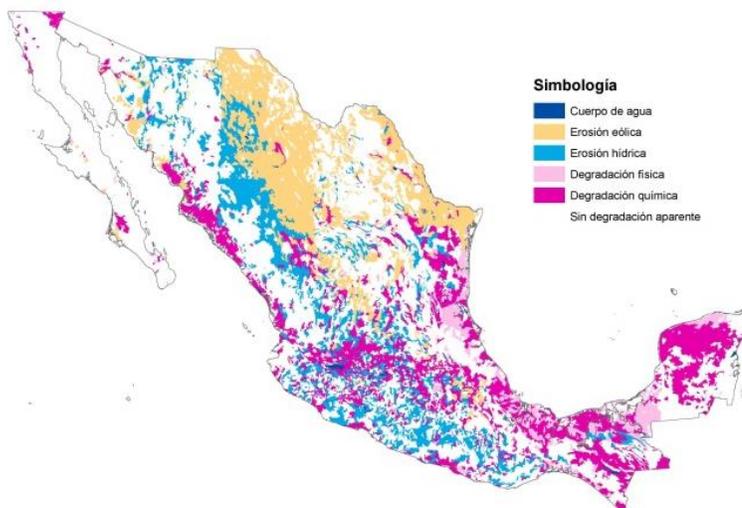
#### 4.1.4. DEGRADACIÓN DE SUELOS CAUSADA POR EL HOMBRE

Con base en información de la cartografía de degradación de suelos inducida por el hombre elaborada por SEMARNAT-CP (2002), el 45.2% de la superficie del país, presentaba algún grado de degradación, la degradación química representó el 17.9%, dentro de la cual la pérdida de la fertilidad de los suelos es el tipo de degradación química dominante. El segundo lugar, en cuanto a superficie afectada es por erosión hídrica (11.8%), seguida por la erosión eólica (9.5%) y la degradación física representó el 6%. Resultado del mismo trabajo, se tiene que el nivel predominante de degradación es el ligero con 23.2% de la superficie, seguido por moderado con 19.7%, severo con 1.4% y extremo con 0.9%.

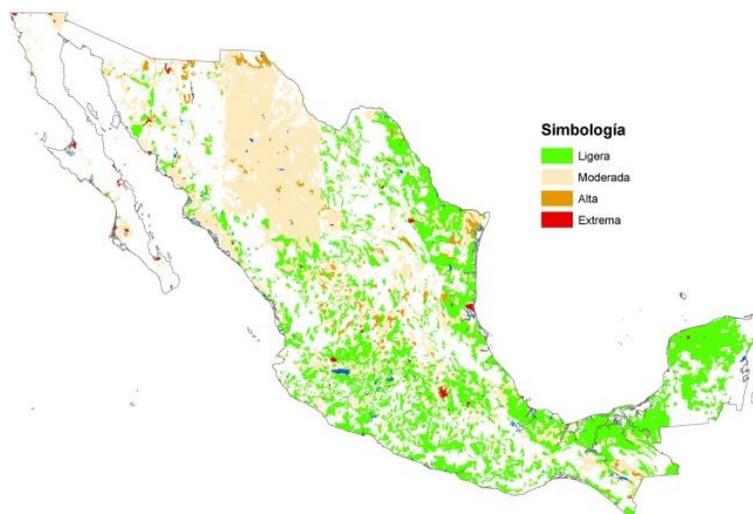
Entre las principales causas de degradación se identificaron el cambio de uso del suelo para fines agrícolas y el sobrepastoreo con 17.5% para cada uno de estos factores, la deforestación represento el 7.4% y la urbanización el 1.5%.

En la figura 4.7 se muestra la distribución a nivel nacional de los tipos de degradación de suelos, de acuerdo con los resultados de SEMARNAT-CP (2002).

a)



b)



**Figura 4.7 Distribución de la degradación de suelos causada por el hombre en México (2002). a) Tipo de degradación; b) Nivel de degradación.**

Fuente: SEMARNAT-CP (2002)

Para la degradación física y química se consideró la superficie obtenida por SEMARNAT-CP (2002), para el caso de degradación de suelos por erosión hídrica y eólica, se utilizaron las estimadas en el presente trabajo, lo anterior debido a que la distribución espacial de los tipos de degradación reportados por SEMARNAT-CP (2002), presentan un patrón limitado, en gran medida por el acceso del

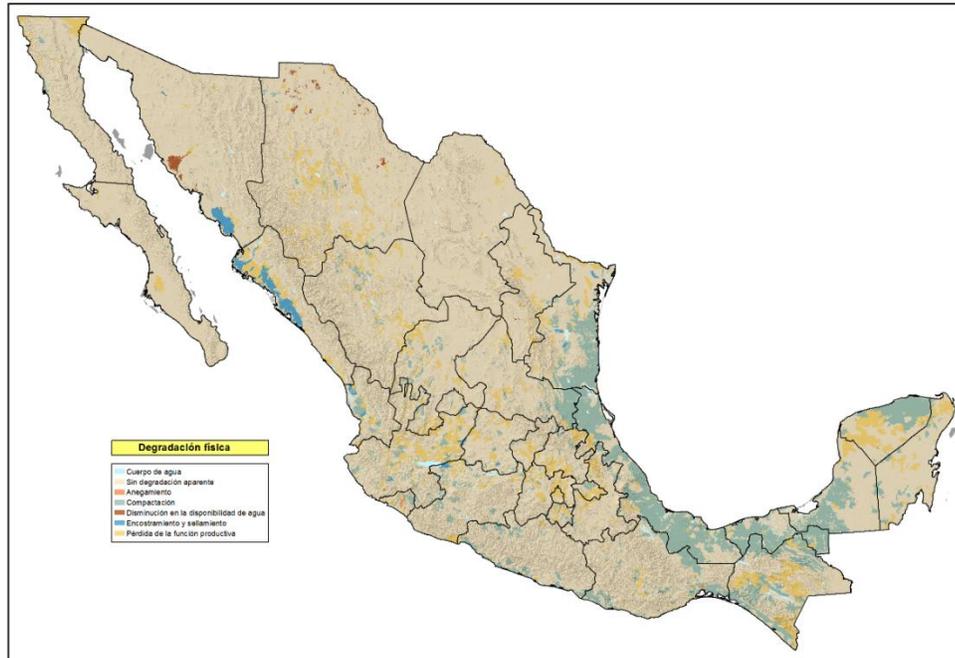
observador a las zonas de evaluación y que fue de manera cualitativa. En el cuadro 4.5 se muestran los diferentes niveles de afectación por degradación física y química y en la figura 4.8 se muestra por separado la degradación física (a) y la degradación química (b) en el país. La degradación física que se reporta inicialmente es de 6%, pero ajustada a los niveles de degradación se tiene que corresponde al 4.7%, esto dado que la primera categoría se clasificó originalmente como nula a ligera, así mismo para la degradación química, el valor inicial fue de 17.9%, pero con el ajuste a los niveles reportados fue de 8.1%.

**Cuadro 4.5 Superficie ocupada por degradación física y química del recurso edáfico.**

| Categoría de degradación | Degradación física              |               | Degradación química             |               |
|--------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|
|                          | Superficie (miles de hectáreas) | Porcentaje    | Superficie (miles de hectáreas) | Porcentaje    |
| Nula                     | 186,766.8                       | 95.3          | 180,076.1                       | 91.9          |
| Ligera                   | 5,819.0                         | 2.97          | 9,309.5                         | 4.75          |
| Moderada                 | 1,476.9                         | 0.75          | 6,276.2                         | 3.20          |
| Alta                     | 355.5                           | 0.18          | 239.1                           | 0.12          |
| Muy Alta                 | 1,506.6                         | 0.77          | 23.9                            | 0.01          |
| <b>Total</b>             | <b>195,924.8</b>                | <b>100.00</b> | <b>195,924.8</b>                | <b>100.00</b> |

*Fuente: Elaboración propia.*

a)



b)

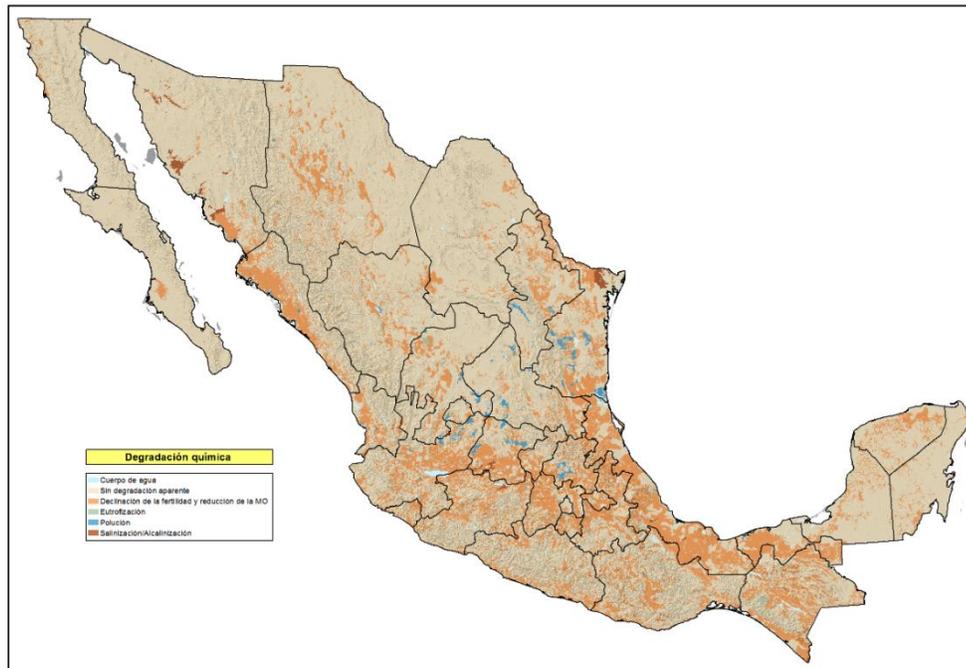


Figura 4.8 a) Degradación física, b) Degradación química dominante en el país.

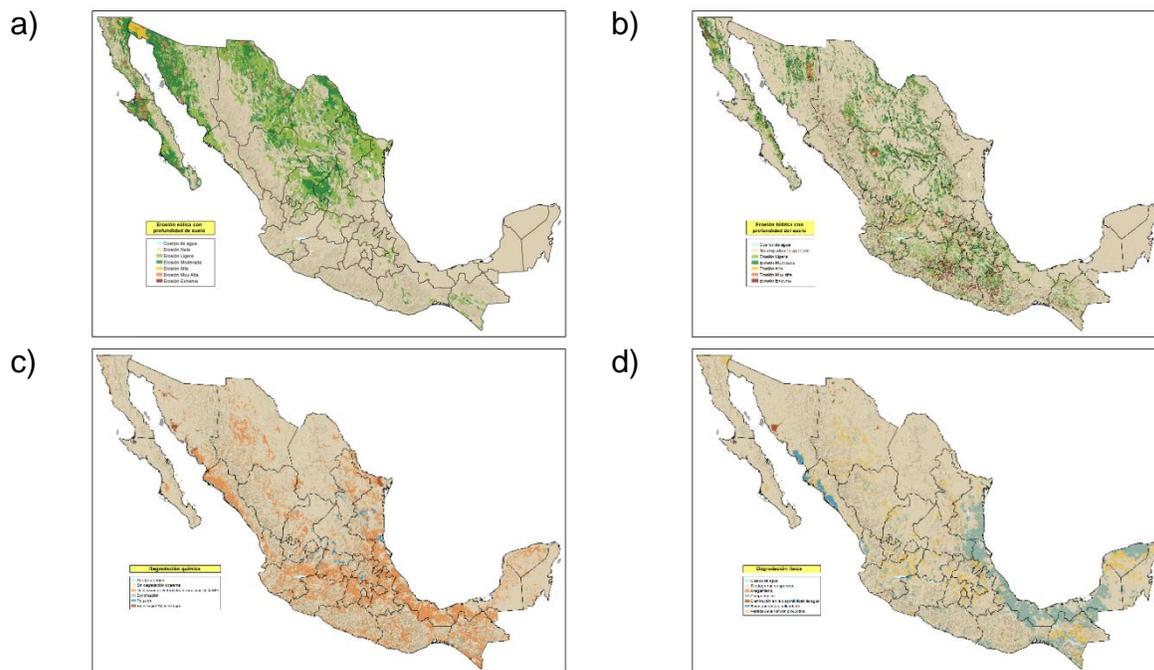
Fuente: SEMARNAT-CP (2002)

#### 4.2. INDICADOR INTEGRADO DE DEGRADACIÓN DEL RECURSO EDÁFICO

A partir de la información referida al recurso edáfico se tomaron las clases de degradación de suelos de acuerdo a su tipo (erosión hídrica, erosión eólica y degradación química y física), las cuales se integraron en un solo mapa y a partir del factor más limitativo se definió la clase de degradación del recurso edáfico en el país, como se describió con anterioridad en este apartado. Se identificaron las clases de degradación considerando el tipo de degradación que la definía en mayor afectación y la extensión de la superficie ocupada dentro de la unidad cartográfica. La descripción del tipo de degradación y nomenclatura asignada se indican a continuación:

1. Eo.- Erosión Eólica.
2. Eh.- Erosión Hídrica.
3. DSq. Degradación Física. Las superficies con suelos que presentan fase química salina, sódica y salina sódica de manera natural, no se consideran como áreas degradadas.
  - Qd Declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica
  - Qp Polución
  - Qs Salinización/Alcalinización
  - Qa Acidificación
  - Qe Eutroficación
4. DSf.- Degradación Física. El proceso fue similar al de Degradación Química, eliminando las áreas que se reportan con vegetación primaria (esto para la categoría "FU", referida a pérdida de la función productiva), pero en este caso, las áreas urbanas reportadas en el uso de suelo de la Serie V, se consideraron como degradación Física del Suelo
  - Fc Compactación
  - Fe Encostramiento y sellamiento
  - Fa Anegamiento
  - Fh Hundimiento del suelo superficial
  - Fu Pérdida de la función productiva
  - Fd Disminución de la disponibilidad de agua

La figura 4.9 muestra los mapas individuales con la distribución espacial de los diferentes factores con sus categorías de grados de degradación del suelo, a) para erosión eólica, b) para erosión hídrica, c) para degradación química y d) para degradación física.



**Figura 4.9 Tipos de degradación de suelos: a) Erosión eólica. b) Erosión hídrica. c) Degradación química. d) Degradación física.**

Con base en la integración de capas de información de degradación del recurso edáfico, se identificaron los tipos de degradación y grado de afectación en cada uno de los polígonos obtenidos, y partiendo del criterio de factor más limitativo, se definió la clase del indicador de degradación integrado del recurso edáfico. Es decir, en primer término, se identificaron tipos de degradación única en cada unidad cartográfica resultado del cruce de capas de información, los valores únicos de presencia o ausencia de degradación se asignaron en la categoría de degradación final considerando el factor más limitativo.

El resultado de la cartografía del indicador integrado de degradación dominante del recurso edáfico se muestra en el cuadro 4.6 y se detalla su distribución en el país en la figura 4.10. De acuerdo a esta figura, se observa una dominancia clara de la erosión eólica concentrada en superficies de la mesa del norte, planicie costera del pacifico norte, península de Baja California y la planicie costera del golfo norte del país. La erosión hídrica presenta un patrón de distribución que obedece a las condiciones de topografía pero limitado considerablemente por áreas en que la vegetación presenta una buena cobertura. La degradación química se asocia principalmente a las áreas con actividades agrícolas y la

degradación física a centros urbanos y zonas continuas en la Península de Yucatán.

**Cuadro 4.6 Indicador Integrado del factor edáfico por superficie y porcentaje del país.**

| <b>Indicador Integrado</b> | <b>Superficie (miles de hectáreas)</b> | <b>Por ciento</b> |
|----------------------------|--|-------------------|
| Degradación nula           | 72,453.0                               | 36.98             |
| Degradación ligera         | 47,433.4                               | 24.21             |
| Degradación moderada       | 53,291.5                               | 27.20             |
| Degradación severa         | 19,612.1                               | 10.01             |
| Degradación extrema        | 3,115.2                                | 1.59              |
| <b>Total</b>               | <b>195,924.8</b>                       | <b>100.0</b>      |

*Fuente: Elaboración propia.*

La figura 4.11 detalla los factores causantes de la degradación del recurso edáfico.



Figura 4.10 Indicador Integrado de Degradación del Recurso Edáfico, por grado de afectación.

Fuente: Elaboración propia.



## 5. RECURSOS HÍDRICOS

---

En el componente de recursos hídricos se utilizó información referente a cuatro variables: a) el estado de los acuíferos en el año 2006; b) el estado de los acuíferos en el año 2010; c) disponibilidad de agua superficial en las cuencas del país, d) la contaminación potencial en los acuíferos y e) acuíferos con intrusión salina. Además, para la determinación del estado de los recursos hídricos, se incluyó la descripción sobre tres variables importantes: los resultados de calidad del agua, y la desecación de los cuerpos de agua.

Las fuentes de información principal fueron las coberturas temáticas e información reportada por la Comisión Nacional del Agua, en el compendio anual de Estadísticas del Agua en México (EAM) en el período 2000 a 2012 (CONAGUA, 2013).

Para el índice de calidad de agua se usó la información reportada por el Sistema Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua (Estadísticas del Agua en México en los años 2000 a 2012) (CONAGUA, 2013), el cual es importante tomarlo como referencia respecto a la evolución del grado de contaminación de los recursos hídricos derivado del aprovechamiento de este recurso por la población. Esta información es puntual, por lo que no fue posible asociarlo a un área geográfica en específico pues depende de otros factores tales como el escurrimiento superficial, la cercanía a las descargas de aguas residuales y la época del año en que son tomadas las muestras, entre otros.

La desecación de cuerpos de agua se presenta como información relevante pero este apartado se incluyó en el análisis de cambio de uso del suelo, en donde se identificaron las áreas que han presentado desecación de cuerpos de agua y las zonas sometidas a inundaciones debido a actividades antrópicas, como resultado de la construcción de presas.

El esquema metodológico de las variables utilizadas para obtener el indicador integrado del recurso hídrico se muestra en la siguiente figura:

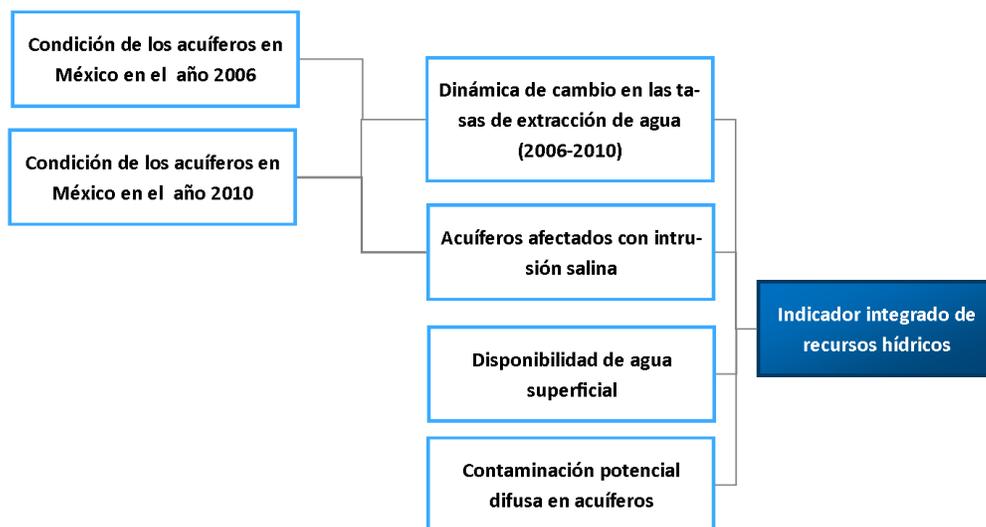


Figura 5.1 Esquema de integración de la degradación de los recursos hídricos

Fuente: Elaboración propia.

La dinámica de cambio en las tasas de extracción de agua en acuíferos consideró información sobre los años 2006 y 2010 (CONAGUA, 2013). Se unieron las bases de datos y según el comportamiento observado le fue asignada una clase de acuerdo con:

-*Cambios muy altos*: acuífero con margen de extracción en 2006 pero sobreexplotado en 2010. También en acuíferos en equilibrio en 2006 y sobreexplotados en 2010.

-*Cambios altos*: Se definieron en acuíferos sobreexplotados en 2006 y sobreexplotados en 2010 así como en acuíferos gravemente sobreexplotados en 2006 y sobreexplotados en 2010.

-*Cambios moderados*: Se presenta en acuíferos sobreexplotados en 2006 y subexplotados en 2010; en acuíferos sobreexplotados en 2006 y que se encuentran sin decreto en 2010 y también en acuíferos gravemente sobreexplotados en 2006 y subexplotados en 2010.

-*Cambios bajos*: Acuíferos en equilibrio en 2006 y subexplotado en 2010; acuífero en equilibrio en 2006 y sin decreto en 2010; acuífero con margen de extracción en 2006 y subexplotado en 2010 así como acuífero con margen de extracción en 2006 y sin decreto en 2010.

Toda vez que se integró la cartografía antes señalada se analizó su comportamiento y se establecieron cinco niveles de afectación para conformar el indicador integrado de recursos hídricos:

- H5: Degradación Extrema
- H4: Degradación Severa
- H3: Degradación Moderada
- H2: Degradación Ligera
- H1: Sin degradación aparente

La integración de las variables que determinan las clases de nivel de degradación de los recursos hídricos se presentan en un esquema de cuatro entradas en el cuadro 5.1, en el plano horizontal, en primer lugar se determina la condición de afectación por intrusión salina (con intrusión y sin intrusión), seguido de los tres niveles de disponibilidad de aguas superficiales (sin escorrentía, déficit y con disponibilidad) y en tercer plano se incluyen los cuatro niveles de contaminación potencial de los acuíferos (CP4 contaminación potencial muy alta; CP3 contaminación potencial alta; CP2 contaminación potencial moderada y CP1 contaminación potencial baja); en el plano vertical se relacionan las anteriores condiciones con los cuatro niveles de dinámica de cambio en la extracción de agua de los acuíferos entre el año 2006 y 2010 (A4 acuíferos con cambios muy altos; A3 acuíferos con cambios altos; A2 acuíferos con cambios moderados y A1 acuíferos con cambios bajos) según la información del 2010 (sobreexplotado, subexplotado y sin información).

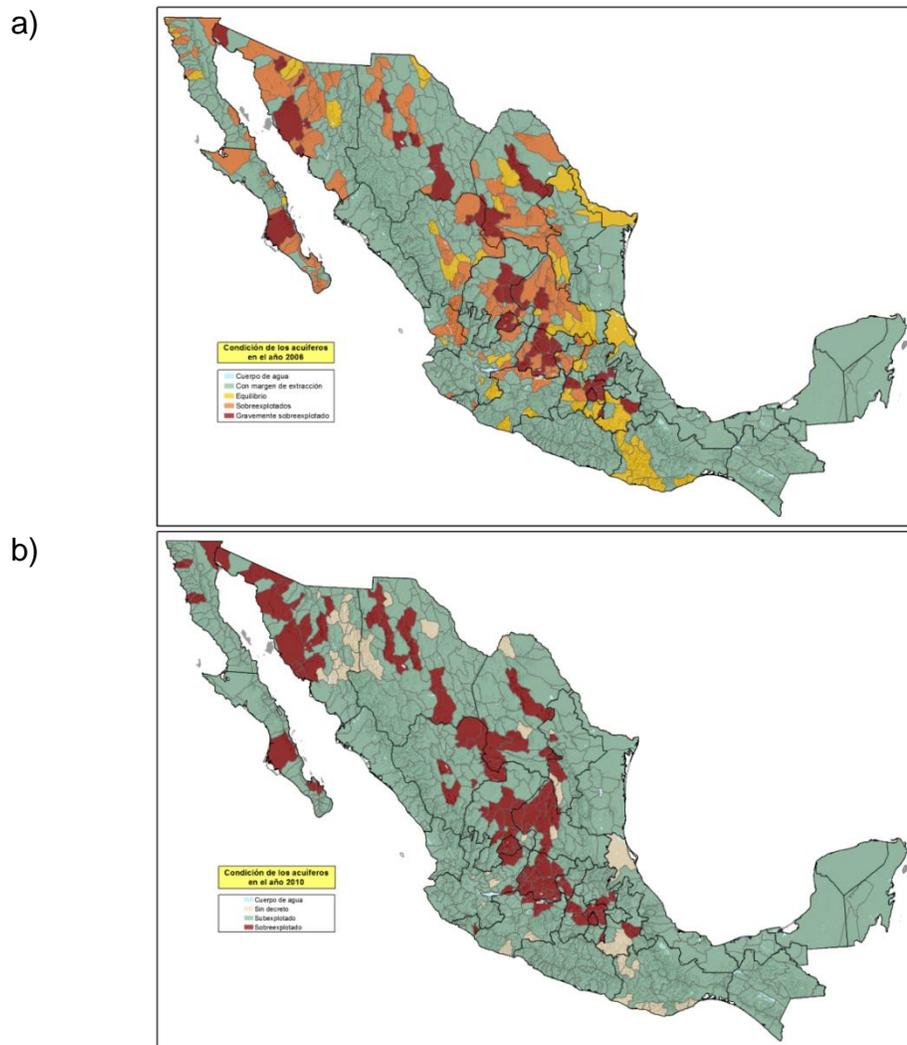
**Cuadro 5.1 Matriz de asignación del nivel de afectación en el indicador integrado de recursos hídricos**

|   |                       |    | Con Intrusión salina |     |     |     |         |     |     |     |                |     | Sin Intrusión salina |     |                 |     |     |     |         |     |     |     |                |     |     |     |
|---|-----------------------|----|----------------------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|----------------|-----|----------------------|-----|-----------------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|-----|
|   |                       |    | AGUA SUPERFICIAL     |     |     |     |         |     |     |     |                |     | AGUA SUPERFICIAL     |     |                 |     |     |     |         |     |     |     |                |     |     |     |
|   |                       |    | Sin escorrentía      |     |     |     | Déficit |     |     |     | Disponibilidad |     |                      |     | Sin escorrentía |     |     |     | Déficit |     |     |     | Disponibilidad |     |     |     |
|   |                       |    | CP4                  | CP3 | CP2 | CP1 | CP4     | CP3 | CP2 | CP1 | CP4            | CP3 | CP2                  | CP1 | CP4             | CP3 | CP2 | CP1 | CP4     | CP3 | CP2 | CP1 | CP4            | CP3 | CP2 | CP1 |
| <b>CONDICIÓN DEL ACUÍFERO, AÑO 2010</b> | <b>Sobreexplotado</b> | A4 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H3                   | H4  | H3              | H3  | H2  |     |         |     |     |     |                |     |     |     |
|   |                       | A3 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H3                   | H2  | H3              | H2  | H2  | H1  |         |     |     |     |                |     |     |     |
|   |                       | A2 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H4                   | H3  | H2              | H3  | H2  | H2  | H1      |     |     |     |                |     |     |     |
|   |                       | A1 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H4                   | H3  | H2              | H3  | H2  | H2  | H1      |     |     |     |                |     |     |     |
|   | <b>Subexplotado</b>   | A4 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H3                   | H2  | H3              | H2  | H2  | H1  |         |     |     |     |                |     |     |     |
|   |                       | A3 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H3                   | H2  | H3              | H2  | H2  | H1  |         |     |     |     |                |     |     |     |
|   |                       | A2 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H2                   | H1  | H3              | H2  | H2  | H0  |         |     |     |     |                |     |     |     |
|   |                       | A1 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H2                   | H1  | H3              | H2  | H2  | H0  |         |     |     |     |                |     |     |     |
|   | <b>Sin decreto</b>    | A4 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H3                   | H2  | H3              | H2  | H2  | H1  |         |     |     |     |                |     |     |     |
|   |                       | A3 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H3                   | H2  | H3              | H2  | H2  | H1  |         |     |     |     |                |     |     |     |
|   |                       | A2 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H2                   | H1  | H2              | H1  | H1  | H0  |         |     |     |     |                |     |     |     |
|   |                       | A1 | H4                   | H4  | H4  | H4  | H4      | H4  | H4  | H4  | H4             | H4  | H2                   | H1  | H2              | H1  | H1  | H0  |         |     |     |     |                |     |     |     |

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1. CONDICIÓN DE LOS ACUÍFEROS

Como se señaló previamente, la dinámica de cambio en las tasas de extracción de agua en acuíferos consideró información sobre los años 2006 y 2010 (CONAGUA, 2011), a partir de las cuales se definieron los tipos de cambio encontrados. En la figura 5.2 se presenta la distribución geográfica en México de la condición de los acuíferos, en a) para el 2006 y en b) para el 2010.



**Figura 5.2 Condición de extracción de los acuíferos a) en 2006 y b) en 2010**  
Fuente: CONAGUA, *Estadísticas del Agua en México, 2011*.

En el cuadro 5.2, se muestra el porcentaje de la superficie del país por grado de afectación, tanto para el 2006 como para el 2010. Para el año 2006 los acuíferos sobre explotados equivalían al 23% del total nacional, en donde se

incluyeron las clase gravemente sobreexplotado y sobreexplotado, mientras que para el año 2010 fueron de 16.3% y no aparece la clase de gravemente sobreexplotado. Para el 2006, los acuíferos con margen de extracción equivalían al 68.3% y para el 2010 fueron de 78.5%. Cabe subrayar las diferencias en los criterios de definición de los grados presentados en los dos años que incluye el reporte y, seguramente, en los métodos empleados para el cálculo de la disponibilidad hídrica, los cuales no se describen en la fuente de información.

**Cuadro 5.2 Comparativo de grado de explotación de los acuíferos en 2006 y 2010 para la República Mexicana.**

| Condición en 2006         |            | Condición en 2010 |            |
|---------------------------|------------|-------------------|------------|
| Grado                     | Superficie | Grado             | Superficie |
| Gravemente Sobreexplotado | 7.6%       | Sobreexplotado    | 16.3%      |
| Sobreexplotados           | 15.4%      | Subexplotado      | 78.5%      |
| Equilibrio                | 8.7%       | Sin dato          | 5.2%       |
| Con Margen de Extracción  | 68.3%      |                   |            |

*Fuente: Elaboración propia.*

La importancia del agua subterránea se manifiesta en la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios. Alrededor del 37% (30.1 miles de millones de metros cúbicos para el año 2010) del volumen total concesionado fue para uso agrícola y el resto para otros usos.

Para fines de administración del agua subterránea, el país se ha dividido en 653 acuíferos, cuyos nombres oficiales fueron publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de diciembre de 2001. Es importante señalar que a partir de la década de los setenta ha aumentado de manera significativa el número de acuíferos sobreexplotados (CONAGUA, 2011). Al 31 de diciembre de 2010 existían 101 acuíferos explotados, de los cuales se extrae aproximadamente el 49% del agua subterránea para todos los usos. De acuerdo a la información reportada en 2011 (CONAGUA, 2011), se presenta la lista de los acuíferos sobreexplotados para el 2010, los cuales de definieron en función de la relación extracción/recarga, en el cuadro 5.3 se presenta el listado de dichos acuíferos.

**Cuadro 5.3 Acuíferos sobreexplotados en el año 2010**

| Clave | Nombre                           | Estado | Clave | Nombre                       | Estado |
|-------|----------------------------------|--------|-------|------------------------------|--------|
| 101   | Valle De Aguascalientes          | Ags.   | 1117  | Valle De Acámbaro            | Gto.   |
| 102   | Valle De Chicalote               | Ags.   | 1118  | Salvatierra-Acámbaro         | Gto.   |
| 103   | El Llano                         | Ags.   | 1119  | Irapuato-Valle               | Gto.   |
| 105   | Valle De Calvillo                | Ags.   | 1120  | Pénjamo-Abasolo              | Gto.   |
| 208   | Ojos Negros                      | B.C.   | 1121  | Lago de Cuitzeo              | Gto.   |
| 210   | Valle De Mexicali                | B.C.   | 1122  | Ciénaga Prieta-Moroleon      | Gto.   |
| 212   | Maneadero                        | B.C.   | 1402  | Toluquilla                   | Jal.   |
| 217   | San Rafael                       | B.C.   | 1408  | La Barca                     | Jal.   |
| 218   | San Telmo                        | B.C.   | 1422  | Encarnación                  | Jal.   |
| 221   | San Quintín                      | B.C.   | 1501  | Valle De Toluca              | Mex.   |
| 246   | San Simón                        | B.C.   | 1502  | Ixtlahuaca-Atzacomulco       | Mex.   |
| 306   | Santo Domingo                    | B.C.S  | 1506  | Chalco-Amecameca             | Mex.   |
| 310   | Melitín Albañez                  | B.C.S  | 1507  | Texcoco                      | Mex.   |
| 323   | Los Planes                       | B.C.S  | 1508  | Cuatitlán-Pachuca            | Mex.   |
| 324   | La Paz                           | B.C.S  | 1605  | Pastor Ortiz-La Piedad       | Mich.  |
| 326   | Alfredo V. Bonfil                | B.C.S  | 1609  | Briseñas-Yurecuaro           | Mich.  |
| 509   | La Paila                         | Coah.  | 1704  | Tepalcingo-Axochiapan        | Mor.   |
| 511   | Región Manzanera-Zapaliname      | Coah.  | 1908  | Campo Mina                   | N.L.   |
| 523   | Principal-Región Lagunera        | Coah.  | 1916  | Navidad-Potosí-Raíces        | N.L.   |
| 525   | Las Delicias                     | Coah.  | 2101  | Valle De Tecamachalco        | Pue.   |
| 614   | Valle De Ixtlahuacan             | Col.   | 2201  | Valle De Querétaro           | Qro.   |
| 801   | Ascensión                        | Chih.  | 2202  | Valle De Amazcala            | Qro.   |
| 803   | Baja Babicora                    | Chih.  | 2203  | Valle De San Juan Del Rio    | Qro.   |
| 804   | Buenaventura                     | Chih.  | 2204  | Valle De Buenavista          | Qro.   |
| 805   | Cuauhtémoc                       | Chih.  | 2402  | El Barril                    | S.L.P. |
| 807   | El Sauz-Encinillas               | Chih.  | 2403  | Salinas De Hidalgo           | S.L.P. |
| 812   | Palomas-Guadalupe Victoria       | Chih.  | 2408  | Villa De Arista              | S.L.P. |
| 819   | Laguna La Vieja                  | Chih.  | 2411  | San Luis Potosí              | S.L.P. |
| 821   | Flores Magón-Villa Ahumada       | Chih.  | 2412  | Jaral Berrios-Villa De Reyes | S.L.P. |
| 830   | Chihuahua-Sacramento             | Chih.  | 2413  | Matehuala-Huizache           | S.L.P. |
| 831   | Meoqui-Delicias                  | Chih.  | 2601  | Valle S. L. Rio Colorado     | Son.   |
| 832   | Jimenez-Camargo                  | Chih.  | 2603  | Sonoyta-Puerto Peñasco       | Son.   |
| 833   | Valle De Juárez                  | Chih.  | 2605  | Caborca                      | Son.   |
| 847   | Los Juncos                       | Chih.  | 2606  | Los Chirriones               | Son.   |
| 848   | Laguna de Palomas                | Chih.  | 2609  | Busani                       | Son.   |
| 901   | Zona Metropolitana Cd. De México | D.F.   | 2619  | Costa De Hermosillo          | Son.   |
| 1001  | Valle De Santiaguillo            | Dgo.   | 2621  | Mesa Del Seri-La Victoria    | Son.   |
| 1003  | Valle Del Guadiana               | Dgo.   | 2624  | Rio Sonora                   | Son.   |
| 1022  | Villa Juárez                     | Dgo.   | 2626  | Rio Zanjón                   | Son.   |
| 1023  | Ceballos                         | Dgo.   | 2635  | Valle De Guaymas             | Son.   |
| 1024  | Oriente Aguanaval                | Dgo.   | 3210  | Benito Juárez                | Zac.   |
| 1026  | Vicente Suarez                   | Dgo.   | 3211  | Villanueva                   | Zac.   |
| 1104  | Laguna Seca                      | Gto.   | 3212  | Ojocaliente                  | Zac.   |
| 1106  | Dr. Mora-San Jose De Iturbide    | Gto.   | 3214  | Aguanaval                    | Zac.   |
| 1108  | Cuenca Alta Del Rio Laja         | Gto.   | 3223  | Guadalupe De Las Corrientes  | Zac.   |
| 1110  | Silao-Romita                     | Gto.   | 3224  | Puerto Madero                | Zac.   |
| 1113  | Valle De León                    | Gto.   | 3225  | Calera                       | Zac.   |
| 1114  | Rio turbio                       | Gto.   | 3226  | Chupaderos                   | Zac.   |
| 1115  | Valle De Celaya                  | Gto.   | 3228  | La Blanca                    | Zac.   |
| 1116  | Valle De La Cueva                | Gto.   | 3229  | Loreto                       | Zac.   |

Fuente: CONAGUA, *Estadísticas del Agua en México, 2011.*

Al considerar la dinámica de cambio, entre los dos años estudiados predomina el cambio bajo, es decir, aquellos acuíferos donde predominantemente existía margen de extracción en el año más reciente mantuvieron su condición de subexplotación. Además, aquellos que en el año 2006 fueron identificados como gravemente sobreexplotados y sobreexplotados mantuvieron su estatus para el año 2010. Los principales cambios se observaron en las Baja Californias, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Nayarit, Querétaro e Hidalgo.

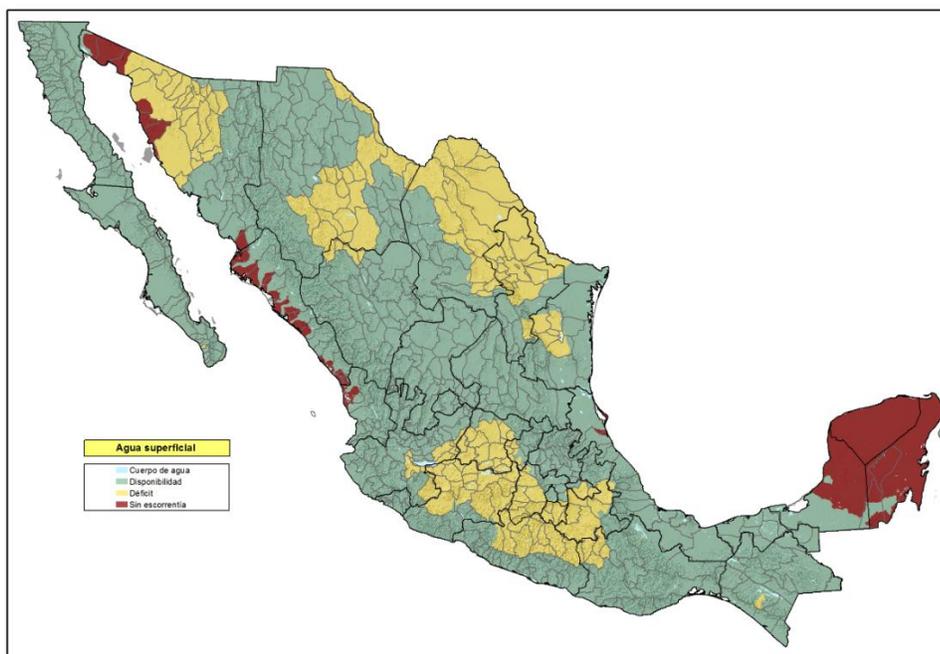
**Cuadro 5.4 Superficie (%) nacional de acuerdo con la dinámica de cambio en acuíferos de 2006 a 2010.**

| Nivel de cambio | Superficie (miles de Ha.) | Superficie en % |
|-----------------|---------------------------|-----------------|
| Cambio Muy Alto | 14,106.5                  | 7.2%            |
| Cambio Alto     | 30,956.1                  | 15.8%           |
| Cambio Moderado | 783.7                     | 0.4%            |
| Cambio Bajo     | 150,078.4                 | 76.6%           |
| <b>Total</b>    | <b>195,924.8</b>          | <b>100.0%</b>   |

*Fuente: Elaboración propia.*

## 5.2. DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES

La disponibilidad de aguas superficiales en las distintas cuencas hidrográficas, se presenta en la figura 5.3. De acuerdo con las cifras de CONAGUA (2011), el 68% de la superficie del país en las cuencas nacionales se enmarcan con disponibilidad de aguas superficiales, en el 8% del territorio no se registra escorrentía pero el 24% se encuentra con déficit de aguas superficiales.



**Figura 5.3 Cuencas hidrográficas definidas con disponibilidad, déficit o sin escorrentía superficial**

Fuente: Elaborado a partir de CONAGUA, 2011

## 5.3. CONTAMINACIÓN POTENCIAL

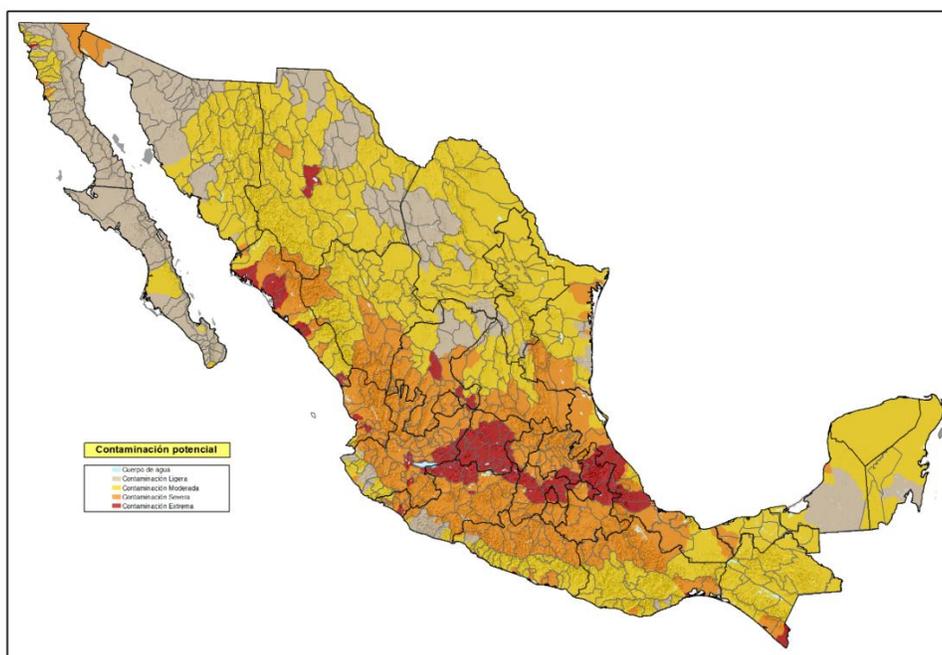
La información de contaminación en cuencas se obtuvo a partir de los resultados reportados por Cotler (2008), quien menciona que los valores más altos de contaminación potencial difusa expresan el riesgo que los agroquímicos impacten al suelo y posteriormente a los cuerpos de agua. Los valores muy altos de contaminación potencial difusa encontradas en las cuencas del Pacífico norte, centro del país y las cuencas que drenan al Golfo de México podrían reflejar la extensión ocupada por la agricultura, que abarca entre el 45 y 60% de la superficie de esas cuencas en las que entre 35 y 55% de la agricultura utiliza agroquímicos de manera extensiva.

El cuadro 5.5 muestra el número de cuencas y el porcentaje de extensión territorial del país con contaminación potencial difusa por el uso de agroquímicos. La figura 5.4 presenta los resultados de la cartografía de riesgo potencial de contaminación difusa por agroquímicos del país a nivel de cuenca.

**Cuadro 5.5 Número de cuencas y porcentaje de la superficie nacional ocupado por contaminación potencial difusa por uso de agroquímicos.**

| Categoría de Contaminación potencial | Número de cuencas | Por ciento del total (superficie) |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Bajo                                 | 61                | 18.59                             |
| Moderado                             | 182               | 49.57                             |
| Alto                                 | 114               | 26.10                             |
| Muy alto                             | 38                | 5.74                              |

Fuente: *Elaboración propia.*



**Figura 5.4 Contaminación potencial difusa por agroquímicos a nivel de cuenca en México**

Fuente: *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización, INE. Cotler (2008).*

#### 5.4. CALIDAD DEL AGUA

Los niveles de contaminación de agua se reportan desde 1990, sin embargo, a partir del 2003 se ha sistematizado la información y se presenta en los informes de la Red de Monitoreo de Calidad del Agua de la Comisión Nacional del Agua

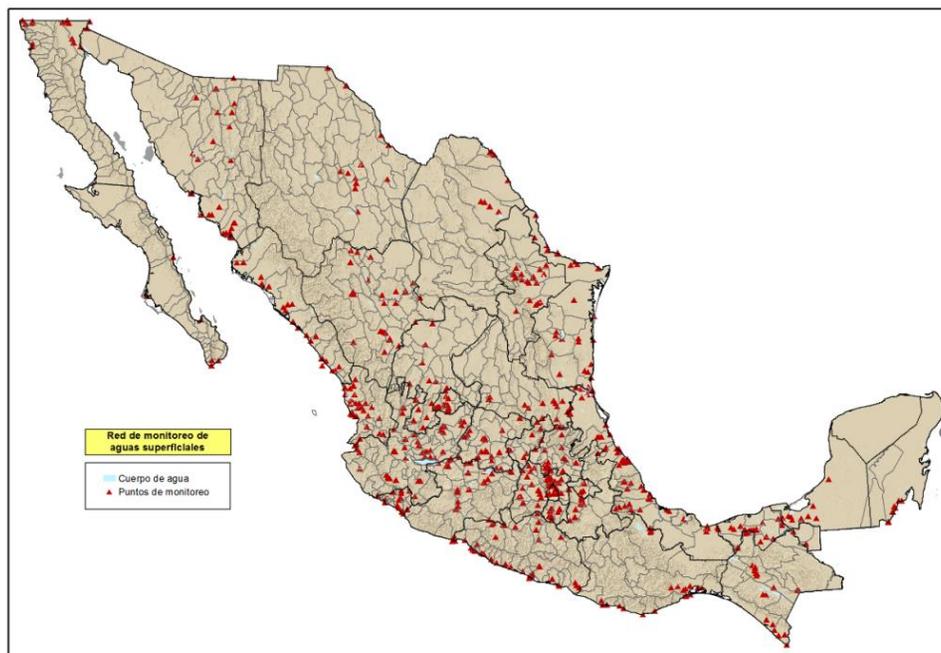
(CONAGUA, 2005), por lo que desde dicho año a la fecha es posible realizar comparaciones en cada una de las estaciones y puntos de muestreo. Las escalas de clasificación de calidad de agua, empleados por la Red Nacional de Monitoreo (RMN) son: Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Solubles Totales (SST), la cual se presenta en el cuadro 5.6.

**Cuadro 5.6 Escalas de clasificación de la calidad del agua de acuerdo a la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días.**

| CRITERIO<br>mg/l      | CLASIFICACIÓN  |
|-----------------------|--|
| $DBO_5 \leq 3$        | EXCELENTE<br>No contaminada  |
| $3 < DBO_5 \leq 6$    | BUENA CALIDAD<br>Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable  |
| $6 < DBO_5 \leq 30$   | ACEPTABLE<br>Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente |
| $30 < DBO_5 \leq 120$ | CONTAMINADA<br>Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal  |
| $DBO_5 > 120$         | FUERTEMENTE CONTAMINADA<br>Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales                     |

*Fuente: Elaboración propia.*

En cuanto a la distribución de los puntos de monitoreo el número de sitios ha cambiado en el período de observación. En la figura 5.5, se muestra la distribución de los sitios de muestreo establecidos en el año 2003.



**Figura 5.5 Estaciones de monitoreo de agua superficial**

*Fuente: CONAGUA, Estadísticas del Agua en México, 2005 y 2011.*

La información detallada del monitoreo anual de la calidad de agua de la Red Nacional de Monitoreo (RNM), (ver anexos). El resumen y comparación de los resultados del monitoreo, se presentan a continuación.

En el cuadro 5.7, se muestra el resumen para los años 2003 al 2012 de la distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador de Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días ( $DQO_5$ ), de acuerdo a la información reportada en las Estadísticas del Agua en México, editadas anualmente por CONAGUA y dicha información se resume en la figura 5.6.

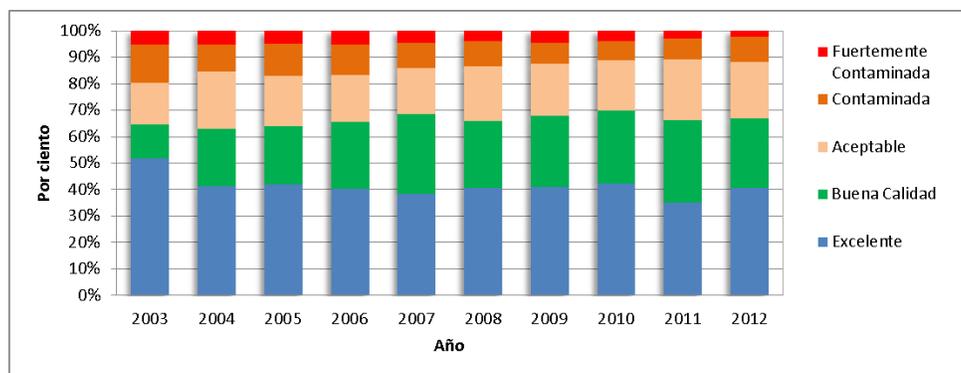
Es importante señalar que no todos los sitios de la RNM, tanto en número y en ubicación geográfica, son constantes, por lo que se reportan como el porcentaje de sitios ubicados en cada categoría, lo cual consideramos que es un indicador del estado de la calidad del agua superficial. El comportamiento de la calidad del agua clasificada como excelente disminuyó drásticamente del 2003 al 2004 de 51.8% al 41.2%, posteriormente presentó variaciones cercanas al último valor. Esta

reducción impacto al porcentaje de sitios catalogados como de buena calidad y calidad aceptable, pasando de 12.90% a 26.16% en el caso de los sitios de buena calidad y de 15.70% a 21.33% de sitios catalogados como aceptable, para los periodos de 2003 al 2012. Para la clase de sitios contaminados y fuertemente contaminados, se presentó una reducción significativa del 2003 al 2012, para el caso específico de los fuertemente contaminados se dio un cambio de 5.30% en el año 2003 a 2.24% en el año 2012 y en los contaminados de 14.3% a 9.45%.

**Cuadro 5.7 Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador DBO5 en el período 2003 al 2012.**

| Año             | Excelente    | Buena Calidad | Aceptable    | Contaminada | Fuertemente Contaminada |
|-----------------|--------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------|
| 2003            | 51.80        | 12.90         | 15.70        | 14.30       | 5.30                    |
| 2004            | 41.20        | 21.90         | 21.40        | 10.30       | 5.30                    |
| 2005            | 42.00        | 22.00         | 19.00        | 12.00       | 5.00                    |
| 2006            | 40.40        | 25.30         | 17.60        | 11.30       | 5.40                    |
| 2007            | 38.20        | 30.20         | 17.60        | 9.40        | 4.60                    |
| 2008            | 40.60        | 25.30         | 20.50        | 9.50        | 4.10                    |
| 2009            | 41.00        | 26.80         | 19.70        | 7.90        | 4.60                    |
| 2010            | 42.30        | 27.50         | 18.90        | 7.50        | 3.80                    |
| 2011            | 35.00        | 31.10         | 23.10        | 7.80        | 3.00                    |
| 2012            | 40.65        | 26.16         | 21.33        | 9.62        | 2.24                    |
| <b>Promedio</b> | <b>41.32</b> | <b>24.92</b>  | <b>19.48</b> | <b>9.96</b> | <b>4.33</b>             |
| <b>Máximo</b>   | <b>40.27</b> | <b>26.12</b>  | <b>19.86</b> | <b>9.53</b> | <b>4.24</b>             |
| <b>Mínimo</b>   | <b>40.17</b> | <b>26.54</b>  | <b>19.71</b> | <b>9.45</b> | <b>4.13</b>             |

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.6 Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador DBO<sub>5</sub> en el período 2003 al 2012.**

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 5.8 se presenta la distribución porcentual de la calidad de agua de acuerdo a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) para los sitios reportados por la RNM en el período comprendido por los años 2003 a 2012 y la distribución gráfica de los valores se presenta en la figura 5.7.

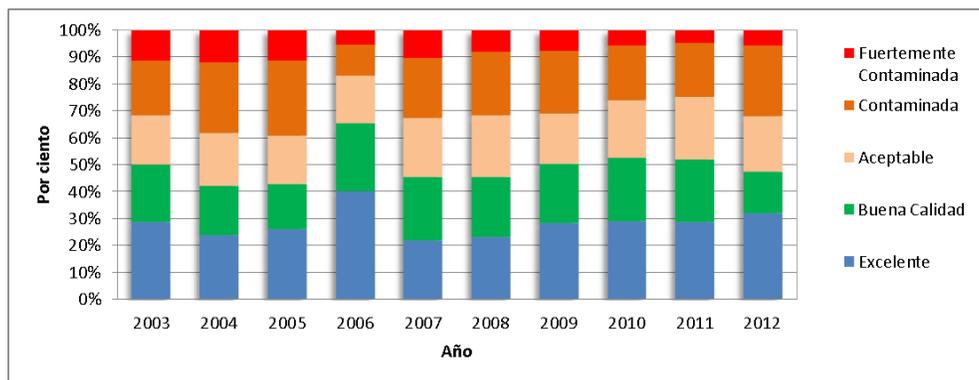
A diferencia de DBO<sub>5</sub>, el comportamiento de DQO es más irregular para las diferentes categorías de calidad del agua. Para la calidad excelente, del 2003 al 2012 se presentó un incremento de 3.34%, aunque la variación fue considerable en el periodo reportado, con valores de hasta 40.40% para el 2006 a 21.90% para el 2007.

La categoría de buena calidad mostró una reducción de 6.21% de sitios de la RNM en el año 2012 en relación con el año 2003. La calidad aceptable presentó un ligero incremento en los sitios con esta categoría al pasar de 18.4% en 2003 a 20.95% en el 2012. La calidad contaminada presentó también fuertes variaciones, con un incremento de 5.82% del 2003 al 2012, mientras que la categoría de sitios fuertemente contaminados pasó de 11.00% en el año 2003 a 5.50% para el año 2012.

**Cuadro 5.8 Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador DQO en el período 2003 al 2012.**

| <b>Año</b>      | <b>Excelente</b> | <b>Buena Calidad</b> | <b>Aceptable</b> | <b>Contaminada</b> | <b>Fuertemente Contaminada</b> |
|-----------------|------------------|----------------------|------------------|--------------------|--------------------------------|
| 2003            | 28.80            | 21.40                | 18.40            | 20.40              | 11.00                          |
| 2004            | 24.00            | 18.20                | 19.60            | 26.20              | 11.90                          |
| 2005            | 26.00            | 17.00                | 18.00            | 28.00              | 11.00                          |
| 2006            | 40.40            | 25.30                | 17.60            | 11.30              | 5.40                           |
| 2007            | 21.90            | 23.70                | 21.90            | 22.40              | 10.10                          |
| 2008            | 23.30            | 22.20                | 22.90            | 23.70              | 7.90                           |
| 2009            | 28.30            | 22.10                | 18.60            | 23.50              | 7.50                           |
| 2010            | 29.20            | 23.60                | 21.20            | 20.40              | 5.60                           |
| 2011            | 28.70            | 23.30                | 23.50            | 19.90              | 4.60                           |
| 2012            | 32.14            | 15.19                | 20.95            | 26.22              | 5.50                           |
| <b>Promedio</b> | <b>28.27</b>     | <b>21.20</b>         | <b>20.27</b>     | <b>22.20</b>       | <b>8.05</b>                    |
| <b>Máximo</b>   | <b>28.22</b>     | <b>21.18</b>         | <b>20.45</b>     | <b>22.38</b>       | <b>7.76</b>                    |
| <b>Mínimo</b>   | <b>28.64</b>     | <b>21.48</b>         | <b>20.54</b>     | <b>22.00</b>       | <b>7.34</b>                    |

*Fuente: Elaboración propia.*



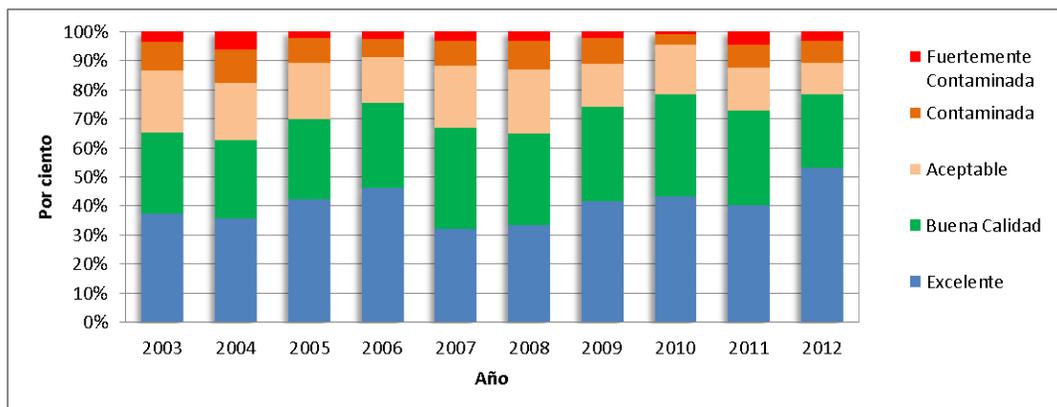
**Figura 5.7 Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador DQO en el período 2003 al 2012.**

Fuente: Elaboración propia.

El tercer parámetro empleado por la RNM como criterio en la clasificación de la calidad de agua superficial es la concentración de Sólidos Solubles Totales (SST), cuya información se reporta en el cuadro 5.9 y se muestra el resumen anual en la figura 5.8.

**Cuadro 5.9 . Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador SST en el período 2003 al 2012.**

| Año             | Excelente    | Buena Calidad | Aceptable    | Contaminada | Fuertemente Contaminada |
|-----------------|--------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------|
| 2003            | 44.40        | 28.70         | 16.50        | 7.70        | 2.70                    |
| 2004            | 45.50        | 29.40         | 13.20        | 7.70        | 4.30                    |
| 2005            | 49.40        | 32.00         | 11.90        | 5.30        | 1.40                    |
| 2006            | 45.30        | 33.00         | 14.00        | 5.40        | 2.20                    |
| 2007            | 35.90        | 41.50         | 14.60        | 5.80        | 2.20                    |
| 2008            | 42.30        | 33.10         | 15.50        | 6.80        | 2.30                    |
| 2009            | 53.50        | 28.90         | 10.10        | 5.90        | 1.60                    |
| 2010            | 55.30        | 30.20         | 11.40        | 2.50        | 0.60                    |
| 2011            | 56.70        | 23.90         | 10.50        | 5.70        | 3.20                    |
| 2012            | 57.59        | 29.25         | 6.52         | 4.73        | 1.91                    |
| <b>Promedio</b> | <b>48.59</b> | <b>31.00</b>  | <b>12.42</b> | <b>5.75</b> | <b>2.24</b>             |
| <b>Máximo</b>   | <b>49.01</b> | <b>31.22</b>  | <b>12.01</b> | <b>5.56</b> | <b>2.20</b>             |
| <b>Mínimo</b>   | <b>49.36</b> | <b>31.41</b>  | <b>11.90</b> | <b>5.34</b> | <b>1.98</b>             |



**Figura 5.8. Distribución porcentual de los sitios de monitoreo de calidad del agua de acuerdo al indicador SST en el periodo 2003 al 2012.**

*Fuente: Elaboración propia*

De acuerdo a la información presentada sobre la calidad del agua reportada por la RNM, la variación es grande en el periodo de tiempo del reporte de la información, la calidad excelente aumenta del 2003 al 2012 en un 13.19%, previo un comportamiento de alzas y bajas, con un valor mínimo de 35.90 en 2007.

La calidad buena varía poco del 2003 al 2012, pero presenta oscilaciones grandes en los años intermedios. Para la calidad aceptable hay un decremento de casi 10%, y para contaminado disminuye casi 3%, y en fuertemente contaminada pasa de 2.70% a 1.91%, con variaciones que van de 4.30% para 2004 a 0.60% para 2010.

### 5.5. INTRUSIÓN SALINA

El fenómeno de salinización de suelos y la presencia de aguas subterráneas salobres se producen como resultado de altos índices de extracción de agua dulce en zonas de niveles someros de agua subterránea, disolución de minerales evaporíticos y presencia de agua congénita de elevada salinidad.

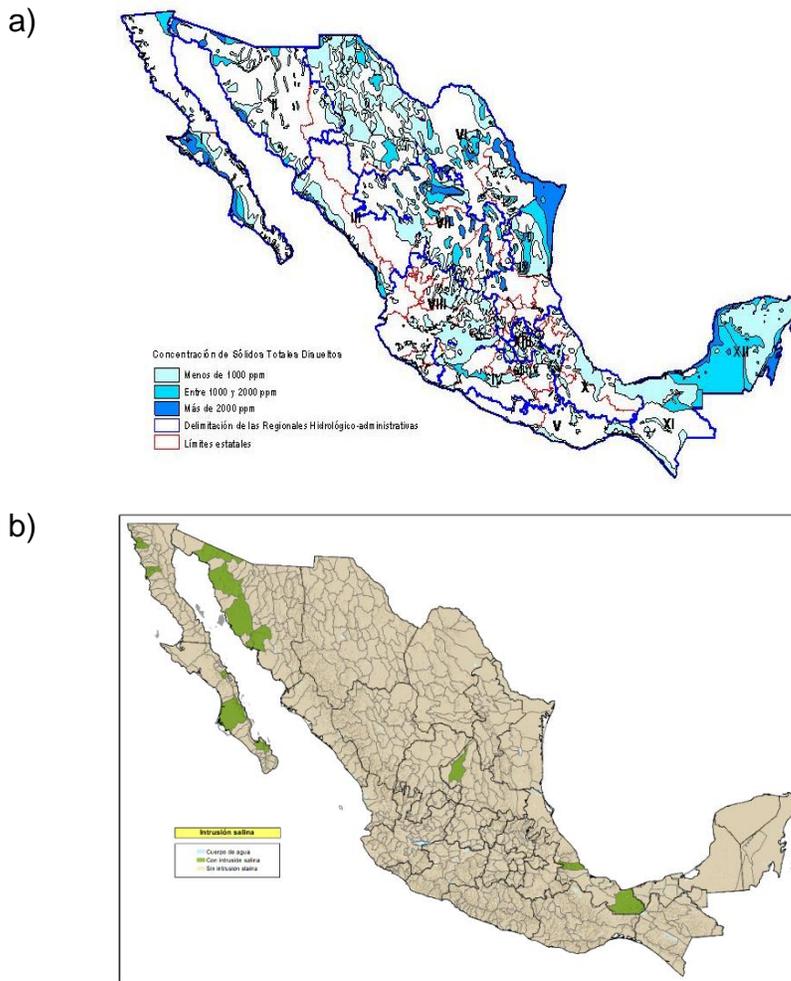
Las aguas salobres se presentan específicamente en aquellos acuíferos localizados en provincias geológicas caracterizadas por formaciones sedimentarias antiguas, someras, de origen marino y evaporítico, en las que la interacción del agua subterránea con el material geológico a través del cual circula, así como en las cercanías de las planicies costeras.

Para finales del año 2010 se habían identificado 32 acuíferos con presencia de suelos salinos y agua salobre (CONAGUA, 2012), localizados principalmente en la

Península de Baja California, costa de Sonora y en el altiplano mexicano. En estas regiones convergen condiciones de poca precipitación pluvial, altos índices de radiación solar y por tanto de evaporación, así como la presencia de aguas congénitas y de minerales evaporíticos de fácil disolución.

En tanto que para el año 2010 se presentaba intrusión marina en 17 acuíferos costeros a nivel nacional (CONAGUA, 2012). Los acuíferos con intrusión salina representan el 4.46% (8.738 millones de hectáreas), ubicándose en acuíferos de Baja California y de Baja California Sur y principalmente en la Costa de Sonora, en la región occidental de San Luis Potosí y la porción sur de Veracruz.

La figura 5.9 muestra: a) la concentración de sólidos totales disueltos en los acuíferos del país y b) los acuíferos con intrusión salina y/o salinización del suelo.

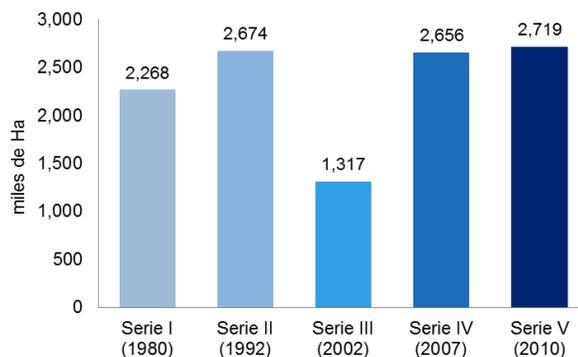


**Figura 5.9 a) Sólidos totales disueltos en acuíferos y b) Acuíferos con intrusión salina y/o salinización de suelos y aguas subterráneas salobres**

Fuente: CONAGUA, *Estadísticas del Agua en México, 2011*

## 5.6. DESECACIÓN DE CUERPOS DE AGUA

A partir del cambio de uso de suelo y vegetación, por medio de la comparación entre la cartografía de uso de suelo de vegetación primaria potencial y uso de suelo y vegetación, la figura 5.10 muestra las tendencias en cuanto a la superficie ocupada por cuerpos de agua de acuerdo a las cartas de uso de suelo y vegetación (Series I a la V).



**Figura 5.10. Superficie ocupada por cuerpos de agua de acuerdo a la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación (series I a la V).**

*Fuente: Elaboración propia.*

La superficie ocupada por cuerpos de agua, de acuerdo a la cartografía de uso de suelo y vegetación presentada en la figura 5.10 se muestra una disminución considerable, de alrededor de 44% entre 2003 y 2007; entre 1993 y 2003, se observa un ligero incremento en la superficie ocupada por cuerpos de agua.

La información de monitoreo de niveles de cuerpos de agua a nivel nacional es escasa, y es puntual en cada una de las evaluaciones realizadas en las diferentes series de información del INEGI, sin embargo el cuerpo de agua que ocupa la mayor extensión como es el Lago de Chapala, se tiene la evolución histórica del volumen almacenado (Figura 5.11). La información reportada para el Lago de Chapala es congruente con la estimación de la variación de la superficie ocupada por los cuerpos de agua en los años que se realizó la cartografía del uso del suelo y vegetación, con valores cercanos a los 4500 hm<sup>3</sup> para 1980, de 5500 hm<sup>3</sup> en 1992, de 1800 hm<sup>3</sup> en 2002, y 5500 hm<sup>3</sup> y 6000 hm<sup>3</sup> para 2007 y 2010, respectivamente.

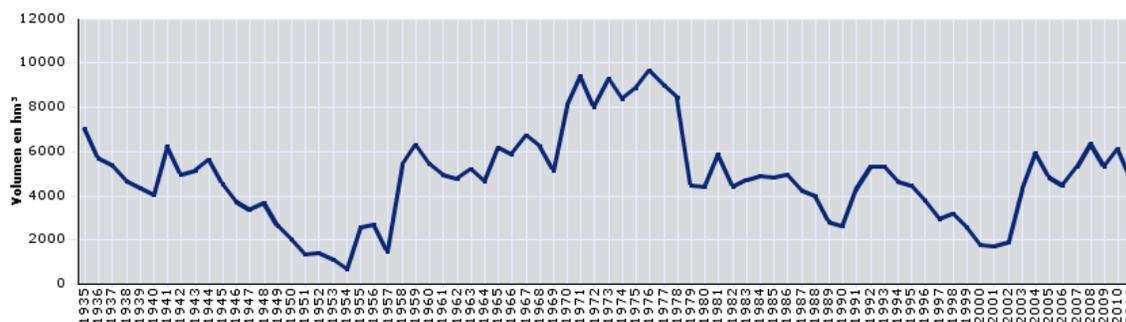


Figura 5.11. Volumen almacenado en el Lago de Chapala, de 1935 a 2011

Fuente: CONAGUA, 2012.

### 5.7. INDICADOR INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS

Como se indicó anteriormente, el grupo de indicadores que reflejan el estado actual de los recursos hídricos se compone a partir de la conjunción de: 1) el estado de los acuíferos en el año 2010 y dinámica de cambio entre el 2006 y el 2010; 2) intrusión salina; 3) disponibilidad de agua superficial y 4) contaminación potencial. El indicador integrado de recursos hídricos fue el resultado de la combinación de las coberturas temáticas antes señaladas.

Como resultado de la combinación de la información anterior se obtuvo el indicador integrado de las condiciones del recurso hídrico que consiste en las condiciones de acuíferos y los fenómenos inherentes a estos, el grado de presión sobre el recurso hídrico y el déficit de agua superficial.

En la figura 5.12, se presentan las condiciones del recurso hídrico en el país. De acuerdo a esta, el grado de presión sobre el recurso hídrico mantiene una relación directa con la ubicación de acuíferos sobreexplotados. La mayor concentración de acuíferos sobreexplotados y con el fenómeno de salinización por intrusión salina que se presenta en el país, la sobreexplotación y déficit de agua superficial se concentra al centro del territorio nacional. Mientras que al sur existe una baja presión sobre el recurso hídrico, es al mismo tiempo la zona en la que no se identificó degradación, aunque si intrusión salina y salinización.

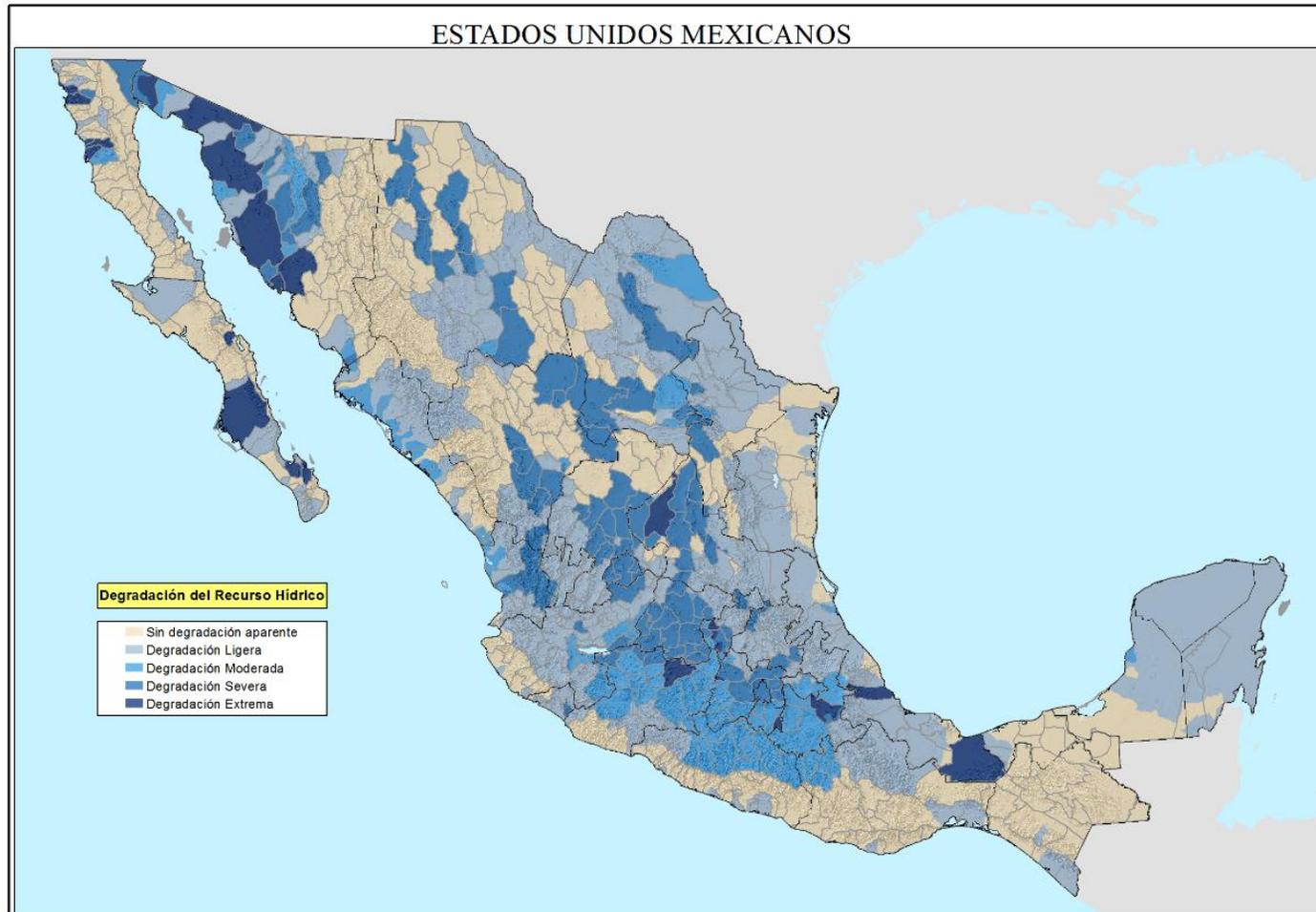


Figura 5.12 . Indicador Integrado de Degradación del Recurso Hídrico, por grado de afectación.

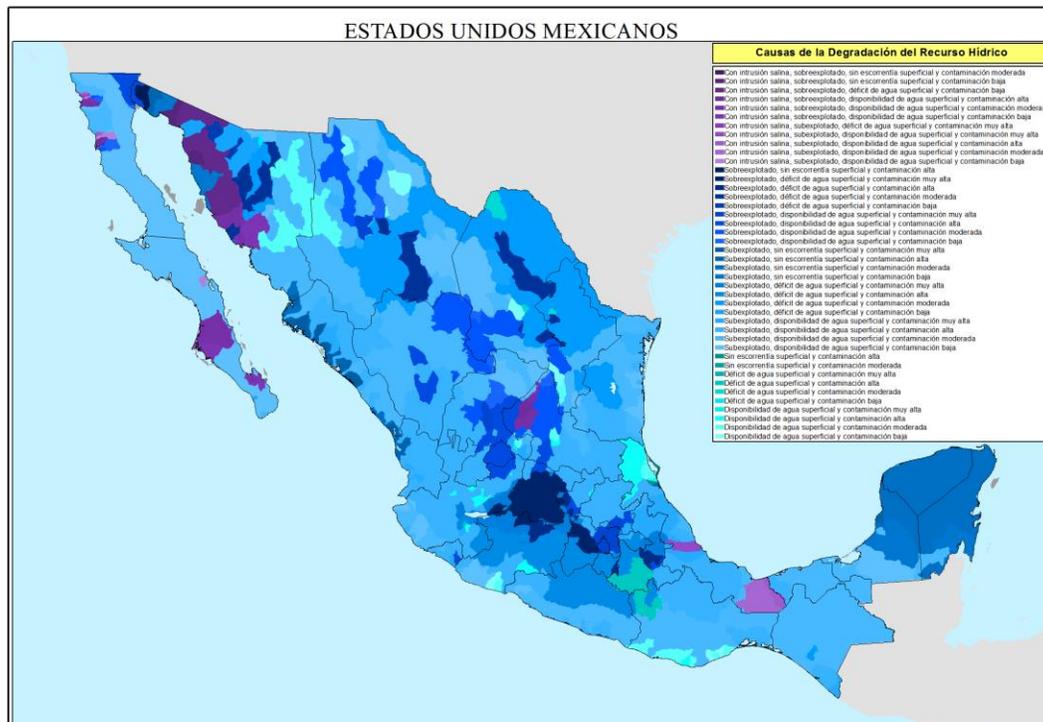
Fuente: Elaboración propia.

Los porcentajes de cobertura nacional de las diferentes clases de degradación de los recursos hídricos en el país se muestran en el cuadro 5.10, como se señaló al inicio del apartado se integró el indicador en cinco clases, según la presencia de los problemas estudiados. En la figura 5.13 se muestran los factores que determinaron los niveles de degradación de los recursos hídricos.

**Cuadro 5.10 Proporción de la superficie a nivel nacional según el nivel de degradación en recursos hídricos.**

| Grado                    | Superficie<br>(miles de hectáreas) | Proporción de la<br>Superficie |
|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Sin Degradación aparente | 69,024.3                           | 35.23%                         |
| Degradación ligera       | 72,570.5                           | 37.04%                         |
| Degradación moderada     | 17,456.9                           | 8.91%                          |
| Degradación severa       | 26,978.8                           | 13.77%                         |
| Degradación extrema      | 9,913.8                            | 5.06%                          |
| <b>Total</b>             | <b>195,924.8</b>                   | <b>100.0</b>                   |

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.13 Factores que determinan la condición de degradación del recurso hídrico en México.**

Fuente: Elaboración propia.

## 6. ASPECTOS CLIMÁTICOS

---

Los aspectos climáticos fueron evaluados a partir del Índice de Aridez, esto para cumplir con el criterio de la Convención de Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (CNUCLD, 1994), en donde establece que la definición de los tipos climáticos se realice a partir de la relación que guarda la precipitación (PP) y la evapotranspiración potencial (ETP), lo que se definió como Índice de Aridez. La lluvia define la cantidad de humedad disponible mientras que la evapotranspiración potencial refleja el consumo de ésta por los organismos del suelo y las plantas. De modo que si el cociente de PP/ETP es menor a 0.65 es el criterio de define a las tierras secas y si es igual o mayor a este parámetro, entonces serán tierras húmedas. Los valores en la clasificación del índice de aridez permiten diferenciar siete clases de tipos climáticos como se detalla en el cuadro 6.1. Las tierras secas serán aquellas clases hiperáridas, áridas, semiáridas y subhúmedas secas.

**Cuadro 6.1 Tipos climáticos definidos por el Índice de Aridez de acuerdo a los criterios de la CNUCLD.**

| Índice de Aridez | Tipos climáticos |
|------------------|------------------|
| 0.000 - 0.050    | Híper-árido      |
| 0.051 – 0.200    | Árido            |
| 0.201 – 0.500    | Semiárido        |
| 0.501 – 0.650    | Subhúmedo seco   |
| 0.651 – 0.750    | Subhúmedo húmedo |
| 0.751 – 1.250    | Húmedo           |
| 1.251 – 2.500    | Muy Húmedo       |
| >2.500           | Per-húmedo       |

*Fuente: Elaboración propia.*

El Índice de Aridez se determinó para lo que se considera el escenario base que fue estimado con el promedio de datos climáticos de 1970 al 2012. Además de lo anterior, se incluyeron dos escenarios del Índice de Aridez bajo condiciones futuras de cambio climático a partir de las razones de cambio para temperatura y precipitación de dos modelos generales de circulación atmosférica (MGCA), el norteamericano GFDL y el inglés HADLEY, ambos según escenarios socioeconómicos A2 para el año 2050.

Adicionalmente, se analizó la sequía a partir del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI por sus siglas en inglés) también en condiciones actuales y futuras de cambio climático con los MGCA señalados. En el caso particular de las condiciones climáticas no se estableció un indicador integrado como en el caso de los recursos edáficos, bióticos o hidrológicos. Por definición, se trabajó con la clasificación de tierras secas bajo el criterio señalado.

### 6.1. ÍNDICE DE ARIDEZ

Como se ha señalado el Índice de Aridez (UNEP, 1977) se obtiene de dividir la precipitación entre la evapotranspiración (ETP). Con base en información generada por Gómez et. al. (2008) se obtuvieron los valores de ETP para todo el país estimados por dos métodos, el de Thornthwaite y el método de Penman, y se generaron las bases de datos de precipitación media mensual y anual del país, esto a escala 1:250 000. Considerando la clasificación de UNEP la figura 6.1, muestra la distribución espacial del Índice de Aridez (IA) según cada método estudiado de estimación de la ETP a) por el de Thornthwaite y b) con el método de Penman.

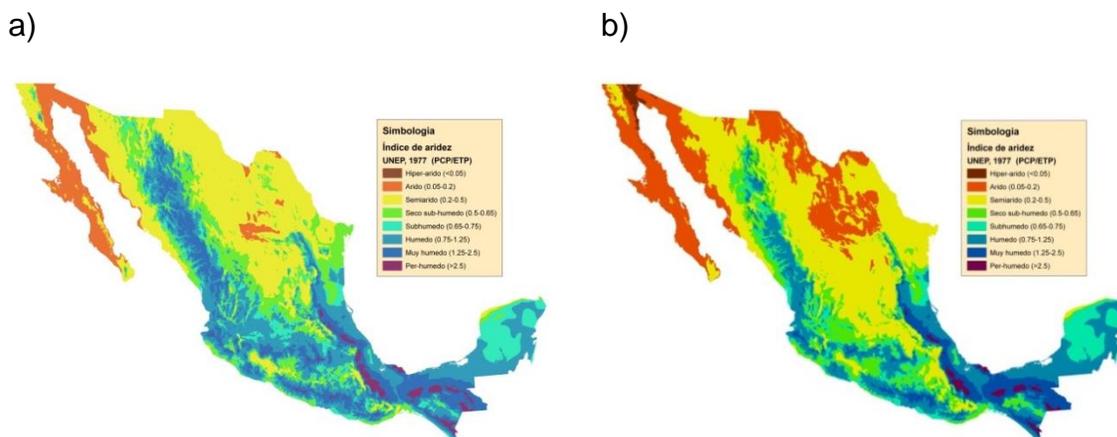


Figura 6.1 Índice de aridez en México según a) ETP estimada con el método de Thornthwaite y b) ETP estimada con el método de Penman.

Fuente: Elaboración propia, con información de Gómez, et al., 2008.

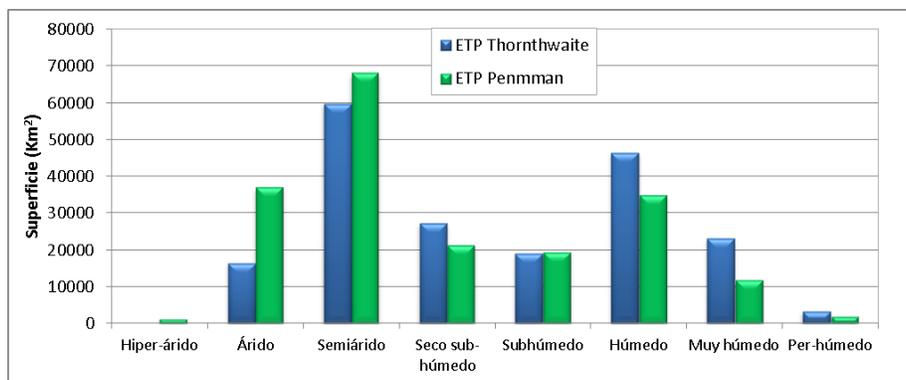
De acuerdo a la figura 6.1, la diferencia más notoria entre ambos mapas es la superficie ocupada por los tipos de clima Semiárido y Árido. El IA estimado con la ETP de Penman es notablemente más seco en una porción importante del país, situación que se considera más ajustada a la realidad, dado que este procedimiento presenta una mejor correlación con los valores medidos de la

Evapotranspiración Potencial en diferentes ambientes como los de México como son lugares montañosos y valles altos, en donde el método de Thornthwaite subestima considerablemente la pérdida de humedad por la Evapotranspiración (Gómez et al., 2012). La superficie ocupada por cada IA, se presenta en el cuadro 6.2 y la figura 6.2 ilustra las diferencias en superficie ocupada por el IA estimado por los dos métodos para calcular la ETP.

**Cuadro 6.2 Superficie ocupada de acuerdo al Índice de Aridez en México para el escenario base a partir de la estimación de evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite y Penman.**

| Índice de aridez | ETP Thornthwaite              |                             | ETP Penman                    |                             |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|                  | Superficie (Km <sup>2</sup> ) | Por ciento de la superficie | Superficie (Km <sup>2</sup> ) | Por ciento de la superficie |
| Híper-árido      | -                             | -                           | 1312.7                        | 0.67                        |
| Árido            | 16,465.5                      | 8.4                         | 37,040.9                      | 18.91                       |
| Semiárido        | 59,872.2                      | 30.56                       | 68,115.2                      | 34.77                       |
| Seco sub-húmedo  | 27,326.2                      | 13.95                       | 21,452.6                      | 10.95                       |
| Subhúmedo        | 19,112.7                      | 9.76                        | 19,375.1                      | 9.89                        |
| Húmedo           | 46,536.1                      | 23.75                       | 34,911.5                      | 17.82                       |
| Muy húmedo       | 23,264.0                      | 11.87                       | 11,768.1                      | 6.01                        |
| Per-húmedo       | 3,348.2                       | 1.71                        | 1,948.7                       | 0.99                        |
| <b>Total</b>     | <b>195,924.8</b>              | <b>100.00</b>               | <b>195,924.8</b>              | <b>100.00</b>               |

Fuente: Elaboración propia con información de CONAFOR-UACH.



**Figura 6.2 Comparación de la superficie ocupada por índice de aridez estimado a partir de la Evapotranspiración Potencial (ETP) por los métodos de Thornthwaite y Penman.**  
Fuente: Elaboración propia, con información de CONAFOR-UACH.

Como se indicó anteriormente, el método de Penman presenta mayor correlación de la ETP estimada con los valores medidos en condiciones montañosas y valles altos que constituyen una porción muy significativa del país,

por lo que se decidió usar este criterio. Adicionalmente, en un trabajo de Gómez y Monterroso (2013) se encontró que existe una mejor correlación de los tipos climáticos secos estimados con el criterio de Penman con los tipos de vegetación de tierras seca, que la correlación de estos tipos de vegetación con los climas secos determinados con el criterio de Thornthwaite.

## 6.2. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Los escenarios de cambio climático utilizados fueron estimados con los MGCA Norteamericano (GFDL) y el Inglés (HADLEY), de acuerdo con condiciones socioeconómicas del grupo A2 y para el año 2050, la inclusión de estos dos modelos tiene el propósito de ilustrar la incertidumbre asociada con la exposición al cambio climático. El trabajo consistió en obtener los cambios futuros que sugieren los modelos sobre la temperatura media anual con las mensuales y la precipitación total anual con las mensuales. Después, se integró la información para la estimación de la ETP con el método de Penman y así estimar los nuevos Índices de Aridez para los dos modelos seleccionados. Los resultados en cuanto a superficie ocupada se presentan en el cuadro 6.3.

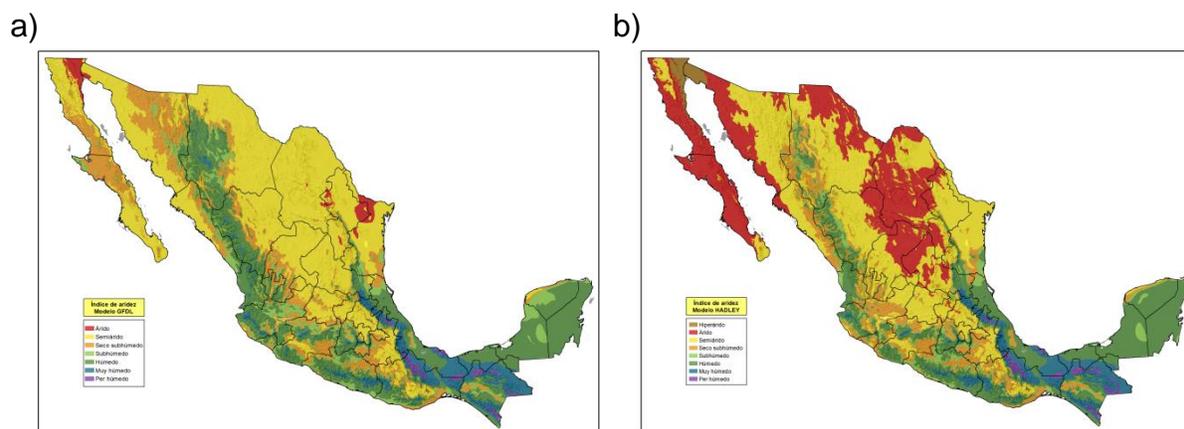
**Cuadro 6.3 Proporción de la superficie ocupada por los diferentes tipos climáticos definidos con el Índice de Aridez en condiciones actuales y de cambio climático al 2050 en el escenario socioeconómico A2**

| Tipos climáticos por Índice de Aridez | Escenario   |             |             |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                       | Actual      | GFDL        | HADLEY      |
| Híper-árido                           | 0.7         |             | 1.2         |
| Árido                                 | 18.9        | 1.6         | 23.6        |
| Semiárido                             | 34.8        | 42.6        | 32.7        |
| Subhúmedo seco                        | 10.9        | 15.9        | 11.1        |
| <b>Total Tierras Secas</b>            | <b>65.3</b> | <b>60.2</b> | <b>68.5</b> |
| Subhúmedo húmedo                      | 9.9         | 9.1         | 5.7         |
| Húmedo                                | 17.8        | 23.9        | 19.3        |
| Muy Húmedo                            | 6.0         | 6.0         | 5.6         |
| Per húmedo                            | 1.0         | 0.8         | 0.9         |
| <b>Total Tierras Húmedas</b>          | <b>34.7</b> | <b>39.8</b> | <b>31.5</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, el modelo GFDL sugiere condiciones de mayor humedad en el país en comparación con el segundo modelo en donde la proporción de tierras secas pasaría de 65.3% a 60.2% con una disminución grande en los climas áridos que pasan de 18.9% a 1.6%. En cambio para el modelo HADLEY, las tierras secas

pasarían de 65.3% a 68.5% con el mayor incremento en los climas Áridos que se estiman en 23.6% de la superficie del país y de las tierras híper-áridas que pasan de 0.7% a 1.2%.



**Figura 6.3 Índice de aridez en México según a) con el modelo GDFL y b) con el modelo HADLEY.**  
Fuente: Elaboración propia, con información de Gómez, et al., 2008

### 6.3. ANÁLISIS DE SEQUÍA

#### 6.3.1. ESQUEMA METODOLÓGICO

La sequía es un fenómeno natural que tiene impactos adversos en los humanos y en los ecosistemas (Rhee y Carbone, 2011). Es una característica del clima y es diferente a la aridez (Wilhite y Buchanan-Smith, 2005). La sequía es un fenómeno natural que puede afectar virtualmente todos los regímenes climáticos. Generalmente se define a la sequía como una deficiencia en la precipitación relativa con respecto a la que se espera (normal), que cuando se extiende en una estación o un periodo más largo de tiempo resulta en la incapacidad de satisfacer las demandas de agua en las actividades humanas y en el medio ambiente (Hayes et al., 2011).

La estimación de los índices de sequía se hace a partir de las condiciones normales y requieren de datos históricos con un periodo mayor a 30 años para examinar los promedios climatológicos en un plazo largo (Rhee y Carbone, 2011). Los índices de sequía más comúnmente usados en diferentes partes del mundo son el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (ISSP) y el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) (Rhee y Carbone, 2011). El ISSP desarrollado por Palmer (1965) indica la severidad física de la sequía por la falta de humedad en el suelo y es considerado generalmente útil en la agricultura y otros usos del agua que son sensibles a la falta de humedad almacenada en el

suelo (Guttman, 1998). Sin embargo, varios estudios de referencia sobre sus propiedades y sensibilidad han mostrado que la asunción de estandarización en realidad no es válida ya que las comparaciones espaciales y temporales tienen desviaciones que conducen a conclusiones erróneas (Alley, 1984; Heddinghaus y Sabol, 1991; Karl, 1983, 1986; Guttman, 1991, y Guttman et al., 1992).

Por otra parte, el SPI lo desarrolló McKee et al., (1993) y estima el déficit de precipitación a diferentes tiempos y escalas y fue propuesto con el objetivo de dar una mejor representación a la sequía y a los periodos húmedos comparado con el Índice de Palmer (Guttman 1998, 1999).

El SPI es un índice de probabilidad que considera únicamente a la precipitación, en contraste con otros que definen la sequía y que requieren variables como temperatura o evapotranspiración. Se basa en la probabilidad de ocurrencia de una cantidad de lluvia donde un valor de cero indica la mediana de precipitación recibida, es decir, la mitad de la precipitación histórica se encuentra por arriba y la otra mitad se encuentra por debajo. El índice es negativo en la definición de la sequía y positivo para condiciones de humedad. Mientras los valores de lluvia registrada se hacen más extremos así el índice se hace más positivo o negativo. El SPI se puede calcular para diversas escalas, hasta para 48 meses continuos o incluso para uno sólo, capturando así diferentes escalas espacio-temporales que definen los tipos de sequía (Edwards y McKee, 1997), los intervalos de tiempo cortos del orden de meses pueden ser importantes para la agricultura, mientras los intervalos largos que comprenden años pueden ser importantes para el manejo de las reservas de agua a nivel local y regional (Guttman, 1998).

Este índice es apropiado para monitorear la sequía en grandes áreas dado que sus valores son comparables en el espacio y en el tiempo como consecuencia del uso del proceso de transformación estandarizada de la precipitación en su estimación (Guttman 1998, 1999). En este contexto, la OMM y la CNUDL recomiendan el uso amplio del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) en los países que deseen monitorear la sequía y que éste sea el índice estándar disponible a nivel mundial en adición a los índices e indicadores locales (Hayes et al., 2011). Para realizar este análisis, se obtuvieron los datos de precipitación de 325 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de enero de 1960 a diciembre de 2012. La información mostró datos faltantes y observaciones incongruentes, por lo que fue necesario estimar algunos con el procedimiento modificado de *Normal-Ratio Method* definido por Paulhus y Kohler (1952). Para su clasificación, se utilizó el criterio establecido por CONAGUA-SMN (2012) tal y como se muestra en la figura siguiente:



Figura 6.4 Clasificación del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI)

Fuente: CONAGUA-SMN 2013.

El esquema metodológico del análisis del comportamiento de la sequía se presenta en la figura siguiente:

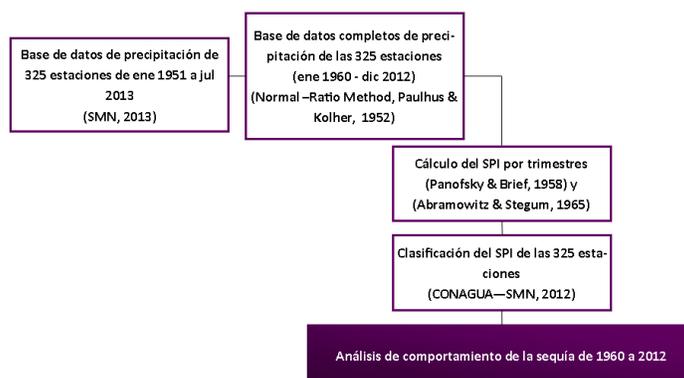
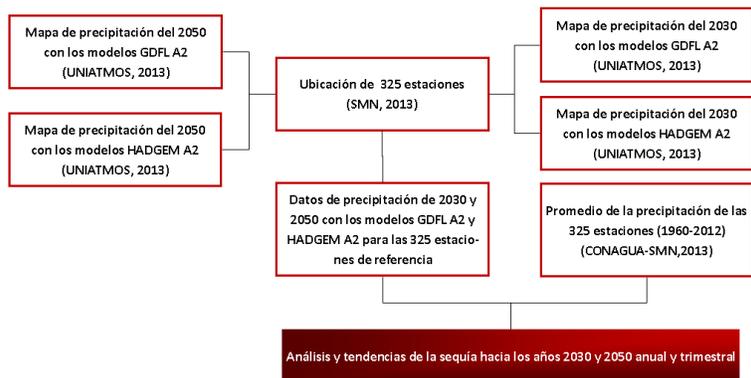


Figura 6.5 Esquema metodológico del análisis del comportamiento de la sequía.

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de sequía con cambio climático, los mapas donde están los valores de precipitación calculados con los modelos de GDFL A2 y HADLEY A2 (UNIÁTMO, 2013) en formato raster y, teniendo la ubicación de las 325 estaciones de referencia, se obtuvieron las precipitaciones de los años 2030 y 2050. Se compararon estos resultados, con el promedio de las precipitaciones de 1960 al 2012, de las estaciones antes mencionadas, anual y por trimestres. En la figura 6.6 se observa el método seguido.



**Figura 6.6 Esquema metodológico de la tendencia del comportamiento de la sequía en el país para los años 2030 y 2050.**

Fuente: Elaboración propia.

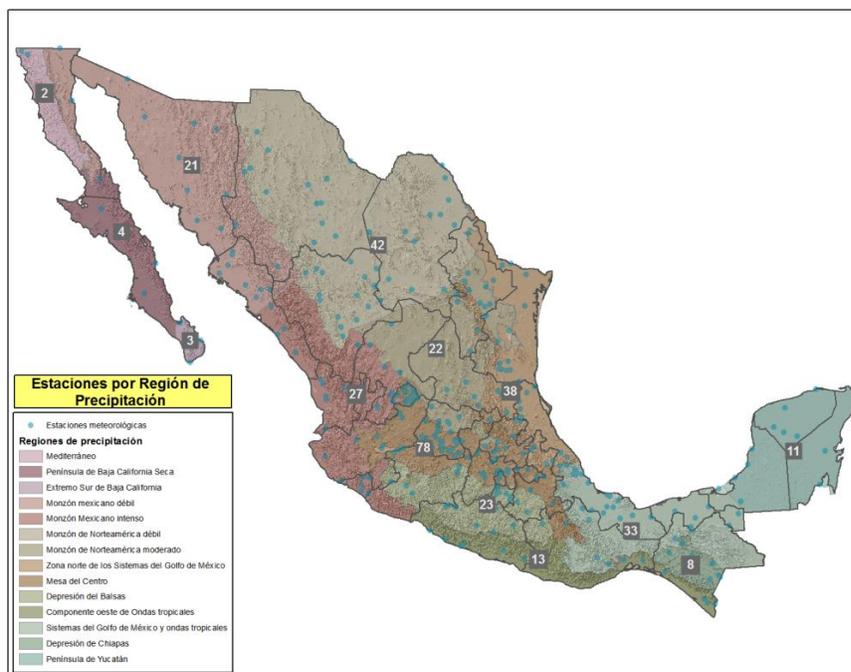
Las regiones de precipitación delimitadas por Gómez y Monterroso (2012), fueron establecidas a partir del análisis del comportamiento de los sistemas globales y regionales de los vientos que generan la precipitación en el país y la influencia de los factores modificadores de la precipitación, como es la orografía, cuerpos de agua, vientos desviados, barreras que limitan el paso de frentes fríos, entre otros. Las estaciones meteorológicas de referencia se georreferenciaron y se determinó su ubicación en las distintas regiones de precipitación. En el cuadro 6.3 se muestra el número de estaciones meteorológicas de referencia (CONAGUA-SMN, 2013) por regiones de precipitación.

**Cuadro 6.4 Número de estaciones por Región de Precipitación.**

| Región       | Nombre de Región                              | No. de estaciones |
|--------------|---|-------------------|
| I            | Mediterráneo                                  | 4                 |
| II           | Península de Baja California Seca             | 4                 |
| III          | Región sur de la Península de Baja California | 4                 |
| IV           | Monzón Mexicano Seco                          | 28                |
| V            | Monzón Mexicano Húmedo                        | 19                |
| VI           | Monzón Norteamérica Seco                      | 41                |
| VII          | Monzón Norteamérica Húmedo                    | 22                |
| VIII         | Alisios y Monzón de Norteamérica              | 38                |
| IX           | Mesa del Centro                               | 78                |
| X            | Depresión del Balsas                          | 23                |
| XI           | Barlovento Alisos y Ondas tropicales          | 33                |
| XII          | Componente occidental de Ondas tropicales     | 14                |
| XIII         | Depresión de Chiapas                          | 8                 |
| XIV          | Península de Yucatán                          | 9                 |
| <b>Total</b> |   | <b>325</b>        |

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6.7 se muestra la distribución de las estaciones de referencia en cada una de las 14 Regiones de Precipitación definidas de acuerdo a los criterios señalados.



**Figura 6.7. Distribución de las estaciones meteorológicas de referencia en las Regiones de Precipitación de México.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Con los datos completos de precipitación mensual de cada una de las estaciones seleccionadas para el estudio se estimaron los valores de SPI anual y por trimestres por cada año: Enero-Febrero-Marzo, Abril-Mayo-Junio, Julio-Agosto-Septiembre, Octubre-Noviembre-Diciembre. Para las definiciones de sequía o humedad para cada trimestre se usó el criterio de la CONAGUA señalado anteriormente. Para el periodo de 1961 al 2012 se presenta por una parte de forma gráfica el comportamiento de la sequía determinado por los valores del SPI anual y para cada uno de los cuatro trimestres del año. En este instrumento se identificó la frecuencia e intensidad de la sequía a nivel de década. Adicionalmente se cotejo la severidad de la sequía para cada estación con la declaratoria de sequía por municipios del 2000 al 2012 reportadas por CENAPRED (2012).

Adicionalmente, se estimó para cada uno de los trimestres la precipitación promedio para el periodo señalado y a estos valores para cada estación

meteorológica, se aplicaron las razones de cambio estimadas con los Modelos Generales de Circulación Atmosférica GFDL y el HADLEY, en el escenario A2 para los horizontes de tiempo al 2030 y al 2050 y se graficó su tendencia para establecer la posible condición de precipitación media en dichos periodos bajo el impacto del cambio climático.

### 6.3.2. COMPORTAMIENTO DE LA SEQUÍA A NIVEL REGIONAL

Como se indicó, para el análisis de la sequía por cada una de las 14 Regiones de Precipitación se seleccionaron estaciones representativas buscando representar la diversidad de cada región. Para estas estaciones se detalla la ocurrencia y severidad de la sequía estimada a partir de la precipitación anual en el periodo de 1961 al 2012. Los resultados para el periodo de tiempo del 2000 al 2011 se comparan con las incidencia de contingencia climatológica de sequía reportadas por la CENAPRED (2012) para algunos municipios de cada una de las Regiones de Influencia de Precipitación (cuadro 6.4). Adicionalmente, para las estaciones seleccionadas se presenta el análisis de las sequías estimadas por trimestre (ver anexos)

**Cuadro 6.5 Municipios declarados con sequía del 2000 al 2011 por Región de Influencia de Precipitación**

| Regiones |  | Total de municipios declarados con sequía en los años 2000-2001 |    |     |    |    |     |    |    |    |     |    | Frec. en los 12 años |    |
|----------|--|---|----|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----------------------|----|
| No.      | Nombre                                 | 00  | 01 | 02  | 03 | 04 | 05  | 06 | 07 | 08 | 09  | 10 |                      | 11 |
| I        | Mediterráneo                           |   |    |     |    |    |     |    |    |    |     |    |                      | 0  |
| II       | Península de Baja California Seca      |   |    |     |    |    |     |    |    |    |     | 1  | 1                    | 2  |
| III      | Península de Baja California Sur       |   |    |     |    |    |     |    |    |    |     |    | 3                    | 1  |
| IV       | Monzón mexicano A                      | 6   | 16 | 16  | 16 | 6  | 22  | 5  |    |    |     |    | 14                   | 8  |
| V        | Monzón mexicano B                      | 23  | 30 | 8   | 1  |    | 23  | 2  | 3  |    | 9   | 1  | 42                   | 10 |
| VI       | Monzón de Norteamérica A               | 39  | 66 | 9   | 33 | 1  | 58  | 14 |    |    |     |    | 131                  | 8  |
| VII      | Monzón de Norteamérica B               | 62  | 61 |     |    | 1  | 18  | 1  |    |    | 20  |    | 91                   | 7  |
| VIII     | Alisios y Monzón de Norteamérica       | 32  | 81 | 59  | 1  |    | 23  |    |    |    | 28  |    | 86                   | 7  |
| IX       | Mesa del Centro                        | 30  | 8  | 46  | 45 | 43 | 198 | 26 | 2  | 7  | 146 |    | 67                   | 11 |
| X        | Depresión del Balsas                   | 6   | 3  | 79  | 47 | 14 | 85  | 44 | 5  | 29 | 93  |    | 1                    | 11 |
| XI       | Barlovento Ondas del Este del Pacífico |   | 8  | 39  | 16 | 23 | 47  | 45 | 19 | 56 | 16  |    |                      | 9  |
| XII      | Barlovento Alisios del Sur             | 3   | 6  | 155 | 73 | 19 | 113 | 45 | 37 | 61 | 50  |    | 39                   | 11 |
| XIII     | Depresión de Chiapas                   | 1   |    |     |    | 21 |     |    | 3  |    |     |    |                      | 3  |
| XIV      | Península de Yucatán                   | 5   |    |     |    | 3  |     |    |    | 49 | 110 |    |                      | 4  |

*Fuente: Elaboración propia.*

La Región Mediterránea tiene un régimen de lluvias en la mitad fría del año, por lo que para el análisis se tomó en cuenta el primer y último trimestre. La sequía anual analizada por el SPI para el periodo de 1960 al 2012 se presenta en el cuadro 6.5, en donde se indican los años que presentaron sequía y la intensidad de está.

**Cuadro 6.6 Años que presentaron sequías y su grado de severidad en el periodo 1960 – 2012 a partir del análisis del SPI anual para la Región Mediterránea.**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1961        | Extremadamente seco            | 1996        | Moderadamente seco             |
| 1964        | Moderadamente seco             | 1999        | Moderadamente seco             |
| 1966        | Moderadamente seco             | 2000        | Muy seco                       |
| 1968        | Extremadamente seco            | 2002        | Muy seco                       |
| 1971        | Muy seco                       | 2006        | Moderadamente seco             |
| 1989        | Excepcionalmente seco          | 2007        | Moderadamente seco             |
| 1990        | Ligeramente seco               |             |                                |

*Fuente: Elaboración propia.*

No se manifestó una tendencia que indique que en los últimos años haya aumentado la frecuencia y severidad en las sequías. En el reporte de CENAPRED (2012), no se indica que en esta región se presentaron sequías en el periodo de 2000 a 2011, sin embargo, en el cuadro 6.5 se muestra que en este mismo periodo se presentaron 4 años con sequía, dos de ellos, 2000 y 2002 muy secos, (ver anexos).

La tendencia para el año 2030 según el modelo GFDL es de incremento de aproximadamente del 10% de la precipitación anual promedio para el 2030 y de 20% para el 2050; con el modelo HADLEY disminuye la precipitación en 20% en 2030, y una disminución de 35% para el 2050. Al realizar el análisis trimestral se destaca que, aunque GDFL anual presenta aumento, hay una tendencia de la baja de precipitaciones en la época de lluvias en ambos modelos (ver anexos).

En la Región Península de Baja California Seca, hay un debilitamiento de los sistemas de viento de la mitad fría del año, y la precipitación se asocia a sistemas débiles del Monzón Mexicano, y con sistemas tropicales como depresiones y alguna tormenta tropical en la mitad caliente del año. Los años que presentan sequía son:

**Cuadro 6.7 Años que presentaron sequías y su grado de severidad en periodo 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la Región de Península de Baja California Seca.**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1961        | Ligeramente seco               | 1986        | Moderadamente seco             |
| 1963        | Moderadamente seco             | 1987        | Moderadamente seco             |
| 1966        | Excepcionalmente seco          | 1995        | Moderadamente seco             |
| 1968        | Moderadamente seco             | 1996        | Ligeramente seco               |
| 1971        | Extremadamente seco            | 1998        | Ligeramente seco               |
| 1973        | Moderadamente seco             | 1999        | Extremadamente seco            |
| 1974        | Extremadamente seco            | 2001        | Ligeramente seco               |
| 1975        | Muy seco                       | 2002        | Moderadamente seco             |
| 1976        | Ligeramente seco               | 2007        | Moderadamente seco             |
| 1977        | Moderadamente seco             | 2008        | Moderadamente seco             |
| 1980        | Excepcionalmente seco          | 2010        | Muy seco                       |
| 1982        | Extremadamente seco            | 2011        | Muy seco                       |
| 1985        | Muy seco                       |             |                                |

*Fuente: Elaboración propia.*

Al observar el comportamiento por trimestre (ver anexos), se comprobó que en esta región si por algún motivo no llueve en invierno o en verano presenta sequía y habrá mayor afectación en la parte más septentrional, particularmente en los meses invernales. La información indica que no hay tendencia que muestre que las sequías se estén haciéndose más frecuentes y/o de mayor intensidad. En las sequías reportadas por CENAPRED (2012), sólo se tomaron en cuenta las más extremas 2010 y 2011 y coincide con la información estimada por el SPI.

Para el 2030, GDFL marca que la precipitación media anual se incrementará en un 30% y de 50% para el 2050. El Modelo HADLEY estima reducciones en un 15% en el 2030 y de 20% para el 2050 (ver anexos).

En la región Sur de la Península de Baja California hay mayor precipitación en el tercer trimestre del año, en donde la proporción más grande de las lluvias se asocia con perturbaciones tropicales como son: depresiones tropicales, tormentas tropicales y huracanes y la ligera presencia del Monzón Mexicano. El cuadro 6.7 lista los años que presentaron sequía en el periodo 1960–2012.

**Cuadro 6.8 Años que presentaron sequías y su severidad en el periodo 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la Región de parte Sur de la Península de Baja California.**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1961        | Ligeramente seco               | 1994        | Ligeramente seco               |
| 1966        | Excepcionalmente seco          | 1995        | Moderadamente seco             |
| 1967        | Moderadamente seco             | 1996        | Ligeramente seco               |
| 1969        | Moderadamente seco             | 1998        | Ligeramente seco               |
| 1970        | Extremadamente seco            | 1999        | Extremadamente seco            |
| 1977        | Moderadamente seco             | 2001        | Ligeramente seco               |
| 1980        | Excepcionalmente seco          | 2002        | Moderadamente seco             |
| 1982        | Extremadamente seco            | 2007        | Moderadamente seco             |
| 1985        | Muy seco                       | 2008        | Moderadamente seco             |
| 1986        | Extremadamente seco            | 2010        | Muy seco                       |
| 1987        | Moderadamente seco             | 2011        | Muy seco                       |

*Fuente: Elaboración propia.*

En el SPI trimestral (ver anexos) fue evidente que a la escasez de lluvias en verano, específicamente con la ausencia de huracanes, la sequía se acentúa, tampoco hubo tendencia que muestre que las sequías se estén presentando más frecuentemente y que su severidad sea mayor con el paso de los años. En las sequías oficiales decretadas por el CENAPRED (2012), sólo en 2011 se reportaron sequías.

Según el modelo HADLEY para el año 2030 y 2050 las variaciones son casi nulas, en cambio el modelo GDFL indica un incremento en la precipitación media anual del 10% para 2030 y 17% para el 2050 (ver anexos)

La distribución de la lluvia en la región Monzón Mexicano A se da principalmente en el tercer trimestre del año, misma que se asocia con el sistema denominado “Monzón Mexicano” y la presencia de depresiones tropicales que llegan a desplazarse a esta región, particularmente a finales del mes de agosto, septiembre y octubre. La Península de Baja California en verano limita el paso de los sistemas de viento húmedos del Pacífico a esta región o reduce el gradiente de presión con la parte continental al oriente del mar de Cortez, y en la mitad fría del año se presentan lluvias asociadas a los vórtices fríos. En el cuadro 6.8 se muestran los años con sequía anual y el grado de severidad de ésta.

**Cuadro 6.9 Años que presentaron sequías en periodo 1960–2012 y su severidad por medio del análisis del SPI anual para la Región de Monzón Mexicano A (seco).**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1961        | Moderadamente seco             | 1987        | Extremadamente seco            |
| 1962        | Extremadamente seco            | 1988        | Extremadamente seco            |
| 1963        | Extremadamente seco            | 1989        | Moderadamente seco             |
| 1964        | Moderadamente seco             | 1993        | Moderadamente seco             |
| 1965        | Muy seco                       | 1995        | Muy seco                       |
| 1966        | Moderadamente seco             | 1998        | Extremadamente seco            |
| 1969        | Moderadamente seco             | 1999        | Moderadamente seco             |
| 1970        | Moderadamente seco             | 2002        | Muy seco                       |
| 1973        | Moderadamente seco             | 2003        | Moderadamente seco             |
| 1974        | Extremadamente seco            | 2005        | Extremadamente seco            |
| 1975        | Moderadamente seco             | 2006        | Extremadamente seco            |
| 1977        | Muy seco                       | 2008        | Moderadamente seco             |
| 1979        | Extremadamente seco            | 2009        | Extremadamente seco            |
| 1980        | Muy seco                       | 2010        | Extremadamente seco            |
| 1985        | Moderadamente seco             | 2011        | Excepcionalmente seco          |

*Fuente: Elaboración propia.*

En esta región se observa una tendencia en el incremento en la frecuencia y en la intensidad de las sequías en los últimos años. El CENAPRED (2012) indica que los años con sequía fueron 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 y 2011 lo cual no concuerda con los calculados con el SPI anual para la región, ya que de acuerdo a este último criterio, se presentaron sequias de muy intensas en 2006, 2009 y 2010 y en 2001 y 2004 no presentan sequías por este criterio y si se declararon contingencias por la CENAPRED (ver anexos)

El modelo HADLEY muestra tendencia a la disminución de la precipitación media anual que va del 5% al 40% en las diferentes estaciones para el 2030 y el 2050, respectivamente. En el modelo GDFL se estiman incrementos del 2% al 23% en la precipitación media anual para el 2030 y del 6% al 54% al 2050 (ver anexos)

En la Región del Monzón Mexicano B (húmedo), la distribución de la lluvia se asocia fundamentalmente con el sistema denominado “Monzón Mexicano” y la llegada de depresiones tropicales que se desplazan en esta zona particularmente a finales del mes de agosto, todo septiembre y octubre. Esta región no tiene el efecto de la península de Baja California y por lo tanto en verano se establece una celda más intensa entre el océano pacifico y la sierra Madre Occidental y por consiguiente las precipitaciones son mayores que en la región de Monzón Mexicano A, asimismo, en la mitad fría del año se presentan lluvias asociadas a los vórtices fríos. En el cuadro 6.9 se muestran los años con sequía anual y el grado de severidad de ésta.

**Cuadro 6.10 Años que presentaron sequías en periodo 1960–2012 y su intensidad por medio del análisis del SPI anual en la Región de Monzón Mexicano B (húmedo).**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1965        | Muy seco                       | 1993        | Moderadamente seco             |
| 1966        | Muy seco                       | 1994        | Moderadamente seco             |
| 1970        | Excepcionalmente seco          | 1995        | Excepcionalmente seco          |
| 1971        | Moderadamente seco             | 1996        | Muy seco                       |
| 1973        | Muy seco                       | 1999        | Excepcionalmente seco          |
| 1975        | Moderadamente seco             | 2001        | Muy seco                       |
| 1978        | Moderadamente seco             | 2003        | Moderadamente seco             |
| 1979        | Extremadamente seco            | 2004        | Moderadamente seco             |
| 1980        | Muy seco                       | 2005        | Moderadamente seco             |
| 1983        | Moderadamente seco             | 2007        | Muy seco                       |
| 1984        | Muy seco                       | 2008        | Extremadamente seco            |
| 1985        | Moderadamente seco             | 2010        | Excepcionalmente seco          |
| 1987        | Excepcionalmente seco          | 2011        | Moderadamente seco             |
| 1988        | Muy seco                       | 2012        | Muy seco                       |
| 1992        | Moderadamente seco             |             |                                |

*Fuente: Elaboración propia.*

Las sequías más fuertes están asociadas a una disminución considerable de la precipitación en el tercer trimestre del año que es el de mayor incidencia de lluvias (ver anexos). En el análisis de SPI por años nos indica que los últimos años ha habido sequías severas, y se presentan varios años consecutivos con sequías de gran magnitud.

Las proyecciones en el cambio de la precipitación media anual del modelo HADLEY son negativas y van del 2% al 8% para 2030 y del 8% al 13% para el 2050. Las razones de cambio en la precipitación estimadas con el modelo GFDL son incrementos del 2% al 3% en 2030 y del 5% al 6% para el 2050 (ver anexos).

En la Región de Monzón de Norteamérica A (seco) la mayor proporción de la precipitación se presenta en el tercer trimestre del año y están asociadas a sistemas normalmente débiles proveniente del Golfo de México que son parte del Monzón de Norteamérica y a la entrada de algunas perturbaciones tropicales del Golfo de México y efectos de algún sistema ciclónico del Océano Pacífico que arrastra humedad desde el Golfo de México. Los años que presentaron sequía se detallan en el cuadro 6.10.

**Cuadro 6.11 Años que presentaron sequías anuales en el periodo 1960–2012 y su intensidad, estimadas por el SPI anual para la Región Monzón de Norteamérica A (seco).**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1961        | Moderadamente seco             | 1987        | Ligeramente seco               |
| 1962        | Extremadamente seco            | 1988        | Moderadamente seco             |
| 1963        | Ligeramente seco               | 1989        | Muy seco                       |
| 1964        | Ligeramente seco               | 1993        | Moderadamente seco             |
| 1965        | Moderadamente seco             | 1994        | Extremadamente seco            |
| 1966        | Moderadamente seco             | 1995        | Moderadamente seco             |
| 1967        | Ligeramente seco               | 1996        | Ligeramente seco               |
| 1969        | Muy seco                       | 1997        | Extremadamente seco            |
| 1970        | Excepcionalmente seco          | 1998        | Moderadamente seco             |
| 1971        | Moderadamente seco             | 1999        | Muy seco                       |
| 1974        | Moderadamente seco             | 2001        | Muy seco                       |
| 1975        | Muy seco                       | 2003        | Moderadamente seco             |
| 1977        | Excepcionalmente seco          | 2005        | Muy seco                       |
| 1978        | Excepcionalmente seco          | 2007        | Moderadamente seco             |
| 1979        | Moderadamente seco             | 2009        | Moderadamente seco             |
| 1982        | Excepcionalmente seco          | 2011        | Excepcionalmente seco          |
| 1983        | Ligeramente seco               | 2012        | Excepcionalmente seco          |

*Fuente: Elaboración propia.*

El tercer trimestre del año es donde se concentra la mayor proporción de la precipitación, por lo que cuando se presentó una disminución considerable de las lluvias en este periodo, la sequía fue muy intensa (ver anexos). Las sequias son frecuentes en todo el periodo del estudio. El CENAPRED (2012) reporta que casi toda la década hubo sequías en esta Región, con excepción de los años 2007, 2008, 2009 y 2010, la sequía estimada a través de la precipitación media anual con el SPI, indica que 2007 y 2009 presentaron sequías muy fuertes. Se aprecia una ligera tendencia en la intensidad de la sequía en los dos últimos años (2011 y 2012).

Las proyecciones en el cambio de la precipitación media anual del modelo HADLEY para esta región van del 11% al 20% de disminución para el 2030 y del 13% al 23% para el 2050. En el modelo GFDL, las proyecciones en la mayoría de los casos fue de incremento en la precipitación media anual cuyos porcentajes van del 3% al 24% para el 2030 y 6% al 47% para el 2050. Se aprecia que en los meses más lluviosos disminuye la precipitación y aumentan en tiempos de secas (ver anexos).

En Monzón de Norteamérica B (húmedo), los sistemas de vientos que generan la lluvia son de mayor intensidad que en la zona septentrional de la Mesa del Norte, pero dejan la mayor proporción de su humedad al chocar con el frente este de la Sierra Madre Oriental y llegan a esta región con posibilidades disminuidas de generar lluvias especialmente en las áreas donde se da el descenso de los vientos

y en las tierras bajas. En el cuadro 6.11 se muestran los años que presentaron sequías y la intensidad de las mismas.

**Cuadro 6.12 Años que presentaron sequías y su intensidad en el periodo de 1960–2012 estimadas por el SPI anual para la Región de Monzón de Norteamérica B (húmedo).**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1960        | Excepcionalmente seco          | 1987        | Muy seco                       |
| 1961        | Moderadamente seco             | 1988        | Moderadamente seco             |
| 1962        | Excepcionalmente seco          | 1989        | Extremadamente seco            |
| 1963        | Moderadamente seco             | 1991        | Muy seco                       |
| 1964        | Extremadamente seco            | 1992        | Muy seco                       |
| 1965        | Moderadamente seco             | 1993        | Moderadamente seco             |
| 1967        | Excepcionalmente seco          | 1994        | Moderadamente seco             |
| 1969        | Moderadamente seco             | 1995        | Excepcionalmente seco          |
| 1970        | Moderadamente seco             | 1996        | Moderadamente seco             |
| 1971        | Ligeramente seco               | 1997        | Moderadamente seco             |
| 1972        | Extremadamente seco            | 1998        | Muy seco                       |
| 1973        | Extremadamente seco            | 1999        | Extremadamente seco            |
| 1974        | Muy seco                       | 2000        | Moderadamente seco             |
| 1975        | Moderadamente seco             | 2002        | Moderadamente seco             |
| 1977        | Moderadamente seco             | 2003        | Moderadamente seco             |
| 1979        | Moderadamente seco             | 2004        | Moderadamente seco             |
| 1980        | Muy seco                       | 2005        | Muy seco                       |
| 1982        | Excepcionalmente seco          | 2009        | Ligeramente seco               |
| 1983        | Moderadamente seco             | 2011        | Extremadamente seco            |
| 1985        | Ligeramente seco               | 2012        | Extremadamente seco            |

*Fuente: Elaboración propia.*

Quando se presentó una disminución considerable en la precipitación en el tercer trimestre del año, estos años se caracterizaron por una sequía muy intensa (ver anexos). No hay una tendencia de aumento en la intensidad o la frecuencia de sequías en los últimos años. Para esta región se presentó coincidencia entre la declaratoria de sequías por el CENAPRED (2012) y las estimadas con la precipitación media anual.

Las estimaciones en el cambio de la precipitación media anual del modelo HADLEY tiene un comportamiento variado, en la región más septentrional se estima una disminución de la precipitación media anual en un 14 a 2% para el 2030 y de un 21% al 5%, en la parte sur se prevén incrementos en la precipitación en 12% al 17% y 9% al 13%. Para el modelo GFDL, las proyecciones fueron de disminución en la precipitación que van del 1% al 9% para el 2030 y 1% al 12% para el 2050 (ver anexos).

En la Región de Alisios y Monzón de Norteamérica, los sistemas de vientos del Monzón de Norteamérica que generan la precipitación en verano son débiles en el norte, y van fortaleciéndose a medida de aumenta el gradiente de presión hacia el

sur. La lluvia generada por las perturbaciones tropicales es muy importante para la precipitación total en la región, además de los frentes fríos que generan precipitaciones de finales de septiembre a principios de mayo, sobre todo cuando confluyen estos con la entrada de humedad del Golfo de México. En el cuadro 6.12 se muestran los años con sequía y su intensidad.

**Cuadro 6.13 Años que presentaron sequías y su intensidad en periodo 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la región de Alisios y Monzón de Norteamérica.**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1962        | Extremadamente seco            | 1990        | Moderadamente seco             |
| 1963        | Excepcionalmente seco          | 1991        | Moderadamente seco             |
| 1964        | Excepcionalmente seco          | 1994        | Moderadamente seco             |
| 1969        | Moderadamente seco             | 1996        | Excepcionalmente seco          |
| 1977        | Muy seco                       | 1999        | Moderadamente seco             |
| 1979        | Muy seco                       | 2000        | Moderadamente seco             |
| 1980        | Excepcionalmente seco          | 2001        | Extremadamente seco            |
| 1982        | Muy seco                       | 2002        | Extremadamente seco            |
| 1983        | Extremadamente seco            | 2004        | Muy seco                       |
| 1984        | Extremadamente seco            | 2006        | Extremadamente seco            |
| 1986        | Moderadamente seco             | 2009        | Extremadamente seco            |
| 1987        | Moderadamente seco             | 2011        | Extremadamente seco            |
| 1989        | Excepcionalmente seco          | 2012        | Extremadamente seco            |

*Fuente: Elaboración propia.*

Las precipitaciones mayores ocurren en la mitad caliente del año, por lo que los años con sequías se asocian a escasa lluvia en este periodo (ver anexos). A pesar de que son frecuentes las sequías severas, en los últimos 12 años del periodo estudiado se presenta una mayor ocurrencia de sequías severas. El comparativo de las estimaciones de sequía con la declaratoria de contingencias por este fenómeno por la CENAPRED (2012), concuerda en la mayoría de los años con excepción del 2004 que fue un año muy seco y no se reportan sequías y en el 2005 que no está incluido en la estimación realizada, si se reportaron sequías.

Las proyecciones en el cambio de la precipitación media anual, el modelo HADLEY proyecta disminuciones que van del 9% al 15% y del 14% al 22% para el 2030 y el 2050 respectivamente. En el modelo GFDL, las proyecciones también fueron en su mayoría negativas, con proporciones desde 4 hasta 21% para el 2030 y del 4 al 29% en el 2050 (ver anexos).

En la Región Mesa del Centro el régimen de lluvia es de verano y va desde mediados del mes de mayo hasta octubre. Los sistemas de vientos dominantes provienen del Golfo de México, con influencia también del componente occidental

de las Ondas tropicales, además de sistemas tropicales como tormentas y huracanes del Atlántico como del Pacífico. En el siguiente cuadro se muestran los años con sequía y su intensidad.

**Cuadro 6.14 Años que presentaron sequías y su intensidad en el periodo 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la Región de Mesa del Centro.**

| Años | Intensidad de la Sequía | Años | Intensidad de la Sequía |
|------|-------------------------|------|-------------------------|
| 1961 | Moderadamente seco      | 1993 | Muy seco                |
| 1962 | Moderadamente seco      | 1994 | Moderadamente seco      |
| 1963 | Moderadamente seco      | 1996 | Moderadamente seco      |
| 1964 | Moderadamente seco      | 1997 | Extremadamente seco     |
| 1965 | Extremadamente seco     | 2000 | Muy seco                |
| 1971 | Moderadamente seco      | 2001 | Moderadamente seco      |
| 1974 | Extremadamente seco     | 2002 | Moderadamente seco      |
| 1976 | Muy seco                | 2005 | Extremadamente seco     |
| 1979 | Muy seco                | 2006 | Moderadamente seco      |
| 1980 | Excepcionalmente seco   | 2008 | Extremadamente seco     |
| 1982 | Excepcionalmente seco   | 2009 | Extremadamente seco     |
| 1983 | Excepcionalmente seco   | 2010 | Moderadamente seco      |
| 1987 | Excepcionalmente seco   | 2011 | Excepcionalmente seco   |
| 1989 | Extremadamente seco     | 2012 | Muy seco                |

*Fuente: Elaboración propia.*

Cuando se presenta sequias en esta región, ocurre un retraso en el inicio de la temporada de lluvias que se da en el mes de mayo principalmente, y una disminución significativa de las lluvias en el tercer trimestre que es el de mayores precipitaciones.

En el análisis se aprecia una tendencia ligera de la frecuencia y la intensidad de las sequias en la última década, aunque en la década de los 80's las sequias fueron de gran intensidad. En el comparativo con la información del CENAPRED (2012), se tiene mayor cantidad de años con sequía que los estimados en este estudio (ver anexos).

Las proyecciones en el cambio de la precipitación media anual del modelo HADLEY para las estaciones de referencia son variadas, con decrementos hacia el oeste de la región con rangos que van de 3 al 10% para 2030 y 6% al 13% al 2050 e incrementos en la parte oriental de la región con 2% al 7% al 2030 y hasta el 10% para 2050. Por el contrario, en el modelo GFDL las proyecciones mostraron decrementos en la parte oriental de la región con 4 al 9% en 2030 y 7 al 16% en el 2050 e incrementos ligeros al oeste 1 al 3% en 2030 y 3 al 5% en 2050 (ver anexos).

En la región Depresión del Balsas se tiene influencia de vientos de los dos litorales, el del Pacífico y del Golfo de México, con mayor incidencia de los vientos del Pacífico que se asocian con los vientos del oeste de las líneas de convergencia de las ondas tropicales y con un gradiente de precipitación que va disminuyendo de poniente a oriente. Los sistemas del Golfo de México tienen influencia en sentido opuesto, pero con menor contribución a la precipitación. En el cuadro 6.14 se muestran los años con sequía y su intensidad para el periodo del estudio.

**Cuadro 6.15 Años que presentaron sequías y su severidad en el periodo de 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la región de Depresión del Balsas.**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1961        | Excepcionalmente seco          | 1988        | Excepcionalmente seco          |
| 1962        | Extremadamente seco            | 1989        | Excepcionalmente seco          |
| 1963        | Moderadamente seco             | 1991        | Moderadamente seco             |
| 1964        | Moderadamente seco             | 1993        | Excepcionalmente seco          |
| 1965        | Extremadamente seco            | 1994        | Excepcionalmente seco          |
| 1971        | Moderadamente seco             | 1996        | Muy seco                       |
| 1974        | Moderadamente seco             | 1997        | Muy seco                       |
| 1976        | Moderadamente seco             | 1999        | Moderadamente seco             |
| 1979        | Muy seco                       | 2000        | Extremadamente seco            |
| 1980        | Moderadamente seco             | 2005        | Extremadamente seco            |
| 1982        | Muy seco                       | 2006        | Muy seco                       |
| 1983        | Moderadamente seco             | 2009        | Extremadamente seco            |
| 1986        | Moderadamente seco             | 2011        | Moderadamente seco             |
| 1987        | Extremadamente seco            | 2012        | Muy seco                       |

*Fuente: Elaboración propia.*

No se aprecia que se dé una tendencia de cambio en la ocurrencia de las sequías en el periodo estudiado. En la década de los 80's se presentó la mayor frecuencia de sequías, aunque en la primera década del 2000's, tres de las sequías que se presentaron fueron muy severas. Dado que la mayor proporción de la precipitación se da en el tercer trimestre, por lo que las sequías se asocian con una disminución en la lluvia en este trimestre. En el reporte del CENAPRED (2012), se indican que en ésta región, del 2000 al 2011 se declararon 11 años con sequías, sin embargo nuestro análisis de SPI indica que sólo han sido 5 los años afectados (ver anexos).

Las proyecciones en el cambio de la precipitación media anual del modelo HADLEY para las estaciones de referencia son variadas, con decrementos en las proporciones de 3 a 7 y 4% a 9% respectivamente para los escenarios de tiempo al 2030 y al 2050 y en el modelo GFDL las proyecciones también fueron con

decrementos en la precipitación media, con valores de 5 a 8%, y del 8% al 13%, respectivamente para los escenarios de tiempo al 2030 y al 2050 (ver anexos).

La región de Componente del Oeste de la línea de convergencia de las Ondas tropicales presenta un régimen de lluvias de verano que van de mayo a noviembre, y la mayor proporción de la precipitación se asocia a los fenómenos que describen esta región aunado a la influencia de huracanes y tormentas tropicales que se presentan con mayor frecuencia en septiembre y octubre. En la mitad fría del año son muy escasas las precipitaciones. En el cuadro 6.15 se presentan los años con sequía y su severidad en el periodo de estudio.

**Cuadro 6.16 Años que presentaron sequías y su severidad en el periodo de 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la región de Componente de vientos del pacífico de las ondas tropicales.**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1961        | Moderadamente seco             | 1982        | Excepcionalmente seco          |
| 1964        | Moderadamente seco             | 1983        | Muy seco                       |
| 1965        | Extremadamente seco            | 1985        | Muy seco                       |
| 1966        | Moderadamente seco             | 1986        | Muy seco                       |
| 1967        | Muy seco                       | 1987        | Excepcionalmente seco          |
| 1968        | Muy seco                       | 1990        | Muy seco                       |
| 1970        | Moderadamente seco             | 1991        | Muy seco                       |
| 1971        | Moderadamente seco             | 1994        | Excepcionalmente seco          |
| 1972        | Moderadamente seco             | 1998        | Extremadamente seco            |
| 1973        | Moderadamente seco             | 1999        | Extremadamente seco            |
| 1974        | Muy seco                       | 2000        | Excepcionalmente seco          |
| 1976        | Extremadamente seco            | 2009        | Muy seco                       |
| 1977        | Extremadamente seco            | 2010        | Excepcionalmente seco          |

*Fuente: Elaboración propia.*

Las sequías más extremas están asociadas un decremento en la precipitación en los trimestres con mayores precipitaciones que son el segundo y tercero (ver anexos). No se observa tendencia de que la ocurrencia de sequías está aumentando en las décadas recientes que indiquen que la sequía está aumentando de intensidad o frecuencia. El reporte de CENAPRED (2012), concuerda en su mayoría con lo estimado en este estudio, con excepción del año 2010 que no se declararon contingencias para municipios de esta región y las estimaciones de este estudio es que la sequía fue excepcional.

Las proyecciones en el cambio de la precipitación media anual del modelo HADLEY, son de incremento, con 3 al 8% para el 2030 y 5% al 10% para el 2050. En el modelo GFDL las proyecciones son mayoritariamente de decremento en la precipitación media anual de 1% a 4% al 2030 y 2% a 7% al 2050 (ver anexos).

En la región de Barlovento de Alisos se tienen sistemas que generan las lluvias a lo largo de todo el año, en la mitad fría del año (de octubre a abril), por los frentes fríos que interaccionan con el aire con mayor temperatura y humedad de estas áreas y de abril a octubre se tiene el periodo de mayores precipitaciones asociado a los vientos que vienen del Golfo de México (Alisios) y lo que aportan las Ondas tropicales, además de la ocurrencia de fenómenos intensos como tormentas tropicales y huracanes, principalmente de en los meses de septiembre y octubre. En esta región se presentan las zonas con mayores precipitaciones en el país. En el cuadro 6.16 se presenta la información de los años con sequía y su intensidad para esta región en el periodo de tiempo del estudio.

**Cuadro 6.17 Años que presentaron sequías y su intensidad en el periodo de 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la región de Barlovento de Alisos.**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1961        | Extremadamente seco            | 1983        | Muy seco                       |
| 1962        | Extremadamente seco            | 1987        | Muy seco                       |
| 1963        | Muy seco                       | 1996        | Excepcionalmente seco          |
| 1964        | Muy seco                       | 2000        | Extremadamente seco            |
| 1968        | Extremadamente seco            | 2002        | Muy seco                       |
| 1969        | Excepcionalmente seco          | 2004        | Extremadamente seco            |
| 1970        | Excepcionalmente seco          | 2005        | Extremadamente seco            |
| 1971        | Excepcionalmente seco          | 2007        | Extremadamente seco            |
| 1977        | Extremadamente seco            | 2009        | Extremadamente seco            |
| 1982        | Muy seco                       | 2012        | Moderadamente seco             |

*Fuente: Elaboración propia.*

El régimen de lluvias de esta región es mayoritariamente de todo el año, pero la mayor proporción se da en el segundo y tercer trimestre, por lo que la mayoría de los años que se estimó sequía, se asociaron con disminuciones considerables de precipitación en estos dos trimestres. En ésta región se distingue que en la década de los sesentas y en la del 2000, se tuvieron mayor frecuencia e intensidad de las sequías. En el reporte de declaratorias de contingencias por sequía del CENAPRED (2012) se tiene solo con excepción del 2010, todos los años del 2000 al 2011 se decretaron contingencias por sequias, con mayor incidencia en 2002 y en 2005, que concuerda con los resultados estimados en este estudio, con excepción de los años 2001, 2003, 2006, 2008 y 2011 que no se caracterizaron por ser secos.

Las proyecciones en el cambio de la precipitación media anual del modelo HADLEY son de incremento del 6% al 33% al 2030 y del 2% al 29% al 2050 y para

el modelo GFDL las proyecciones son mayoritariamente de decremento en la precipitación media anual que van de 2% al 8% en 2030 y 3% al 5% en el 2050.

En la región de Depresión de Chiapas los sistemas de vientos que generan la lluvia son de ambos litorales, tanto del Atlántico como del Pacífico, concentrándose principalmente en la mitad caliente del año. El Sistema Montañoso de los Altos de Chiapas aísla a esta zona de la influencia de los frentes fríos que se dan de octubre a abril principalmente, por lo que las lluvias son principalmente de régimen de verano con precipitaciones mayores de junio a octubre. La cantidad de precipitación es considerablemente menor que el de las regiones al sur y al norte por el efecto de los sistemas montañosos de los altos de Chiapas al norte y de la Sierra madre de Chiapas al sur. En el cuadro 6.17 se presentan los años con sequía y su intensidad para esta región.

**Cuadro 6.18 Años que presentaron sequías y su severidad en el periodo de 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual para la región de Depresión Central de Chiapas.**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1961        | Extremadamente seco            | 1987        | Excepcionalmente seco          |
| 1962        | Moderadamente seco             | 1990        | Extremadamente seco            |
| 1967        | Moderadamente seco             | 1991        | Extremadamente seco            |
| 1970        | Excepcionalmente seco          | 1992        | Moderadamente seco             |
| 1972        | Muy seco                       | 1994        | Excepcionalmente seco          |
| 1977        | Extremadamente seco            | 1997        | Extremadamente seco            |
| 1979        | Extremadamente seco            | 2004        | Muy seco                       |
| 1980        | Muy seco                       | 2006        | Muy seco                       |
| 1983        | Excepcionalmente seco          | 2012        | Muy seco                       |
| 1986        | Muy seco                       |             |                                |

*Fuente: Elaboración propia.*

Al igual que en varias de las regiones anteriores el tercer trimestre es el determinante para el comportamiento de la ocurrencia de sequía en la región, no hay tendencias que muestren un aumento en la frecuencia y la intensidad de este fenómeno (ver anexos). En el informe del CENAPRED (2012) se marca el 2004 con el mayor número de municipios con declaratoria de contingencia por sequía, aunque en general los reportes son muy bajos y en la mayoría de años no se hicieron declaratorias de sequía, lo que concuerda con los resultados del estudio.

Las proyecciones en el cambio de la precipitación media anual del modelo HADLEY son de incremento que van del 3 al 26% y del 4% al 28 % para el 2030 y 2050. En el modelo GFDLCM 2.0, las proyecciones son decrementos menores que van de 1% al 3% y del 4% al 7%, respectivamente para el 2030 y el 2050 (ver anexos).

En la región de Península de Yucatán la precipitación se asocia a los sistemas de vientos Alisios de la zona de alta presión del Golfo de México y a las ondas tropicales, aunque los primeros arrastran a los vientos de las ondas tropicales hacia el sur y disminuye la precipitación en la zona norte y la central poniente. Los sistemas intensos como son las tormentas tropicales y huracanes tienen incidencia importante principalmente en los meses de septiembre y octubre, además de que hay efecto de los frentes fríos en la mitad fría del año. En el cuadro 6.18 se muestran los años con sequía y su intensidad en esta región.

**Cuadro 6.19. Años que presentaron sequías y su intensidad en el periodo de 1960–2012 por medio del análisis del SPI anual en la región de península de Yucatán.**

| <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> | <b>Años</b> | <b>Intensidad de la Sequía</b> |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1962        | Muy seco                       | 1984        | Extremadamente seco            |
| 1963        | Extremadamente seco            | 1986        | Moderadamente seco             |
| 1969        | Muy seco                       | 1987        | Muy seco                       |
| 1970        | Excepcionalmente seco          | 1990        | Extremadamente seco            |
| 1971        | Extremadamente seco            | 1994        | Extremadamente seco            |
| 1974        | Muy seco                       | 1996        | Extremadamente seco            |
| 1975        | Muy seco                       | 1997        | Excepcionalmente seco          |
| 1976        | Excepcionalmente seco          | 2003        | Muy seco                       |
| 1980        | Extremadamente seco            | 2006        | Extremadamente seco            |
| 1981        | Extremadamente seco            | 2007        | Excepcionalmente seco          |
| 1982        | Excepcionalmente seco          | 2009        | Extremadamente seco            |

*Fuente: Elaboración propia.*

No hay una tendencia que indique que las sequías se están agudizando, incluso, la década de 1980 a 1989 fue la que registro mayor incidencia de sequias con seis. El reporte de declaratorias de contingencias por sequía del CENAPRED (2012) el año 2009 fue el que tuvo mayor número de municipios con declaratoria de contingencia, seguido por el 2008, este último no se estimó con sequía en el presente estudio (ver anexos).

Las proyecciones en el cambio de la precipitación media anual del modelo HADLEY son de incremento en la precipitación media anual del 4% al 15% y del 5% al 15%, para el 2030 y el 2050, respectivamente. En el modelo GFDL son de incremento en la precipitación media anual que van del orden de 9% al 10% y del 10% al 17%, respectivamente para los dos escenarios de tiempo considerados (ver anexos).

### 6.3.3. COMPORTAMIENTO DE LA SEQUÍA A NIVEL DE DÉCADAS

En esta sección se presenta el integrado del comportamiento de la sequía para todo el país, mostrando el comportamiento de las estaciones de referencia ubicadas en cada una de las Regiones de Influencia de Precipitación. En la figura 6.8 se muestra el número de estaciones por década que presentaron un determinado número de sequías anuales. La década de 1960 a 1970 la mayoría de las estaciones presentaron sequías de 0 a 4 años, aunque cerca del 15% de las estaciones presentaron de 4 a 6 años y el 5% con sequías de 6 a 9 años. En la década de 1970 a 1980, la mayoría de las estaciones presentaron menos de cuatro sequías, el 6% de las estaciones presentaron de cuatro a seis años de sequía y cerca del 3% con sequías de 6 a 9 años. La década de 1980 a 1990 y la de 1990 al 2000 presentaron una tendencia similar, con cerca del 30% de las estaciones con hasta 2 sequías y el 50% de las estaciones con 2 a 4 años de sequía, son las que presentan mayor proporción (19%) con cuatro a 6 años de sequía y el 3% con sequías de 6 a 9 años. La década del 2000 al 2010, presentó la mayor proporción (51%) de estaciones con hasta 2 sequías, seguido por la categoría de dos a cuatro años de sequía (38%), el 11% de las estaciones presentaron de 4 a 6 años de sequía y en la categoría más alta solo se tuvo una estación.

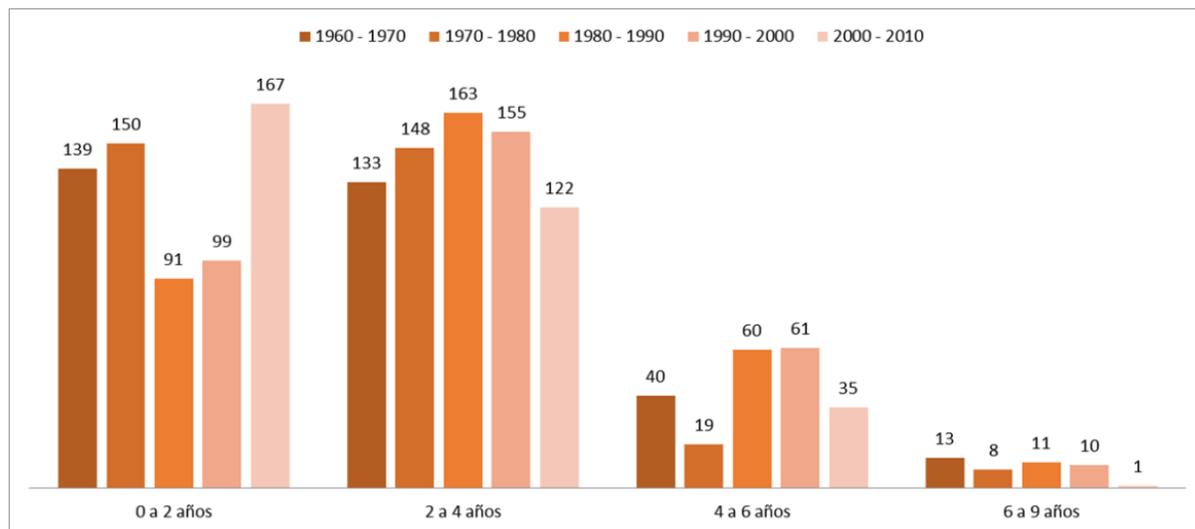
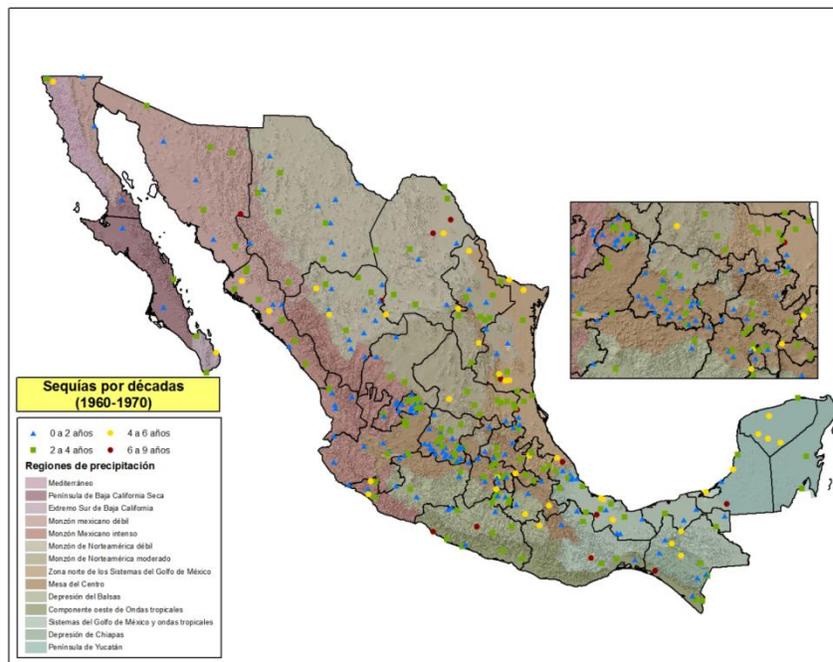


Figura 6.8 Frecuencia de sequías en las décadas de 1960 al 2010 para las estaciones de referencia de la República Mexicana.

Fuente: Elaboración propia.

En las siguientes figuras se muestran la distribución de las estaciones señaladas por años de sequía en las distintas décadas. La figura 6.9 muestra la década de 1960 a 1970, la figura 6.10 la década de 1970 a 1980, la figura 6.11 con la década de 1980 a 1990, la figura 6.12 con la de la década de 1990 a 2000 y finalmente la figura 6.13 la década de 2000 a 2010.



**Figura 6.9 Frecuencia de sequías en la década de 1960 al 1970 para las estaciones de referencia de la República Mexicana.**

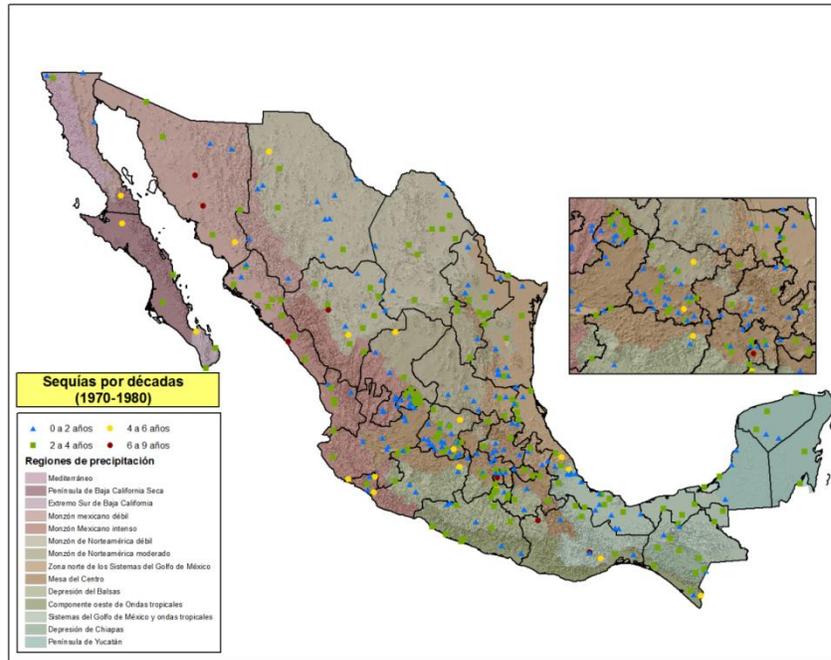


Figura 6.10 Frecuencia de sequias en la década de 1970 a 1980 para las estaciones de referencia de la República Mexicana.

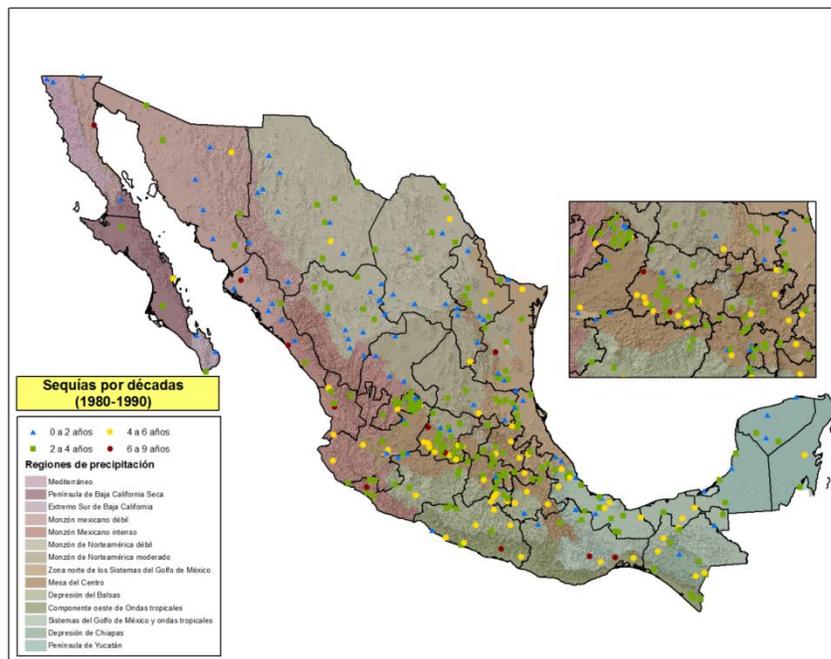


Figura 6.11 Frecuencia de sequias en la década de 1980 a 1990 para las estaciones de referencia de la República Mexicana.

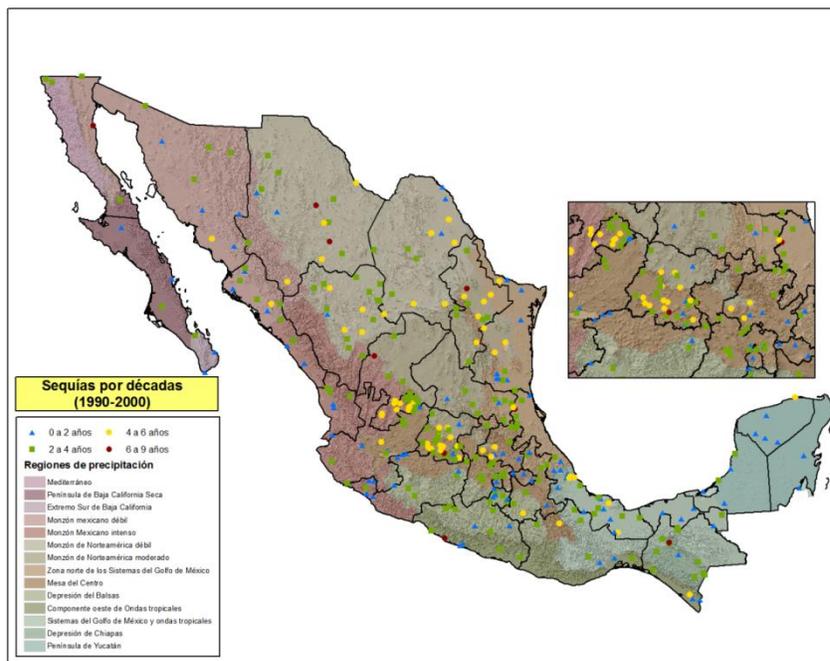


Figura 6.12 Frecuencia de sequías en la década de 1990 al 2000 para las estaciones de referencia de la República Mexicana.

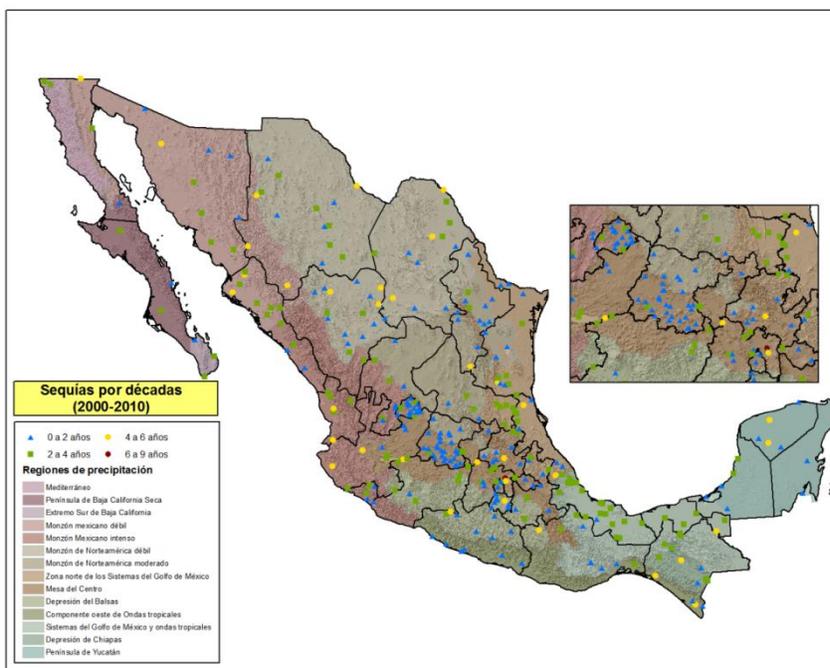


Figura 6.13 Frecuencia de sequías en la década de 2000 al 2010 para las estaciones de referencia de la República Mexicana.

Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 6.14 y 6.15 se muestra los cambios estimados en el porcentaje de la precipitación anual para el año 2030 para el Modelo GFDL y el HADLEY, respectivamente y en las figuras 6.16 y 6.17 ésta misma información pero para el escenario de tiempo del 2050 para los modelos señalados de manera respectiva.

Como se puede observar en las figuras el modelo GDFLCM (figura 6.14) nos muestra para el 2030 que la precipitación no varía de manera significativa, mientras que para el modelo HADLEY para el mismo año y el mismo escenario socioeconómico (figura 6.15), muestra una clara tendencia a menor precipitación promedio anual. Para el año 2050 en el modelo GDFL (figura 6.16) los decrementos se acentúan en el centro sur del país, mientras que en el HADLEY (figura 6.17) el decremento se vuelve más generalizado.

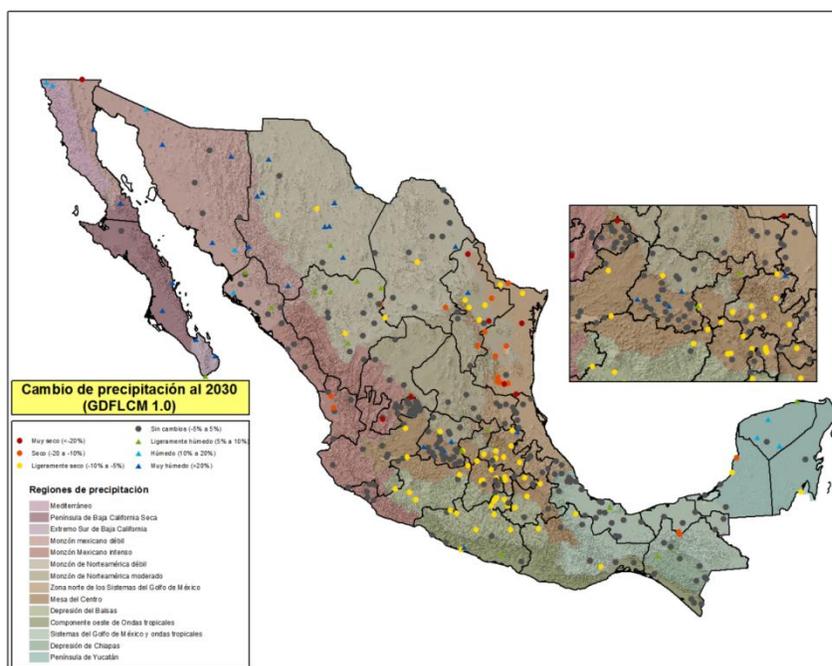


Figura 6.14 Cambio de precipitación estimado para el 2030 estimadas con el modelo GFDL en el escenario socioeconómico A2 para las estaciones de referencia de la República Mexicana.

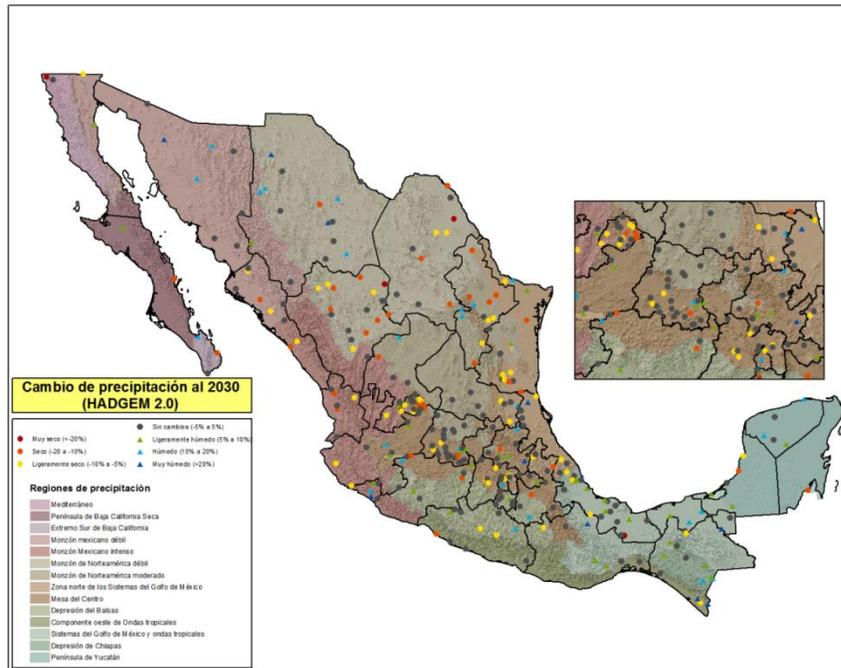


Figura 6.15 Cambio de precipitación estimado para el 2030 estimadas con el modelo HADLEY en el escenario socioeconómico A2 para las estaciones de referencia de la República Mexicana

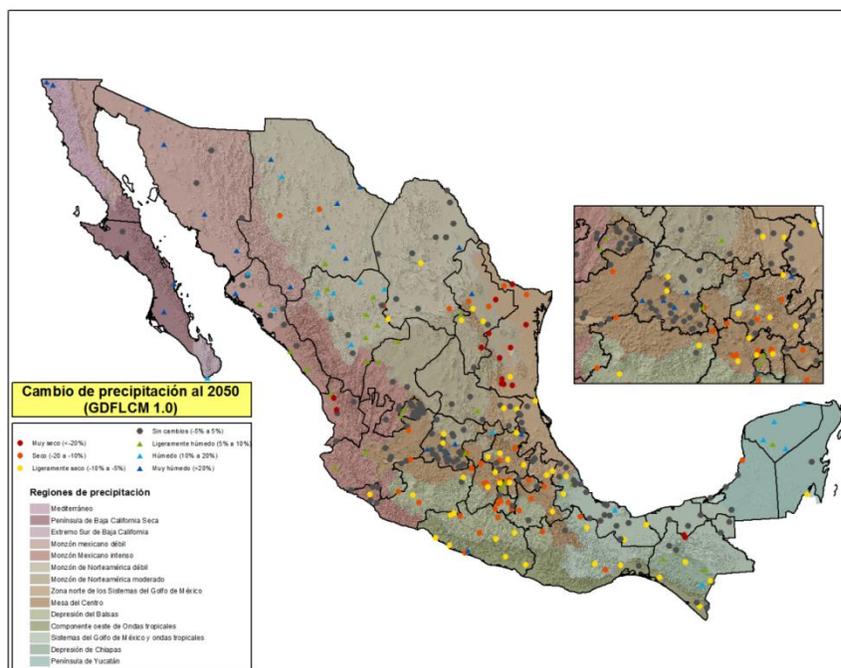
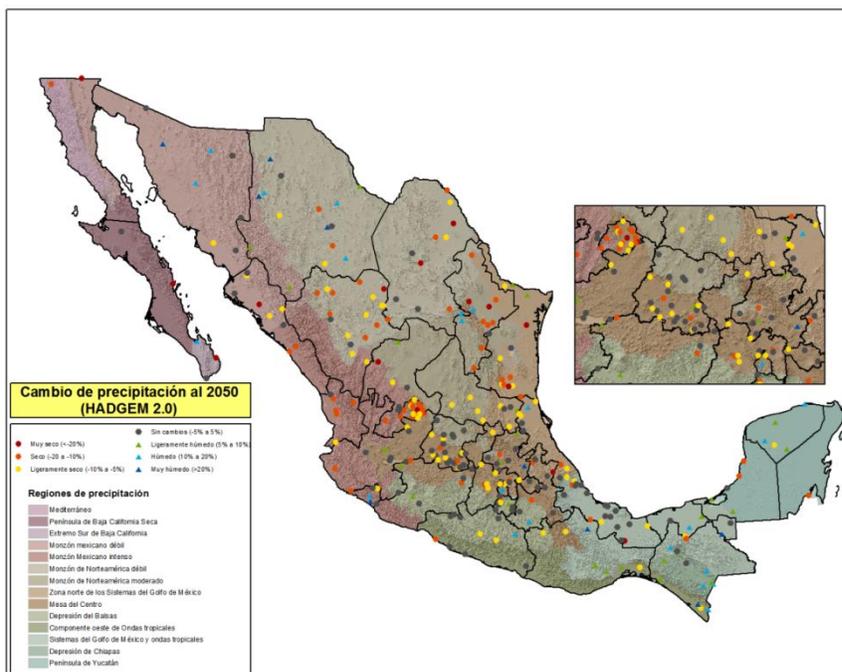


Figura 6.16 Cambio de precipitación estimado para el 2050 estimadas con el modelo GFDL en el escenario socioeconómico A2 para las estaciones de referencia de la República Mexicana



**Figura 6.17 Cambio de precipitación estimado para el 2050 estimadas con el modelo HADLEY en el escenario socioeconómico A2 para las estaciones de referencia de la República Mexicana**

*Fuente: Elaboración propia.*

En resumen, no se encontró tendencia de incremento en la frecuencia e intensidad de la sequía en las regiones de régimen de lluvias de invierno y en las regiones donde el régimen de lluvias es de verano hay en algunas regiones una ligera tendencia de que las sequias de las últimas décadas han sido más extremas. La estimación de comportamiento de la precipitación para el 2030 y 2050, según los modelos GDFL y HADLEY, indican que habrá disminuciones de precipitación, principalmente en la época del año en donde se presentan la mayor proporción de las lluvias, por lo que las sequías serán más comunes y severas.

## 7. DEGRADACIÓN Y DESERTIFICACIÓN DE TIERRAS EN MÉXICO

---

El indicador integrado de degradación de tierras se obtuvo al combinar las capas temáticas de los indicadores integrados de: a) los recursos bióticos; b) los recursos hídricos y c) los recursos edáficos, los cuales se describen en anteriores apartados como se definieron.

Como resultado de la sobre posición de los indicadores mencionados, se obtuvieron unidades cartográficas que contienen la información referente a cada tipo de degradación, y el nivel de degradación dominante se definió por el criterio de factor más limitativo definido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en la Clasificación de Capacidad de uso de las tierras (Klingebiel y Montgomery, 1966).

En el cuadro 7.1 se muestra el criterio para definir la clase de degradación de cada una de las unidades cartográficas resultantes de la sobre posición de los tres indicadores señalados. El cuadro muestra en la parte superior los niveles de degradación asociado al componente edáfico y en la parte lateral izquierda se incluyen los niveles de degradación primero del recurso biótico seguido de los niveles del componente hídrico.

Es importante señalar que cada unidad cartográfica conserva la base de datos de los tres indicadores, por lo que se puede conocer a detalle las características de cada factor que se incluyen en la definición de los indicadores integrados bióticos, hídricos y edáficos.

**Cuadro 7.1 Esquema de integración de la degradación de los recursos bióticos, edáficos e hídricos. En donde los niveles de degradación integrada se denotan por: D0 nula, D1 ligera, D2 moderada, D3 severa, D4 extrema**

|                     |    |                     | DEGRADACIÓN EDÁFICA |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|---------------------|----|---------------------|---------------------|----|----|----|----|----|--|----|----|--|----|--|
|                     |    |                     | E4                  | E3 | E2 | E1 | E0 |    |  |    |    |  |    |  |
| DEGRADACIÓN BIÓTICA | B4 | DEGRADACIÓN HÍDRICA | H4                  | D4 |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H3                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H2                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H1                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H0                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     | B3 |                     | H4                  | D3 |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H3                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H2                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H1                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H0                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     | B2 |                     | H4                  | D4 | D3 |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H3                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H2                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H1                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H0                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     | B1 |                     | H4                  | D4 | D3 |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H3                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H2                  |    |    |    |    |    |  | D2 |    |  | D1 |  |
|                     |    |                     | H1                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     |    |                     | H0                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
| B0                  | H4 | D4                  | D3                  |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     | H3 |                     |                     |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     | H2 |                     |                     |    |    |    |    | D2 |  |    | D1 |  |    |  |
|                     | H1 |                     |                     |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |
|                     | H0 |                     |                     |    |    |    |    | D1 |  | D0 |    |  |    |  |
| H0                  |    |                     |                     |    |    |    |    |    |  |    |    |  |    |  |

*Dónde: Clases de degradación edáfica: E0 nula, E1 ligera, E2 moderada, E3 severa, E4 extrema. Degradación biótica: B0 nula, B1 ligera, B2 moderada, B3 severa, B4 extrema. Degradación hídrica H0 nula, H1 ligera, H2 moderada, H3 severa, H4 extrema.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### 7.1. INDICADOR INTEGRADO DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS.

A partir del análisis resultado de la integración del indicador de la degradación de tierras, se tiene que alrededor 90.7% de la superficie nacional (177,642 miles de ha), presenta algún grado de degradación. Las clases de degradación ligera y moderada representan el 41.5% y la degradación severa y extrema representa el 47.8%, lo que indica que el problema asociado a la disminución o pérdida de la capacidad productiva de las tierras del país es grave ya que cerca de la mitad del país tiene problemas de severos a extremos de degradación de tierras por lo que es imperativo establecer planes y acciones encaminadas a revertir este proceso. En la figura 7.1 se muestran las diferentes clases de degradación en la superficie del país. La degradación extrema se asocia a las áreas con problemas por intrusión salina y a las zonas urbanas, mientras que la degradación severa se encuentra distribuida en gran parte de las diferentes regiones del país, mientras que en el cuadro 7.2 se señala la superficie en miles de Ha. con degradación de tierras y su representatividad en la superficie del país.

**Cuadro 7.2 Superficie y porcentaje de la misma por nivel de degradación integrada a partir de los factores bióticos, edáficos e hídricos.**

| <b>Tipo de degradación dominante</b> | <b>Superficie (miles de ha)</b> | <b>Porcentaje de la superficie del país</b> |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|
| Sin Degradación                      | 18, 282.8                       | 9.3   |
| Degradación ligera                   | 47, 541.1                       | 24.3  |
| Degradación moderada                 | 33, 672.2                       | 17.2  |
| Degradación Severa                   | 75, 258.8                       | 38.4  |
| Degradación extrema                  | 18, 498.7                       | 9.4   |
| Cuerpos de agua                      | 2 ,671.1                        | 1.4   |
| <b>Total</b>                         | <b>195, 924.8</b>               | <b>100.0</b>                                |

*Fuente: Elaboración propia.*

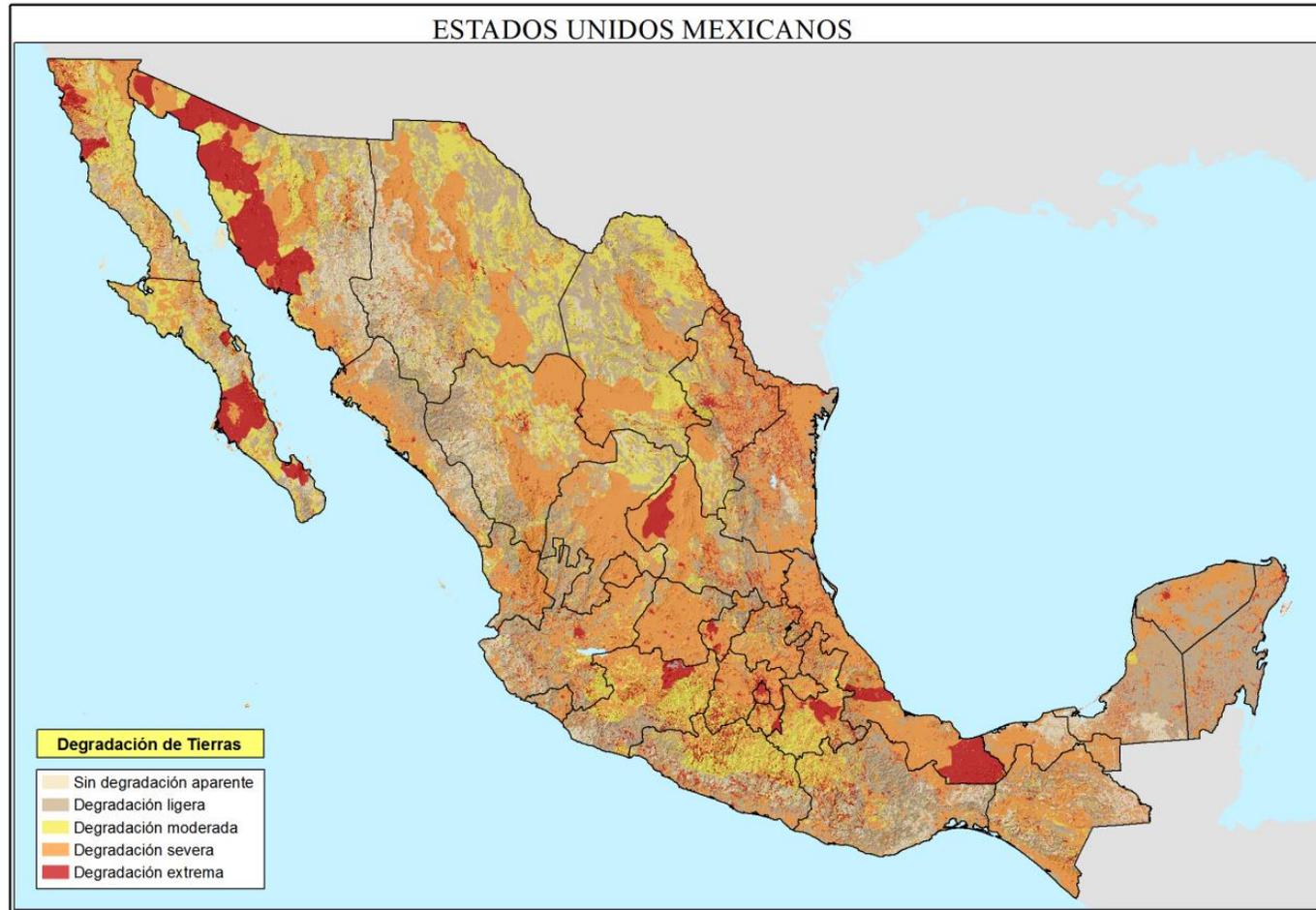


Figura 7.1 Degradación de tierras en México.

Fuente: Elaboración propia.

## 7.2. INDICADOR INTEGRADO DE DESERTIFICACIÓN DE TIERRAS PARA LAS CONDICIONES ACTUALES Y CON CAMBIO CLIMÁTICO.

El indicador integrado de desertificación de tierras se generó a partir de los criterios de la Convención de Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (CNULD, 1994) que indica que ésta ha sido reconocida como la degradación de tierras en medios áridos, semiáridos y subhúmedos secos, como resultado de varios factores, incluyendo las variaciones climáticas y las actividades humanas.

Para la generación de este indicador integrado, se partió de la caracterización de la degradación integrada expuesto en el apartado anterior, al cual se le sobrepuso la caracterización detallada de los tipos climáticos del país determinadas a través del Índice de Aridez, para lo cual se siguió el criterio que tiene mayor correlación con los tipos de vegetación con la estimación de la Evapotranspiración Potencial por el método de Penman.

La caracterización se realizó a escala regional (1:250 000) como todas las evaluaciones del presente estudio y la determinación de los tipos climáticos con el índice de Aridez se usó el generado en el proyecto de “Actualización de la delimitación de las Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de la República Mexicana a nivel Regional” apoyado con Fondos Sectoriales de CONACYT-SEMARNAT el cual le fue asignado a la UACH y lo realizó Gómez et al., (2012), siendo de la misma escala.

Las áreas que correspondieron a los medios hiper-áridos, áridos semiáridos, subhúmedos secos (Tierras secas) y acorde al grado de Degradación que presentan se consideraron como el grado de Desertificación, mientras que las Tierras húmedas, siendo conformadas los medios subhúmedo húmedo, húmedo, muy húmedo y per-húmedo, aún si presentan algún grado de Degradación, no entran en el concepto de Tierras Desertificadas.

En la base de datos generada para el país, la cual se precisó para cada una de las Áreas de Influencia Climática, se aplicaron las razones de cambio estimadas para el escenario de tiempo al 2050 y bajo el criterio socioeconómico A2 para los Modelos Generales de Circulación de la Atmósfera GFDL (desarrollado en Estados Unidos de América) y el modelo HADLEY (desarrollado en Inglaterra); con esta información se recalcularon los tipos climáticos de acuerdo el criterio del Índice de Aridez y los resultados se conjuntaron con los productos cartográficos generados en la delimitación del Indicador Integrado de Degradación, para delimitar las áreas afectadas por Desertificación en Tierras secas.

El cuadro 7.3 muestra la superficie del país, y proporción de ésta, afectada por los diferentes grados de Desertificación, como ya se indicó en los medios áridos, semiáridos, subhúmedos secos así como las tierras húmedas que no entran en la definición de tierras que pueden considerarse susceptibles a ser desertificadas. Se indica para las condiciones actuales (escenario base estimado con el promedio de información de 1970 al 2000) y los resultados determinados con los modelos GFDL y el HADLEY al año 2050 y en condiciones socioeconómicas A2. En la figura 7.2 se muestra la distribución de la incidencia de Desertificación en sus diferentes grados para el país bajo las condiciones actuales y en las figuras 7.3 y 7.4 se presenta la afectación bajo cambio climático al 2050 estimada con el modelo GFDL y HADLEY, respectivamente.

**Cuadro 7.3 Superficie y porcentaje de la misma por nivel de Desertificación integrada para las condiciones climáticas actuales y bajo escenarios de cambio climático estimados para el 2050 y escenario socioeconómico A2 con los modelos GFDL y el modelo HADLEY.**

| Tipo de Desertificación dominante | Clima actual (escenario base) |              | Escenario al 2050 Modelo GFDL-A2 |              | Escenario al 2050 Modelo HADLEY-A2 |              |
|-----------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|
|                                   | Superficie (miles de ha)      | Porcentaje   | Superficie (miles de ha)         | Porcentaje   | Superficie (miles de ha)           | Porcentaje   |
| Sin Desertificación aparente      | 9,581.6                       | 4.9          | 6,468.7                          | 3.3          | 10,515.3                           | 5.4          |
| Desertificación ligera            | 25,922.7                      | 13.2         | 23,628.0                         | 12.1         | 27,529.7                           | 14.1         |
| Desertificación moderada          | 27,231.9                      | 13.9         | 26,301.7                         | 13.4         | 28,160.1                           | 14.4         |
| Desertificación severa            | 50,277.4                      | 25.7         | 46,950.4                         | 24.0         | 52,491.1                           | 26.8         |
| Desertificación extrema           | 12,462.6                      | 6.4          | 12,217.5                         | 6.2          | 12,993.6                           | 6.6          |
| Cuerpos de agua                   | 850.2                         | 0.4          | 834.0                            | 0.4          | 877.9                              | 0.4          |
| Tierras húmedas                   | 69,598.4                      | 35.5         | 79,524.6                         | 40.6         | 63,357.1                           | 32.3         |
| <b>Total</b>                      | <b>195,924.8</b>              | <b>100.0</b> | <b>195,924.8</b>                 | <b>100.0</b> | <b>195,924.8</b>                   | <b>100.0</b> |

*Fuente: Elaboración propia.*

Para las condiciones climáticas actuales, las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas representan el 64.5% de la superficie del país y el porcentaje de la superficie afectada por Desertificación en estos medios representan el 59.2% de la superficie del país, con solo el 4.9% de estos áreas sin desertificación aparente y dentro de las clases severa y extrema representan el 32.1% del país, y las áreas con degradación ligera y moderada que representan el 27.1%, lo que indica que es prioritario dar atención a todas las áreas pero con acciones focalizadas a atender los problemas de acuerdo al grado de desertificación. En las

áreas sin afectación deben manejarse con criterios que prevengan el deterioro de la calidad de las tierras y su potencial productivo.

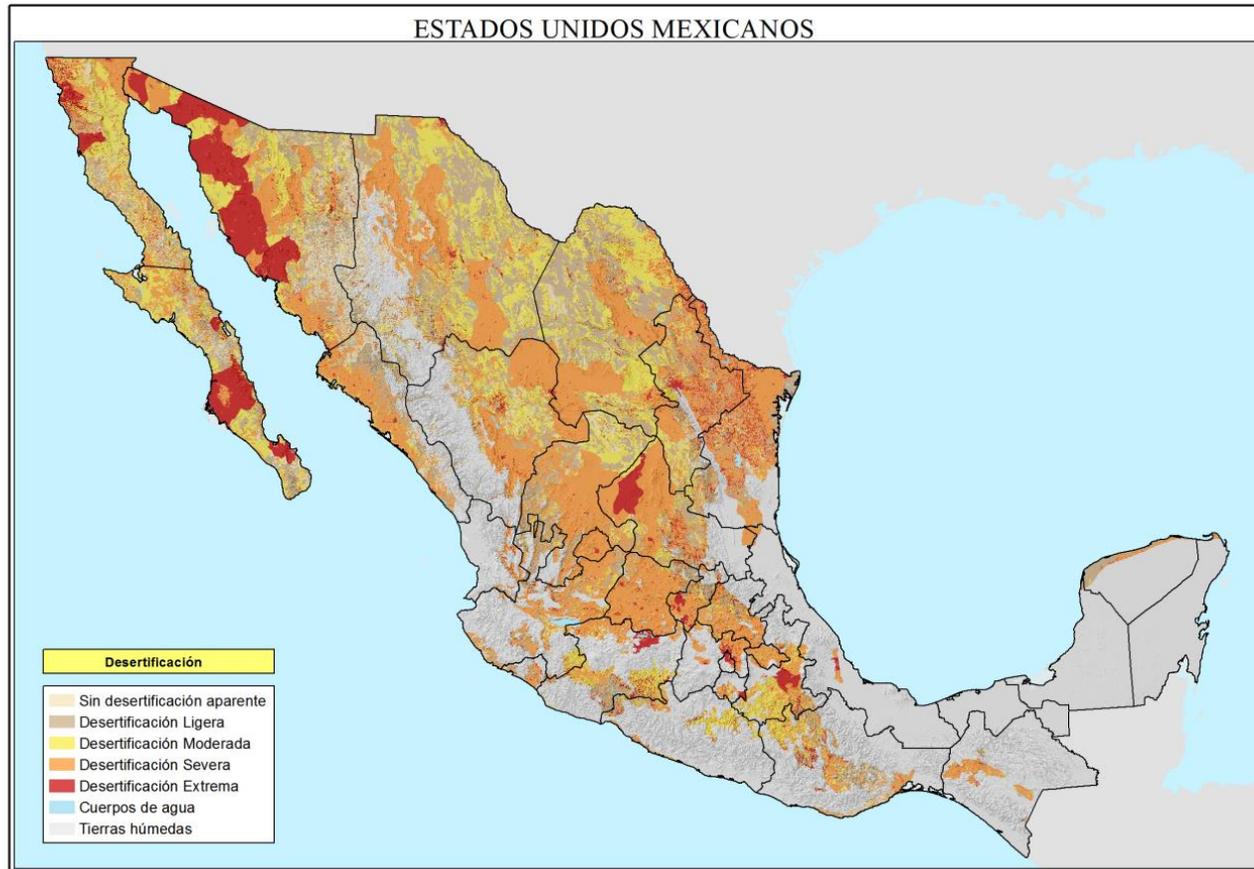
Las áreas sin Desertificación aparente en las tierras secas, están distribuidas en todos los medios, el 0.02% de la superficie en medios hiper-áridos, 0.97% en áridos, 2.46% en semiáridos y 1.44% en subhúmedos secos. Las áreas con desertificación ligera se distribuyen en los siguientes medios: 0.01% en hiper-áridos, 4.28% en áridos, 6.49% en semiáridos y 2.45% en subhúmedos secos. Las áreas con desertificación moderada se distribuyen también en todos los medios con 0.23% en hiper-áridos, 5.21% en áridos, 6.83% en semiáridos y 1.63% en subhúmedos secos. Las áreas con desertificación severa se distribuyen de la siguiente manera: 0.36% en medios hiper-áridos, 5.08% en áridos, 15.80% en semiáridos y 4.42% en subhúmedos secos mientras que las áreas con desertificación extrema se distribuyen también en todos los medios, con 0.04% en hiper-áridos, 3.08% en áridos, 2.53% en semiáridos y 0.71% en subhúmedos secos.

Para las condiciones de cambio climático estimada con las salidas del Modelo de Circulación Atmosférica GFDL al 2050 con el escenario de tiempo al 2050 y las condiciones socioeconómicas A2, las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas representan el 59.6% de la superficie del país, y el porcentaje de la superficie afectada por Desertificación en estos medios representan el 55.7% de la superficie del país, con solo el 3.3% de estos áreas sin desertificación aparente y dentro de las clases severa y extrema representarían el 30.2% del país, y las áreas con degradación ligera y moderada que representan el 25.5%, que en términos generales se presentó una disminución de las áreas secas, con la ausencia de las áreas hiper-áridas, y del porcentaje del país afectado por algún nivel de desertificación.

Las áreas sin Desertificación aparente en las tierras secas, se estima que estarían distribuidas en los siguientes medios: el 0.04% de la superficie en áridos, 1.63% en semiáridos y 1.62% en subhúmedos secos. Las áreas con desertificación ligera se distribuirían en los siguientes medios: 0.13% en áridos, 8.65% en semiáridos y 3.27% en subhúmedos secos. Las áreas con desertificación moderada se distribuirían en los siguientes medios: 0.35% en áridos, 9.74% en semiáridos y 3.34% en subhúmedos secos. Las áreas con desertificación severa se distribuirían de la siguiente manera: 0.85% en áridos, 17.06% en semiáridos y 6.05% en subhúmedos secos mientras que las áreas con desertificación extrema se distribuirían en los siguientes medios: 0.18% en áridos, 4.79% en semiáridos y 1.27% en subhúmedos secos.

Para las condiciones de cambio climático estimada con las salidas del Modelo de Circulación Atmosférica HADLEY al 2050 con el escenario de tiempo al 2050 y las condiciones socioeconómicas A2, las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas representan el 67.4% de la superficie del país, con un incremento de 32.% de la superficie del país en este tipo de medios y la proyección del porcentaje de la superficie afectada por Desertificación en estos medios representan el 61.9% de la superficie del país, con el 5.43% de estas áreas sin desertificación aparente y dentro de las clases severa y extrema representarían el 33.4% del país, y las áreas con degradación ligera y moderada que representan el 28.5%.

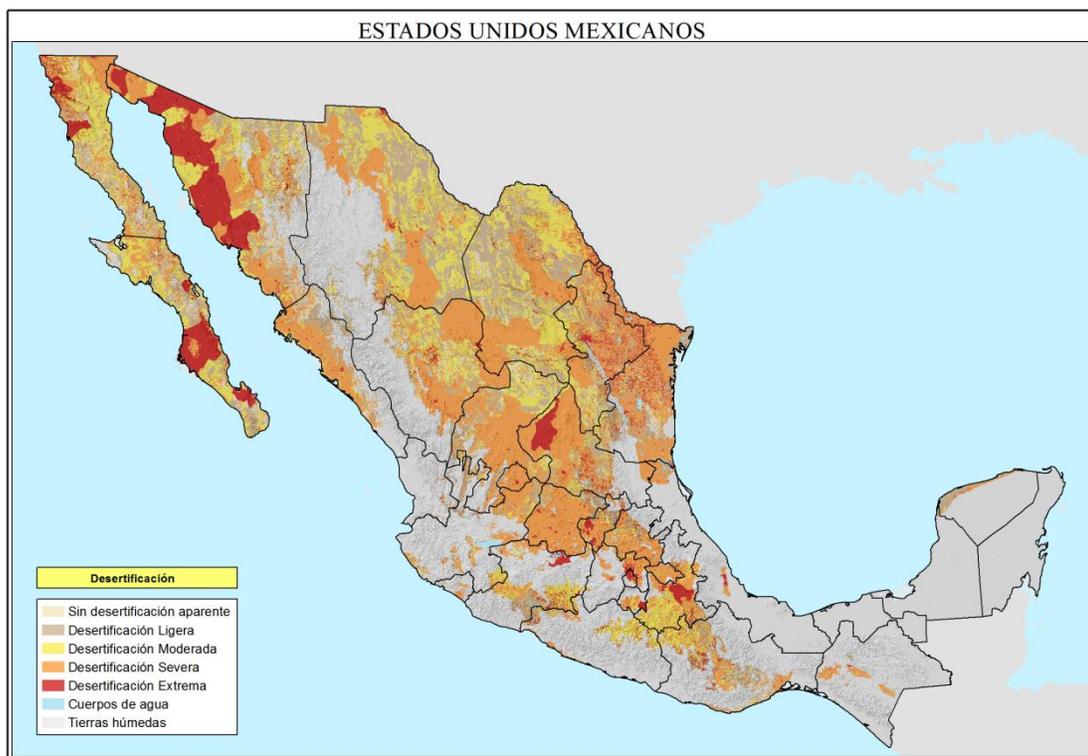
Las áreas sin Desertificación aparente en las tierras secas, están distribuidas en todos los medios, el 0.03% de la superficie en hiper-áridos, 1.18% en áridos, 2.48% en semiáridos y 1.68% en subhúmedos secos. Las áreas con desertificación ligera se distribuyen en los siguientes medios: 0.02% en hiper-áridos, 5.21% en áridos, 6.32% en semiáridos y 2.50% en subhúmedos secos. Las áreas con desertificación moderada se distribuyen también en todos los medios con 0.30% en hiper-áridos, 6.34% en áridos, 5.91% en semiáridos y 1.82% en subhúmedos secos. Las áreas con desertificación severa se distribuyen de la siguiente manera: 0.63% en medios hiper-áridos, 7.21% en áridos, 14.90% en semiáridos y 4.05% en subhúmedos secos mientras que las áreas con desertificación extrema se distribuyen también en todos los medios, con 0.20% en hiper-áridos, 3.27% en áridos, 2.38% en semiáridos y 0.79% en subhúmedos secos.



**Figura 7.2 Distribución de las clases de Desertificación de tierras en México bajo las condiciones climáticas actuales (escenario base 1970-2000).**

*Fuente: Elaboración propia.*

La distribución de las diferentes clases de Desertificación bajo las condiciones climáticas actuales se distribuye por las diferentes regiones de México, con mayor distribución en la zona norte y la península de Baja California. La Desertificación extrema se asocia con las áreas con intrusión salina en los medios secos y las áreas urbanas, la degradación severa se presenta en la península de Baja California, Planicie Costera del Pacífico Norte, Mesa del Norte, la parte Norte de la Planicie Costera del Golfo Norte y porciones de la Mesa del Centro, Valles Centrales de Oaxaca, Región de la Cañada de Oaxaca, parte de la Depresión Central de Chiapas y la franja costera de la porción Noroccidental de la Península de Yucatán. La distribución de las áreas con Desertificación moderada y ligera están distribuidas en la mayoría de las regiones antes mencionadas.



**Figura 7.3 Distribución de las clases de Desertificación de tierras en México bajo escenario de cambio climático al 2050 estimado con el modelo GFDL- A2**

*Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo a las proyecciones estimadas para el 2050 con el modelo GFDL La distribución de las diferentes clases de Desertificación en México, se asemeja a las determinadas bajo las condiciones climáticas actuales, pero con una disminución de las tierras secas específicamente en buena parte de la Sierra Madre Occidental. En cambio la distribución de las diferentes clases de Desertificación estimadas con las proyecciones al mismo escenario de tiempo pero con el Modelo HADLEY, los medios hiper-áridos, áridos, semiáridos y subhúmedos secos se incrementan principalmente sobre la Sierra Madre Occidental.



**Figura 7.4 Distribución de las clases de Desertificación de tierras en México bajo escenario de cambio climático al 2050 estimado con el modelo HADLEY -A2**

*Fuente: Elaboración propia.*

## 8. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

---

La información referente a los aspectos económicos y sociales se vuelve útil y necesaria para la futura toma de decisiones. Por este motivo se hizo énfasis a indicadores tales como población rural y urbana, pobreza, migración y desarrollo humano.

Para el análisis de este apartado se tomaron los datos del Censo de Población y Vivienda que realizó el INEGI (2011) y la sobreposición de las capas de tipos climáticos, la de degradación y la de desertificación de suelos. Enseguida se describe la obtención de los diferentes indicadores.

Con la sobreposición de la capa de los tipos de Índices de Aridez en México con los datos de los censos de población se obtuvo información referente a cuántas personas habitan en las tierras secas y húmedas del país, a nivel nacional y estatal. Para analizar el comportamiento de la población en estas zonas, se utilizaron también los datos del Censo de Población y Vivienda del año 2005 del INEGI.

Para conocer la forma en que la degradación de suelos se distribuye con la población de las 32 entidades se tomaron los resultados del censo de población por municipios, colocándose esta información en el mapa del marco geoestadístico de municipios (INEGI, 2011) y se intersectoraron con la capa de los diferentes tipos de degradación de suelos. La información obtenida refleja la población municipal que habita en suelos con presencia de alguno de los tipos de degradación dominante.

Con la finalidad de profundizar en el detalle de la información se utilizaron datos del censo en cuanto a población rural y urbana, de acuerdo a los conceptos definidos por el INEGI-DGG (1987) que se basan en el número de habitantes (menor a 2,500 habitantes para poblados rurales y 2,500 o más habitantes para poblados urbanos) y la sobreposición de las capas de tipos de aridez y degradación de suelos.

Los datos que presenta el CONEVAL (2011) en su medición de la pobreza, se integraron con los tipos de Índices de Aridez y degradación de suelos, para obtener la información del número de personas que viven en condiciones de pobreza en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas y húmedas del país, así como en las tierras con algún tipo de degradación, con lo que se obtiene el número de habitantes en los diferentes grados de desertificación.

Para conocer el número de municipios que se caracterizan en las diferentes clases de intensidad migratoria: nula, muy baja, baja, media, alta y muy alta, se utilizaron los datos de migración reportados por el INEGI (2011) a nivel municipal para interseccionarlos con los tipos del Índice de Aridez. Del mismo modo, el IDH (Índice de Desarrollo Humano) por municipio (CONAPO, 2001), con las clases alto, medio alto, medio bajo y bajo, se interseccionó con el mapa de Índice de Aridez.

En la siguiente figura se muestra de manera resumida, la metodología seguida en la integración de los indicadores socioeconómicos:

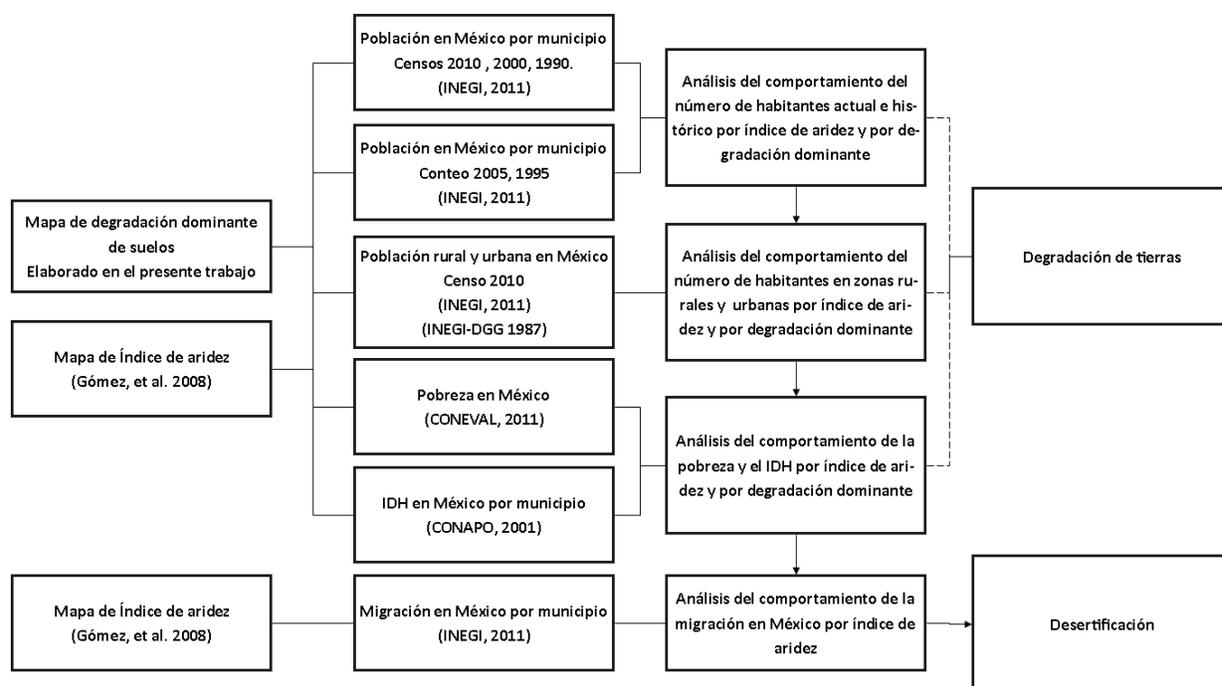
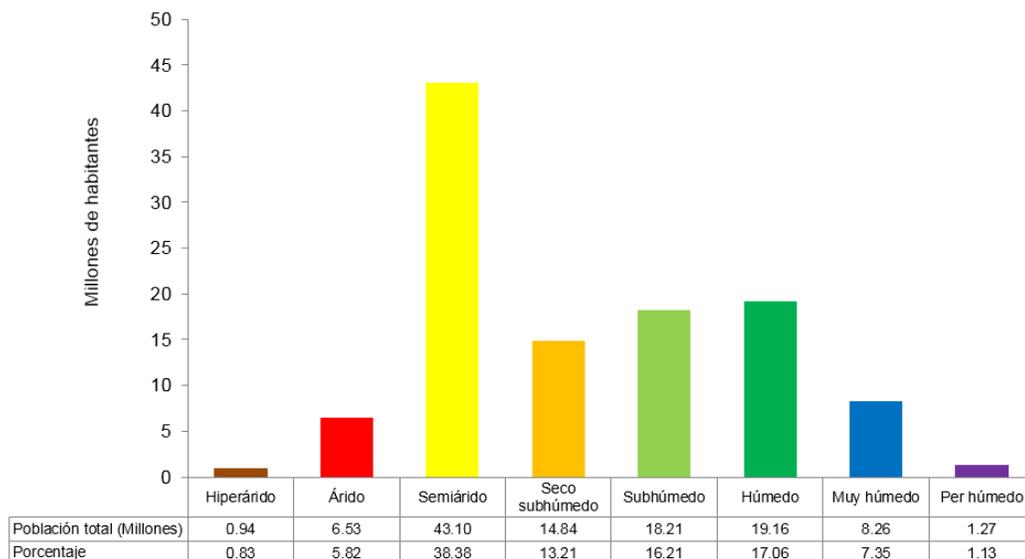


Figura 8.1 Esquema metodológico de los indicadores socioeconómicos.

Fuente: Elaboración propia.

### 8.1. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE ACUERDO A LOS ÍNDICES DE ARIDEZ

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI, la población total del país contabilizada al 12 de junio de ese año, ascendió a 112, 336,538 habitantes. De ese total, el 57.3% habita en las tierras secas del país, lo que equivale a 64.3 millones de habitantes (figura 8.2). El 23.2% de las personas radicaba en poblaciones rurales y el 76.8% en urbanas.



**Figura 8.2 Población total y porcentaje respecto del total nacional por clase de Índice de Aridez (a partir del INEGI, 2011).**

Comparando el censo del año 2010 con datos del censo 2000 del mismo INEGI, la población en zonas secas incrementó casi 9 millones de habitantes de estas zonas. Cabe señalar que lo anterior usando el mapa de Índice de Aridez actual. El comportamiento de la población de 2000 a 2010 arroja un incremento de 172,224 personas en las zonas híper-áridas, un millón en tierras áridas, 6 millones en las zonas semiáridas y 1.8 millones de personas en las zonas subhúmedas secas. En total, en las tierras húmedas aumentó poco más de 5 millones de personas, lo que indica que en las zonas secas registraron el mayor crecimiento de la población (cuadro 8.1).

**Cuadro 8.1 Total de población y porcentaje del total nacional según el censo de población 2010, 2000 y 1990 y el conteo de población 1995 por clase de Índice de Aridez actual.**

| Índice de Aridez | Población 2010     | %            | Población 2000    | %          | Población 1995    | %            | Población 1990    | %            |
|------------------|--------------------|--------------|-------------------|------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Híper-árido      | 936,826            | 0.8          | 764,602           | 0.8        | 696,034           | 0.8          | 601,938           | 0.7          |
| Árido            | 6,532,543          | 5.8          | 5,478,132         | 5.6        | 4,998,095         | 5.5          | 4,318,833         | 5.3          |
| Semiárido        | 43,101,811         | 38.4         | 37,099,854        | 38.1       | 34,574,268        | 38.1         | 30,587,640        | 37.6         |
| Seco subhúmedo   | 14,836,510         | 13.2         | 13,059,639        | 13.4       | 12,451,173        | 13.7         | 11,360,487        | 14.0         |
| Subhúmedo        | 18,206,941         | 16.2         | 15,873,831        | 16.3       | 14,761,664        | 16.3         | 12,908,831        | 15.9         |
| Húmedo           | 19,161,438         | 17.1         | 16,747,286        | 17.2       | 15,659,982        | 17.3         | 14,163,042        | 17.4         |
| Muy húmedo       | 8,259,116          | 7.4          | 7,340,134         | 7.5        | 6,749,769         | 7.4          | 6,360,624         | 7.8          |
| Per húmedo       | 1,273,090          | 1.1          | 1,119,934         | 1.1        | 747,619           | 0.8          | 948,250           | 1.2          |
| <b>Total</b>     | <b>112'308,275</b> | <b>100.0</b> | <b>97'483,412</b> | <b>100</b> | <b>90'638,604</b> | <b>100.0</b> | <b>81'249,645</b> | <b>100.0</b> |

Fuente: Elaboración propia.

La población que vive en las tierras secas del país (zonas hiper-áridas, áridas, semiáridas y secas subhúmedas) habitan 29 entidades y sólo Campeche, Quintana Roo y Tabasco no presentan esta condición (cuadro 8.2). Son nueve estados los que concentran la población que habita las *zonas hiper-áridas y áridas*: Chihuahua (1.5 millones de habitantes), Sonora (1.7), Baja California (1.4), Sinaloa (0.7), Durango (0.4), Coahuila (0.8), San Luis Potosí (0.1) y Baja California Sur (0.3), para un total de poco más de siete millones de habitantes.

Es importante resaltar que de los estados que concentran la población que habita las zonas áridas, para Baja California Sur significa el 62% de su población, para Sonora el 67% y para Baja California el 47% de su población total.

Por su parte, la población que vive en climas semiáridos asciende a poco más de 43 millones de habitantes. De estos, el estado que aglutina mayor cantidad de personas es México con poco más de 7.6 millones, seguido por Guanajuato (5.2), el Distrito Federal (4.7), Tamaulipas e Hidalgo (1.9 millones cada uno), San Luis Potosí y Coahuila (1.8 cada uno), Chihuahua y Baja California (1.6 cada uno), Sinaloa (1.3), Aguascalientes (1.1) y Sonora con poco menos de un millón de habitantes.

Para Aguascalientes significa que el 100% de sus habitantes viven bajo condiciones de clima semiárido; para Guanajuato el 95%, Nuevo León y Querétaro el 93%, Zacatecas el 90%, Hidalgo y San Luis Potosí el 71% y Coahuila el 68% del total de sus habitantes (cuadro 8.3).

**Cuadro 8.2 Total de población (2010) por entidad federativa y clase de Índice de Aridez.**

| Entidad             | Índice de Aridez |                  |                   |                   |                   |                   |                  |                  | Total              |
|---------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------|
|                     | Hiper-árido      | Árido            | Semiárido         | Seco subhúmedo    | Subhúmedo         | Húmedo            | Muy húmedo       | Per húmedo       |                    |
| Aguascalientes      |                  |                  | 1,184,996         |                   |                   |                   |                  |                  | 1,184,996          |
| Baja California     | 936,826          | 557,482          | 1,660,762         |                   |                   |                   |                  |                  | 3,155,070          |
| Baja California Sur |                  | 398,539          | 238,487           |                   |                   |                   |                  |                  | 637,026            |
| Campeche            |                  |                  |                   |                   | 387,714           | 434,727           |                  |                  | 822,441            |
| Coahuila            |                  | 864,882          | 1,883,509         |                   |                   |                   |                  |                  | 2,748,391          |
| Colima              |                  |                  |                   | 361,704           | 253,570           | 35,281            |                  |                  | 650,555            |
| Chiapas             |                  |                  |                   | 1,013,242         | 238,587           | 1,387,640         | 1,494,037        | 663,074          | 4,796,580          |
| Chihuahua           |                  | 1,518,416        | 1,618,237         | 99,151            | 113,166           | 57,495            |                  |                  | 3,406,465          |
| Distrito Federal    |                  |                  | 4,708,958         | 1,420,566         | 787,896           | 1,933,660         |                  |                  | 8,851,080          |
| Durango             |                  | 516,409          | 872,736           | 31,401            | 20,894            | 191,494           |                  |                  | 1,632,934          |
| Guanajuato          |                  |                  | 5,253,048         | 233,324           |                   |                   |                  |                  | 5,486,372          |
| Guerrero            |                  |                  |                   | 339,724           | 1,398,435         | 1,496,180         | 154,429          |                  | 3,388,768          |
| Hidalgo             |                  |                  | 1,916,062         | 116,775           | 14,851            | 238,359           | 378,971          |                  | 2,665,018          |
| Jalisco             |                  |                  | 677,892           | 1,946,727         | 4,139,356         | 572,297           | 14,410           |                  | 7,350,682          |
| México              |                  |                  | 7,639,312         | 2,627,997         | 2,323,285         | 2,570,147         | 15,121           |                  | 15,175,862         |
| Michoacán           |                  |                  | 240,742           | 2,135,330         | 415,362           | 1,186,082         | 373,521          |                  | 4,351,037          |
| Morelos             |                  |                  |                   | 417,577           | 776,117           | 566,193           | 17,340           |                  | 1,777,227          |
| Nayarit             |                  |                  |                   | 38,461            | 68,585            | 977,933           |                  |                  | 1,084,979          |
| Nuevo León          |                  | 165,719          | 4,342,708         | 106,496           | 32,593            | 5,942             |                  |                  | 4,653,458          |
| Oaxaca              |                  |                  | 335,288           | 1,417,166         | 385,120           | 680,860           | 781,766          | 201,762          | 3,801,962          |
| Puebla              |                  |                  | 1,084,553         | 717,574           | 2,612,910         | 549,852           | 603,282          | 211,658          | 5,779,829          |
| Querétaro           |                  |                  | 1,693,168         | 25,550            | 89,290            | 19,929            |                  |                  | 1,827,937          |
| Quintana Roo        |                  |                  |                   |                   | 872,868           | 424,447           |                  |                  | 1,297,315          |
| San Luis Potosí     |                  | 17,618           | 1,805,721         | 67,407            | 55,565            | 297,709           | 290,000          | 51,498           | 2,585,518          |
| Sinaloa             |                  | 702,211          | 1,380,042         | 572,885           | 84,130            | 28,493            |                  |                  | 2,767,761          |
| Sonora              |                  | 1,791,267        | 863,422           | 7,791             |                   |                   |                  |                  | 2,662,480          |
| Tabasco             |                  |                  |                   |                   |                   | 1,710,978         | 527,625          |                  | 2,238,603          |
| Tamaulipas          |                  |                  | 1,969,240         | 64,818            | 1,177,500         | 48,210            | 8,786            |                  | 3,268,554          |
| Tlaxcala            |                  |                  | 257,675           | 785,448           | 116,933           | 9,880             |                  |                  | 1,169,936          |
| Veracruz            |                  |                  | 68,982            | 79,294            | 225,797           | 3,524,195         | 3,599,828        | 145,098          | 7,643,194          |
| Yucatán             |                  |                  | 53,768            | 90,341            | 1,598,013         | 213,455           |                  |                  | 1,955,577          |
| Zacatecas           |                  |                  | 1,352,503         | 119,761           | 18,404            |                   |                  |                  | 1,490,668          |
| <b>Total</b>        | <b>936,826</b>   | <b>6,532,543</b> | <b>43,101,811</b> | <b>14,836,510</b> | <b>18,206,941</b> | <b>19,161,438</b> | <b>8,259,116</b> | <b>1,273,090</b> | <b>112,308,275</b> |

Fuente: Elaboración propia.

En los dos estados que conforman la Península de Baja California, Aguascalientes, Coahuila, Guanajuato y Sonora, el 100% de su población vive en tierras secas y aquellas entidades donde más del 90% de su población vive en tierras secas son seis, que en orden alfabético se mencionan, Chihuahua, Nuevo León, Querétaro, Sinaloa, Sonora y Tlaxcala.

**Cuadro 8.3 Distribución porcentual de la población estatal habitando las tierras secas y húmedas del país.**

| Entidad             | Índice de Aridez |       |           |                |                  |        |            |            |
|---------------------|------------------|-------|-----------|----------------|------------------|--------|------------|------------|
|                     | Híper-árido      | Árido | Semiárido | Subhúmedo seco | Subhúmedo húmedo | Húmedo | Muy húmedo | Per húmedo |
| Aguascalientes      |                  |       | 100.0     |                |                  |        |            |            |
| Baja California     | 29.7             | 17.7  | 52.6      |                |                  |        |            |            |
| Baja California Sur |                  | 62.6  | 37.4      |                |                  |        |            |            |
| Campeche            |                  |       |           |                | 47.1             | 52.9   |            |            |
| Coahuila            |                  | 31.5  | 68.5      |                |                  |        |            |            |
| Colima              |                  |       |           | 55.6           | 39.0             | 5.4    |            |            |
| Chiapas             |                  |       |           | 21.1           | 5.0              | 28.9   | 31.1       | 13.8       |
| Chihuahua           |                  | 44.6  | 47.5      | 2.9            | 3.3              | 1.7    |            |            |
| Distrito Federal    |                  |       | 53.2      | 16.0           | 8.9              | 21.8   |            |            |
| Durango             |                  | 31.6  | 53.4      | 1.9            | 1.3              | 11.7   |            |            |
| Guanajuato          |                  |       | 95.7      | 4.3            |                  |        |            |            |
| Guerrero            |                  |       |           | 10.0           | 41.3             | 44.2   | 4.6        |            |
| Hidalgo             |                  |       | 71.9      | 4.4            | 0.6              | 8.9    | 14.2       |            |
| Jalisco             |                  |       | 9.2       | 26.5           | 56.3             | 7.8    | 0.2        |            |
| México              |                  |       | 50.3      | 17.3           | 15.3             | 16.9   | 0.1        |            |
| Michoacán           |                  |       | 5.5       | 49.1           | 9.5              | 27.3   | 8.6        |            |
| Morelos             |                  |       |           | 23.5           | 43.7             | 31.9   | 1.0        |            |
| Nayarit             |                  |       |           | 3.5            | 6.3              | 90.1   |            |            |
| Nuevo León          |                  | 3.6   | 93.3      | 2.3            | 0.7              | 0.1    |            |            |
| Oaxaca              |                  |       | 8.8       | 37.3           | 10.1             | 17.9   | 20.6       | 5.3        |
| Puebla              |                  |       | 18.8      | 12.4           | 45.2             | 9.5    | 10.4       | 3.7        |
| Querétaro           |                  |       | 92.6      | 1.4            | 4.9              | 1.1    |            |            |
| Quintana Roo        |                  |       |           |                | 67.3             | 32.7   |            |            |
| San Luis Potosí     |                  | 0.7   | 69.8      | 2.6            | 2.1              | 11.5   | 11.2       | 2.0        |
| Sinaloa             |                  | 25.4  | 49.9      | 20.7           | 3.0              | 1.0    |            |            |
| Sonora              |                  | 67.3  | 32.4      | 0.3            |                  |        |            |            |
| Tabasco             |                  |       |           |                |                  | 76.4   | 23.6       |            |
| Tamaulipas          |                  |       | 60.2      | 2.0            | 36.0             | 1.5    | 0.3        |            |
| Tlaxcala            |                  |       | 22.0      | 67.1           | 10.0             | 0.8    |            |            |
| Veracruz            |                  |       | 0.9       | 1.0            | 3.0              | 46.1   | 47.1       | 1.9        |
| Yucatán             |                  |       | 2.7       | 4.6            | 81.7             | 10.9   |            |            |
| Zacatecas           |                  |       | 90.7      | 8.0            | 1.2              |        |            |            |

Fuente: Elaboración propia.

## 8.2. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN LOS DIFERENTES NIVELES DE DEGRADACIÓN DE TIERRAS.

En lo que se refiere a población y degradación de tierras en sus diferentes manifestaciones, se tiene que el 98.32% de los habitantes del país (110.426 millones) vive en zonas con algún tipo de degradación (cuadro 8.4). Por su parte, poco más de 1.88 millones de personas, es decir, el restante 1.68% de la población, vive en zonas que no presentan degradación.

**Cuadro 8.4 Distribución de la población en los diferentes niveles de Degradación para el censo de 2010.**

| Degradación  | Habitantes en el 2010 | Porcentaje    |
|--------------|-----------------------|---------------|
| Nula         | 1,881,863             | 1.68          |
| Ligera       | 12,873,508            | 11.46         |
| Moderada     | 15,894,733            | 14.15         |
| Severa       | 68,705,670            | 61.18         |
| Extrema      | 12,952,501            | 11.53         |
| <b>Total</b> | <b>112,308,275</b>    | <b>100.00</b> |

*Fuente: Elaboración propia.*

Es importante señalar que el porcentaje de la población que vive en los niveles de degradación severa y extrema representan el 72.71% del total, lo que es muy relevante sobre todo para establecer políticas y planes para atender este sector de la población que vive en tierras frágiles con poca capacidad de resiliencia.

En el cuadro 8.5 se muestra la población a nivel estado afectada por los diferentes grados de degradación y en el cuadro 8.6 el porcentaje de la población de cada estado en dichos grados de degradación. Los estados con mayor proporción de la población afectada por degradación severa y extrema son: Distrito Federal que representa la mayor proporción en degradación extrema, Morelos, Estado de México, Querétaro, Veracruz, Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Sonora y Tlaxcala.

**Cuadro 8.5 Total de población (2010) por entidad federativa y grado de Degradación.**

| Estado                 | Sin degradación aparente | Degradación Ligera | Degradación Moderada | Degradación Severa | Degradación Extrema | Población total  |
|------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|------------------|
| Aguascalientes         |                          |                    |                      | 1184996            |                     | 1184996          |
| Baja California        |                          |                    | 466814               | 2688256            |                     | 3155070          |
| Baja California Sur    |                          | 238487             | 75852                |                    | 322687              | 637026           |
| Campeche               | 26882                    | 674496             | 111327               | 9736               |                     | 822441           |
| Chiapas                |                          | 203458             | 1276121              | 1268812            |                     | 2748391          |
| Chihuahua              |                          | 337630             |                      | 312925             |                     | 650555           |
| Coahuila               | 15187                    | 954120             | 59641                | 3767632            |                     | 4796580          |
| Colima                 | 166360                   | 380504             | 1784769              | 1074832            |                     | 3406465          |
| Distrito Federal       |                          |                    |                      | 3128262            | 5722818             | 8851080          |
| Durango                | 50150                    | 87412              | 226878               | 1268494            |                     | 1632934          |
| Guanajuato             |                          | 120174             |                      | 5366198            |                     | 5486372          |
| Guerrero               | 138270                   | 660640             | 2190601              | 381555             | 17702               | 3388768          |
| Hidalgo                |                          | 140403             | 127818               | 2396797            |                     | 2665018          |
| Jalisco                | 88411                    | 2436100            | 903766               | 3851134            | 71271               | 7350682          |
| Estado de México       |                          |                    | 1248020              | 12364986           | 1562856             | 15175862         |
| Michoacán              | 26754                    | 136108             | 1825310              | 2059298            | 303567              | 4351037          |
| Morelos                |                          |                    | 74656                | 1210552            | 492019              | 1777227          |
| Nayarit                |                          | 98635              | 124205               | 862139             |                     | 1084979          |
| Nuevo León             |                          | 1224148            | 500728               | 2436335            | 492247              | 4653458          |
| Oaxaca                 | 56945                    | 1811689            | 689086               | 895688             | 348554              | 3801962          |
| Puebla                 |                          | 66930              | 2708270              | 2418915            | 585714              | 5779829          |
| Querétaro              |                          | 54344              |                      | 1630520            | 143073              | 1827937          |
| Quintana Roo           | 75026                    | 1106575            | 36179                | 79535              |                     | 1297315          |
| Sinaloa                |                          | 243477             | 43146                | 2260657            | 38238               | 2585518          |
| San Luis Potosí        | 963617                   | 165602             | 79085                | 1559457            |                     | 2767761          |
| Sonora                 | 25780                    | 313814             | 132105               | 902875             | 1287906             | 2662480          |
| Tabasco                | 248481                   |                    | 29511                | 1960611            |                     | 2238603          |
| Tamaulipas             |                          | 80261              | 827785               | 2163292            | 197216              | 3268554          |
| Tlaxcala               |                          |                    |                      | 1169936            |                     | 1169936          |
| Veracruz               |                          | 480077             | 267663               | 5528821            | 1366633             | 7643194          |
| Yucatán                |                          | 510524             | 21704                | 1423349            |                     | 1955577          |
| Zacatecas              |                          | 347900             | 63693                | 1079075            |                     | 1490668          |
| <b>Población total</b> | <b>1881863</b>           | <b>12873508</b>    | <b>15894733</b>      | <b>68705670</b>    | <b>12952501</b>     | <b>112308275</b> |

**Cuadro 8.6 Distribución porcentual de la población estatal habitando en los diferentes grados de Degradación.**

| Estado                 | Sin degradación aparente | Degradación Ligera | Degradación Moderada | Degradación Severa | Degradación Extrema |
|------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| Aguascalientes         | 0.00                     | 0.00               | 0.00                 | 100.00             | 0.00                |
| Baja California        | 0.00                     | 0.00               | 14.80                | 85.20              | 0.00                |
| Baja California Sur    | 0.00                     | 37.44              | 11.91                | 0.00               | 50.66               |
| Campeche               | 3.27                     | 82.01              | 13.54                | 1.18               | 0.00                |
| Chiapas                | 0.00                     | 7.40               | 46.43                | 46.17              | 0.00                |
| Chihuahua              | 0.00                     | 51.90              | 0.00                 | 48.10              | 0.00                |
| Coahuila               | 0.32                     | 19.89              | 1.24                 | 78.55              | 0.00                |
| Colima                 | 4.88                     | 11.17              | 52.39                | 31.55              | 0.00                |
| Distrito Federal       | 0.00                     | 0.00               | 0.00                 | 35.34              | 64.66               |
| Durango                | 3.07                     | 5.35               | 13.89                | 77.68              | 0.00                |
| Guanajuato             | 0.00                     | 2.19               | 0.00                 | 97.81              | 0.00                |
| Guerrero               | 4.08                     | 19.49              | 64.64                | 11.26              | 0.52                |
| Hidalgo                | 0.00                     | 5.27               | 4.80                 | 89.94              | 0.00                |
| Jalisco                | 1.20                     | 33.14              | 12.29                | 52.39              | 0.97                |
| Estado de México       | 0.00                     | 0.00               | 8.22                 | 81.48              | 10.30               |
| Michoacán              | 0.61                     | 3.13               | 41.95                | 47.33              | 6.98                |
| Morelos                | 0.00                     | 0.00               | 4.20                 | 68.11              | 27.68               |
| Nayarit                | 0.00                     | 9.09               | 11.45                | 79.46              | 0.00                |
| Nuevo León             | 0.00                     | 26.31              | 10.76                | 52.36              | 10.58               |
| Oaxaca                 | 1.50                     | 47.65              | 18.12                | 23.56              | 9.17                |
| Puebla                 | 0.00                     | 1.16               | 46.86                | 41.85              | 10.13               |
| Querétaro              | 0.00                     | 2.97               | 0.00                 | 89.20              | 7.83                |
| Quintana Roo           | 5.78                     | 85.30              | 2.79                 | 6.13               | 0.00                |
| Sinaloa                | 0.00                     | 9.42               | 1.67                 | 87.44              | 1.48                |
| San Luis Potosí        | 34.82                    | 5.98               | 2.86                 | 56.34              | 0.00                |
| Sonora                 | 0.97                     | 11.79              | 4.96                 | 33.91              | 48.37               |
| Tabasco                | 11.10                    | 0.00               | 1.32                 | 87.58              | 0.00                |
| Tamaulipas             | 0.00                     | 2.46               | 25.33                | 66.18              | 6.03                |
| Tlaxcala               | 0.00                     | 0.00               | 0.00                 | 100.00             | 0.00                |
| Veracruz               | 0.00                     | 6.28               | 3.50                 | 72.34              | 17.88               |
| Yucatán                | 0.00                     | 26.11              | 1.11                 | 72.78              | 0.00                |
| Zacatecas              | 0.00                     | 23.34              | 4.27                 | 72.39              | 0.00                |
| <b>Población total</b> | <b>1.68</b>              | <b>11.46</b>       | <b>14.15</b>         | <b>61.18</b>       | <b>11.53</b>        |

*Fuente: Elaboración propia.*

### 8.3. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN LOS DIFERENTES NIVELES DE DESERTIFICACIÓN DE TIERRAS.

En el cuadro 8.7 se muestra la distribución de la población en las zonas de acuerdo a los niveles de desertificación y las tierras húmedas. El 56.21% de la población se distribuye en las tierras con algún grado de Desertificación, que en 2010 represento 63.128 millones de habitantes. El porcentaje de la población que vive en tierras con Desertificación ligera y la moderada, es el 12.02%, la mayor proporción de la población en tierras Desertificadas se encuentra en el nivel severo con el 37.40% y en la Desertificación extrema el 6.78%.

**Cuadro 8.7 Distribución de la población en los diferentes niveles de Desertificación para el censo de 2010.**

| Desertificación en las tierras secas   | Habitantes en el 2010 | Porcentaje    |
|--|-----------------------|---------------|
| Sin Desertificación                    | 1,193,351             | 1.06          |
| Desertificación ligera                 | 5,110,178             | 4.55          |
| Desertificación moderada               | 8,388,676             | 7.47          |
| Desertificación severa                 | 42,006,192            | 37.40         |
| Desertificación extrema                | 7,619,945             | 6.78          |
| Total de la población en tierras secas | 64,318,342            | 57.27         |
| Población en tierras húmedas           | 47,989,933            | 42.73         |
| <b>Total</b>                           | <b>112,308,275</b>    | <b>100.00</b> |

*Fuente: Elaboración propia.*

En el cuadro 8.8 se muestra el total de la población para el 2010 por entidad federativa por grado de Desertificación. Los estados con mayor proporción de población en zonas de Desertificación extrema son Baja California, Sonora y Distrito Federal. En Desertificación severa, esta Aguascalientes, Guanajuato, Tlaxcala, Querétaro y Baja California Sur.

**Cuadro 8.8 Total de población (2010) por entidad federativa y grado de Desertificación.**

| Estado                 | Sin<br>desertificación<br>aparente | Desertificación<br>Ligera | Desertificación<br>Moderada | Desertificación<br>Severa | Desertificación<br>Extrema | Población total    |
|------------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|
| Aguascalientes         |                                    |                           |                             | 1,184,996                 |                            | 1,184,996          |
| Baja California Sur    |                                    |                           | 466,814                     | 2,688,256                 |                            | 3,155,070          |
| Baja California        |                                    | 238,487                   | 75,852                      |                           | 322,687                    | 637,026            |
| Campeche               |                                    |                           |                             |                           |                            | 822,441            |
| Chiapas                |                                    | 203,458                   | 1,276,121                   | 1,268,812                 |                            | 2,748,391          |
| Chihuahua              |                                    | 209,500                   |                             | 264,930                   |                            | 650,555            |
| Coahuila               | 4,317                              | 5,018                     |                             | 660,598                   |                            | 4,796,580          |
| Colima                 | 94,396                             | 351,738                   | 1,784,769                   | 1,074,832                 |                            | 3,406,465          |
| Distrito Federal       |                                    |                           |                             | 2,713,255                 | 3,416,269                  | 8,851,080          |
| Durango                | 23,782                             | 67,337                    | 226,878                     | 1,112,698                 |                            | 1,632,934          |
| Guanajuato             |                                    | 120,174                   |                             | 5,366,198                 |                            | 5,486,372          |
| Guerrero               |                                    | 81,961                    | 115,138                     | 29,100                    | 17,702                     | 3,388,768          |
| Hidalgo                |                                    | 80,247                    | 59,454                      | 1,894,123                 |                            | 2,665,018          |
| Jalisco                | 71,089                             | 486,213                   | 773,958                     | 1,136,829                 | 61,680                     | 7,350,682          |
| Estado de México       |                                    |                           | 664,955                     | 8,281,843                 | 1,129,691                  | 15,175,862         |
| Michoacán              |                                    | 31,877                    | 373,156                     | 1,060,523                 | 110,683                    | 4,351,037          |
| Morelos                |                                    |                           | 31,534                      | 273,482                   | 33,695                     | 1,777,227          |
| Nayarit                |                                    | 11,188                    |                             |                           |                            | 1,084,979          |
| Nuevo León             |                                    | 1,224,148                 | 460,259                     | 2,403,742                 | 492,247                    | 4,653,458          |
| Oaxaca                 | 10,370                             | 826,623                   | 248,036                     | 425,726                   | 304,516                    | 3,801,962          |
| Puebla                 |                                    | 2,101                     | 697,954                     | 858,350                   | 299,796                    | 5,779,829          |
| Querétaro              |                                    | 8,865                     |                             | 1,590,517                 | 143,073                    | 1,827,937          |
| Quintana Roo           |                                    |                           |                             |                           |                            | 1,297,315          |
| Sinaloa                |                                    | 161,035                   | 43,146                      | 1,686,565                 |                            | 2,585,518          |
| San Luis Potosí        | 963,617                            | 165,602                   | 79,085                      | 1,427,453                 |                            | 2,767,761          |
| Sonora                 | 25,780                             | 313,814                   | 132,105                     | 902,875                   | 1,287,906                  | 2,662,480          |
| Tabasco                |                                    |                           |                             |                           |                            | 2,238,603          |
| Tamaulipas             |                                    | 67,299                    | 818,782                     | 1,473,444                 |                            | 3,268,554          |
| Tlaxcala               |                                    |                           |                             | 1,043,123                 |                            | 1,169,936          |
| Veracruz               |                                    |                           |                             | 95,990                    |                            | 7,643,194          |
| Yucatán                |                                    | 120,764                   |                             | 19,876                    |                            | 1,955,577          |
| Zacatecas              |                                    | 332,729                   | 60,680                      | 1,068,056                 |                            | 1,490,668          |
| <b>Población total</b> | <b>1,193,351</b>                   | <b>5,110,178</b>          | <b>8,388,676</b>            | <b>42,006,192</b>         | <b>7,619,945</b>           | <b>11,2308,275</b> |

*Fuente: Elaboración propia.*

**Cuadro 8.9 Distribución porcentual de la población estatal habitando en los diferentes grados de Desertificación.**

| Estado                 | Sin desertificación aparente | Desertificación Ligera | Desertificación Moderada | Desertificación Severa | Desertificación Extrema |
|------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| Aguascalientes         | 0.00                         | 0.00                   | 0.00                     | 100.00                 | 0.00                    |
| Baja California Sur    | 0.00                         | 0.00                   | 14.80                    | 85.20                  | 0.00                    |
| Baja California        | 0.00                         | 37.44                  | 11.91                    | 0.00                   | 50.66                   |
| Campeche               | 0.00                         | 0.00                   | 0.00                     | 0.00                   | 0.00                    |
| Chiapas                | 0.00                         | 7.40                   | 46.43                    | 46.17                  | 0.00                    |
| Chihuahua              | 0.00                         | 32.20                  | 0.00                     | 40.72                  | 0.00                    |
| Coahuila               | 0.09                         | 0.10                   | 0.00                     | 13.77                  | 0.00                    |
| Colima                 | 2.77                         | 10.33                  | 52.39                    | 31.55                  | 0.00                    |
| Distrito Federal       | 0.00                         | 0.00                   | 0.00                     | 30.65                  | 38.60                   |
| Durango                | 1.46                         | 4.12                   | 13.89                    | 68.14                  | 0.00                    |
| Guanajuato             | 0.00                         | 2.19                   | 0.00                     | 97.81                  | 0.00                    |
| Guerrero               | 0.00                         | 2.42                   | 3.40                     | 0.86                   | 0.52                    |
| Hidalgo                | 0.00                         | 3.01                   | 2.23                     | 71.07                  | 0.00                    |
| Jalisco                | 0.97                         | 6.61                   | 10.53                    | 15.47                  | 0.84                    |
| Estado de México       | 0.00                         | 0.00                   | 4.38                     | 54.57                  | 7.44                    |
| Michoacán              | 0.00                         | 0.73                   | 8.58                     | 24.37                  | 2.54                    |
| Morelos                | 0.00                         | 0.00                   | 1.77                     | 15.39                  | 1.90                    |
| Nayarit                | 0.00                         | 1.03                   | 0.00                     | 0.00                   | 0.00                    |
| Nuevo León             | 0.00                         | 26.31                  | 9.89                     | 51.65                  | 10.58                   |
| Oaxaca                 | 0.27                         | 21.74                  | 6.52                     | 11.20                  | 8.01                    |
| Puebla                 | 0.00                         | 0.04                   | 12.08                    | 14.85                  | 5.19                    |
| Querétaro              | 0.00                         | 0.48                   | 0.00                     | 87.01                  | 7.83                    |
| Quintana Roo           | 0.00                         | 0.00                   | 0.00                     | 0.00                   | 0.00                    |
| Sinaloa                | 0.00                         | 6.23                   | 1.67                     | 65.23                  | 0.00                    |
| San Luis Potosí        | 34.82                        | 5.98                   | 2.86                     | 51.57                  | 0.00                    |
| Sonora                 | 0.97                         | 11.79                  | 4.96                     | 33.91                  | 48.37                   |
| Tabasco                | 0.00                         | 0.00                   | 0.00                     | 0.00                   | 0.00                    |
| Tamaulipas             | 0.00                         | 2.06                   | 25.05                    | 45.08                  | 0.00                    |
| Tlaxcala               | 0.00                         | 0.00                   | 0.00                     | 89.16                  | 0.00                    |
| Veracruz               | 0.00                         | 0.00                   | 0.00                     | 1.26                   | 0.00                    |
| Yucatán                | 0.00                         | 6.18                   | 0.00                     | 1.02                   | 0.00                    |
| Zacatecas              | 0.00                         | 22.32                  | 4.07                     | 71.65                  | 0.00                    |
| <b>Población total</b> | <b>1.06</b>                  | <b>4.55</b>            | <b>7.47</b>              | <b>37.40</b>           | <b>6.78</b>             |

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 8.4. POBLACIÓN RURAL Y URBANA

Siempre ha existido controversia para definir que un poblado es rural o urbano. Para realizar este análisis, se utilizaron los criterios definidos por INEGI-DGG (1987), donde definió que aquellas localidades que tuvieran menos de 2,500 habitantes son consideradas como rurales y si presentan 2,500 o más son urbanas.

El XIII Censo de Población y Vivienda (2010) del INEGI indica que 26, 039,739 habitantes (23.2% de la población total) viven en comunidades rurales y 86, 268,536 personas (76.8% de la población total) viven en comunidades urbanas o semiurbanas. En el cuadro 8.10 se muestra el número de habitantes y su proporción por Índice de Aridez. Los porcentajes presentados en la son relativos al tipo de población.

La población rural que se localiza en regiones híper-áridas y áridas son 1, 027,481 habitantes mientras que la población urbana se compone de 6, 441,888 personas; en zonas semiáridas existen 6, 757,010 personas en comunidades rurales y 36, 344,801 habitantes en zona urbanas. En zonas subhúmedas secas viven en total 14'836,510 personas, de los cuales 3, 249,666 se encuentran en las zonas rurales y 11, 586,844 en zonas urbanas.

**Cuadro 8.10 Población rural y urbana por índice de aridez.**

| Índice de Aridez | Población Urbana  |               | Población Rural   |               |
|------------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
|                  | Habitantes        | Proporción    | Habitantes        | Proporción    |
| Híper-árido      | 838,116           | 0.97          | 98,710            | 0.38          |
| Árido            | 5,603,772         | 6.50          | 928,771           | 3.57          |
| Semiárido        | 36,344,801        | 42.13         | 6,757,010         | 25.95         |
| Subhúmedo seco   | 11,586,844        | 13.43         | 3,249,666         | 12.48         |
| Subhúmedo húmedo | 15,600,353        | 18.69         | 2,606,588         | 10.01         |
| Húmedo           | 11,814,290        | 13.69         | 7,347,148         | 28.22         |
| Muy húmedo       | 4,131,254         | 4.79          | 4,127,862         | 15.85         |
| Per húmedo       | 349,106           | 0.40          | 923,984           | 3.55          |
| <b>Total</b>     | <b>86,268,536</b> | <b>100.00</b> | <b>26,039,739</b> | <b>100.00</b> |

*Fuente: XIII Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2010.*

En el cuadro 8.11 se muestra el número de habitantes por clase de Degradación de tierras y su proporción relativa por tipo de población Urbana y Rural. En las zonas Urbanas el 66.84% de la población se encuentra en zonas con degradación de severa a extrema y en las zonas rurales este porcentaje es de 64.63%.

**Cuadro 8.11 Población rural y urbana por clase de Degradación.**

| Grado de Degradación | Población Urbana  |               | Población Rural   |               |
|----------------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
|                      | Habitantes        | Proporción    | Habitantes        | Proporción    |
| Sin Degradación      | 1,725,371         | 2.01          | 520,795           | 2.21          |
| Degradación ligera   | 13,802,966        | 16.32         | 4,947,550         | 18.98         |
| Degradación moderada | 12,940,280        | 14.87         | 3,645,563         | 14.12         |
| Degradación severa   | 53,486,492        | 62.22         | 15,363,446        | 58.43         |
| Degradación extrema  | 4,313,427         | 4.62          | 1,562,384         | 6.20          |
| <b>Total</b>         | <b>86,268,536</b> | <b>100.00</b> | <b>26,039,739</b> | <b>100.00</b> |

*Fuente: Elaboración propia.*

En el cuadro 8.12 se muestra el número de habitantes por clase de Desertificación de las tierras y su proporción relativa por tipo de población Urbana y Rural. El porcentaje de habitantes en zonas con Desertificación severa y extrema para los dos tipos de población es similar, con el 36.65%.

**Cuadro 8.12 Población rural y urbana por clase de Desertificación.**

| Grado de Degradación     | Población Urbana  |               | Población Rural   |               |
|--------------------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
|                          | Habitantes        | Proporción    | Habitantes        | Proporción    |
| Sin Desertificación      | 1,482,180         | 1.72          | 447,389           | 1.72          |
| Desertificación ligera   | 8,893,078         | 10.31         | 2,535,203         | 9.74          |
| Desertificación moderada | 7,410,899         | 8.59          | 2,386,073         | 9.16          |
| Desertificación severa   | 29,643,595        | 34.36         | 8,947,775         | 34.36         |
| Desertificación extrema  | 1,976,240         | 2.29          | 596,518           | 2.29          |
| Total Tierras secas      | 49,405,991        | 57.27         | 14,912,959        | 57.27         |
| Tierras húmedas          | 36,862,545        | 42.73         | 11,126,780        | 42.73         |
| <b>Total</b>             | <b>86,268,536</b> | <b>100.00</b> | <b>26,039,739</b> | <b>100.00</b> |

*Fuente: Elaboración propia.*

## 8.5. POBREZA

En México y en atención a la Ley General de Desarrollo Social se señala que el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) es quién define los métodos y obtiene la información relativa a la medición de la pobreza en el país. Así, de acuerdo con el CONEVAL se considera que una persona se encuentra en situación de pobreza multidimensional cuando presenta al menos una carencia social y su ingreso es menor a la línea de bienestar. Además, una persona se encuentra en condición de pobreza multidimensional extrema cuando presenta al menos tres carencias sociales y su ingreso es menor a la línea de bienestar mínimo. Cabe señalar que las carencias a las que se refiere la definición pueden ser: 1) rezago educativo; 2) acceso a los servicios de salud;

3) acceso a la seguridad social; 4) calidad y espacios de la vivienda; 5) servicios básicos en la vivienda, y 6) acceso a la alimentación.

De acuerdo con el CONEVAL en su medición de la pobreza y con información del año 2010 (CONEVAL, 2011), en el país habían 52.6 millones (46.1% del total nacional) de personas pobres, de los cuales 39.8 millones estaban en condición de pobreza moderada y 13 millones estaban en condición de pobreza extrema.

En párrafos anteriores se señaló que en los climas hiper-áridos habitan casi un millón de personas, en los áridos viven poco más de 6.5 millones de personas, en los semiáridos 43.1 millones y en los subhúmedos secos 14.8 millones. En total se señaló que el 58.2% de la población nacional vive en climas áridos, semiáridos y subhúmedos secos.

A partir de lo anterior y su integración con las clases de aridez, se observa que de los 52.6 millones de personas en pobreza en el país, 27 millones viven en tierras secas y 25.6 millones en tierras subhúmedas húmedas y húmedas. Lo anterior se traduce en que del 58.2% de la población nacional que vive en las tierras secas del país la mitad son personas en pobreza.

En las zonas hiper-áridas viven 282 mil personas en pobreza, de las cuales 24 mil son extremadamente pobres. En las zonas áridas viven 2.3 millones de personas en condición de pobreza (figura 8.3) y de ellos, 1.9 millones presentan condición de pobreza moderada y 331,309 habitantes en pobreza extrema. En las regiones semiáridas habitan 17 millones de personas en pobreza de las cuales casi 15 millones se ubican en pobreza moderada y casi 3 millones se encuentran en pobreza extrema. Por su parte, en los climas subhúmedos secos habitan casi 7 millones de personas en condición de pobreza, donde 5.4 son moderadamente pobres y 1.5 millones de personas son extremadamente pobres.

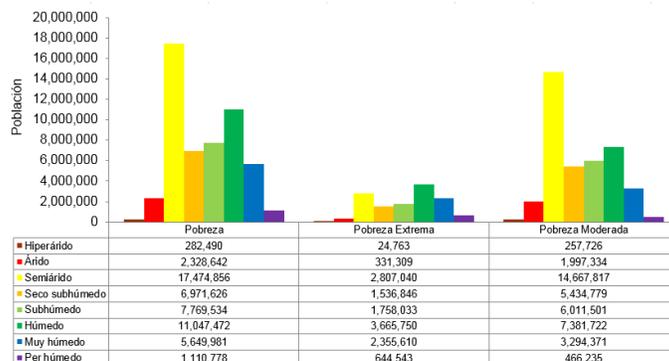
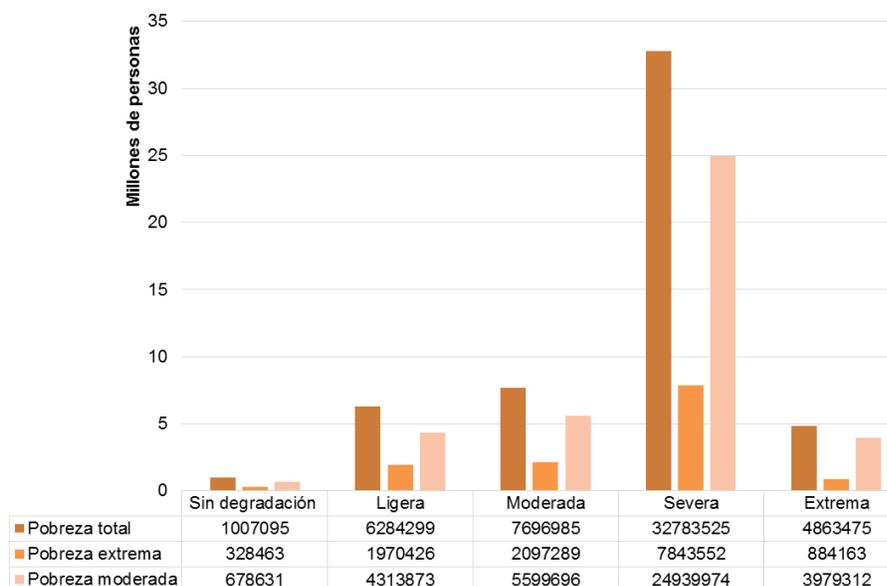


Figura 8.3 Total de población en pobreza, en pobreza moderada y en pobreza extrema según tipo del Índice de Aridez.

Fuente: Elaboración propia.

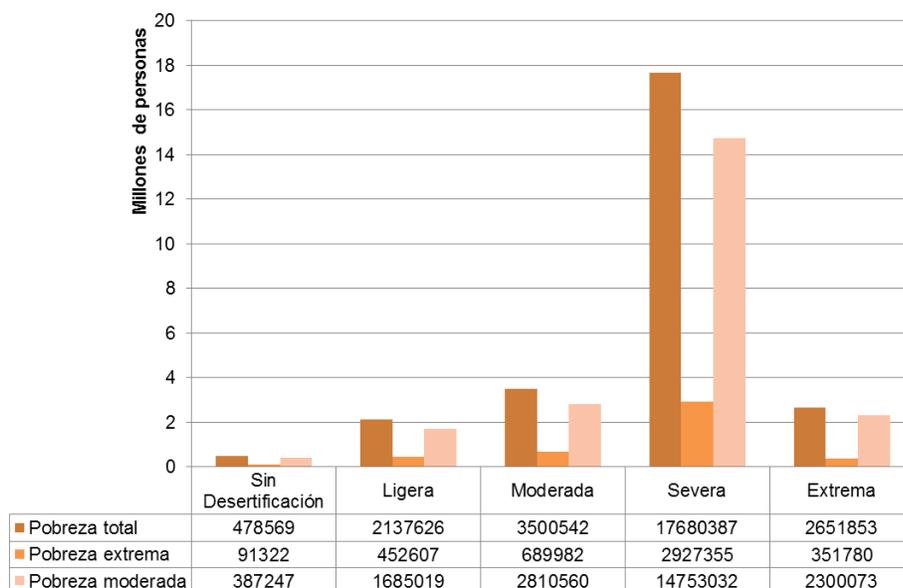
Si la población en pobreza asciende a poco más de 52 millones de personas; entonces de estas, 51.6 millones habitan en regiones donde hay algún tipo de degradación de suelos y sólo 1.0 millones vive en zonas sin degradación (Figura 8.4). La mayor proporción de la población en pobreza vive en zonas con Degradación severa con un 63% y en las áreas con Degradación extrema el 9%. Del total de la población en pobreza la proporción de esta que está en pobreza extrema en las diferentes regiones con los grados de Degradación es de 31.4% para la ligera, 27.3% para la moderada, 23.9% para la severa y 18.2% para la extrema.



**Figura 8.4 Total de población en pobreza, en pobreza moderada y en pobreza extrema según grado de Degradación de las tierras.**

*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura 8.5 se muestra el número de habitantes en pobreza total y el detalle de la que se encuentra en pobreza extrema y en pobreza moderada en las áreas con diferentes grados de Desertificación. La población con pobreza en los diferentes grados de Desertificación representan 25.97 millones y sin Desertificación representan 0.48 millones. La mayor proporción de la población en pobreza vive en la Desertificación severa la cual representa el 68% del total de la población que vive en zonas con Desertificación.



**Figura 8.5 Total de población en pobreza, en pobreza moderada y en pobreza extrema según grado de Desertificación.**

*Fuente: Elaboración propia.*

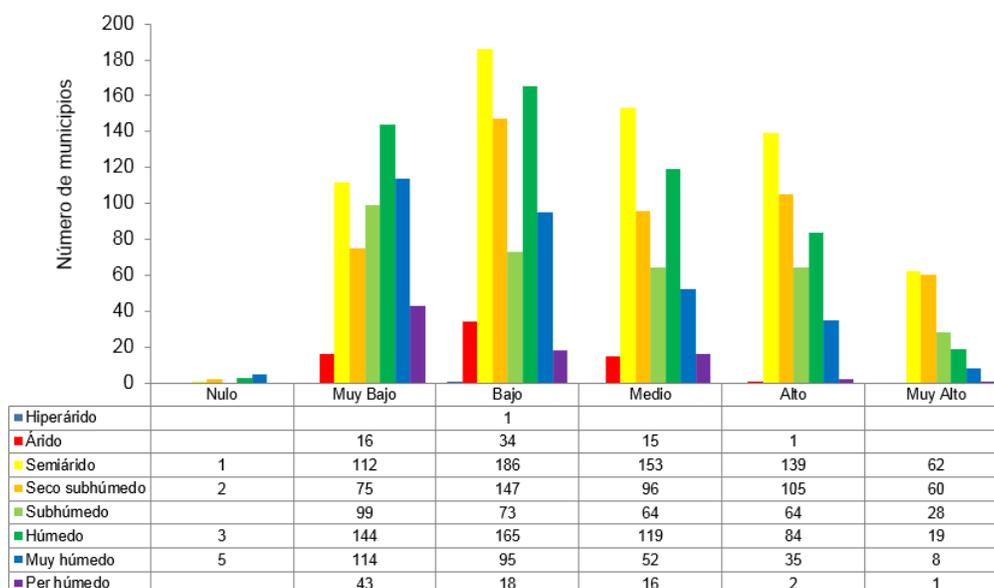
## 8.6. MIGRACIÓN

De acuerdo con el CONAPO (2012) para estimar el índice de intensidad migratoria se ocupó información del Censo de Población y Vivienda 2000, el cual incluyó un módulo sobre migración internacional que recabó datos sobre las características de la migración hacia otros países.

Los indicadores incluyen información sobre viviendas que reciben remesas, viviendas con emigrantes a Estados Unidos y que permanecían en ese país (emigrantes), viviendas con migrantes a Estados Unidos que regresaron al país durante ese mismo periodo (migrantes circulares) y que a la fecha del levantamiento censal residían en México; y por ultimo viviendas con migrantes que

residían en Estados Unidos en 2005 y regresaron a vivir a México antes del levantamiento censal de 2010 (migrantes de retorno).

Cabe señalar que el grado de intensidad migratoria es reportado a nivel municipal y en cinco clases: nula, muy baja, baja, media, alta y con muy alta intensidad migratoria. Resultado de intersectar los grados de aridez y los municipios con intensidad migratoria se encontraron que en muy alta intensidad migratoria se ubicaron 120 municipios donde predomina el índice de aridez semiáridos y seco subhúmedo (figura 8.6).



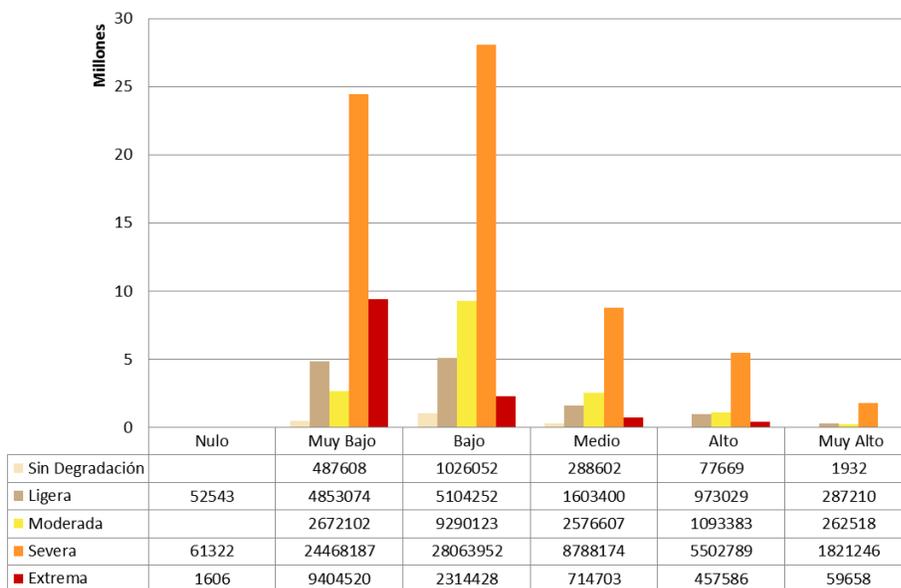
**Figura 8.6 Total de municipios según grado de intensidad migratoria y clase del Índice de Aridez.**

*Fuente: Elaboración propia.*

La gente que vive en las tierras secas del país observa una intensidad migratoria en todas las clases reportadas (desde nula hasta muy alta), aunque se concentran en las clases de intensidad baja y media.

En la figura 8.7 se muestra el número de habitantes por intensidad migratoria asociado a los diferentes grados de Degradación. El nivel de degradación severa es el que presenta el mayor número de personas en los diferentes grupos de intensidad migratoria, en el nivel muy alto representa 1.8 millones de habitantes, en el nivel alto son 5.5 millones y en el nivel medio son 8.8 millones.

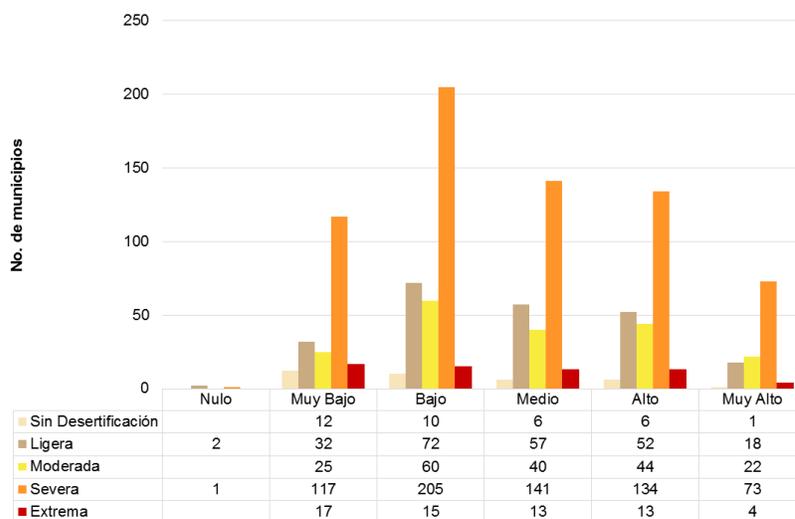
En las zonas con Degradación extrema la mayoría de los habitantes están en el nivel muy bajo de migración con 9.4 millones y en el nivel bajo con 2.3 millones, lo que indica que a pesar de los niveles de degradación permanecen una parte importante de los habitantes, lo que puede asociarse que estos niveles de degradación se presentan en zonas urbanas.



**Figura 8.7 Población según grado de intensidad migratoria y las clases de Degradación de tierras.**

*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura 8.8 se muestra el número de municipios del país y su asociación con los diferentes grados de Desertificación. El mayor número de municipios se caracterizan por Desertificación severa y los niveles de intensidad migratoria van de muy bajo a muy alto, con el mayor número de municipios en el nivel bajo de intensidad migratoria.



**Figura 8.8 Total de municipios según grado de intensidad migratoria y las clases de Desertificación.**

Fuente: Elaboración propia.

## 8.7. DESARROLLO HUMANO

El Índice de Desarrollo Humano (IDH) comprende tres dimensiones esenciales: a) la capacidad de gozar de vida larga y saludable, medida a través de la esperanza de vida al nacer; b) la capacidad de adquirir conocimientos, medida mediante una combinación del grado de alfabetismo de los adultos y el nivel de asistencia escolar conjunto de niños, adolescentes y jóvenes (de 6 a 24 años), así como c) la capacidad de contar con el acceso a los recursos que permitan disfrutar de un nivel de vida digno y decoroso, medido por el PIB per cápita ajustado al poder adquisitivo del dólar en los Estados Unidos (CONAPO, 2001).

El grado de desarrollo humano es reportado a nivel municipal y en cuatro clases: bajo, medio bajo, medio alto y alto (figura 8.9). En el grado de desarrollo bajo se encuentran 422,307 personas y de estas con predominancia en el índice de aridez seco subhúmedo 5,165 habitantes. Con grado de desarrollo medio bajo

se encuentran 6, 838,553 de personas de las cuales casi un millón están en Índice de Aridez seco.

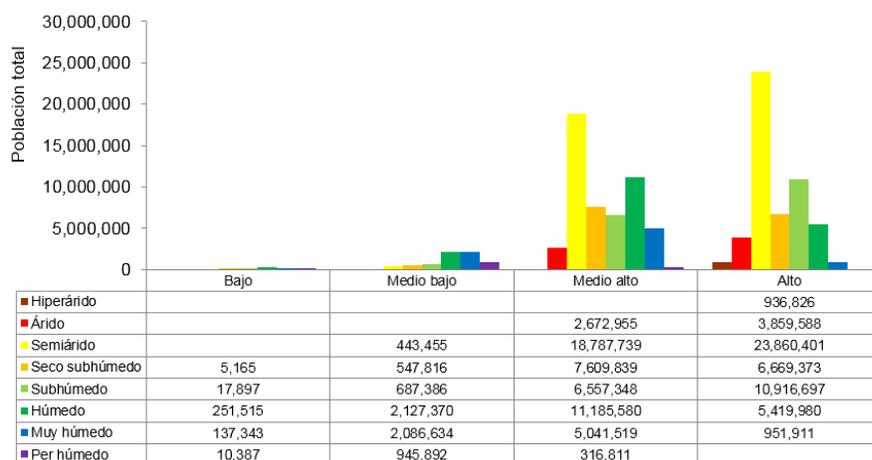


Figura 8.9 Población total por grado de desarrollo y tipo de Índice de Aridez.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8.10 se muestra la población total por grado de desarrollo y los diferentes niveles de Degradación de la República Mexicana. La mayor proporción de la población se encuentra en los niveles alto y medio alto de grado de desarrollo, y la clase de Degradación dominante es la severa.

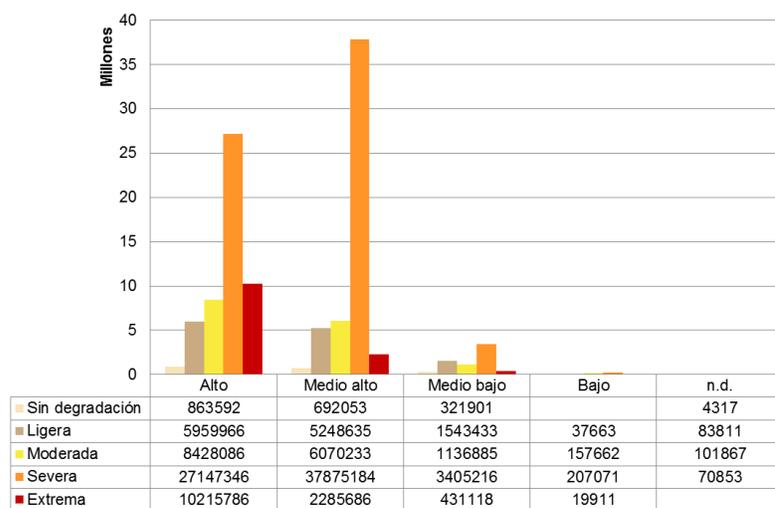
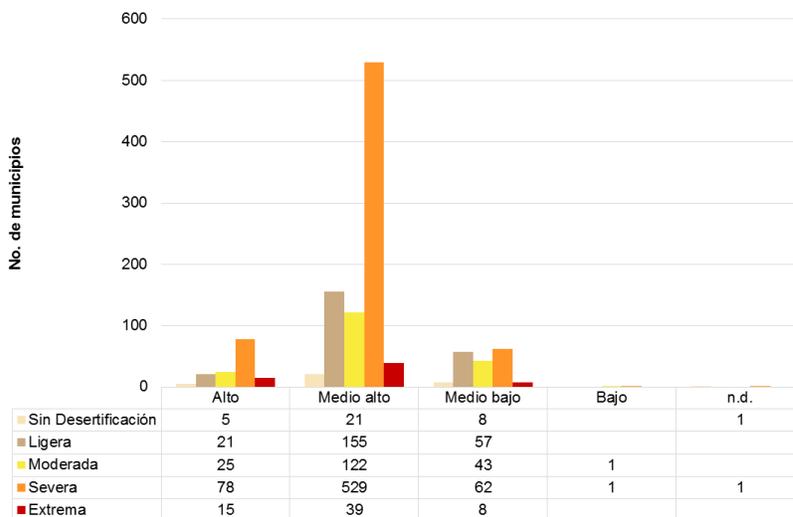


Figura 8.10 Población total por grado de desarrollo y niveles de Degradación de las tierras.

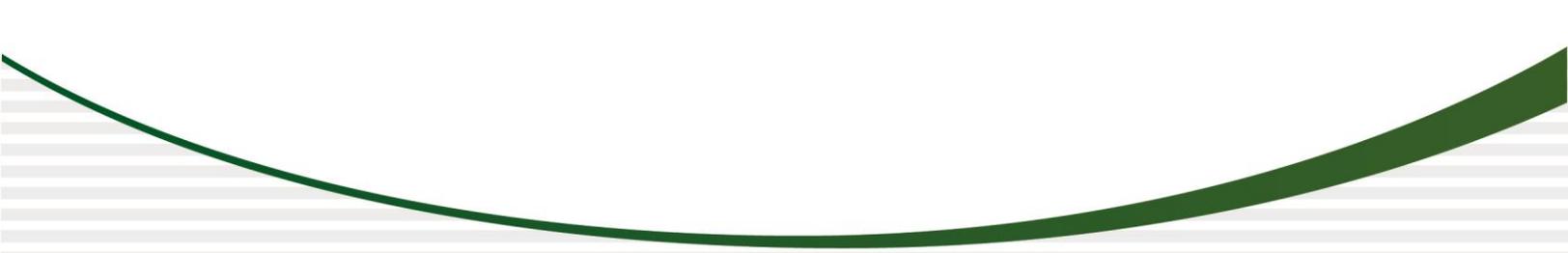
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8.11 se muestra la asociación de la Desertificación con el grado de desarrollo por municipios. Se tiene la misma tendencia que la Desertificación, la mayoría de los municipios presentan nivel medio alto, seguido del medio bajo y del nivel alto.



**Figura 8.11 Número de municipios por grado de desarrollo y los grados de afectación por Desertificación.**

*Fuente: Elaboración propia.*



[www.conafor.gob.mx](http://www.conafor.gob.mx)