



# Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015

México, 2018

Capítulo: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

# Contenido

<b>5. [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra</b>	<b>6</b>
✳ <b>Figura 1.</b> Emisiones históricas del sector ASOUT, 1990-2015	7
✳ <b>Figura 2.</b> Emisiones para el sector ASOUT, incluyendo y excluyendo [3B] Tierra, 2015	7
<b>5.1 [3A] Ganado</b>	<b>8</b>
✳ <b>Figura 3.</b> Población total por especie productiva (cabezas de ganado), 2015	8
▢ <b>Tabla 1.</b> Emisiones de la ganadería en México expresado Gg de CO <sub>2</sub> e	9
✳ <b>Figura 4.</b> Distribución en porcentaje de las emisiones de la ganadería en México, 2015	9
✳ <b>Figura 5.</b> Porcentaje de la contribución de subcategorías de [3A] Ganado	9
▢ <b>Tabla 2.</b> Emisiones de la ganadería en México, por subcategoría, 1990-2015	10
✳ <b>Figura 6.</b> Serie histórica de las emisiones de GEI de la ganadería en México, 1990-2015	10
✳ <b>Figura 7.</b> Incertidumbres de las subcategorías [3A1] y [3A2]	11
<b>5.1.1 [3A1] Fermentación entérica</b>	<b>11</b>
▢ <b>Tabla 3.</b> Emisiones provenientes de la fermentación entérica en México, 1990-2015	12
✳ <b>Figura 8.</b> Distribución en porcentaje de las emisiones de GEI de la ganadería en México provenientes de la fermentación entérica, 2015	12
<b>5.1.1.1 [3A1a] Ganado bovino</b>	<b>12</b>
<b>5.1.1.1.1 [3A1a1] Ganado bovino, leche</b>	<b>12</b>
▢ <b>Tabla 4.</b> Emisiones de fermentación entérica proveniente del ganado bovino de la producción especializada de leche en México, 1990-2015	12
✳ <b>Figura 9.</b> Serie histórica de las emisiones de GEI por fermentación entérica en la producción de leche en México, 1990-2015	13
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>13</b>
✳ <b>Figura 10.</b> Población de ganado bovino para producción especializada de leche, 1990-2015	13
<b>5.1.1.1.2 [3A1a2] Otros ganados bovinos</b>	<b>14</b>
▢ <b>Tabla 5.</b> Emisiones por fermentación entérica de la categoría [3A1a2], 1990-2015	14
✳ <b>Figura 11.</b> Serie histórica de las emisiones provenientes de fermentación entérica, categoría [3A1a2] Otros ganados bovinos, 1990-2015	14
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>14</b>
✳ <b>Figura 12.</b> Población total de otros ganados bovinos, 1990-2015	15
<b>5.1.1.2 [3A1c] Ganado ovino</b>	<b>15</b>
▢ <b>Tabla 6.</b> Emisiones provenientes de la fermentación entérica del ganado ovino en México, 1990-2015	15
✳ <b>Figura 13.</b> Serie histórica de emisiones por fermentación entérica de ganado ovino, 1990-2015)	16
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>16</b>
✳ <b>Figura 14.</b> Población total de ganado ovino en México, 1990-2015	16
<b>5.1.1.3 [3A1d] Ganado caprino</b>	<b>17</b>
▢ <b>Tabla 7.</b> Emisiones por fermentación entérica de ganado caprino, 1990-2015	17
✳ <b>Figura 15.</b> Serie histórica de las emisiones por fermentación entérica de ganado caprino, 1990-2015	17
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>17</b>
✳ <b>Figura 16.</b> Población total de ganado caprino en México, 1990-2015	18
<b>5.1.1.4 [3A1f] Ganado equino: caballos</b>	<b>18</b>
▢ <b>Tabla 8.</b> Emisiones por fermentación entérica de los caballos en México, 1990-2015	18
✳ <b>Figura 17.</b> Serie histórica de emisiones por fermentación entérica de caballos en México, 1990-2015	18
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>18</b>
✳ <b>Figura 18.</b> Población total de caballos en México, 1990-2015	19
<b>5.1.1.5 [3A1g] Ganado equino: mulas y asnos</b>	<b>19</b>
▢ <b>Tabla 9.</b> Emisiones provenientes de fermentación entérica de mulas y asnos en México, 1990-2015	19
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>19</b>
✳ <b>Figura 19.</b> Serie histórica de emisiones por fermentación entérica de mulas y asnos en México, 1990-2015	20
✳ <b>Figura 20.</b> Población total de mulas y asnos en México, 1990-2015	20

<b>5.1.1.6 [3A1h] Ganado porcino</b>	<b>20</b>
▣ <b>Tabla 10.</b> Emisiones por fermentación entérica de ganado porcino en México, 1990-2015	20
✳ <b>Figura 21.</b> Serie histórica de emisiones por fermentación entérica de ganado porcino en México, 1990-2015	21
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>21</b>
✳ <b>Figura 22.</b> Población total de ganado porcino en México, 1990-2015	21
<b>5.1.2 [3A2] Gestión del estiércol</b>	<b>22</b>
▣ <b>Tabla 11.</b> Emisiones y porcentaje de emisiones por el manejo de excretas de ganado en México, 2015	22
✳ <b>Figura 23.</b> Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de ganado en México, 1990-2015	23
▣ <b>Tabla 12.</b> Emisiones por manejo de excretas de ganado en México, 1990-2015	23
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>23</b>
<b>5.1.2.1 [3A2a] Ganado bovino</b>	<b>23</b>
<b>5.1.2.1.1 [3A2a1] Ganado bovino, leche</b>	<b>23</b>
▣ <b>Tabla 13.</b> Emisiones por manejo de excretas de ganado bovino en la producción especializada de leche en México, 1990-2015	24
✳ <b>Figura 24.</b> Serie histórica de emisiones por manejo de excretas, por tipo de gas de la producción especializada de leche en México, 1990-2015	24
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>24</b>
<b>5.1.2.1.2 [3A2a2] Otros ganados bovinos</b>	<b>25</b>
▣ <b>Tabla 14.</b> Emisiones por manejo de excretas de otros ganados bovinos en México, 1990-2015	25
▣ <b>Tabla 15.</b> Emisiones y porcentaje de participación de otros ganados bovinos en México, 2015	25
✳ <b>Figura 25.</b> Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de otros ganados bovinos en México, 1990-2015	26
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>26</b>
<b>5.1.2.2 [3A2c] Ganado ovino</b>	<b>26</b>
▣ <b>Tabla 16.</b> Emisiones por manejo de excretas de ganado ovino en México, 1990-2015	26
✳ <b>Figura 26.</b> Serie histórica del manejo de excretas de ganado ovino en México, 1990-2015	27
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>27</b>
<b>5.1.2.3 [3A2d] Ganado caprino</b>	<b>27</b>
▣ <b>Tabla 17.</b> Emisiones por manejo de excretas de ganado caprino en México, 1990-2015	27
✳ <b>Figura 27.</b> Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de ganado caprino en México, 1990-2015	28
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>28</b>
<b>5.1.2.4 [3A2f] Ganado equino: caballos</b>	<b>28</b>
▣ <b>Tabla 18.</b> Emisiones por manejo de excretas de caballos en México, 1990-2015	28
✳ <b>Figura 28.</b> Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de caballos en México, 1990-2015	29
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>29</b>
<b>5.1.2.5 [3A2g] Ganado equino: mulas y asnos</b>	<b>29</b>
▣ <b>Tabla 19.</b> Emisiones por manejo de excretas de mulas y asnos en México, 1990-2015	29
✳ <b>Figura 29.</b> Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de mulas y asnos en México, 1990-2015	30
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>30</b>
<b>5.1.2.6 [3A2h] Ganado porcino</b>	<b>30</b>
▣ <b>Tabla 20.</b> Emisiones por manejo de excretas de cerdos en México, por tipo de gas, 1990-2015	30
✳ <b>Figura 30.</b> Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de cerdos en México, por tipo de gas y etapa, 1990-2015	31
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>31</b>
<b>5.1.2.7 [3A2i] Aves de corral</b>	<b>31</b>
▣ <b>Tabla 21.</b> Emisiones por manejo de excretas de aves de corral en México, por gas y tipo de ave, 1990-2015	32
✳ <b>Figura 31.</b> Serie histórica de emisiones por de excretas de aves de corral en México, por gas y tipo de ave, 1990-2015	32
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>32</b>
✳ <b>Figura 32.</b> Población total de aves de corral en México, 1990-2015	33
<b>5.2 [3B] Tierra</b>	<b>33</b>
▣ <b>Tabla 22.</b> Emisiones/absorciones netas uscuss, 1990, 2005, 2010 y 2015	35
✳ <b>Figura 33.</b> Emisiones/absorciones netas uscuss, 1990, 2005, 2010 y 2015	35
▣ <b>Tabla 23.</b> Emisiones y absorciones agrupados por permanencias y cambios de uso de suelo del sector uscuss, 1990, 2005, 2010 y 2015	36

✳	<b>FIGURA 34.</b> Emisiones y absorciones agrupados por permanencias y cambios de uso de suelo del sector uscu	36
✳	<b>Figura 35.</b> Incertidumbres de las emisiones de las subcategorías de [3B] Tierra, [3B1] a [3B6]	37
▢	<b>Tabla 24.</b> Subcategorías y reservorios reportados y estimados para el INEGYCEI	37
	<b>5.2.1 Representación coherente de Tierra</b>	<b>38</b>
	5.2.1.1 Introducción	38
	5.2.1.2 Aspectos metodológicos	38
	5.2.1.3 Enfoque de estimación de datos de actividad ajustados	39
▢	<b>Tabla 25.</b> Datos de actividad, áreas ajustadas y sus incertidumbres( $U_i$ ) asociadas, por tipo de conversión y periodo estimado.	40
	<b>5.2.2 Estimación de los factores de emisión/absorción</b>	<b>40</b>
	5.2.2.1 Aspectos metodológicos	41
	5.2.2.2 Oportunidades de mejoras en la categoría [3B]	41
	<b>5.2.3 [3B1] Tierras forestales</b>	<b>42</b>
▢	<b>Tabla 26.</b> Absorciones de la categoría [3B] Tierras forestales, 1990, 2005, 2010 y 2015	43
▢	<b>Tabla 27.</b> Emisiones netas por subcategoría de [3B1a] Tierras forestales 1990, 2005, 2010 y 2015	43
✳	<b>Figura 36.</b> Absorciones de la categoría [3B1a] Tierras forestales que permanecen como tales, 1990, 2005, 2010 y 2015	43
✳	<b>Figura 37.</b> Absorciones de la categoría [3B1b] Tierras convertidas a tierras forestales 1990, 2005, 2010 y 2015	44
	<b>5.2.4 [3B2] Tierras de cultivo</b>	<b>44</b>
▢	<b>Tabla 28.</b> Emisiones netas de la categoría [3B2] Tierra de cultivo, 1990, 2005, 2010 y 2015	45
▢	<b>Tabla 29.</b> Emisiones netas por subcategoría de [3B2] Tierra de cultivo, 1990, 2005, 2010 y 2015	45
✳	<b>Figura 38.</b> Emisiones netas por subcategoría de [3B2] Tierra de cultivo, 1990, 2005, 2010 y 2015	45
	<b>5.2.5 [3B3] Praderas</b>	<b>46</b>
▢	<b>Tabla 30.</b> Emisiones netas de la categoría [3B3] Praderas, 1990, 2005, 2010 y 2015	46
▢	<b>Tabla 31.</b> Emisiones netas por subcategoría de Praderas, 1990, 2005, 2010 y 2015	46
✳	<b>Figura 39.</b> Emisiones y absorciones por subcategoría de Praderas, 1990, 2005, 2010 y 2015	47
	<b>5.2.6 [3B4] Humedales</b>	<b>47</b>
▢	<b>Tabla 32.</b> Emisiones de la categoría [3B4] Humedales, 1990, 2005, 2010 y 2015	48
▢	<b>Tabla 33.</b> Emisiones por tipo de transición de [3B4] Humedales, 1990, 2005, 2010 y 2015	48
✳	<b>Figura 40.</b> Emisiones por tipo de transición de humedales, 1990, 2005, 2010 y 2015	48
	<b>5.2.7 [3B5] Asentamientos humanos</b>	<b>48</b>
▢	<b>Tabla 34.</b> Emisiones de la categoría [3B5] Asentamientos, 1990, 2005, 2010 y 2015	49
▢	<b>Tabla 35.</b> Emisiones por subcategoría de [3B5] Asentamientos, 1990, 2005, 2010 y 2015	49
✳	<b>Figura 41.</b> Figura 5. 41 Emisiones por subcategoría y transición de [3B5] Asentamientos, 1990, 2005, 2010 y 2015	50
	<b>5.2.8 [3B6] Otras tierras</b>	<b>51</b>
▢	<b>Tabla 36.</b> Emisiones para la categoría [3B6] Otras tierras, 1990, 2005, 2010 y 2015	51
▢	<b>Tabla 37.</b> Emisiones por subcategoría de [3B6] Otras tierras, 1990, 2005, 2010 y 2015	51
✳	<b>Figura 42.</b> Emisiones por subcategoría de [3B6] Otras tierras, 1990, 2005, 2010 y 2015	51
	<b>5.3 [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO<sub>2</sub> de la tierra</b>	<b>53</b>
▢	<b>Tabla 38.</b> Emisiones de GEI de la categoría [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO <sub>2</sub> de la tierra, 1990-2015	54
✳	<b>Figura 43.</b> Emisiones de la categoría [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO <sub>2</sub> de la tierra, 2015	54
✳	<b>Figura 44.</b> Emisiones de GEI de la categoría [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO <sub>2</sub> de la tierra, 1990-2015	54
✳	<b>Figura 45.</b> Incertidumbres de las categorías [3C1] a [3C7]	55
	<b>Oportunidades de mejoras en la categoría [3C]</b>	<b>55</b>
	<b>5.3.1 [3C1] Emisiones de GEI por quemado de biomasa</b>	<b>56</b>
▢	<b>Tabla 39.</b> Emisiones de GEI por quema de biomasa, 1990-2015	56
✳	<b>Figura 46.</b> Emisiones de GEI, categoría [3C3] Quema de biomasa, 1990-2015	56
	<b>5.3.1.1 [3C1a] Emisiones de GEI por quema de biomasa en tierras forestales</b>	<b>56</b>
▢	<b>Tabla 40.</b> Emisiones de GEI por quema de biomasa en tierras forestales, 1990-2015	57
✳	<b>Figura 47.</b> Emisiones de GEI, categoría [3C1a] Quema de biomasa en tierras forestales, 1990-2015	57
	<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>57</b>
	<b>5.3.1.2 [3C1b] Emisiones de GEI por quema de biomasa en tierras de cultivo</b>	<b>59</b>
▢	<b>Tabla 41.</b> Emisiones de GEI, categoría [3C1b] Quema de biomasa en tierras de cultivo, 1990-2015	59

✳ <b>Figura 48.</b> Emisiones de GEI, categoría [3C1b] Quema de biomasa en tierras de cultivo, 1990-2015	59
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>60</b>
✳ <b>Figura 49.</b> Superficie sembrada de cultivos por año clasificados en cuatro clases, 1990-2015	61
✳ <b>Figura 50.</b> Superficie cosechada de cultivos por año clasificados en cuatro clases, 1990-2015	62
▢ <b>Tabla 42.</b> Rendimiento de los cultivos	62
<b>5.3.1.3 [3C1c] Emisiones de GEI por quema de biomasa en praderas</b>	<b>63</b>
▢ <b>Tabla 43.</b> Emisiones de GEI, categoría [3C1a] Quema de biomasa en praderas, 1995-2015	64
✳ <b>Figura 51.</b> Emisiones de GEI, categoría [3C1a] Quema de biomasa en praderas, 1995-2015	64
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>64</b>
<b>5.3.2 [3C2] Encalado de suelos</b>	<b>64</b>
▢ <b>Tabla 44.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> por encalado de suelos, 1990-2015	64
✳ <b>Figura 52.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> por encalado de suelos	65
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>65</b>
✳ <b>Figura 53.</b> Producción nacional de cal viva, cal hidratada, cal química/siderúrgica y cal dolomítica, 1990-2015	66
<b>5.3.3 [3C3] Aplicación de urea</b>	<b>66</b>
▢ <b>Tabla 45.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> por aplicación de urea, 1990-2015	67
✳ <b>Figura 54.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> por aplicación de urea	67
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>67</b>
✳ <b>Figura 55.</b> Consumo de urea en México, 1990-2015	68
<b>5.3.4 [3C4] Emisiones directas de óxido nitroso de los suelos gestionados</b>	<b>68</b>
▢ <b>Tabla 46.</b> Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados, 1990-2015	69
✳ <b>Figura 56.</b> Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados, 1990-2015	69
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>69</b>
<b>Fertilizantes sintéticos nitrogenados (F<sub>SN</sub>)</b>	<b>70</b>
▢ <b>Tabla 47.</b> Consumo de fertilizantes sintéticos nitrogenados (FSN) en México, 1990-2015	70
<b>Estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo (F<sub>PRP</sub>)</b>	<b>70</b>
<b>Residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) reincorporados al suelo en tierras de cultivo (F<sub>CR</sub>)</b>	<b>70</b>
▢ <b>Tabla 48.</b> Nitrógeno de residuos agrícolas reincorporado al suelo en tierras de cultivo en México, 1995-2015	71
<b>5.3.5 [3C5] Emisiones indirectas de óxido nitroso de los suelos gestionados</b>	<b>71</b>
▢ <b>Tabla 49.</b> Emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O por manejo de suelos agrícolas, 1995-2015	72
✳ <b>Figura 57.</b> Emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O por manejo de suelos agrícolas	72
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>72</b>
<b>5.3.6 [3C6] Emisiones indirectas de óxido nitroso por sistemas de manejo del estiércol</b>	<b>72</b>
▢ <b>Tabla 50.</b> Emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O por sistemas de manejo del estiércol, 1990-2015	73
✳ <b>Figura 58.</b> Emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O por sistemas de manejo del estiércol	73
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>73</b>
<b>5.3.7 [3C7] Cultivo de arroz</b>	<b>73</b>
▢ <b>Tabla 51.</b> Emisiones de metano por el cultivo de arroz, 1990-2015	74
✳ <b>Figura 59.</b> Emisiones de metano por el cultivo de arroz, 1990-2015	74
<b>Aspectos metodológicos</b>	<b>74</b>
▢ <b>Tabla 52.</b> Superficie cosechada por modalidad hídrica, 1990-2015	75
<b>Factores de emisión</b>	<b>75</b>

## Referencias

75

## [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

El sector [3] “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra”, ASOUT (AFOLU, por Agriculture, Forestry and Other Land Use) se divide en tres categorías: [3A] Ganado, [3B] Tierra y [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO<sub>2</sub> de la tierra. De conformidad con IPCC (2006), en esta integración se reconoce que los procesos que derivan a las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEI), así como las diferentes formas de carbono almacenado pueden producirse en todos los tipos de suelos. De tal modo, se mejoran la coherencia y la exhaustividad en la estimación y declaración de emisiones y absorciones de GEI.

Los principales GEI contabilizados en este sector son dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Las absorciones de CO<sub>2</sub> se deben principalmente a procesos de captación durante la fotosíntesis vegetal; las emisiones se deben a la respiración (no considerada por IPCC), la descomposición y combustión de materia orgánica. En los procesos de nitrificación y desnitrificación se emite N<sub>2</sub>O. Las emisiones de CH<sub>4</sub> (metanogénesis) en este sector se deben principalmente a procesos como fermentación entérica y manejo anaeróbico de las excretas, así como a la combustión incompleta de materia orgánica. La formación de GEI a partir de gases precursores se considera una emisión indirecta, asociada con procesos como la volatilización de compuestos de nitrógeno de los suelos (IPCC, 2006).

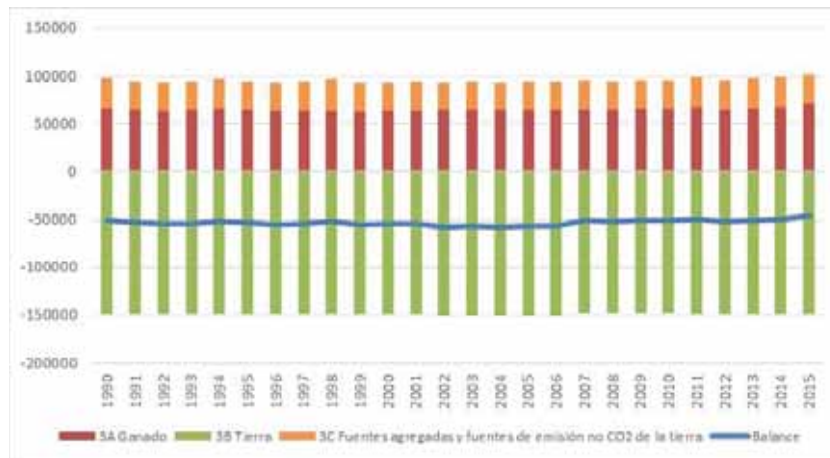
Se consideran aquí emisiones y absorciones de GEI asociadas con actividades agropecuarias y forestales en tierras sujetas a intervención humana. Los métodos para estimar tales emisiones y absorciones en el sector ASOUT, de acuerdo con IPCC (2006) incluyen:

- ⊙ Emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> por cambios en las existencias de carbono en la biomasa, materia orgánica muerta y suelos minerales, en las tierras gestionadas.
- ⊙ Emisiones de:
  - ⊙ CH<sub>4</sub> producidas por la fermentación entérica en el ganado;
  - ⊙ CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de los sistemas de gestión del estiércol;
  - ⊙ CO<sub>2</sub> y no CO<sub>2</sub> producidas por incendios en todas las tierras gestionadas;
  - ⊙ N<sub>2</sub>O en todas las tierras gestionadas;
  - ⊙ CO<sub>2</sub> relacionadas con la aplicación de cal y urea en tierras gestionadas;
  - ⊙ CH<sub>4</sub> del cultivo del arroz;
  - ⊙ CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O de las tierras de cultivo orgánico, y
  - ⊙ CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O de humedales gestionados.
- ⊙ El cambio en las existencias de carbono relacionado con los productos de madera recolectada.

En cada sección se ven los detalles de las emisiones y absorciones de GEI resultantes de las actividades anteriormente señaladas.

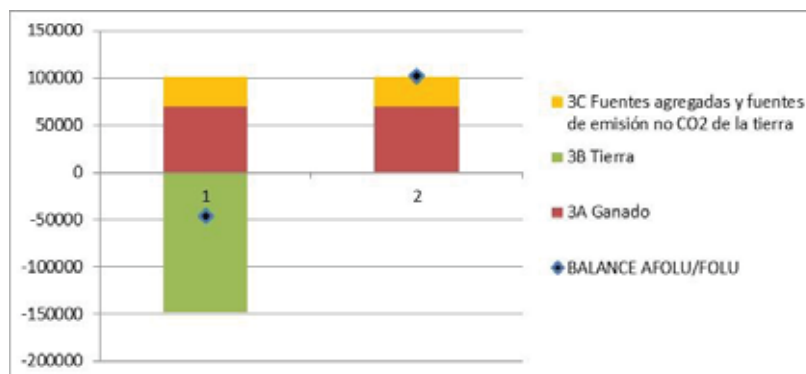
El sector ASOUT presentó en 2015 un balance de  $-46,286.6$  Gg de  $\text{CO}_2\text{e}$  ( $\pm 76.10\%$ ), en el que las emisiones derivadas de la categoría [3A] Ganado fueron  $70,567.6$  Gg de  $\text{CO}_2\text{e}$  ( $\pm 4.78\%$ ), las absorciones que corresponden a la categoría [3B] Tierra  $-148,346.1$  Gg de  $\text{CO}_2\text{e}$  ( $\pm 19.46\%$ ) y las emisiones de la categoría [3C] Fuentes agregadas...,  $31,491.9$  Gg de  $\text{CO}_2\text{e}$  ( $\pm 63.19\%$ ). Las emisiones históricas se pueden ver en la **Figura 1**.

**Figura 1.** Emisiones históricas del sector ASOUT, 1990-2015  
Gg de  $\text{CO}_2\text{e}$



La categoría [3B] Tierra presenta absorciones de  $\text{CO}_2$  en el país, y por tanto el sector ASOUT presenta emisiones netas con magnitud negativa, lo cual podría considerarse como un sumidero. Para mejor entendimiento del comportamiento de las emisiones y absorciones se analizan los resultados de las emisiones de ASOUT con y sin los resultados de [3B] Tierra. Así, en 2015 (**Figura 2**), al excluir los resultados de la categoría [3B] Tierra, las emisiones de ASOUT son del orden de  $102,059.5$  Gg de  $\text{CO}_2\text{e}$ .

**Figura 2.** Emisiones para el sector ASOUT, incluyendo y excluyendo [3B] Tierra, 2015  
Gg de  $\text{CO}_2\text{e}$

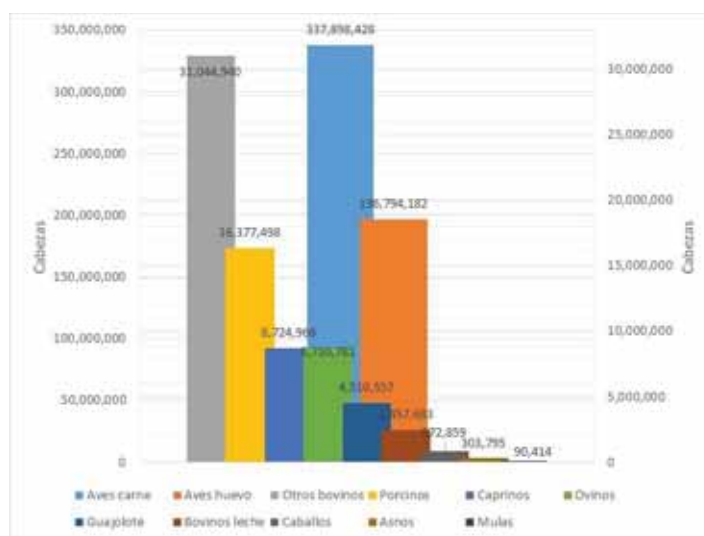


## 5.1 [3A] Ganado

En esta categoría se reportan las emisiones de los GEI producidos durante las actividades pecuarias en México. Los GEI contabilizados en esta categoría son el metano generado en la fermentación entérica (subcategoría 3A1) y durante el manejo de las excretas del ganado (subcategoría 3A2), así como el óxido nitroso, también generado en el manejo de las excretas.

Los datos de actividad de las diferentes poblaciones animales que se consideraron en esta actualización del inventario se obtuvieron del Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP). En 2015, las aves de corral (aves huevo, aves carne) fueron la especie productiva con la mayor población total. Los datos de la población ganadera de dicho año se muestran en la **Figura 3**.

**Figura 3.** Población total por especie productiva (cabezas de ganado), 2015



Durante 2015, la ganadería en México emitió 70,567.6 Gg de CO<sub>2e</sub> (±4.78%) (**Tabla 1**). De esa cantidad, 76% correspondió a la fermentación entérica [3A1], con 53,442.72 Gg de CO<sub>2e</sub> (±6.11%), y el manejo de excretas [3A2] representó 24% de las emisiones de la categoría (**Figura 5**) con 17,124.88 Gg de CO<sub>2e</sub> (±4.96). En cuanto a la contribución por fuente de emisión, según se observa en la **Figura 4**, la distribución de las emisiones ubica al ganado bovino como el mayor emisor de la categoría, con 87.4%, seguido por: ganado porcino, 7.33%; ganado ovino y caprino, 1.78% cada grupo; aves de corral (huevo y carne), 7.9%, y el ganado equino —caballos, mulas y asnos—, 0.85% de las emisiones. En términos económicos, estos resultados contrastan con la aportación de la ganadería al producto interno bruto (PIB) nacional, ya que esta actividad aportó 3.2% al PIB en 2015, mientras que en emi-

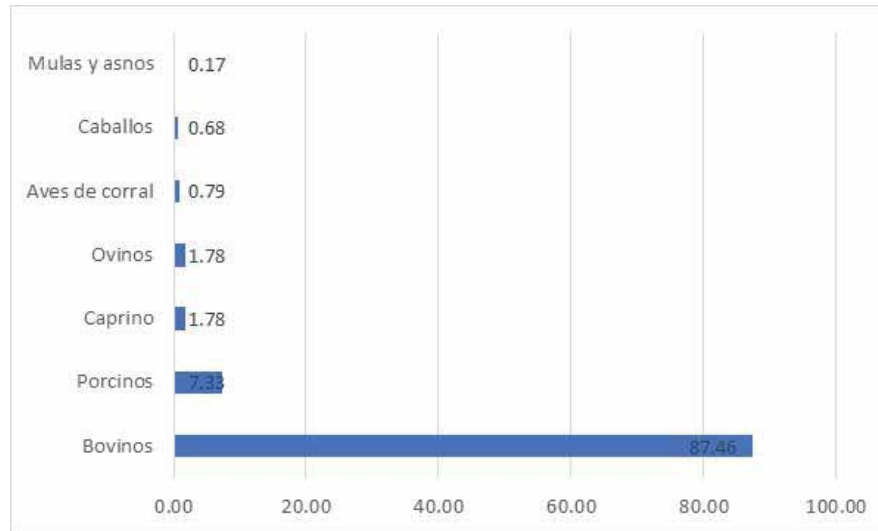


siones su aportación al Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) fue 14.5 por ciento.

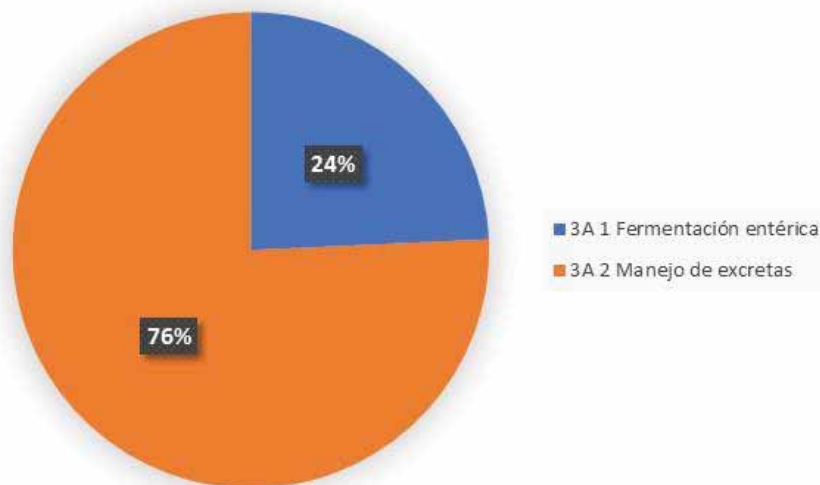
**Tabla 1.** Emisiones de la ganadería en México expresado Gg de CO<sub>2</sub>e

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
66,494.18	65,528.28	63,776.26	64,522.57	66,434.99	66,902.21	65,361.75	66,660.46	67,392.54	70,567.60

**Figura 4.** Distribución en porcentaje de las emisiones de la ganadería en México, 2015



**Figura 5.** Porcentaje de la contribución de subcategorías de [3A] Ganado



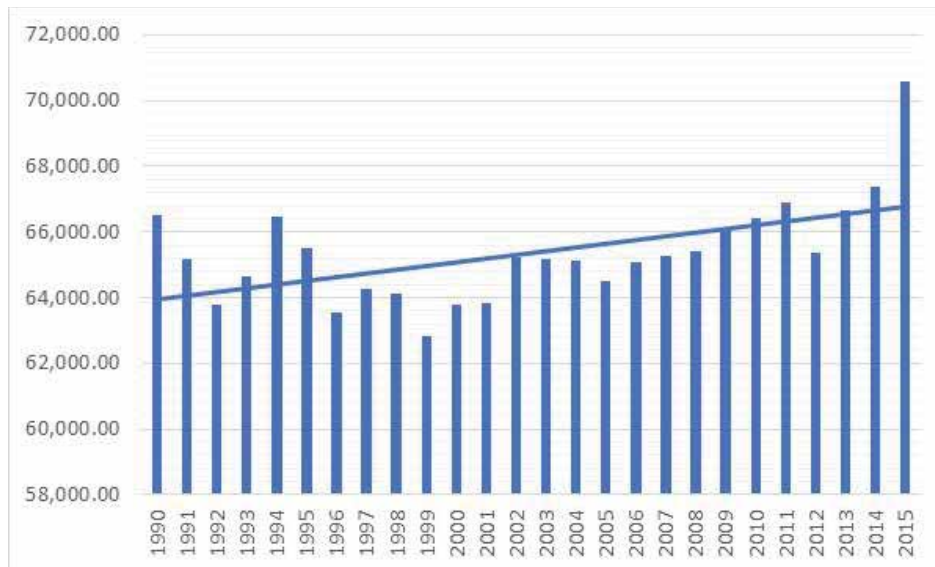
**Tabla 2.** Emisiones de la ganadería en México, por subcategoría, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2</sub>e

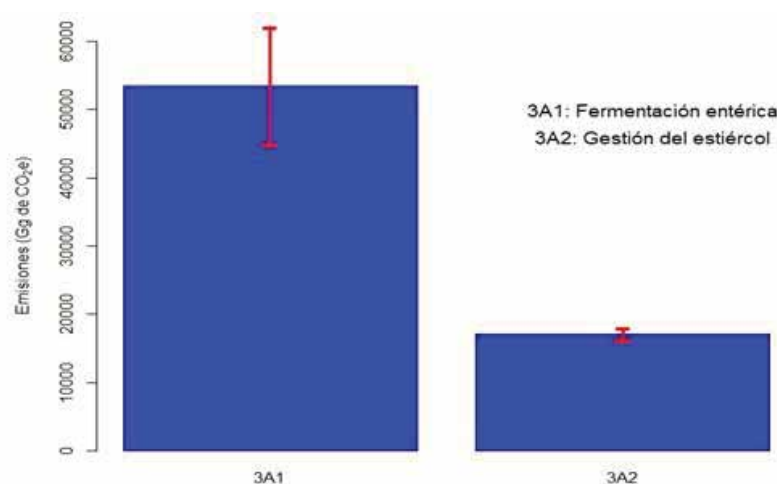
Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
[3A1] Fermentación entérica	52743.70	50731.09	49317.05	49827.95	51761.08	51865.81	50139.49	51139.95	52082.12	53442.72
[3A2] Manejo de excretas	13750.48	14797.18	14459.21	14694.62	14673.91	15036.40	15222.26	15520.51	15310.42	17124.88

La serie histórica para el periodo 1990-2015 de las emisiones de GEI provenientes de la ganadería [3A] en México se muestra en la **Figura 6**, donde se observa la tendencia creciente: al comienzo del periodo se ubicaron en el orden de 66,492.18 Gg de CO<sub>2</sub>e, y al final hubo un incremento de 6.12 por ciento.

En esta actualización del INEGYCEI, la categoría [3A] se realizó según las *Directrices del IPCC 2006*, con datos de actividad provenientes de las 32 entidades federativas y factores de emisión acordes con las características productivas de los estados (ver **[3A] Ganado, Anexo D**).

**Figura 6.** Serie histórica de las emisiones de GEI de la ganadería en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2</sub>e



**Figura 7.** Incertidumbres de las subcategorías [3A1] y [3A2]

### Oportunidades de mejoras en la categoría [3A]

En esta categoría es necesario contemplar, para el siguiente ciclo de inventario, la exploración de otras fuentes de datos de actividades ganaderas que permitan clasificar a la población por edades, para así añadir precisión a pesos y factores de emisión.

En materia de fermentación entérica se requiere establecer dietas típicas por edad y función zootécnica que permitan identificar los contenidos de energía y proteína, para así desarrollar las ecuaciones de factor de emisión por fermentación entérica y excreción de nitrógeno.

Finalmente es importante identificar los manejos de excretas que no se consideraron en esta actualización.

Se requiere mantener la atención sobre los refinamientos de las directrices metodológicas de IPCC 2006 que se publicarán en 2019 para aplicarlos en las futuras actualizaciones del INEGYCEI.

#### 5.1.1 [3A1] Fermentación entérica

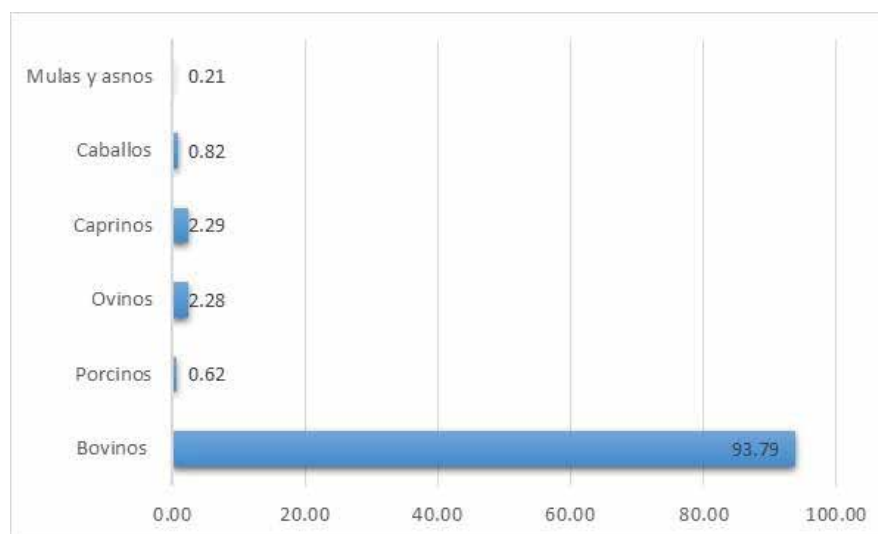
En esta subcategoría se reporta el CH<sub>4</sub> proveniente de los procesos metabólicos de la digestión de los carbohidratos contenidos en el alimento para los ganados bovino —producción especializada de leche, de carne y doble propósito—, porcino, ovino, caprino y equino (caballos, mulas y asnos) del país.

La categoría [3A1] es la mayor fuente de emisiones de la ganadería en México. En 2015 generó 53,442.72 Gg de CO<sub>2e</sub> ±6.50% (Tabla 3), equivalentes a 75.73% de las emisiones de la ganadería del país. De esa cantidad, 93.79% correspondió al ganado bovino como fuente principal de CH<sub>4</sub> (Figura 8),

**Tabla 3.** Emisiones provenientes de la fermentación entérica en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
52,743.70	50,731.09	49,317.05	49,827.95	51,761.08	51,865.81	50,139.49	51,139.95	52,082.12	53,442.72

**Figura 8.** Distribución en porcentaje de las emisiones de GEI de la ganadería en México provenientes de la fermentación entérica, 2015



### 5.1.1.1 [3A1a] Ganado bovino

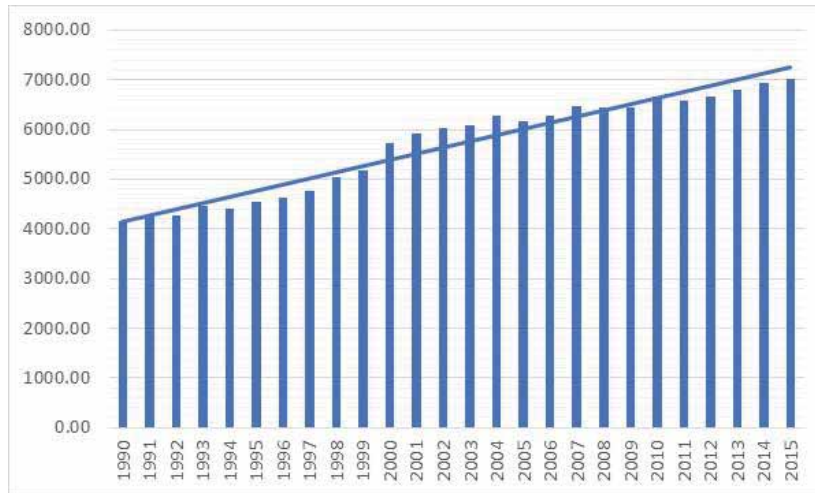
#### 5.1.1.1.1 [3A1a1] Ganado bovino, leche

Las emisiones por fermentación entérica del ganado bovino de la producción especializada de leche del país generaron 7,007.54 Gg de CO<sub>2e</sub> en 2015 (**Tabla 4**); esa cantidad correspondió a 13.11% del total de emisiones de CH<sub>4</sub> por fermentación entérica ese año y a un incremento de 68.99 % en las emisiones de GEI entre 1990 y 2015 para esta subcategoría (**Figura 9**).

**Tabla 4.** Emisiones de fermentación entérica proveniente del ganado bovino de la producción especializada de leche en México, 1990-2015

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
4,146.68	4,535.07	5,723.24	6,170.40	6,675.09	6,584.14	6,652.38	6,792.45	6,926.36	7,007.54

**Figura 9.** Serie histórica de las emisiones de GEI por fermentación entérica en la producción de leche en México, 1990-2015



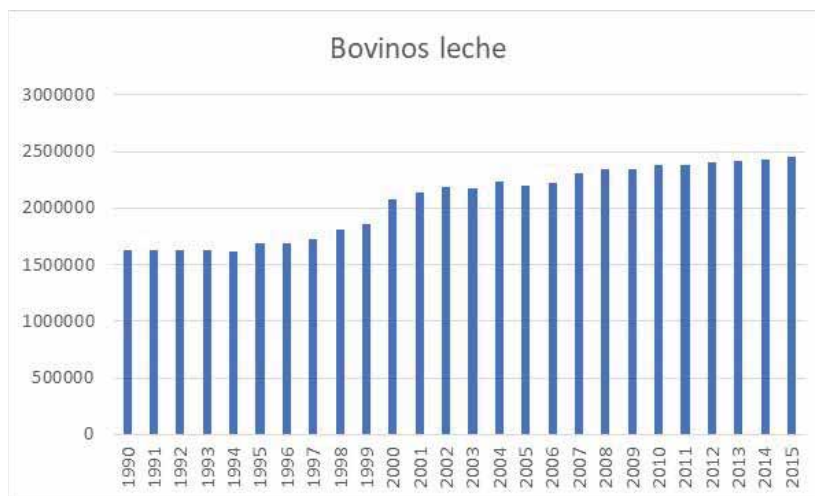
#### Aspectos metodológicos

La estimación de las emisiones en esta categoría consideró lo estipulado por las *Directrices del IPCC 2006*, donde se describen los métodos para las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) procedentes de la fermentación entérica; se eligió el nivel 1, de acuerdo con el árbol de decisiones de la fermentación entérica (Figura 10.2, Volumen 4, IPCC, 2006).

La fuente de los datos de actividad fue el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). La información utilizada corresponde al número de animales y al volumen de producción por entidad federativa.

La población que se considera dentro de esta fuente es la del ganado bovino de la producción especializada de leche. El comportamiento de la población total en el periodo 1990-2015 se muestra en la **Figura 10**.

**Figura 10.** Población de ganado bovino para producción especializada de leche, 1990-2015



Los factores de emisión de la Tabla 10.11, Volumen 4, IPCC 2006, se asignaron a cada una de las entidades federativas del país de acuerdo con el volumen reportado de producción.

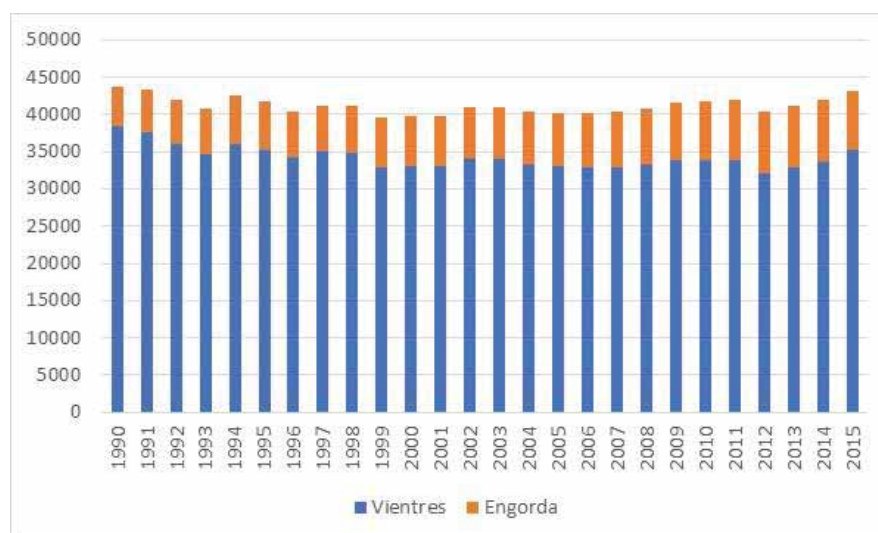
#### 5.1.1.1.2 [3A1a2] Otros ganados bovinos

Las emisiones por fermentación entérica para otros ganados bovinos en México contemplan la producción especializada en carne y la producción conocida como doble propósito (carne y leche). En 2015, en esta subcategoría se generó metano equivalente a 43,113.84 Gg de CO<sub>2e</sub> (Figura 11). Ese gas represento 71% de la totalidad de emisiones de GEI provenientes de esta actividad pecuaria. Se estima que en 1990 se emitieron 43,812.72 Gg de CO<sub>2e</sub>; en consecuencia, durante el periodo 1990-2015 hubo una disminución de 2% en las emisiones relativa a esta subcategoría.

**Tabla 5.** Emisiones por fermentación entérica de la categoría [3A1a2], 1990-2015

Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Vientres	38,351.91	35,192.50	33,143.60	33,052.50	33,865.10	33,837.34	31,972.06	32,891.05	33,722.40	35,316.04
Engorda	5,460.81	6,581.79	6,690.40	7,057.79	7,933.15	8,211.39	8,359.84	8,249.62	8,237.34	7,797.80

**Figura 11.** Serie histórica de las emisiones provenientes de fermentación entérica, categoría [3A1a2] Otros ganados bovinos, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>



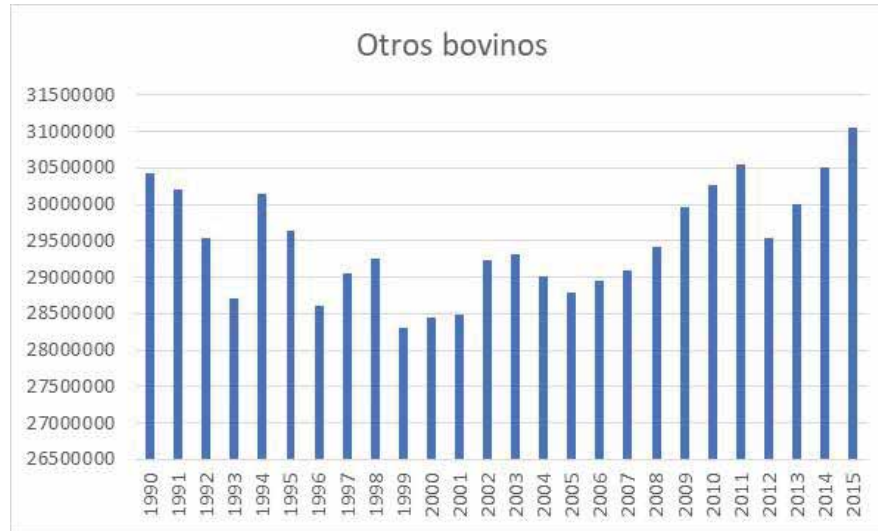
#### Aspectos metodológicos

Para estimar las emisiones en esta categoría se utilizaron las *Directrices del IPCC 2006*. Se eligió el nivel 1, de acuerdo con el árbol de decisiones aplicable a las emisiones de GEI procedentes de la fermentación entérica (Figura 10.4, Volumen 4, IPCC, 2006).

La fuente de información para obtener los datos de actividad correspondientes al país, fue la publicada por SIAP-SAGARPA para el periodo 1990-2015; se utilizó la correspondiente al

número de animales y el volumen de producción por entidad federativa (ver [3A] Ganado, Anexo D).

**Figura 12.** Población total de otros ganados bovinos, 1990-2015



Las emisiones se estimaron para vientres (pie de cría) y engorda (finalización) utilizando el número de animales en cada entidad federativa del país y los volúmenes de producción para separar la población en los grupos antes mencionados (ver Anexo E, sección de Ganadería).

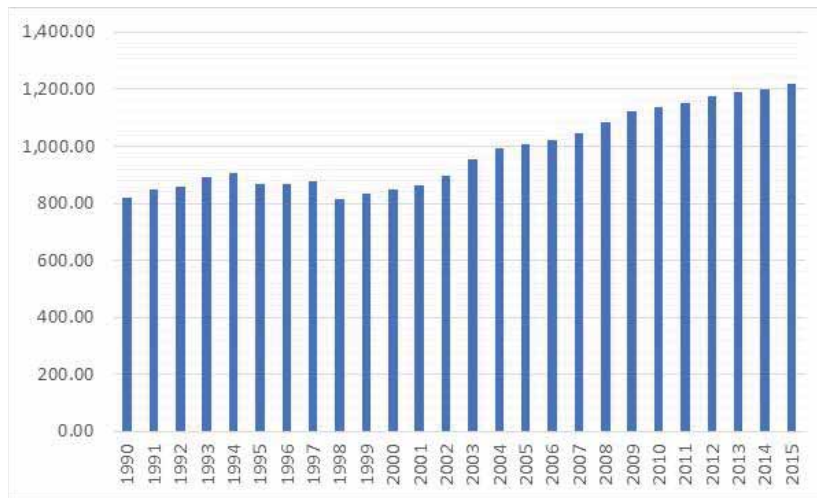
#### 5.1.1.2 [3A1c] Ganado ovino

Durante 2015, en esta subcategoría se generaron 1,219.51 Gg de CO<sub>2e</sub> ( $\pm 9.73\%$ ) correspondientes a metano. En 1990, se estima que se emitieron 818.44 Gg de CO<sub>2e</sub> (Tabla 6), lo que representa un incremento de 67.11% en el periodo.

**Tabla 6.** Emisiones provenientes de la fermentación entérica del ganado ovino en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
818.44	867.27	846.44	1,009.04	1,134.78	1,150.71	1,176.83	1,189.63	1,200.63	1,219.51

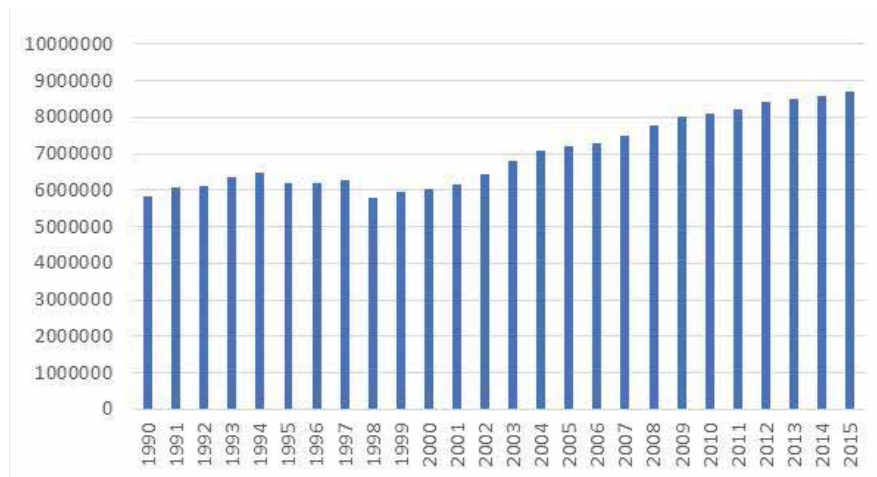
**Figura 13.** Serie histórica de emisiones por fermentación entérica de ganado ovino, 1990-2015)  
Gg de CO<sub>2e</sub>



#### Aspectos metodológicos

A partir de las *Directrices...* (Figura 10.4, Volumen 4, IPCC, 2006) y de acuerdo con el árbol de decisiones aplicable a las emisiones de GEI procedentes de la fermentación entérica, se eligió el nivel 1 (ver **Anexo E**). Los datos de actividad correspondientes se obtuvieron del SIAP-SAGARPA (ver **[3A] Ganado, Anexo D**).

**Figura 14.** Población total de ganado ovino en México, 1990-2015



Las emisiones de GEI se calcularon utilizando el número de animales en cada entidad federativa del país y los factores de emisión de la Tabla 10. 11, Volumen 4, IPCC 2006 (ver detalles en las tablas **Anexo E**).



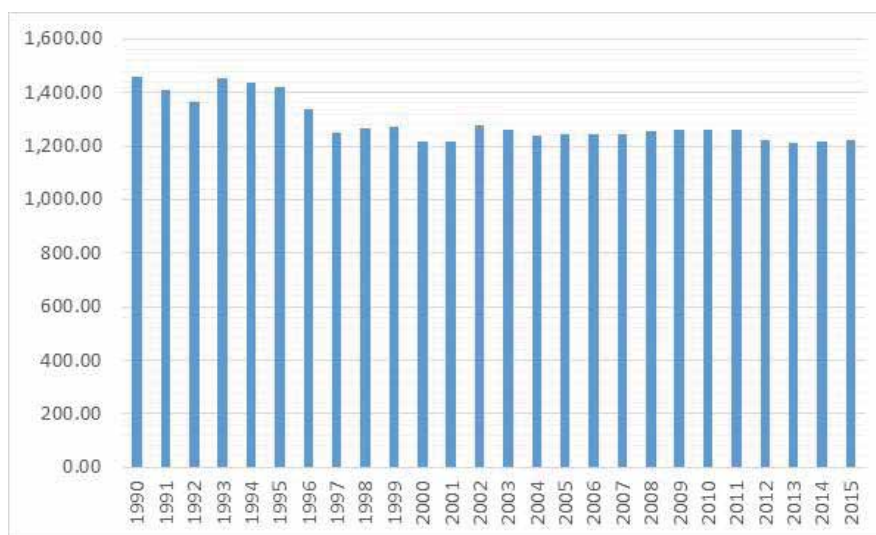
### 5.1.1.3 [3A1d] Ganado caprino

En 2015 se generaron 1,221.50 Gg de CO<sub>2e</sub> (±10.05%) correspondientes a metano. En 1990, se estima que se emitieron 1,461.46 Gg de CO<sub>2e</sub> (Tabla 7), lo que representa una disminución de 10.2 por ciento.

**Tabla 7.** Emisiones por fermentación entérica de ganado caprino, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1,461.46	1,418.62	1,218.59	1,241.83	1,259.05	1,260.61	1,224.15	1,213.05	1,216.29	1,221.50

**Figura 15.** Serie histórica de las emisiones por fermentación entérica de ganado caprino, 1990-2015



#### Aspectos metodológicos

Se eligió el nivel 1 con base en las *Directrices del IPCC 2006*, según el árbol de decisiones aplicable a emisiones de GEI por fermentación entérica (Figura 10.4, Volumen 4, IPCC, 2006). (Ver Anexo E.) Se utilizaron datos de actividad de SIAP-SAGARPA para el periodo 1990-2015. (Ver Anexo D.)

El cálculo de emisiones de GEI se basó en el número de animales en cada entidad federativa y los factores de emisión de la Tabla 10.10, Volumen 4, IPCC 2006. (Ver Anexo E.)

**Figura 16.** Población total de ganado caprino en México, 1990-2015

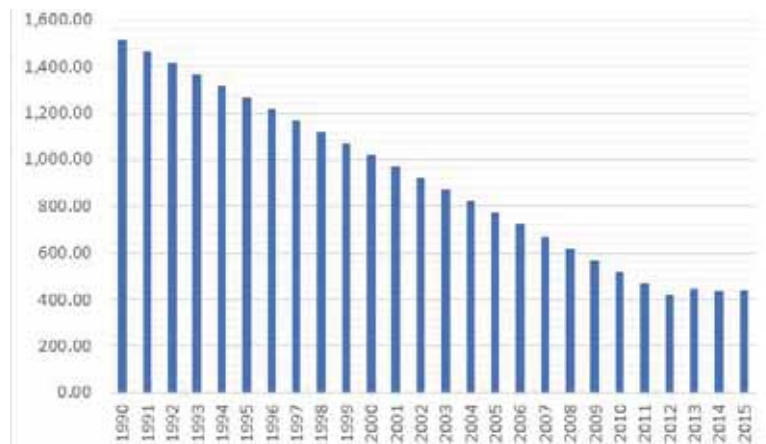
#### 5.1.1.4 [3A1f] Ganado equino: caballos

En 2015, las emisiones de metano por fermentación entérica alcanzaron 439.92 Gg de CO<sub>2e</sub>; en 1990, 1,513.52 Gg de CO<sub>2e</sub> (±8.11%) (Tabla 8). La disminución fue de 71 por ciento.

**Tabla 8.** Emisiones por fermentación entérica de los caballos en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

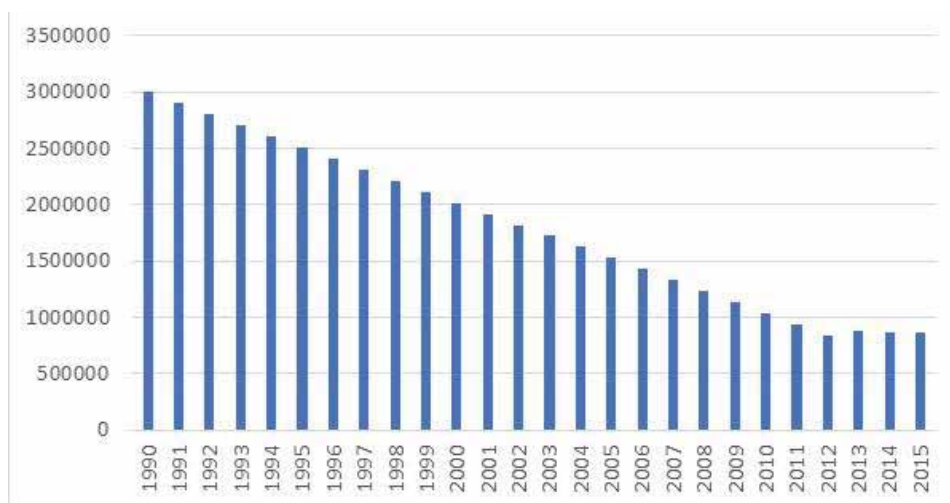
1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1,513.52	1,265.29	1,017.06	768.83	520.60	470.95	421.30	446.13	433.72	439.92

**Figura 17.** Serie histórica de emisiones por fermentación entérica de caballos en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>



#### Aspectos metodológicos

Las bases para el cálculo de emisiones en esta categoría fueron las *Directrices...* (árbol de decisiones aplicable, Figura 10.4, Volumen 4, IPCC, 2006); se eligió el nivel 1. Los datos de actividad provinieron del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Información (INEGI), con información publicada en 1991 y 2007. Para completar la serie histórica se realizó el ejercicio estadístico de media móvil. (Ver **Anexos D y E**, secciones de ganadería.)

**Figura 18.** Población total de caballos en México, 1990-2015

Las emisiones de GEI se calcularon utilizando el número de animales en cada entidad federativa y los factores de emisión de la Tabla 10.10 (Volumen 4, IPCC 2006).

#### 5.1.1.5 [3A1g] Ganado equino: mulas y asnos

La fermentación entérica asociada con mulas y asnos generó emisiones de metano equivalentes a 110.38 Gg de CO<sub>2e</sub> durante 2015 (Tabla 9): 83.35% ±11.58% menos que en 1990, cuando alcanzaron 662.95 Gg de CO<sub>2e</sub>.

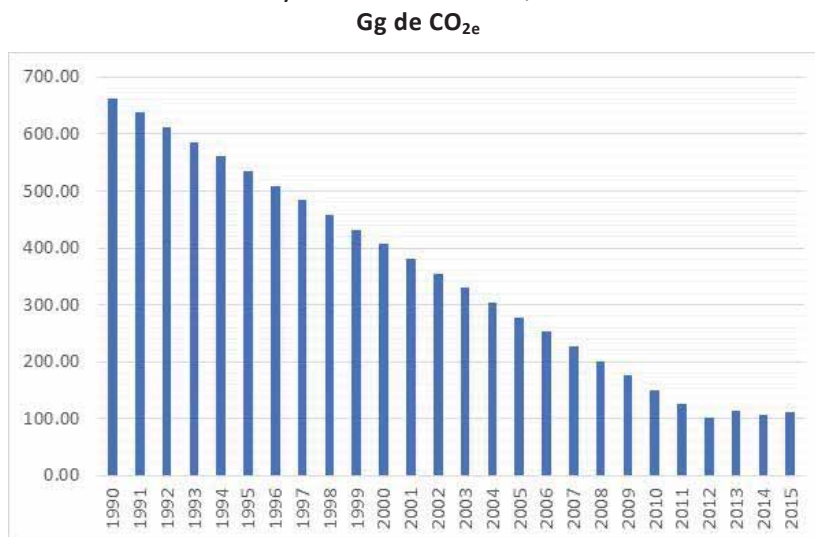
**Tabla 9.** Emisiones provenientes de fermentación entérica de mulas y asnos en México, 1990-2015

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
662.95	534.61	406.26	277.91	149.67	124.62	101.83	113.23	107.53	110.38

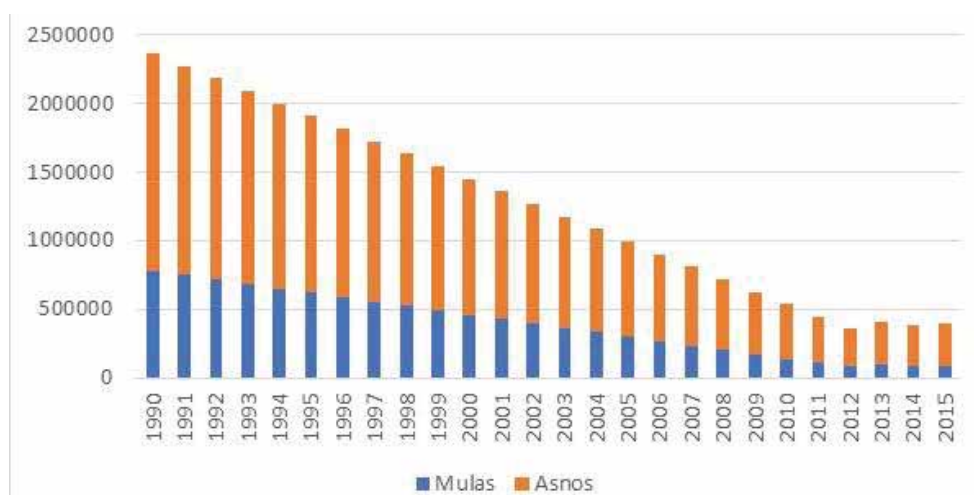
#### Aspectos metodológicos

Se eligió el nivel 1, conforme a las *Directrices del IPCC 2006* y el árbol de decisiones aplicable a las emisiones de GEI procedentes de la fermentación entérica (Figura 10.4, Volumen 4, IPCC, 2006). Los datos de actividad se obtuvieron del censo agropecuario de INEGI, con información publicada en 1991 y 2007. Para completar la serie histórica se realizó el ejercicio estadístico de media móvil. (Ver **Anexos D y E**, secciones de ganadería.)

**Figura 19.** Serie histórica de emisiones por fermentación entérica de mulas y asnos en México, 1990-2015



**Figura 20.** Población total de mulas y asnos en México, 1990-2015



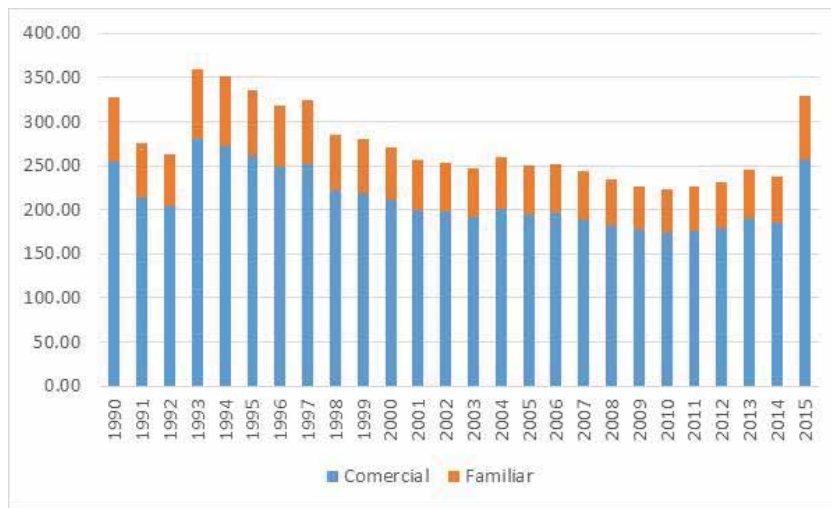
### 5.1.1.6 [3A1h] Ganado porcino

Las emisiones de metano por fermentación entérica de ganado porcino en 2015 ascendieron a 330.03 Gg de CO<sub>2e</sub> ( $\pm 11.18\%$ ) (Tabla 10). En 1990 fueron de 327.93 Gg de CO<sub>2e</sub>; esto representó un incremento de 1% en las emisiones de GEI en esta subcategoría durante el periodo de referencia.

**Tabla 10.** Emisiones por fermentación entérica de ganado porcino en México, 1990-2015

		<b>Gg de CO<sub>2e</sub></b>									
Tipo de sistema de producción	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Comercial	255.06	261.29	211.14	194.18	173.95	175.81	179.74	190.40	185.00	256.69	
Familiar	72.87	74.66	60.32	55.48	49.70	50.23	51.35	54.40	52.86	73.34	

**Figura 21.** Serie histórica de emisiones por fermentación entérica de ganado porcino en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

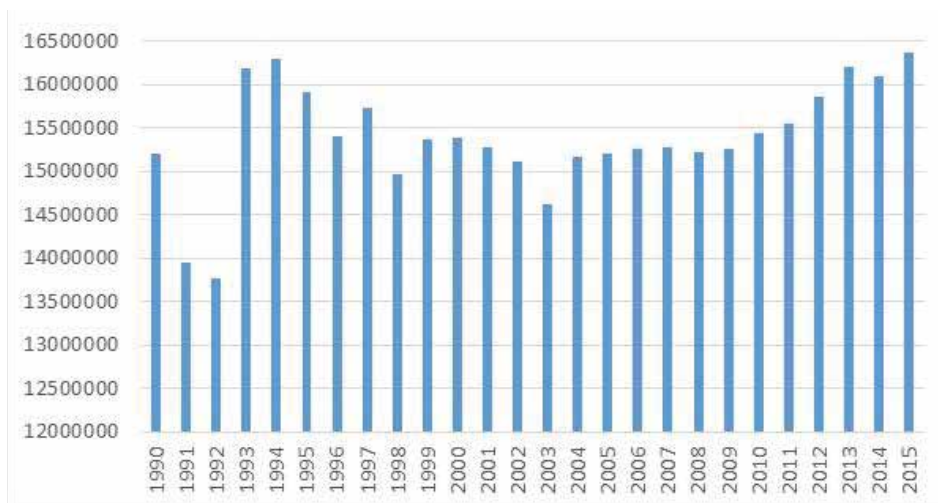


#### Aspectos metodológicos

Para estimar las emisiones de esta categoría se utilizaron las *Directrices del IPCC 2006*, que describen los métodos para estimar las de metano (CH<sub>4</sub>) procedentes de la fermentación entérica; se eligió el nivel 1, de acuerdo al árbol de decisiones aplicable a las emisiones de GEI procedentes de la fermentación entérica (Figura 10.4, Volumen 4, IPCC, 2006). (Ver Anexo E.)

La fuente de los datos de actividad fue SIAP-SAGARPA, para el periodo 1990-2015. La información que se utilizó fue la correspondiente al número de animales y volumen de producción por entidad federativa. (Ver Anexo D.)

**Figura 22.** Población total de ganado porcino en México, 1990-2015



Las emisiones de GEI se determinaron utilizando el número de animales en cada entidad federativa y los factores de emisión de la Tabla 10.10 (Volumen 4, IPCC 2006). Para cada una de las entidades federativas se identificó el volumen de producción promedio reportado para cada año (1990-2015), de manera de separar las categorías entre las hembras y los animales de engorda; adicionalmente se asumió, de acuerdo con SAGARPA, que 30% de la población porcina se encontraba en condiciones de traspatio o producción familiar (SAGARPA, Gallardo, Villamar, Barrera, 2006). (Ver **Anexo D.**)

### 5.1.2 [3A2] Gestión del estiércol

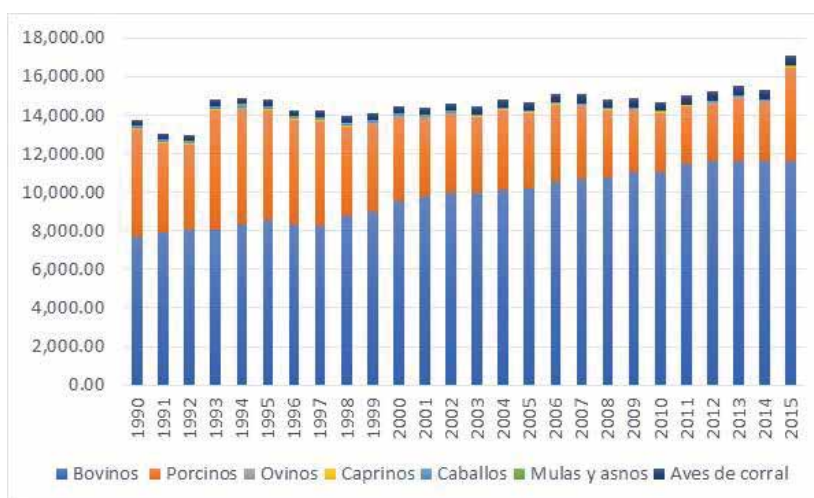
En esta categoría se incluyen las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), resultado del manejo de las excretas de las diferentes especies animales. En esta actualización del INEGYCEI se utilizaron once tipos de manejo de excretas (ver **Anexo D, [3A] Ganado**).

En 2015 esta categoría generó 17,124.88 Gg de CO<sub>2e</sub> (±4.78%). La fuente principal fue el ganado bovino, con 67.74%. El ganado porcino contribuyó con 28.29%; aves de corral, 3.24%, y los otros ganados (ovino, caprino y equino) aportaron menos de 1% (**Tabla 11**).

**Tabla 11.** Emisiones y porcentaje de emisiones por el manejo de excretas de ganado en México, 2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

Ganado	Emisiones	Porcentaje
Bovino	11,600.55	67.74
Porcino	4,844.64	28.29
Aves de corral	554.59	3.24
Equino: caballos	40.90	0.24
Caprino	37.83	0.22
Ovino	35.80	0.21
Equino: mulas y asnos	10.58	0.06
Total	17,124.88	100.00

Las emisiones en 1990 alcanzaron 13,750.48 Gg de CO<sub>2e</sub>. Es decir, en el periodo 1990-2015 hubo un incremento de 24.54% (**Figura 23**).

**Figura 23.** Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de ganado en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>**Tabla 12.** Emisiones por manejo de excretas de ganado en México, 1990-2015

Ganado	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Bovino	7,677.65	8,547.31	9,536.62	10,207.70	11,063.94	11,442.67	11,600.18	11,631.97	11,604.44	11,600.55
Porcino	5,541.20	5,694.10	4,372.53	3,904.26	3,026.20	2,987.17	3,015.81	3,262.82	3,082.85	4,844.64
Ovino	25.10	26.76	26.30	30.90	32.56	33.12	34.34	37.28	35.22	35.80
Caprino	45.48	45.03	39.16	38.52	37.45	38.44	37.72	39.27	37.69	37.83
Equino: caballos	144.03	121.26	97.83	73.85	47.16	43.46	38.99	42.89	40.31	40.90
Equino: mulas y asnos	63.44	51.52	39.30	26.51	13.25	11.78	9.78	11.36	10.32	10.58
Aves de corral	253.58	311.19	347.46	412.89	453.36	479.77	485.43	494.92	499.59	554.59
Total	13,750.48	14,797.18	14,459.21	14,694.62	14,673.91	15,036.40	15,222.26	15,520.51	15,310.42	17,124.88

**Aspectos metodológicos**

En las estimaciones de esta categoría se observaron las guías metodológicas IPCC 2006 para obtener los factores de emisión. Las temperaturas promedio publicadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2016), el número de animales y los pesos utilizados se obtuvieron del SIAP, por entidad federativa.

**5.1.2.1 [3A2a] Ganado bovino****5.1.2.1.1 [3A2a1] Ganado bovino, leche**

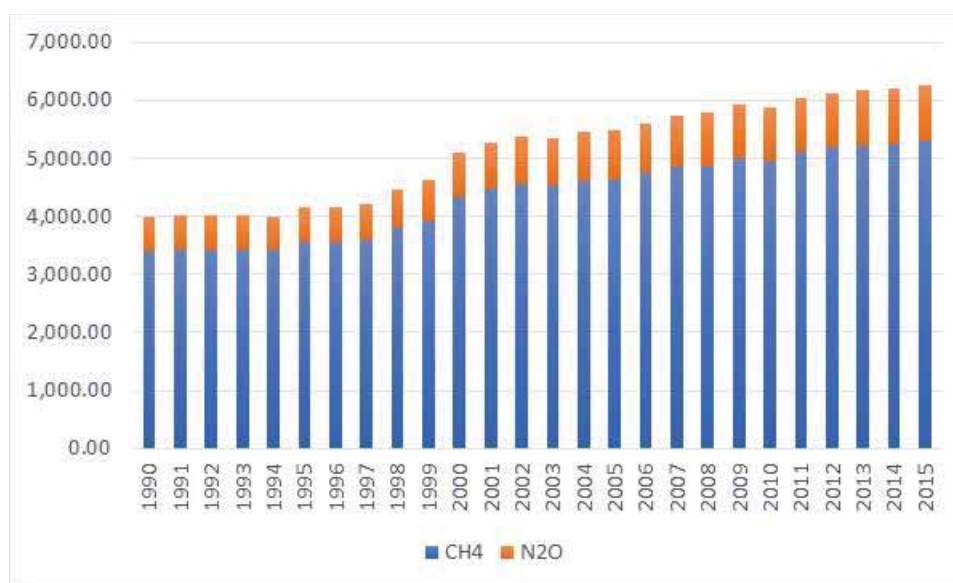
Las emisiones por manejo de excretas del ganado bovino en la producción especializada de leche del país generaron 6,267.42 Gg de CO<sub>2e</sub> en 2015 (**Tabla 13**). El CH<sub>4</sub> aportó 84.23% de las emisiones mientras que el N<sub>2</sub>O contribuyó con 15.76% para esta categoría.

**Tabla 13.** Emisiones por manejo de excretas de ganado bovino en la producción especializada de leche en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

Gas	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
CH <sub>4</sub>	3,391.16	3,543.12	4,321.00	4,626.50	4,930.13	5,109.13	5,178.10	5,222.01	5,226.30	5,279.11
N <sub>2</sub> O	599.82	625.18	788.19	846.28	943.27	942.95	952.21	960.37	968.86	988.31
Total	3,990.98	4,168.30	5,109.19	5,472.79	5,873.41	6,052.08	6,130.31	6,182.38	6,195.16	6,267.42

En el periodo comprendido entre 1990 y 2015 para esta subcategoría se observa una tendencia creciente (Figura 24).

**Figura 24.** Serie histórica de emisiones por manejo de excretas, por tipo de gas de la producción especializada de leche en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>



#### Aspectos metodológicos

Para estimar las emisiones en esta categoría se utilizaron las *Directrices del IPCC 2006*, que describen los métodos para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes del manejo de las excretas. Conforme al árbol de decisiones aplicable a las emisiones de GEI procedentes del manejo de excretas (Figuras 10.3 y 10.4, Volumen 4, IPCC, 2006), se eligió el nivel 1. (Ver **Anexo D**, sección de ganadería.)

La fuente de los datos de actividad fue SIAP-SAGARPA para el periodo 1990-2015. La información que se utilizó fue la correspondiente al número de animales y volumen de producción por entidad federativa. (Ver **Anexo E**, sección de ganadería.)

Las emisiones provenientes de esta categoría se estimaron utilizando el número de animales en cada entidad federativa del país y la temperatura promedio del lugar para asignar el factor de emisión de metano de acuerdo con las Tablas 10.14, 10A-4, 10.19,



10.21, 10.23 y 11.3 (Volumen 4, IPCC 2006). Para el caso de N<sub>2</sub>O se utilizó el peso promedio reportado por SIAP para establecer la excreción de nitrógeno. Los tipos de manejo de excretas utilizados en esta subcategoría fueron: manejo líquido, lagunas de oxidación y biodigestores.

#### 5.1.2.1.2 [3A2a2] Otros ganados bovinos

La masa de emisiones por manejo de excretas de otros ganados bovinos (producción especializada en carne y la producción conocida como doble propósito) fue de 5,333.13 Gg de CO<sub>2e</sub> en 2015 (Tabla 14). Los animales de engorda aportaron 88.17% de las emisiones en el manejo de las excretas. En términos de GEI, el metano contribuyó con 50.46% de la categoría (Tabla 15). Para el periodo 1990-2015 se observa una tendencia positiva en las emisiones para esta categoría, con una tasa de crecimiento 14.46% (Figura 25).

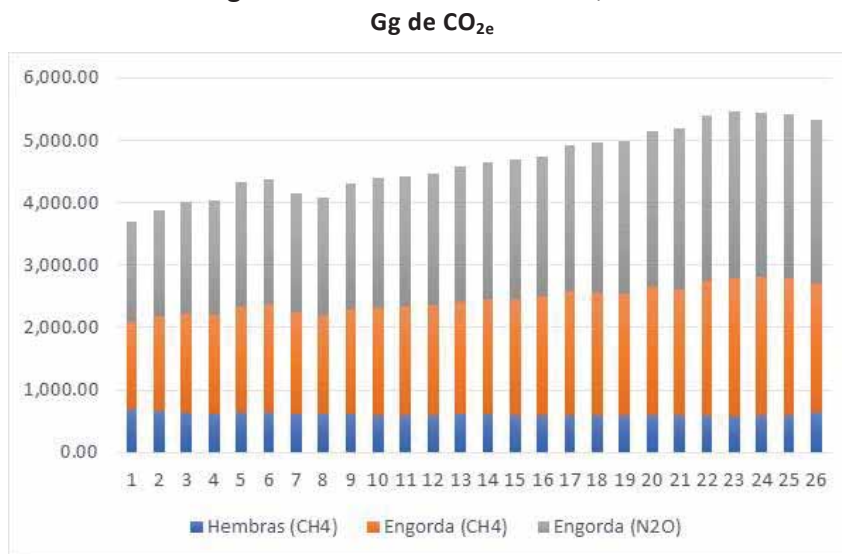
**Tabla 14.** Emisiones por manejo de excretas de otros ganados bovinos en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

Etapa	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Hembras (CH <sub>4</sub> )	684.86	628.44	591.85	590.22	604.73	604.24	570.93	587.34	602.19	630.64
Engorda (CH <sub>4</sub> )	1,406.65	1,721.80	1,743.89	1,902.59	2,008.98	2,145.69	2,220.61	2,229.49	2,192.79	2,060.52
Engorda (N <sub>2</sub> O)	1,595.16	2,028.78	2,091.69	2,242.10	2,576.82	2,640.66	2,678.33	2,632.76	2,614.30	2,641.96
Total	3,686.67	4,379.02	4,427.43	4,734.92	5,190.53	5,390.59	5,469.87	5,449.59	5,409.28	5,333.13

**Tabla 15.** Emisiones y porcentaje de participación de otros ganados bovinos en México, 2015

Etapa	Gg de CO <sub>2e</sub>	Porcentaje
Hembras (CH <sub>4</sub> )	630.64	11.83
Engorda (CH <sub>4</sub> )	2,060.52	38.64
Engorda (N <sub>2</sub> O)	2,641.96	49.54
Total	5,333.13	100.00

**Figura 25.** Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de otros ganados bovinos en México, 1990-2015



#### **Aspectos metodológicos**

En los cálculos de esta categoría se utilizaron las *Directrices del IPCC 2006* y los métodos que describen para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes del manejo de las excretas. Se eligió el nivel 1, de acuerdo con el árbol de decisiones aplicable a las emisiones de GEI procedentes del manejo de excretas (Figuras 10.3 y 10.4, Volumen 4, IPCC, 2006).

Los datos de actividad se tomaron de SIAP-SAGARPA para el periodo 1990-2015: número de animales y volumen de producción por entidad federativa, para separar la población entre hembras y engorda (animales en finalización). (Ver **Anexo D**, sección de ganadería.)

Las emisiones provenientes de esta categoría se estimaron utilizando el número de animales por entidad federativa y la temperatura promedio del lugar. Los factores de emisión de CH<sub>4</sub> fueron los correspondientes a la Tabla 10.14 (Volumen 4, IPCC 2006). En el caso del N<sub>2</sub>O se utilizó el peso promedio reportado por SIAP 2015 para establecer la excreción de nitrógeno. Los tipos de manejo de excretas utilizados en esta subcategoría fueron corrales de engorda y estercoleros para el caso de los animales en engorda, y pastoreo para las hembras. (Ver **Anexo E**, sección de ganadería.)

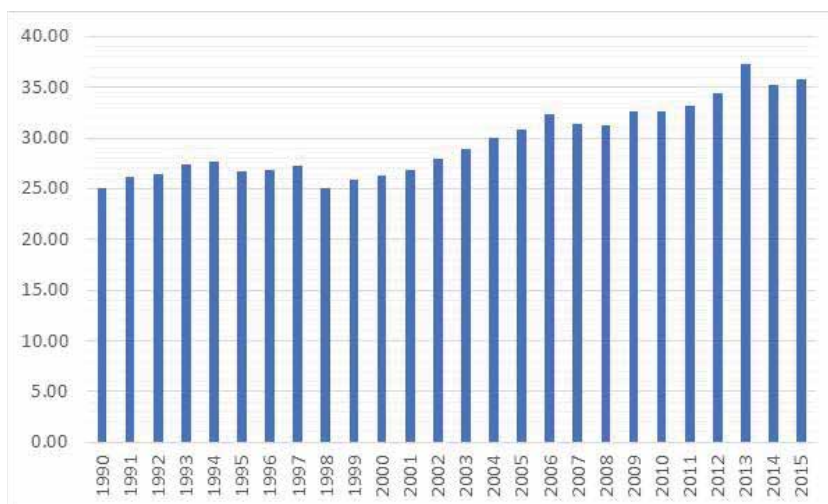
#### **5.1.2.2 [3A2c] Ganado ovino**

Las emisiones por manejo de excretas de ganado ovino en México, en el año 2015, se ubicaron en el orden de 35.80 Gg de CO<sub>2e</sub> (**Tabla 16**). En comparación con las registradas en 1990 (25.10 Gg de CO<sub>2e</sub>), se observa un incremento de 42.6% en esta categoría (**Figura 26**).

**Tabla 16.** Emisiones por manejo de excretas de ganado ovino en México, 1990-2015

<b>Gg de CO<sub>2e</sub></b>									
1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
25.10	26.76	26.30	30.90	32.56	33.12	34.34	37.28	35.22	35.80

**Figura 26.** Serie histórica del manejo de excretas de ganado ovino en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>



#### Aspectos metodológicos

Las *Directrices del IPCC 2006*, donde se describen los métodos para estimar las emisiones CH<sub>4</sub> procedentes del manejo de las excretas, fueron la base para estimar las emisiones en esta categoría. Se eligió el nivel 1, de acuerdo con el árbol de decisiones aplicable a las emisiones de GEI procedentes del manejo de las excretas (Figura 10.3, Volumen 4, IPCC, 2006).

Los datos de actividad de esta categoría (número de animales y peso de venta) se obtuvieron de SIAP-SAGARPA para el periodo 1990-2015. (Ver **Anexo D**, sección de ganadería.)

Las emisiones provenientes de esta categoría se estimaron utilizando el número de animales por entidad federativa y la temperatura promedio del lugar. Los factores de emisión de CH<sub>4</sub> fueron los correspondientes a la Tabla 10.14 (Volumen 4, IPCC 2006). El único tipo de manejo de excretas utilizado en esta subcategoría fue pastoreo para toda la población. (Ver **Anexo E**, sección de ganadería).

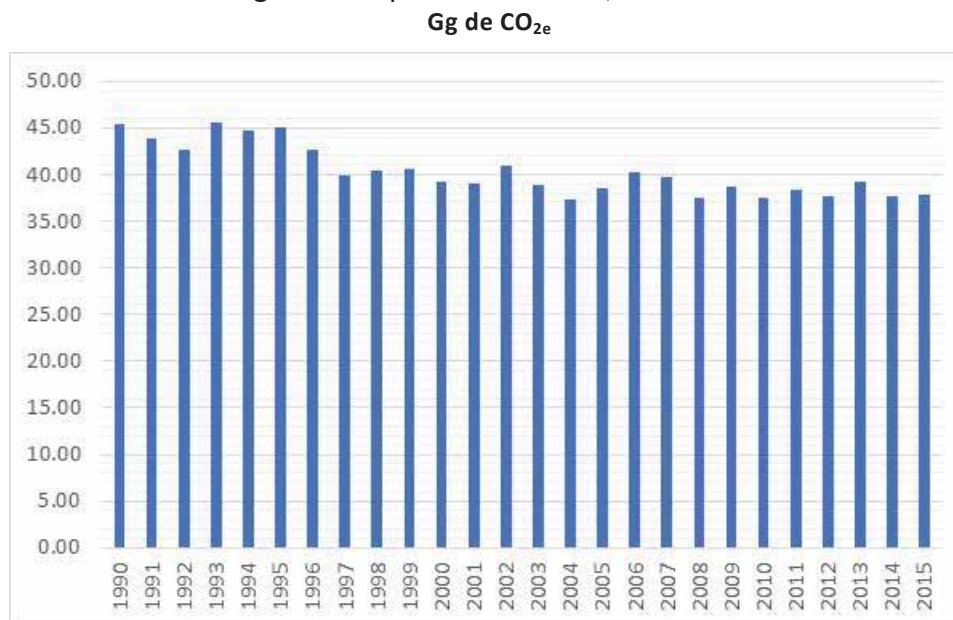
#### 5.1.2.3 [3A2d] Ganado caprino

Las emisiones por manejo de excretas provenientes del ganado caprino del país en 2015 fueron 37.83 Gg de CO<sub>2e</sub> (**Tabla 17**); en 1990 las emisiones de GEI se estimaron en 48.40 Gg de CO<sub>2e</sub>. Entonces, para esta categoría se observa una disminución de 21.84% (**Figura 27**).

**Tabla 17.** Emisiones por manejo de excretas de ganado caprino en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
45.48	45.03	42.69	39.95	40.46	40.65	39.16	38.52	37.45	38.44	37.72	39.27	37.69	37.83

**Figura 27.** Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de ganado caprino en México, 1990-2015



#### **Aspectos metodológicos**

Los métodos descritos en las *Directrices del IPCC 2006*, para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes del manejo de excretas, y el árbol de decisiones aplicable a las emisiones de GEI procedentes tal manejo (Figura 10.3, Volumen 4, IPCC, 2006), llevaron a la elección del nivel 1. Se utilizaron datos de número de animales y peso de venta tomados de SIAP-SAGARPA para el periodo 1990-2015.

Las emisiones de esta categoría se calcularon utilizando el número de animales en por entidad federativa y la temperatura promedio de cada estado (CONAGUA, 2016). Los factores de emisión de CH<sub>4</sub> fueron los correspondientes a la Tabla 10.14 (Volumen 4, IPCC 2006). Para toda la población de esta subcategoría, el tipo de manejo de excretas fue pastoreo.

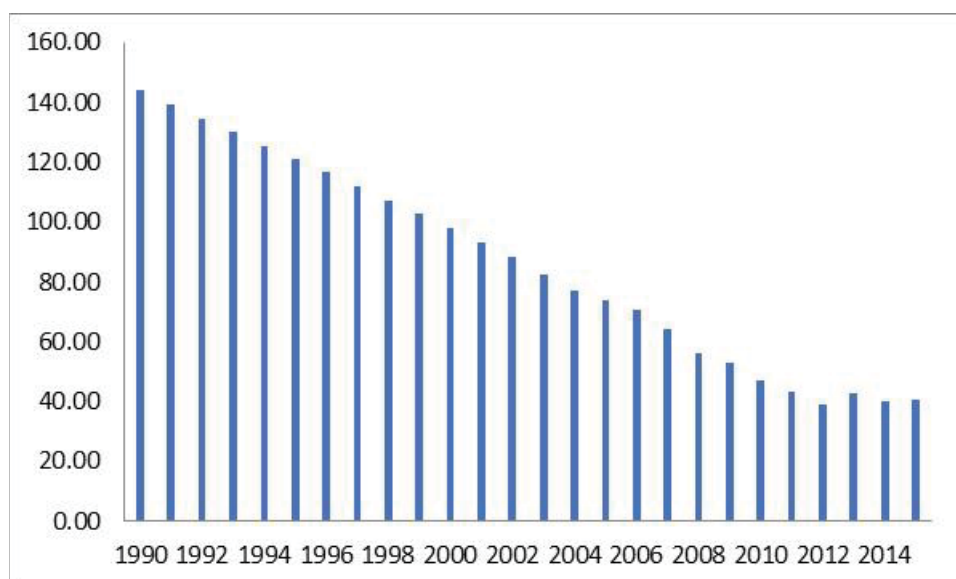
#### **5.1.2.4 [3A2f] Ganado equino: caballos**

La emisión estimada por manejo de excretas de caballos en México en 2015 fue 40.90 Gg de CO<sub>2e</sub> (Tabla 18), una cantidad 71.61% menor que la de 1990 (144.03 Gg de CO<sub>2e</sub>). (Figura 28.)

**Tabla 18.** Emisiones por manejo de excretas de caballos en México, 1990-2015

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
144.03	121.26	97.83	73.85	47.16	43.46	38.99	42.89	40.31	40.90

**Figura 28.** Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de caballos en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>



#### **Aspectos metodológicos**

Las emisiones de esta categoría se calcularon con base en los métodos descritos por las Directrices de IPCC 2006, para el caso de metano procedente del manejo de excretas. Se eligió el nivel 1, de acuerdo con el árbol de decisiones aplicable a las emisiones de GEI por tal manejo (Figura 10.4, Volumen 4, IPCC, 2006).

Los datos de actividad se obtuvieron del censo agropecuario de INEGI, con información publicada en los años 1991 y 2007. Para completar la serie histórica se realizó el ejercicio estadístico de media móvil. (Ver **Anexos D y E**, secciones de ganadería.)

Los factores de emisión utilizados corresponden a la Tabla 10.14 (Volumen 4, IPCC 2006). La temperatura promedio de cada estado corresponde a los datos publicados por CONAGUA (2016) y el tipo de manejo de excretas utilizados en esta subcategoría fue pastoreo para toda la población. (Ver **Anexo E**, sección de ganadería.)

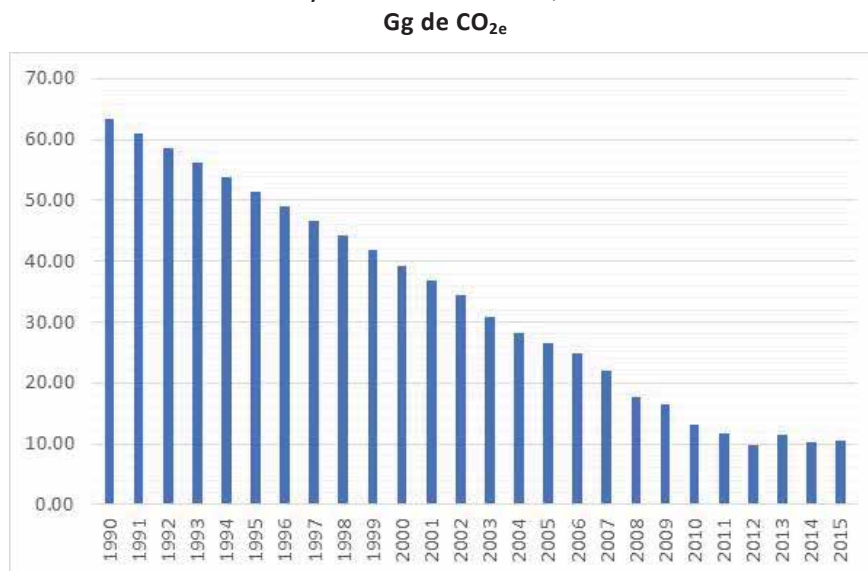
#### **5.1.2.5 [3A2g] Ganado equino: mulas y asnos**

La emisión por manejo de excretas de ganado equino diferente de caballos —mulas y asnos— en México, en 2015, fue de 10.58 Gg de CO<sub>2e</sub> (**Tabla 19**). En 1990 esos tipos de ganado equino emitieron 63.44 Gg de CO<sub>2e</sub>. En la **Figura 29** puede apreciarse la marcada tendencia negativa en esta categoría: 83.61 por ciento.

**Tabla 19.** Emisiones por manejo de excretas de mulas y asnos en México, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
63.44	51.52	39.30	26.51	13.25	11.78	9.78	11.36	10.32	10.58

**Figura 29.** Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de mulas y asnos en México, 1990-2015



#### **Aspectos metodológicos**

Según las *Directrices del IPCC 2006*, los métodos que describen para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes del manejo de excretas y el árbol de decisiones aplicable (Figura 10.4, Volumen 4, IPCC, 2006), a la estimación para esta categoría le corresponde el nivel 1.

El cálculo se hizo con datos de actividad publicados en 1991 y 2007 por INEGI y la serie histórica se completó mediante el recurso de media móvil. (Ver **Anexos D y E**, secciones de ganadería.)

Los factores de emisión utilizados corresponden a la Tabla 10.14 (Volumen 4, IPCC 2006). La temperatura promedio de cada estado corresponde a los datos publicados por CONAGUA (2016). El tipo de manejo de excretas fue pastoreo para toda la población. (Ver **Anexo E**, sección de ganadería.)

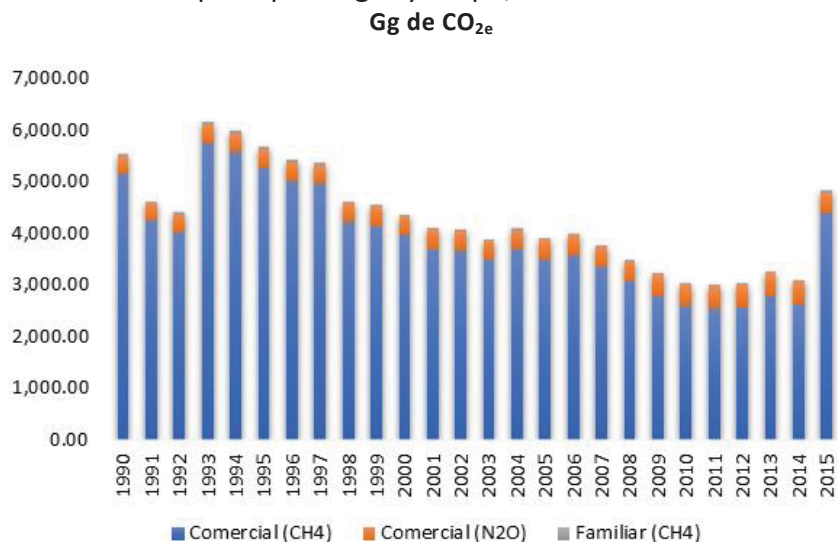
#### **5.1.2.6 [3A2h] Ganado porcino**

Las emisiones por manejo de excretas de cerdos en 2015 sumaron 4,844.64 Gg de CO<sub>2e</sub> ( $\pm 7.28\%$ ) (Tabla 20). En 1990 alcanzaron 5,541.20 Gg de CO<sub>2e</sub>. El decremento en el periodo de referencia tuvo una TCMA negativa de 0.0053% (Figura 30).

**Tabla 20.** Emisiones por manejo de excretas de cerdos en México, por tipo de gas, 1990-2015

Tipo de sistema de producción	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Comercial (CH <sub>4</sub> )	5142.07	5273.65	3950.52	3482.91	2586.41	2540.28	2558.49	2787.07	2604.06	4377.76
Comercial (N <sub>2</sub> O)	343.83	364.45	384.43	391.95	417.38	429.05	438.83	452.05	457.20	413.46
Familiar (CH <sub>4</sub> )	55.29	56.00	37.58	29.40	22.40	17.84	18.49	23.70	21.59	53.41

**Figura 30.** Serie histórica de emisiones por manejo de excretas de cerdos en México, por tipo de gas y etapa, 1990-2015



#### **Aspectos metodológicos**

Para estimar las emisiones en esta categoría se utilizaron las *Directrices del IPCC 2006*, donde se describen los métodos para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes del manejo de las excretas; se eligió el nivel 1, de acuerdo al árbol de decisiones (Figura 10.4, Volumen 4, IPCC, 2006).

Los datos de actividad se obtuvieron de SIAP-SAGARPA para el periodo 1990-2015. La información utilizada se refirió al número de animales, volumen de producción y pesos al mercado, por entidad federativa. Los pesos de las etapas iniciales se obtuvieron de *Benchmark Latam*, Pig Improvement Company (PIC), 2013 y 2014; las temperaturas para cada uno de los estados, de CONAGUA. (Ver **Anexo D**, sección de ganadería.)

Los factores de emisión se obtuvieron de las Tablas 10.14, 10A-7, 10A-8, 10.19, 10.21, 10.23 y 11.3 (Volumen 4, IPCC 2006). Se utilizaron los pesos reportados para cada año (1990-2015) para separar las categorías entre las hembras y los animales de engorda. Adicionalmente se asumió, de acuerdo con SAGARPA, que 30% de la población porcina se encuentra en condiciones de traspatio o producción familiar. Los manejos utilizados fueron piso de rejilla, lagunas de oxidación, lagunas de mezclado y biodigestores para el caso de los animales en granjas comerciales; para el caso de los animales de la producción familiar se asumió que se encuentran en pastoreo. (Ver **Anexo E**, sección de ganadería.)

#### **5.1.2.7 [3A2i] Aves de corral**

Las emisiones por manejo de excretas de aves de corral en 2015 alcanzaron 554.59 Gg de CO<sub>2e</sub> (**Tabla 21**), con una incertidumbre asociada de 14.95% para el caso del metano, y de 36.86% para óxido nitroso. En 1990, se estima que se emitieron 253.58 Gg de CO<sub>2e</sub>; es de-

cir, durante el periodo de referencia hubo un incremento de 118%. La TCMA fue de 0.035% (Figura 31).

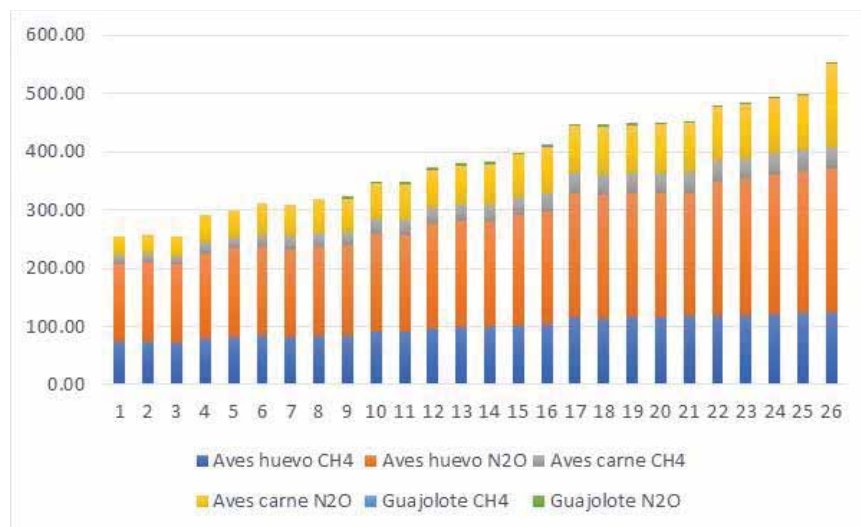
**Tabla 21.** Emisiones por manejo de excretas de aves de corral en México, por gas y tipo de ave, 1990-2015

Gg de CO<sub>2e</sub>

Actividad	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Aves huevo CH <sub>4</sub>	72.93	82.83	90.18	104.13	117.61	117.36	118.22	121.12	122.40	124.55
Aves huevo N <sub>2</sub> O	135.26	153.63	167.27	192.93	212.25	231.29	234.25	239.64	242.76	246.98
Aves carne CH <sub>4</sub>	13.13	21.61	24.80	32.43	35.40	35.87	36.44	36.77	36.83	37.33
Aves carne N <sub>2</sub> O	32.27	53.12	60.96	79.64	84.66	91.77	93.00	94.19	94.21	141.91
Guajolote CH <sub>4</sub>	0.00	0.00	0.40	0.36	0.33	0.33	0.33	0.31	0.32	0.37
Guajolote N <sub>2</sub> O	0.00	0.00	3.86	3.39	3.12	3.15	3.19	2.89	3.06	3.46
Total	253.58	311.19	347.46	412.89	453.36	479.77	485.43	494.92	499.59	554.59

**Figura 31.** Serie histórica de emisiones por de excretas de aves de corral en México, por gas y tipo de ave, 1990-2015

Gg de CO<sub>2e</sub>

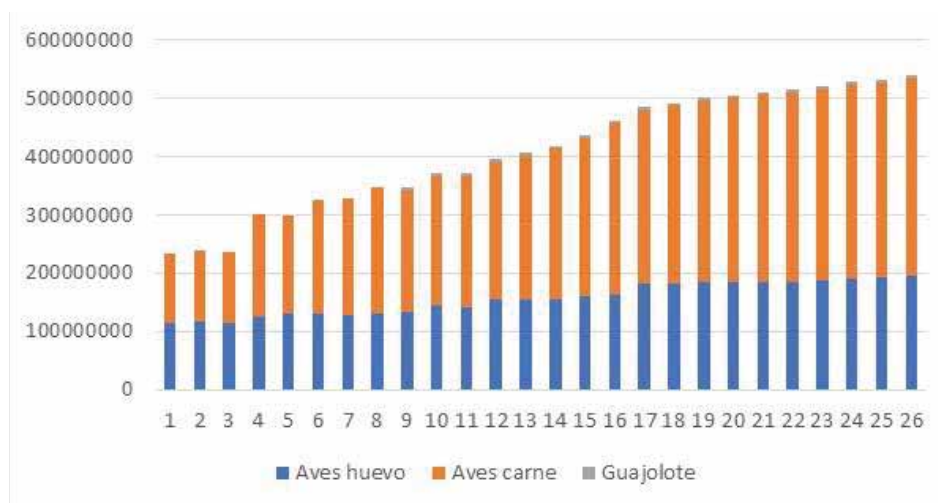


### Aspectos metodológicos

Para estimar las emisiones en esta categoría se utilizaron las *Directrices del IPCC 2006*, que describen los métodos para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes del manejo de las excretas; se eligió el nivel 1, de acuerdo con el árbol de decisiones de la Figura 10.3 para CH<sub>4</sub> y la Figura 10.4 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC 2006* para el caso de N<sub>2</sub>O.

Los datos de actividad se obtuvieron de SIAP-SAGARPA para el periodo 1990-2015 (Pesquera, 2017): número de animales, volumen de producción y pesos al mercado para el caso de las aves de la producción especializada de carne y los guajolotes, por entidad federativa. Los pesos de las etapas iniciales se obtuvieron SIAP (2015) y las temperaturas para cada uno de los estados de CONAGUA (2016). (Ver **Anexo D**, sección de ganadería.)



**Figura 32.** Población total de aves de corral en México, 1990-2015

Los factores de emisión se obtuvieron de la Tabla 10.25, Volumen 4 de las *Directrices del IPCC 2006* para el caso del CH<sub>4</sub>, y de las Tablas 10.19, 10.21, 10.22 y 10.23 de las mismas *Directrices...* para el caso de los N<sub>2</sub>O. Los manejos de excretas utilizados fueron cama con y sin materia orgánica y estercoleros. (Ver **Anexo E**, sección de ganadería.)

## 5.2 [3B] Tierra

Para la elaboración del presente Inventario en la categoría [3B] Tierra, llamada por SEMARNAT “Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura” (uscuss) —conocido también como Sector Forestal—, se trabajó de manera coordinada con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Las estimaciones se realizaron utilizando las *Directrices del IPCC 2006* y comprenden el periodo de 1990 a 2015.

Se reportan los flujos de CO<sub>2</sub> relacionados con las tierras gestionadas y el cambio de uso del suelo. En esos reportes se contabilizan las emisiones y absorciones por cambios en los usos del suelo, así como las emisiones por degradación y absorciones por la permanencia y recuperación de tierras. Las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) debidas a incendios forestales y praderas se encuentran en el capítulo “5.3 [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO<sub>2</sub> de la Tierra”.

Se utilizó información reciente, como la serie VI de uso del suelo y vegetación de INEGI, así como información dasométrica proveniente del muestreo (2004-2007) y remuestreo (2009-2014) del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFYS) de CONAFOR. Se incluye asimismo información reciente para las estimaciones de suelos minerales y materia orgánica muerta.

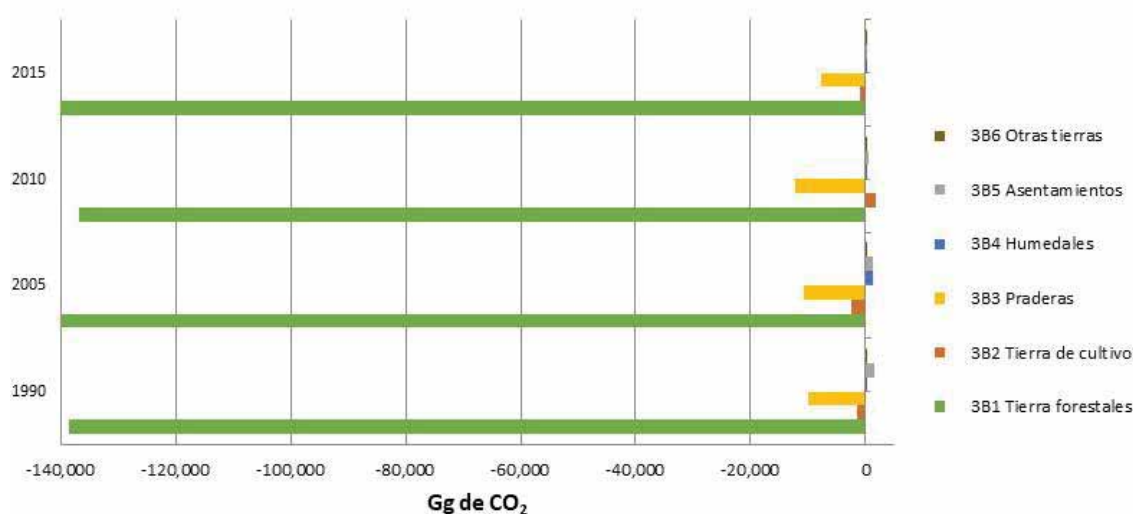
Las emisiones netas del sector USCUS en 2015 fueron -148,346 Gg de CO<sub>2e</sub> (±19%). De ese total, las tierras forestales contribuyen con -139,970 Gg de CO<sub>2e</sub> (94% del total). Las emisiones netas del año base 1990 fueron -148,266 Gg de CO<sub>2e</sub>. Es decir, hubo un aumento de 0.05% en las emisiones de GEI entre 1990 y 2015, con una TCMA de 0.002%.

En la **Tabla 22** y la **Figura 33** se reflejan las emisiones netas de CO<sub>2e</sub> de [3B] Tierra, de 1990, 2005, 2010 y 2015, que representan los valores por periodos debido a la naturaleza de las series INEGI y al tratamiento de las mismas, descrito en el apartado “5.2.1 Representación coherente de Tierra” y en el **Anexo D**, sección [3B] Tierra.

**Tabla 22.** Emisiones/absorciones netas uscuss, 1990, 2005, 2010 y 2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

Categoría	Emisiones netas			
	1990	2005	2010	2015
[3B] Tierra	-148,266	-151,112	-146,577	-148,346
3B1 Tierra forestales	-138,430	-140,552	-136,891	-139,970
3B1a Tierras forestales que permanecen como tales	-134,151	-138,072	-134,360	-138,505
3B1b Tierras convertidas a tierras forestales	-4,279	-2,480	-2,531	-1,465
3B2 Tierra de cultivo	-1,593	-2,443	1,692	-876
3B2a Tierras de cultivo que permanecen como tales	-12,551	-11,555	-11,541	-12,216
3B2b Tierras convertidas a tierras de cultivo	10,958	9,112	13,234	11,340
3B3 Praderas	-10,072	-10,837	-12,236	-7,836
3B3a Praderas que permanecen como tales	-15,674	-15,551	-16,298	-16,423
3B3b Tierras convertidas en praderas	5,602	4,715	4,062	8,586
3B4 Humedales	172	1,270	112	45
3B4a Humedales que permanecen como tales	NE	NE	NE	NE
3B4b Tierras convertidas en humedales	172	1,270	112	45
3B5 Asentamientos	1,606	1,240	553	138
3B5a Asentamientos que permanecen como tales	NE	NE	NE	NE
3B5b Tierras convertidas en asentamientos	1,606	1,240	553	138
3B6 Otras tierras	50	209	194	154
3B5a Otras tierras que permanecen como tales	NE	NE	NE	NE
3B5b Tierras convertidas en otras tierras	50	209	194	154

**Figura 33.** Emisiones/absorciones netas uscuss, 1990, 2005, 2010 y 2015

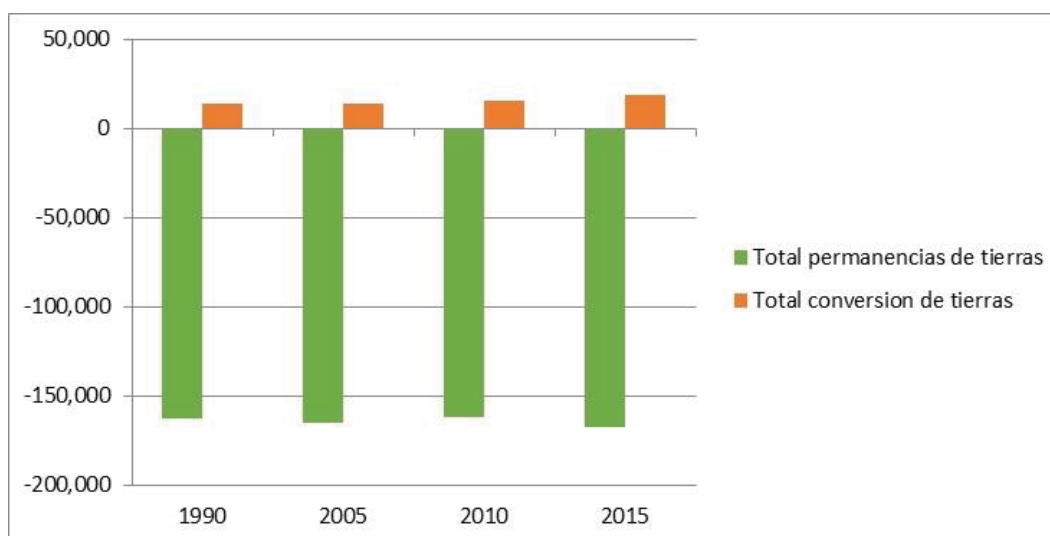


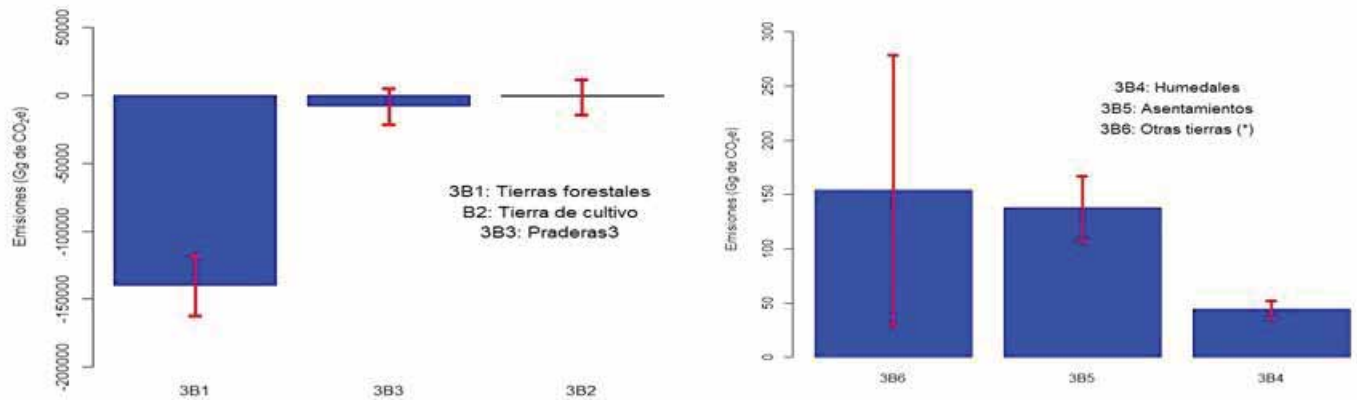
En la **Tabla 23** se representan los resultados agrupándolos en absorciones por permanencias y emisiones por cambios de uso de suelo (sin contar incendios, que se encuentra en la categoría [3C]).

**Tabla 23.** Emisiones y absorciones agrupados por permanencias y cambios de uso de suelo del sector uscuss, 1990, 2005, 2010 y 2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

Categoría	Emisiones netas			
	1990	2005	2010	2015
[3B] Tierra				
3B1a Tierras forestales que permanecen como tales	-134,151	-138,072	-134,360	-138,505
3B2a Tierras de cultivo que permanecen como tales	-12,551	-11,555	-11,541	-12,216
3B3a Praderas que permanecen como tales	-15,674	-15,551	-16,298	-16,423
3B4a Humedales que permanecen como tales	NE	NE	NE	NE
3B5a Asentamientos que permanecen como tales	NE	NE	NE	NE
Total permanencias de tierras	-162,376	-165,178	-162,200	-167,143
3B1b Tierras convertidas a tierras forestales	-4,279	-2,480	-2,531	-1,465
3B2b Tierras convertidas a tierras de cultivo	10,958	9,112	13,234	11,340
3B3b Tierras convertidas en praderas	5,602	4,715	4,062	8,586
3B4b Tierras convertidas en humedales	172	1,270	112	45
3B5b Tierras convertidas en asentamientos	1,606	1,240	553	138
3B5b Tierras convertidas en otras tierras	50	209	194	154
Total conversión de tierras	14,110	14,067	15,624	18,797

**Figura 34.** Emisiones y absorciones agrupados por permanencias y cambios de uso de suelo del sector uscuss  
Gg de CO<sub>2e</sub>



**Figura 35.** Incertidumbres de las emisiones de las subcategorías de [3B] Tierra, [3B1] a [3B6]

Las subcategorías reportadas en este inventario, su permanencia o cambio, así como los reservorios estimados y los niveles metodológicos utilizados se presentan en forma detallada en la **Tabla 24**.

**Tabla 24.** Subcategorías y reservorios reportados y estimados para el INEGYCEI

Categoría	Clave IPCC	Transición	Reservorio estimado/reportado				
			Biomasa aérea	Biomasa subterránea	Madera muerta	Hojarasca	Suelos
TF 3B1	3B1a	TF-TF (Permanencia)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1*	Nivel 1*	Nivel 1*
		TFd-TF (Recuperación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1*	Nivel 1*	Nivel 1*
		TF-TFd (Degradación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1*	Nivel 1*	Nivel 1*
	3B1b	TConv.-TF (Reforestación)	Nivel 2	Nivel 2	NE	Nivel 2	NE
Prad. 3B3	3B3a	Prad.-Prad. (Permanencia pradera)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1*	Nivel 1*	Nivel 1*
	3B3bl	TF-Prad. (Deforestación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
	3B3b	TConv.-Prad. (Recuperación pradera)	Nivel 2	Nivel 2	NE	Nivel 2	NE
TA 3B2	3B2a	TA-TA (Permanencia; agricultura perenne)	Nivel 1	NE	NE	NE	NE
	3B2l	TF-TA (Deforestación) 3B2bl	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
	3B2ll	Prad.-TA (Pérdida pradera)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
AH 3B5	3B5bl	TF-TAH (Deforestación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
	3B5blll	Prad.-TAH (Pérdida pradera)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
OT 3B6	3B6bl	TF-OT (Deforestación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
	3B6blll	Prad.-OT (Pérdida pradera)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
TH 3B4	3B4bll	TF-TH (Deforestación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
		Prad.-TH (Pérdida pradera)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2

\* Se asume en equilibrio.

AH= asentamientos (humanos).

OT= otras tierras.

Prad.= pradera.

TA= tierras agrícolas.

TAH= tierras de asentamientos

TConv.= tierras convertidas.

TF= tierras forestales.

TFd= tierras forestales degradadas.

TH= tierras de humedal.

## 5.2.1 Representación coherente de Tierra

### 5.2.1.1 Introducción

Para estimar las existencias carbono y la emisión y absorción de los gases de efecto invernadero asociadas a la categoría de [3B] Tierra, se necesitó información de la clasificación, datos de la superficie y muestreo de las diferentes categorías de usos de la tierra (IPCC, 2006).

Los datos de actividad se obtuvieron de las series de uso de suelo y vegetación de INEGI, las cuales se han convertido en un insumo básico utilizado por dependencias de los tres niveles de gobierno, así como por la iniciativa privada y la academia (INEGI, 2009). Dichas series fueron analizadas y homologadas para mantener la consistencia con las categorías reportadas por IPCC: tierras forestales, tierras agrícolas, pastizales, humedales, otras tierras y asentamientos.

### 5.2.1.2 Aspectos metodológicos

Las *Directrices del IPCC 2006* proporcionan una orientación sobre la utilización de los diferentes tipos de datos empleados para representar las categorías de usos de la tierra y las conversiones entre ellas. Se eligió el método más adecuado para México, con base en la aplicación del árbol de decisiones para la preparación de los datos de la superficie de uso de la tierra, de la Figura 3.1 y el capítulo 3.3.1 de las *Directrices...*

En el caso de México se utilizó el método 3 —el cual permite que las conversiones del uso de la tierra sean seguidas de forma espacialmente explícita— y se analizaron de forma específica los cambios ocurridos en los polígonos pertenecientes a los estratos forestales (Ver **Anexo D**, sección Tierra.)

Se utilizaron las series INEGI de uso del suelo y vegetación a partir de 1993 y hasta 2014, representando la totalidad de los tipos de vegetación y usos de suelo del país según el Sistema de Clasificación de INEGI y es posible la representación espacialmente explícita de los cambios en el periodo de análisis, a través del cruce geométrico de los mapas de cobertura.

Se realizó una homologación de las claves de tipos de vegetación, utilizando la estructura jerárquica de INEGI, ya que tiene la ventaja de estar desagregada y puede agruparse con base en criterios biológicos y cumplir con los requerimientos de IPCC (2006).

Para el procesamiento de los datos geospaciales se utilizó el software <sup>©</sup>ArcGIS 10.1 (<sup>©</sup>ESRI, 2012). A partir del análisis de la información en formato vectorial se determinó usar el formato *raster* para eliminar los problemas de desfases o desplazamientos entre series. Se realizó un traslape entre las series tramadas (serie II-serie III, serie III-serie IV, serie IV-serie VA y serie VA-serie VI) para la generación de tablas dinámicas y se obtuvieron cuatro matrices de cambio entre las diferentes subcategorías establecidas para el país, para cuatro

periodos de análisis (1993-2002, 2002-2007, 2007-2011 y 2011-2014). Las superficies de aquellas tierras que permanecen en el mismo uso dentro de ambas series se utilizan sin anualizar, pues representan la cantidad de vegetación que permanece a lo largo de ese periodo, mientras que los cambios de uso de un tipo de tierra a otro se anualizan dependiendo de los años transcurridos entre los periodos.

En el **Anexo D**, sección (3B) Tierra, se muestra el detalle metodológico usado para la generación de datos de actividad.

### 5.2.1.3 Enfoque de estimación de datos de actividad ajustados

Los mapas son un modelo de representación de la realidad y están sujetos a errores, debido a diferentes factores, por lo que es necesario conocer y cuantificar su fiabilidad. Un enfoque adecuado para abordar estos errores es a través de un análisis estadístico de una muestra de puntos de validación de las áreas de transición que permita obtener áreas menos sesgadas de cambio, así como las incertidumbres asociadas.

Cualquier mapa temático construido a partir de percepción remota debe ser objeto de una evaluación de exactitud estadísticamente rigurosa, antes de usarse en investigaciones científicas o decisiones políticas.

La metodología utilizada se basa en los enfoques sugeridos por Stehman y Czaplewski (1998) y Olofsson *et al.* (2014), que incluyen los componentes (i) diseño de muestreo, (ii) diseño de respuesta e (iii) estimación y análisis de la exactitud temática y de las incertidumbres de los datos de actividad.

La metodología completa realizada para la estimación de áreas ajustadas se encuentra en el **Anexo D**, sección Tierra.

Los resultados de este proceso son áreas estimadas para cada una de las dinámicas de cambio a través de un proceso exhaustivo de evaluación. Dichas áreas proporcionan nuevos datos de actividad para cada uno de los estratos de cambio y se usan en las estimaciones (**Tabla 25**).

Es importante tomar en cuenta que el inventario de emisiones de GYCEI tiene una metodología específica para la contabilización de carbono basada en los lineamientos de IPCC y difiere en métodos y conceptos con otros reportes, como la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, y que estas diferencias hacen que no sean comparables ya que son para fines diferentes. Dentro de las diferencias principales se cuenta la categorización de la vegetación: aunque la utilizan los insumos nacionales como INEGI, se agrupan de manera diferente de acuerdo con los conceptos y lineamientos estipulados en sus metodologías. En el país se trabaja de manera institucional para homologar dicha categorización; esto se retoma en el apartado de mejoras.

**Tabla 25.** Datos de actividad, áreas ajustadas y sus incertidumbres(Ui) asociadas, por tipo de conversión y periodo estimado.

Clase	Serie II-Serie III		Serie III-Serie IV		Serie IV-Serie V		Serie V-Serie VI	
	Área ajustada anual (ha)	Ui del área ajustada	Área ajustada anual (ha)	Ui del área ajustada	Área ajustada anual (ha)	Ui del área ajustada	Área ajustada anual (ha)	Ui del área ajustada
01. TF - TF	97,907,726.70	2.72%	98,982,042.70	2.80%	96,548,926.10	2.77%	97,435,221.65	2.68%
02. TF - TFd	73,918.44	45.59%	125,261.99	68.05%	141,580.88	76.56%	60,799.04	136.53%
03. TFd - TF	32,296.25	39.36%	62,870.39	81.16%	10,849.47	89.72%	2,423.28	124.71%
04. TF - Prad.	105,553.99	56.58%	105,663.25	69.08%	95,685.76	67.18%	152,031.71	92.93%
05. TF - TA	50,181.51	63.60%	35,471.78	48.16%	91,543.29	97.61%	96,399.94	119.33%
06. TF -TAH	19,113.37	152.05%	6,736.49	23.62%	4,417.72	116.13%	1,160.54	41.16%
07. TF - OT	311.92	52.84%	1,212.63	46.65%	1,223.76	48.67%	1,411.51	152.37%
08. TF - TH	894.38	18.44%	24,850.86	185.92%	446.91	50.38%	198.68	68.94%
09. TConv. - TF / TFd	131,594.29	51.27%	117,344.31	81.16%	156,638.70	79.48%	131,761.23	106.32%
10. Prad. - Prad.	61,879,502.17	4.21%	60,652,883.56	4.39%	63,670,123.13	3.99%	62,880,059.07	3.99%
11. Prad. - TA	119,315.07	48.86%	183,716.37	46.51%	108,804.71	82.72%	28,988.50	18.32%
12. Prad. -TAH	2,587.93	61.30%	30,556.44	167.60%	5,344.09	104.33%	1,570.19	56.97%
13. Prad. - OT	172.74	77.88%	3,443.66	34.65%	2,424.20	119.91%	486.89	48.79%
14. Prad. - TH	2,577.84	19.12%	3,761.03	20.57%	2,185.95	34.17%	993.87	33.40%
15. TConv. - Prad.	17,289.68	136.45%	111,040.89	75.56%	121,437.18	87.13%	130,778.40	105.39%
16. TAper.- TAper.	1,630,010.33	26.63%	1,500,693.44	30.21%	1,498,890.11	34.93%	1,586,442.48	38.32%
17. NO APLICA	26,756,190.07	6.87%	27,980,425.93	6.81%	28,487,426.22	6.41%	29,446,961.48	6.03%

AH= asentamientos (humanos); OT= otras tierras; Prad.= pradera.; TA= tierras agrícolas.; TAH= tierras de asentamientos; TConv.= tierras convertidas.; TF= tierras forestales.; TFd= tierras forestales degradadas.; TH= tierras de humedal; Ui= incertidumbre; TF - TF= tierras forestales que permanecen; TF - TFd= degradación en tierras forestales; TFd - TF= recuperación en tierras forestales; TF - Prad.= tierras forestales que pasan a praderas; TF - TA= tierras forestales que pasan a tierras de cultivo; TF - AH= tierras forestales que pasan a asentamientos; TF - OT= tierras forestales a otras tierras; TF - TH= tierras forestales que pasan a humedal; TConv. - TF/TFd= tierras que se convierten en tierras forestales; Prad. - Prad.= praderas que permanecen; Prad. - TA= praderas que se convierten en tierras de cultivo; Prad. - AH= praderas que se convierten en asentamientos; Prad. - OT= praderas que se convierten en otras tierras; Prad. - TH= praderas que se convierten en humedales; TConv. - Prad.= tierras que pasan a praderas; TAper.- TAper.= tierras agrícolas que permanecen (cultivos perennes).

## 5.2.2 Estimación de los factores de emisión/absorción

La obtención de los factores de emisión/absorción se realiza mediante la estimación de cambios en las existencias de carbono, emisiones y absorciones.

Para la estimación de los flujos de CO<sub>2</sub> de acuerdo con el capítulo 2.3 de las *Directrices del IPCC 2006* y al árbol de decisión para la identificación del nivel apropiado para estimar los cambios en las existencias de carbono en biomasa en una categoría de uso de la tierra del capítulo 2, Figura 2.2, el método de diferencia de existencias es el más adecuado para México pues requiere inventarios de las existencias de carbono en biomasa para una superficie dada de tierra en dos momentos diferentes. El cambio anual en la biomasa es la diferencia entre las existencias de biomasa en el momento  $t_2$  y en el momento  $t_1$ , dividida por la cantidad de años transcurridos entre las existencias. Por ello es que se utilizan datos de biomasa y factores de emisión/absorción específicos del país para el método de nivel 2.



### 5.2.2.1 Aspectos metodológicos

Los factores de emisión y absorción provienen principalmente del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFYS) que ejecuta CONAFOR. Aporta información para los cinco almacenes de carbono, la información cartográfica de INEGI, los valores de densidad, fracciones de carbono, etc. complementan la información necesaria para la estimación de carbono.

En general, el acopio de estos factores consiste en obtener, a través de ecuaciones alométricas, el contenido de carbono en árboles, sitios, parcelas, conglomerados y tipos de vegetación. Cada ecuación alométrica para el cálculo se aplica por cada especie (árbol), con lo que obtiene el valor de emisión en cada tipo de vegetación agrupando dichos árboles según el tipo de vegetación y categoría.

Los factores de emisión existentes pertenecen a biomasa aérea, biomasa subterránea, materia orgánica muerta, hojarasca y suelo. Cada uno de ellos se generó a partir de metodologías específicas, dependiendo de la información disponible. Para cada reservorio y transición se tienen tablas independientes que se asignan según el tipo de vegetación en la que sucedió el cambio, el tipo de transición y el periodo evaluado. Dicho proceso se describe de manera detallada el **Anexo E**.

### 5.2.2.2 Oportunidades de mejoras en la categoría [3B]

Dada la importancia de las estimaciones de datos de actividad, se requiere un análisis del impacto de mejoras en los insumos de la cobertura de vegetación.

Se realizó por primera vez la evaluación de la exactitud temática de los datos de actividad; sin embargo, se requiere continuar la evaluación de los puntos de muestreo de manera interinstitucional (INEGI-CONAFOR-INECC) y con especialistas en el tema, sobre todo para ampliar los puntos de muestreo y determinar la incertidumbre no sólo por clase de transición sino también para cada tipo de vegetación y transición.

Una vez que se obtengan los puntos máximos necesarios para acopiar los datos de actividad ajustados más desagregados, se debe implementar un enfoque dinámico para la evaluación de la matriz de cambio.

Se requiere continuar la colaboración con las instituciones como CONAFOR, SIAP, CONANP, CONABIO, SAGARPA, entre otras, para afinar las estimaciones respecto a: superficies y tipos de cultivos leñosos perennes; factores de crecimiento y pérdida de dichos cultivos; frontera agrícola; superficies espaciales de Áreas Naturales Protegidas; dinámica nacional del suelo de humedales; arbolado urbano nacional, y trazabilidad de la madera, entre otros temas de relevancia.

Se requiere asimismo dar seguimiento a las actualizaciones de los ciclos de INFYS y continuar la colaboración con INEGI y la academia para obtener parámetros que conduzcan a mejores estimaciones para los reservorios de madera muerta, hojarasca, mantillo y suelos.

Se requiere enfocar la atención sobre los refinamientos de las *Directrices del IPCC* que se publicarán en 2019 para aplicarlos en futuras actualizaciones del INEGYCEI.

### 5.2.3 [3B1] Tierras forestales

En esta categoría se incluyen las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> debidas a cambios en la biomasa, en la materia orgánica muerta y en el suelo para las tierras forestales que permanecen como tales y aquellos usos del suelo que se convierten en tierras forestales.

Esta categoría comprende la superficie con vegetación leñosa coherente, con umbrales utilizados para definir las tierras forestales en el inventario nacional, subdivididas, cultivadas y no cultivadas, y también por tipos de ecosistema, según se especifica en las *Directrices del IPCC 2006*. También abarca sistemas con vegetación con condiciones inferiores al umbral para la categoría de tierras forestales, pero que se espera sea superado en un periodo corto.

Uno de los principales indicadores para que sea considerada “tierra forestal”, según IPCC (2006), es que contenga condiciones leñosas, por lo que se clasificaron los distintos grupos de vegetación considerando su estado de la vegetación y su fase de acuerdo con lo descrito en el *Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación escala 1: 250 000 Serie V* (INEGI, 2013).

Las superficies para las tierras forestales que permanecen como tales [3B1a], incluyen tres tipos de transición:

#### Permanencia de tierras forestales

Son todas las clases de tierras forestales (TF) que permanecieron como tales al final del periodo de análisis, así como el conjunto de cambios de cualquier clase de TF a otra clase diferente de TF.

#### Degradación

Es el conjunto de cambios de una misma clase de vegetación de TF en fase primaria a la misma clase de vegetación en fase secundaria.

#### Recuperación

Se define como el proceso inverso a la degradación. Es entonces, el conjunto de cambios de una misma clase de vegetación de TF en fase secundaria a la misma clase de vegetación en fase primaria. (Ver **Anexo D**, Tierra.)

Las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O provenientes de incendios forestales se reportan en la categoría [3C1].

Para el año 2015 se reportan, en la categoría [3B1] Tierras forestales, -139,970.12 Gg de CO<sub>2</sub> (±15.78%). De ese total, el rubro de tierras forestales que permanecen como tales contribuye con -138,504 Gg de CO<sub>2</sub>, que representan el 99% de estas emisiones (**Tabla 26**). Las absorciones de tierras forestales en 1990 fueron de -138,429 Gg de CO<sub>2</sub>; hubo enton-

ces, en el periodo de referencia, un aumento de 1.1% en las emisiones de GEI, con una TCMA de 0.04 por ciento.

En la **Tabla 27** se desagregan por subcategoría las emisiones netas que corresponden a [3B1a] “Tierras forestales que permanecen como tales” y [3B1b] “Tierras convertidas en tierras forestales”.

**Tabla 26.** Absorciones de la categoría [3B] Tierras forestales, 1990, 2005, 2010 y 2015

Categoría	Emisiones netas (Gg de CO <sub>2</sub> )			
	1990	2005	2010	2015
3B1 Tierra forestales	-138,429.50	-140,551.87	-136,891.25	-139,970.12
3B1a Tierras forestales que permanecen como tales	-134,150.52	-138,071.68	-134,360.44	-138,504.68
3B1b Tierras convertidas a tierras forestales	-4,278.98	-2,480.19	-2,530.82	-1,465.44

**Tabla 27.** Emisiones netas por subcategoría de [3B1a] Tierras forestales 1990, 2005, 2010 y 2015

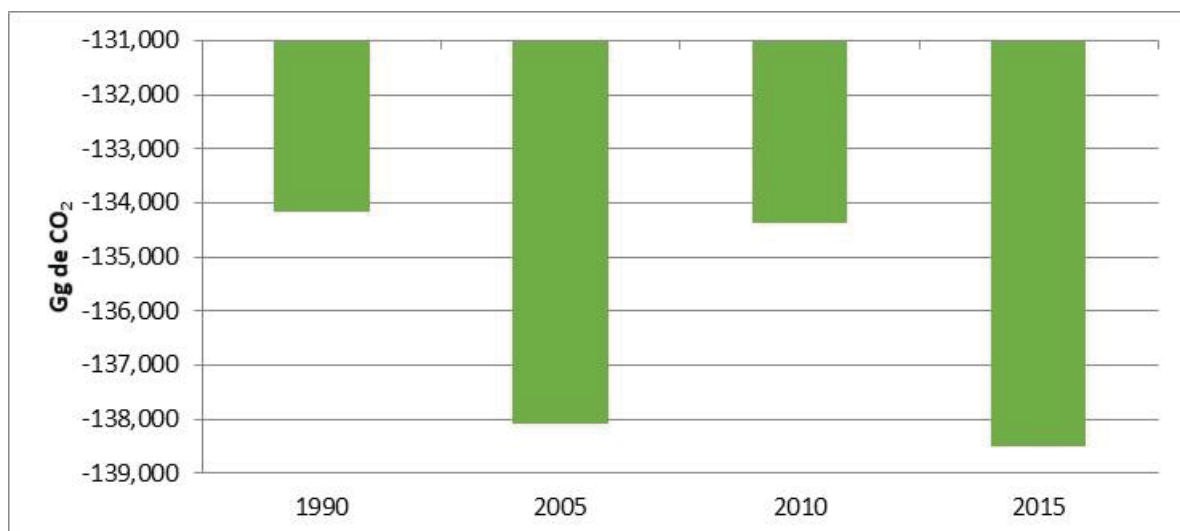
IPCC	Transición	Emisiones netas (Gg de CO <sub>2</sub> )			
		1990	2005	2010	2015
3B1a	TF-TF (Permanencia)	-135,742.02	-139,174.90	-136,611.23	-139,181.67
	TFd-TF (Recuperación)	-1,042.21	-1,410.44	-169.16	-27.78
	TF-TFd (Degradación)	2,633.71	2,513.65	2,419.95	704.77
3B1bi, ii, iii, iv, v	TConv.-TF (Reforestación)	-4,278.98	-2,480.19	-2,530.82	-1,465.44
	Total 3B1 Tierras forestales	-138,429.50	-140,551.87	-136,891.25	-139,970.12

TConv.= tierras convertidas.

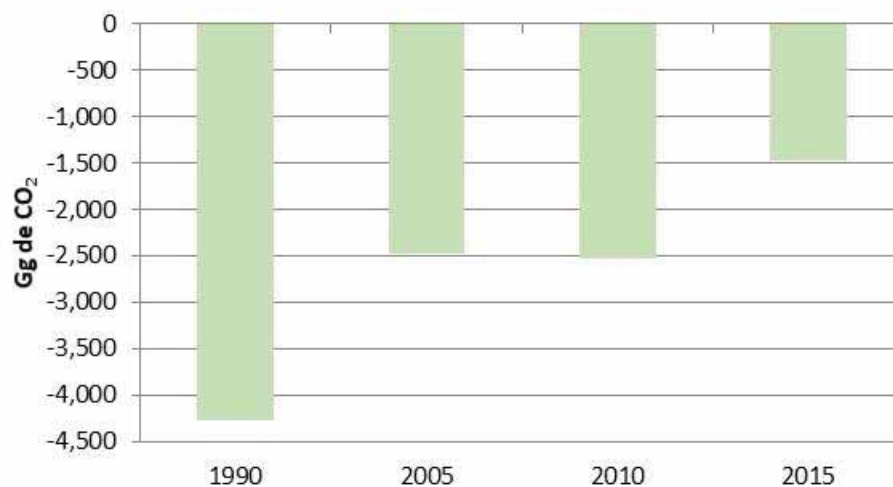
TF= tierras forestales.

TFd= tierras forestales degradadas.

**Figura 36.** Absorciones de la categoría [3B1a] Tierras forestales que permanecen como tales, 1990, 2005, 2010 y 2015



**Figura 37.** Absorciones de la categoría [3B1b] Tierras convertidas a tierras forestales 1990, 2005, 2010 y 2015



#### 5.2.4 [3B2] Tierras de cultivo

En esta categoría se reportan las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> procedentes de las tierras de cultivo. Comprende las tierras de cultivo y labranza, y sistemas agroforestales donde la vegetación no llega a la altura dominante definida en el umbral para la categoría de tierra forestal, con arreglo a la selección de definiciones nacionales (IPCC, 2006).

Como parte de las tierras de cultivo, en IPCC (2006) se incluyeron los terrenos agrícolas, clasificados en dos subcategorías: agricultura anual en todas las modalidades (riego, temporal y de humedal) y agricultura perenne con todas las variaciones de manejo.

En la categoría [3B2a] “Tierras de cultivo que permanecen como tales”, se estiman las absorciones de los cultivos perennes, ya que los anuales se consideran en equilibrio. De conformidad con IPCC (2006), los cultivos anuales se cosechan todos los años, por lo que no hay un almacenamiento de largo plazo del carbono en la biomasa. En cambio, la vegetación leñosa perenne puede implicar significativos depósitos de carbono en biomasa de larga vida.

Dentro de las tierras convertidas a tierras de cultivo [3B2b] se estiman las emisiones derivadas de los cambios de uso de tierra, principalmente de tierras forestales y praderas hacia tierras de cultivo.

En la sección correspondiente a la categoría [3C] se encuentran reportadas las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por la quema de biomasa en tierras de cultivo [3C1], las emisiones de CO<sub>2</sub> por encalado [3C2] y aplicación de urea [3C3] en suelos agrícolas, emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados [3C4, 3C5], así como las emisiones de CH<sub>4</sub> por el cultivo de arroz [3C7]. (Ver **Anexo D**, sección Tierra.)

En 2015 se reportaron, para la categoría de tierras de cultivo, emisiones netas de -876 Gg de CO<sub>2</sub> ( $\pm 1,489.25\%$ ), 45% menores que las de 1990 (-1,592 Gg de CO<sub>2</sub>), con una TCMA negativa de 2.4% (Tabla 28).

Del total de tierras de cultivo, las que permanecen como tales (agricultura perenne) contribuyen con absorciones de -12,215 Gg de CO<sub>2</sub>, mientras que los cambios de uso de suelo hacia tierras de cultivo alcanzaron 11,340 Gg de CO<sub>2</sub>, donde las tierras forestales que pasan a cultivos perennes representaron 91% de estas emisiones.

En la Tabla 29 se desagregan por subcategoría las emisiones netas que corresponden a [3B2a] “Tierras agrícolas que permanecen como tales” y [3B2b] “Tierras convertidas en tierras de cultivo”.

**Tabla 28.** Emisiones netas de la categoría [3B2] Tierra de cultivo, 1990, 2005, 2010 y 2015

Categoría	Emisiones netas (Gg de CO <sub>2</sub> )			
	1990	2005	2010	2015
3B2 Tierra de cultivo	-1,592.59	-2,443.43	1,692.31	-876.01
3B2a Tierras de cultivo que permanecen como tales	-12,551.08	-11,555.34	-11,541.45	-12,215.61
3B2b Tierras convertidas a tierras de cultivo	10,958.49	9,111.91	13,233.76	11,339.60

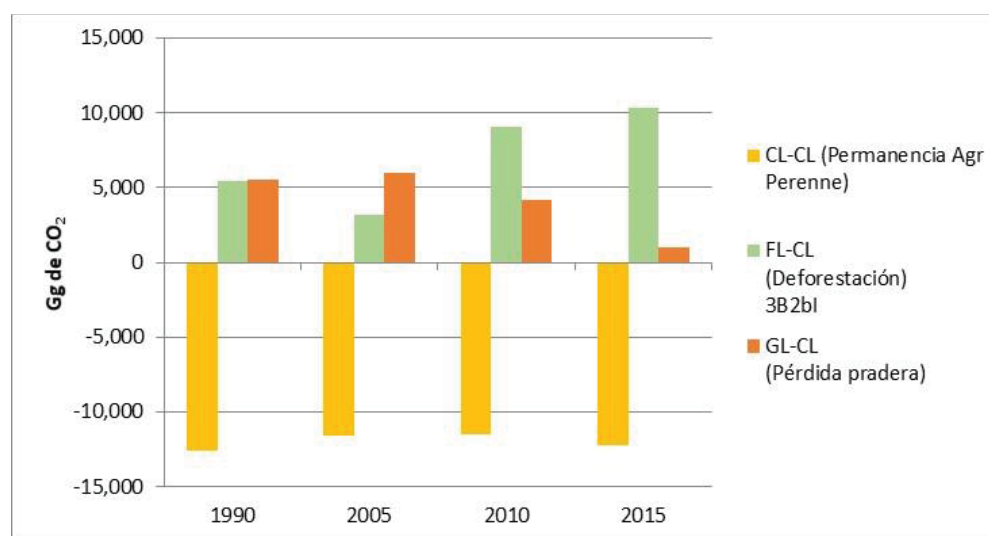
**Tabla 29.** Emisiones netas por subcategoría de [3B2] Tierra de cultivo, 1990, 2005, 2010 y 2015

ipcc	Transición	Emisiones netas (Gg de CO <sub>2</sub> )			
		1990	2005	2010	2015
3B2a	TA-TA (Permanencia, agricultura perenne)	-12,551.08	-11,555.34	-11,541.45	-12,215.61
3B2bi	TF-TA(Deforestación)	5,442.51	3,157.09	9,074.93	10,365.58
3B2bii	Prad.-TA (Pérdida pradera)	5,515.98	5,954.82	4,158.83	974.02
	Total 3B2 Tierras de cultivo	-1,592.59	-2,443.43	1,692.31	-876.01

Prad.= pradera.

TA= tierras agrícolas.

**Figura 38.** Emisiones netas por subcategoría de [3B2] Tierra de cultivo, 1990, 2005, 2010 y 2015



## 5.2.5 [3B3] Praderas

Esta categoría comprende los pastizales y la tierra de pastoreo que no se consideran tierras de cultivo. También comprende sistemas con vegetación inferior al umbral utilizado en la categoría de tierras forestales y no se espera que rebase, sin intervención humana, los umbrales utilizados en la categoría de tierras forestales. Uno de los principales indicadores para que sea considerada “pradera” (IPCC, 2006) es que contenga condiciones no leñosas, por lo que se clasificaron los distintos grupos considerando el estado de la vegetación y su fase de acuerdo con lo descrito en el *Diccionario de datos de uso del suelo y vegetación escala 1: 250 000 Serie V*, (INEGI 2013).

En esta categoría se reportan las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> procedentes de las praderas que permanecen como tales [3B3a] y las tierras convertidas en praderas [3B3b]. Las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O provenientes de incendios en praderas se reportan en la categoría 3C1.

En 2015, las emisiones netas reportadas en esta categoría ascendieron a -7,836.43Gg de CO<sub>2</sub>, ( $\pm 169\%$ ). En 1990 las emisiones netas fueron -10,072.08 Gg de CO<sub>2</sub>, lo que representa una disminución de 22% en las emisiones de GEI entre 1990 y 2015, con una TCMA negativa de 1% (Tabla 30).

Del total de praderas, las que permanecen como tales contribuyeron con absorciones de -16,422.92 Gg de CO<sub>2</sub>. Mientras que los cambios de uso de suelo hacia praderas representaron 8,586.48 Gg de CO<sub>2</sub>, donde las tierras forestales que se convierten a praderas representaron emisiones de 9,544 Gg de CO<sub>2</sub> y se observan absorciones en aquellas tierras no forestales convertidas en praderas (-958 Gg de CO<sub>2</sub>) (Tabla 31).

**Tabla 30.** Emisiones netas de la categoría [3B3] Praderas, 1990, 2005, 2010 y 2015

Categoría	Emisiones netas (Gg de CO <sub>2</sub> )			
	1990	2005	2010	2015
3B3 Praderas	-10,072.08	-10,836.52	-12,236.04	-7,836.43
3B3a Praderas que permanecen como tales	-15,674.44	-15,551.33	-16,298.22	-16,422.92
3B3b Tierras convertidas en praderas	5,602.36	4,714.81	4,062.19	8,586.48

**Tabla 31.** Emisiones netas por subcategoría de Praderas, 1990, 2005, 2010 y 2015

IPCC	Transición	Emisiones netas (Gg de CO <sub>2</sub> )			
		1990	2005	2010	2015
3B3a	Prad.-Prad. (Permanencia pradera)	-15,674.44	-15,551.33	-16,298.22	-16,422.92
3B3bi	TF-Prad. (Deforestación)	5,984.48	6,129.42	4,872.57	9,544.30
3B3bii, iii, iv, v	TConv.-Prad. recuperación pradera)	-382.11	-1,414.62	-810.38	-957.82
	Total 3B3 Praderas	-10,072.08	-10,836.52	-12,236.04	-7,836.43

Prad.= pradera.

TConv.= tierras convertidas.

TF= tierras forestales.

**Figura 39.** Emisiones y absorciones por subcategoría de Praderas, 1990, 2005, 2010 y 2015

### 5.2.6 [3B4] Humedales

Esta categoría comprende la tierra cubierta o saturada por agua durante la totalidad o parte del año (p. ej., turbera) que no entra en las categorías de tierras forestales, tierras agrícolas, pastizales o asentamientos. Esta categoría puede subdividirse en gestionados y no gestionados, según las definiciones nacionales. Comprende embalses como subdivisión gestionada y ríos y lagos naturales como subdivisiones no gestionadas (IPCC, 2006). Para la categoría de humedales se consideraron tres subcategorías: acuícolas, presas y cuerpos naturales de agua.

Los grupos vegetales y tipos de vegetación como el manglar o vegetación halófila hidrófila se encuentran asignados a las categorías de “tierras forestales” y “praderas”. (Ver Anexo D.)

Las emisiones de los humedales que permanecen como tales no se estiman dado que IPCC se refiere a estas tierras como bonales o tierras inundadas que permanecen como tales y que están gestionadas. No es clara la aplicación de esta categoría en México.

Se estiman aquellas tierras que se convierten en humedales. En 2015 se reportaron emisiones de 44.57 Gg de CO<sub>2</sub>, ( $\pm 18.97\%$ ); en 1990 fueron 171.63 Gg de CO<sub>2</sub>. La disminución en las emisiones de GEI en el periodo de referencia fue de 74.03%, con una TCMA negativa de 5.25% (Tabla 32). De ese total, los cambios de uso de suelo de praderas a humedales representan 69.2% de las emisiones (Tabla 33).

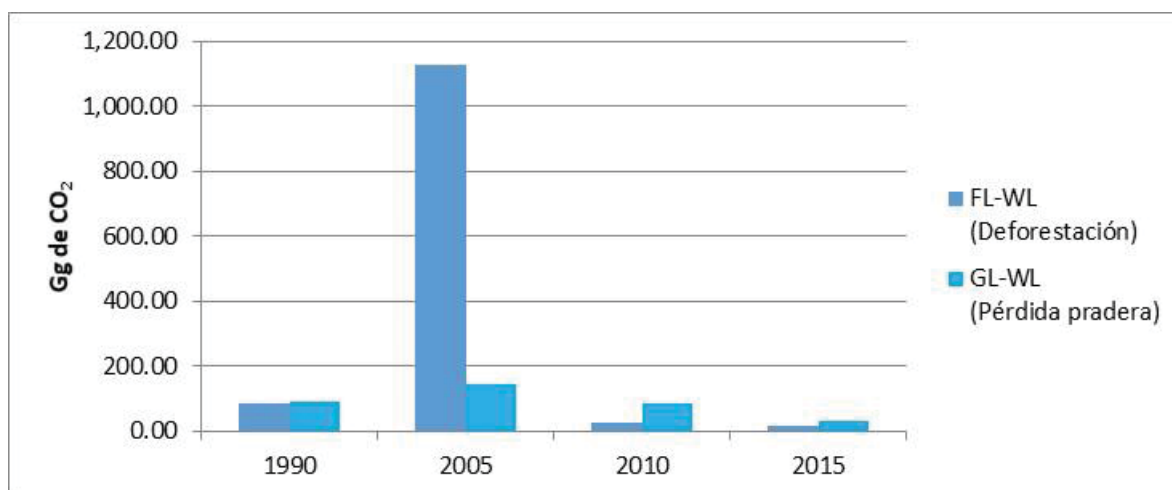
**Tabla 32.** Emisiones de la categoría [3B4] Humedales, 1990, 2005, 2010 y 2015

Categoría	Emisiones (Gg de CO <sub>2</sub> )			
	1990	2005	2010	2015
3B4 Humedales	171.63	1,270.41	111.76	44.57
3B4a Humedales que permanecen como tales	-	-	-	-
3B4b Tierras convertidas en humedales	171.63	1,270.41	111.76	44.57

**Tabla 33.** Emisiones por tipo de transición de [3B4] Humedales, 1990, 2005, 2010 y 2015

IPCC	Transición	Emisiones (Gg de CO <sub>2</sub> )			
		1990	2005	2010	2015
3B4bii	TF-TH (deforestación)	84.03	1,127.79	24.74	13.73
	Prad.-TH (pérdida pradera)	87.60	142.62	87.03	30.85
	Total 3B4 Humedales	171.63	1,270.41	111.76	44.57

Prad.= pradera.  
TF= tierras forestales.  
TH= tierras de humedal.

**Figura 40.** Emisiones por tipo de transición de humedales, 1990, 2005, 2010 y 2015

### 5.2.7 [3B5] Asentamientos humanos

Esta categoría comprende toda la tierra en la que existe un desarrollo habitacional, construcciones para servicios y transporte. De acuerdo con la clasificación de INEGI, ésta categoría única integra dos claves: los asentamientos humanos y las zonas urbanas.

La categoría de asentamientos que permanecen como tales [3B5a] incluye suelos, vegetación herbácea perenne, como el césped y las plantas de los jardines, los árboles de los asentamientos rurales, los jardines de las haciendas y áreas rurales (IPCC, 2006).



Para este inventario no se realizaron estas estimaciones [3B5a] pues se está recopilando información nacional sobre el arbolado y la vegetación dentro de las ciudades; sin embargo, dada la importancia que tienen las áreas verdes y los espacios abiertos dentro de las zonas urbanas para la sustentabilidad ambiental y social, se realiza un primer diagnóstico de estas áreas en todo el país y se identifica su potencial de captura de carbono para incluirlo en un futuro en los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero. Los detalles de dicho diagnóstico se presentan en el **Anexo D**, sección Tierra.

En 2015 las tierras convertidas en asentamientos [3B5b] reportaron emisiones por 137.57 Gg de CO<sub>2</sub> ( $\pm 21.85\%$ ); en 1990, 1,606.14 Gg de CO<sub>2</sub>, lo que representa una disminución de -91.43 con una TCMA negativa de 9.36% (**Tabla 34**).

Del total los cambios de uso de suelo de tierras forestales a asentamientos representan 63.4% de las emisiones (**Tabla 35**).

**Tabla 34.** Emisiones de la categoría [3B5] Asentamientos, 1990, 2005, 2010 y 2015

Categoría	Emisiones (Gg de CO <sub>2</sub> )			
	1990	2005	2010	2015
3B5 Asentamientos	1,606.14	1,240.48	552.78	137.57
3B5a Asentamientos que permanecen como tal	-	-	-	-
3B5b Tierras convertidas en asentamientos	1,606.14	1,240.48	552.78	137.57

**Tabla 35.** Emisiones por subcategoría de [3B5] Asentamientos, 1990, 2005, 2010 y 2015

IPCC	Transición	Emisiones (Gg de CO <sub>2</sub> )			
		1990	2005	2010	2015
3B5bi	TF-TAH (deforestación)	1,535.27	453.44	353.63	87.25
3B5biii	Prad.-TAH (pérdida pradera)	70.87	787.04	199.15	50.32
	Total 3B5 Humedales	1,606.14	1,240.48	552.78	137.57

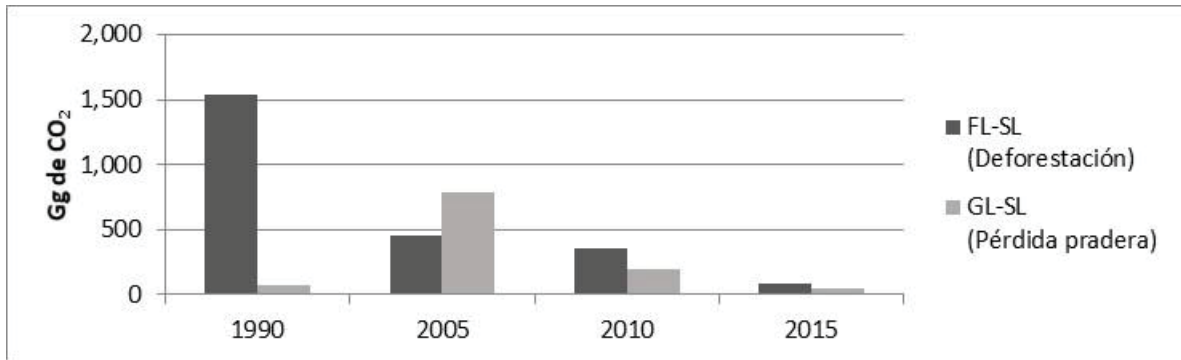
AH= asentamientos (humanos).

Prad.= pradera.

TA= tierras agrícolas.

TAH= tierras de asentamientos

**Figura 41.** Figura 5. 41 Emisiones por subcategoría y transición de [3B5] Asentamientos, 1990, 2005, 2010 y 2015



## 5.2.8 [3B6] Otras tierras

Esta categoría comprende suelo desnudo, roca, hielo, bancos de arena, minas a cielo abierto, desiertos y todas las áreas de tierra no gestionadas desprovistas de vegetación que no entran en las otras categorías. De acuerdo a las clases de INEGI, en esta categoría se integran las áreas sin vegetación aparente y las desprovistas de vegetación.

De acuerdo con IPCC (2006), las superficies de otras tierras que permanecen como tales [3B6a] deben incluirse en la matriz de cambios de uso de la tierra, sólo para la verificación de la superficie total.

Las emisiones de tierras convertidas en otras tierras [3B6b] fueron, en 2015, de 154.36 Gg de CO<sub>2</sub> [±80.89%]. En 1990 fueron de 50.18 Gg de CO<sub>2</sub>. La diferencia representó un aumento de 207.61% en las emisiones de GEI en el periodo de referencia, con una TCMA de 4.60% (Tabla 36). De ese total, los cambios de uso de suelo de tierras forestales a otras tierras representaron 89.9% de las emisiones (Tabla 37).

**Tabla 36.** Emisiones para la categoría [3B6] Otras tierras, 1990, 2005, 2010 y 2015

Categoría	Emisiones (Gg de CO <sub>2</sub> )			
	1990	2005	2010	2015
3B6 Otras tierras	50.18	209.35	193.86	154.36
3B6a Otras tierras que permanecen como tal	-	-	-	-
3B6b Tierras convertidas en otras tierras	50.18	209.35	193.86	154.36

**Tabla 37.** Emisiones por subcategoría de [3B6] Otras tierras, 1990, 2005, 2010 y 2015

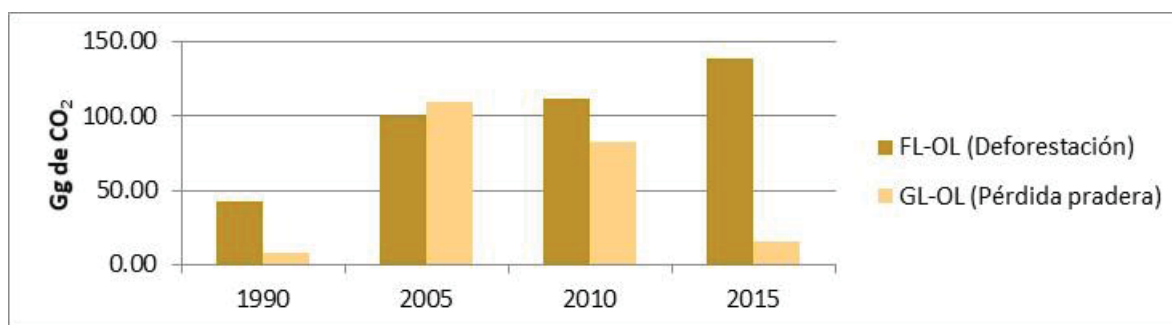
IPCC	Transición	Emisiones (Gg de CO <sub>2</sub> )			
		1990	2005	2010	2015
3B6bi	TF-OT (deforestación)	42.22	99.95	111.59	138.73
3B6biii	Prad.-OT (pérdida pradera)	7.96	109.40	82.27	15.62
	Total 3B6 Otras tierras	50.18	209.35	193.86	154.36

OT= otras tierras.

Prad.= pradera.

TF= tierras forestales.

**Figura 42.** Emisiones por subcategoría de [3B6] Otras tierras, 1990, 2005, 2010 y 2015





## 5.3 [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO<sub>2</sub> de la tierra

En esta categoría se reportan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de actividades agrícolas en México. Los GEI cuantificados son:

### Metano (CH<sub>4</sub>)

Se origina por la quema de biomasa [3C1] y el cultivo del arroz [3C7].

### Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

Las emisiones directas e indirectas del óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) provenientes de la aplicación de fertilizantes sintéticos, la incorporación y transformación del nitrógeno acumulado en la biomasa y, la descomposición de las excretas del ganado en pastoreo [3C4, 3C5], así como las emisiones indirectas de este gas generadas en los sistemas de manejo del estiércol [3C6].

### Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Emitido por la incorporación de cal [3C2] y urea [3C3] en suelos agrícolas.

En 2015, las emisiones totales por este grupo de actividades fueron 31,491.9 Gg de CO<sub>2e</sub> (±63.75%) (**Tabla 38**), equivalentes a 4.6% de las emisiones totales de GEI (5.9% de las emisiones netas).

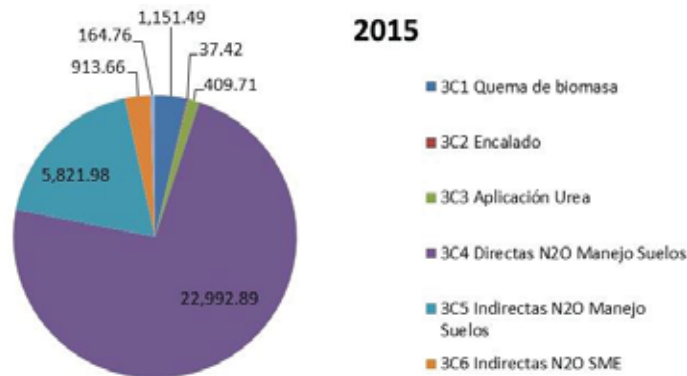
Las emisiones directas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) [3C4] fueron la fuente principal de GEI en esta categoría, con 73.0% del total (22,992.8 Gg de CO<sub>2e</sub>). Siguió en importancia las emisiones indirectas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) [3C5] con 18.5% (5,821.9 Gg de CO<sub>2e</sub>); el resto de las subcategorías —quema de biomasa [3C1], emisiones indirectas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por sistemas de manejo del estiércol [3C6], aplicación de urea [3C3], cultivo de arroz [3C7] y encalado [3C2]— contribuyeron con una proporción menor que 5% del total de las emisiones (**Figura 43**).

En 1990, las emisiones totales en esta categoría fueron 31,599.1 Gg de CO<sub>2e</sub>, equivalentes a 7.1% de las emisiones totales de GEI (10.1% de las emisiones netas). En la **Figura 44** se observa la evolución de las emisiones de esta categoría en el periodo 1990-2015.

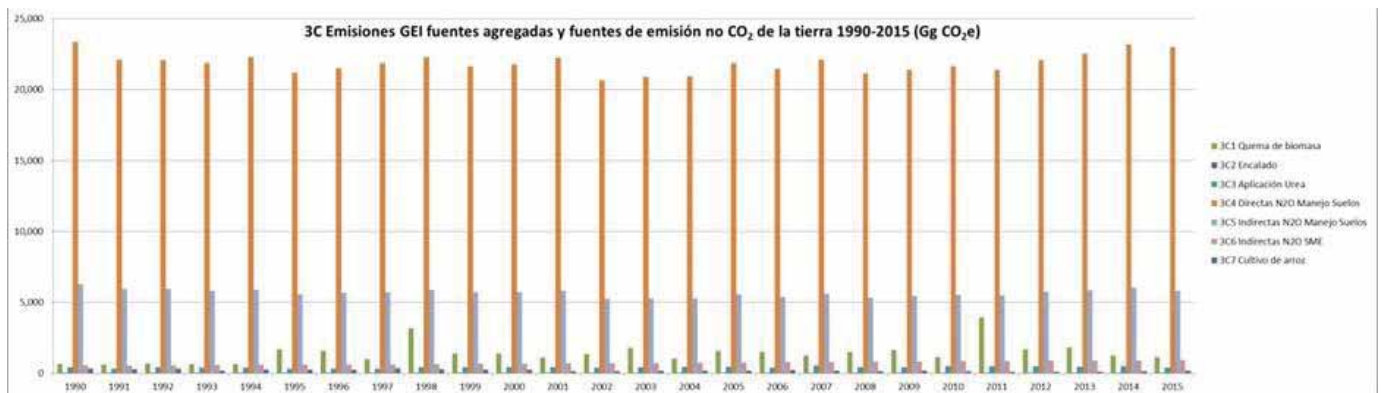
**Tabla 38.** Emisiones de GEI de la categoría [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO<sub>2</sub> de la tierra, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

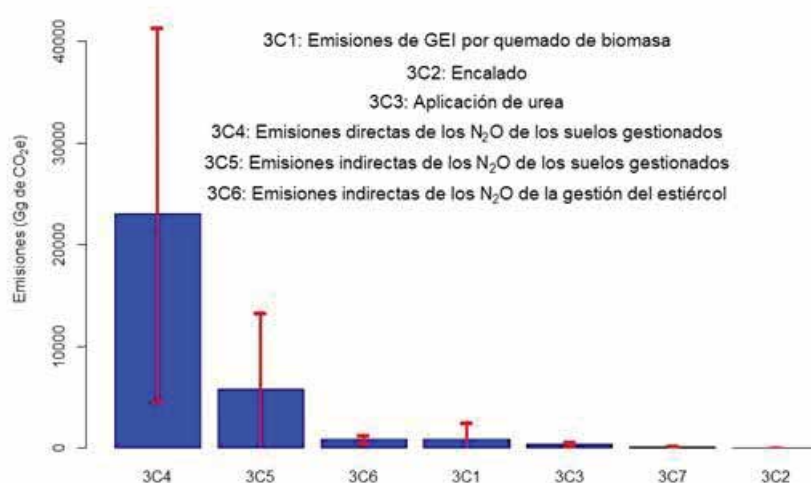
Categoría	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
3C1 Quema de biomasa	634.40	1,687.91	1,382.37	1,561.62	1,131.76	3,929.56	1,665.54	1,823.39	1,242.89	1,151.49
3C2 Encalado	30.93	31.85	34.60	34.49	35.75	41.81	43.88	38.59	37.59	37.42
3C3 Aplicación urea	436.19	312.40	440.00	451.00	498.67	498.67	506.00	479.60	513.33	409.71
3C4 Directas N <sub>2</sub> O Manejo Suelos	23,347.01	21,189.18	21,784.30	21,865.70	21,658.72	21,385.24	22,078.39	22,559.35	23,187.41	22,992.89
3C5 Indirectas N <sub>2</sub> O Manejo Suelos	6,289.93	5,553.68	5,722.70	5,579.31	5,541.45	5,503.95	5,755.97	5,843.04	6,018.93	5,821.98
3C6 Indirectas N <sub>2</sub> O SME	522.77	611.35	690.22	755.79	846.19	873.97	885.05	888.06	892.20	913.66
3C7 Cultivo de arroz	337.96	259.62	241.73	185.55	152.30	116.13	103.70	122.08	154.41	164.76
Total	31,599.18	29,646.00	30,295.92	30,433.47	29,864.84	32,349.34	31,038.54	31,754.12	32,046.77	31,491.90

**Figura 43.** Emisiones de la categoría [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO<sub>2</sub> de la tierra, 2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>



**Figura 44.** Emisiones de GEI de la categoría [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO<sub>2</sub> de la tierra, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>



**Figura 45.** Incertidumbres de las categorías [3C1] a [3C7]

## Oportunidades de mejoras en la categoría [3C]

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) publica anualmente datos estadísticos de producción agrícola, que son un insumo para los cálculos de emisiones de GEI en las subcategorías más relevantes de la categoría [3C]. Se requiere establecer un convenio con SIAP para formalizar la relación interinstitucional y facilitar el flujo de información pertinente entre esa dependencia y el INECC, entidad responsable de la actualización del INEGYCEI.

Respecto a la quema de biomasa, en esta actualización del INEGYCEI se continuó la revisión de literatura y consulta con especialistas en el tema de generación, disposición y aprovechamiento de residuos agrícolas en campo, tareas que deben mantenerse para mejorar la estimación de biomasa quemada en campos agrícolas.

Un estudio de campo que integre un diseño estadístico robusto con trabajo de laboratorio, permitiría obtener datos más precisos sobre la calidad y cantidad de residuos agrícolas generados en campo, así como de factores de emisión adecuados para los cultivos del país.

En la actualización del INEGYCEI al año 2013 se obtuvo una respuesta negativa por parte de la Asociación Nacional de Comercializadores y Productores de Fertilizantes A.C. (ANACOFER) ante una solicitud de información sobre la distribución de fertilizantes en el país. La ausencia de información nacional se solventó a través de las bases de datos de organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Asociación Internacional de la Industria del Fertilizante (IFA). Conviene propiciar un acercamiento para convencer a esta asociación sobre la utilidad de proporcionar información para la elaboración del INEGYCEI.

Se requiere enfocar la atención sobre los refinamientos de las *Directrices del IPCC* que se publicarán en 2019 para aplicarlos en futuras actualizaciones del INEGYCEI.

### 5.3.1 [3C1] Emisiones de GEI por quemado de biomasa

La quema de biomasa es una actividad generadora de gases y compuestos contaminantes como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), carbono negro (CN), compuestos orgánicos volátiles (COV, o VOC en inglés) y GEI como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (Levine, 1994).

En las *Directrices del IPCC 2006* se proporcionan métodos para estimar los cambios en las existencias de carbono y las emisiones de no CO<sub>2</sub> provocadas por el fuego en tierras forestales (incluidas las provocadas por la conversión de bosques), así como de las emisiones distintas de CO<sub>2</sub> en tierras de cultivo y pastizales (IPCC, 2006b).

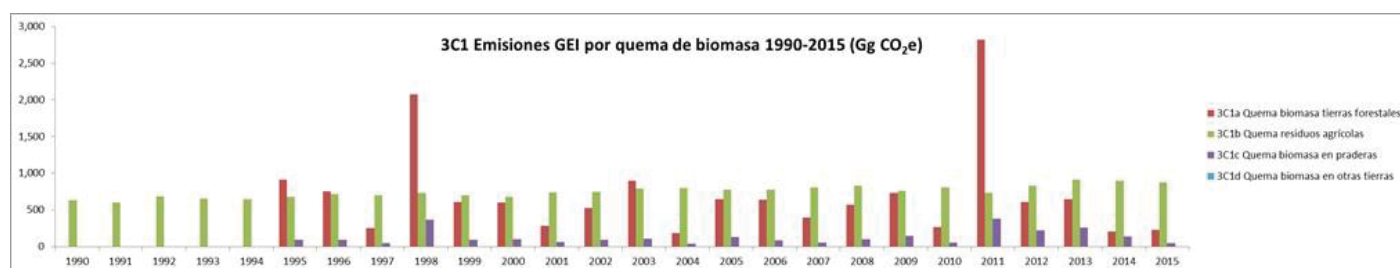
En esta categoría del inventario se consideran las emisiones distintas de CO<sub>2</sub> para: 1) quema de biomasa en tierras forestales; 2) quema de residuos agrícolas en campos de cultivo, y 3) quema de pastizales.

En 2015 se emitieron 1,151.49 Gg de CO<sub>2e</sub>; en 1990, las emisiones de GEI estimadas en esta categoría fueron 634.40 Gg de CO<sub>2e</sub>. En promedio, para el periodo 1995-2015, las emisiones anuales de GEI fueron 1,429.01 Gg de CO<sub>2e</sub> (Tabla 39).

**Tabla 39.** Emisiones de GEI por quema de biomasa, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

IPCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
3C1a	0.00	915.50	600.10	649.59	265.45	2,817.44	606.96	647.48	210.18	228.76
3C1b	634.40	680.41	677.04	779.96	809.57	731.45	831.99	914.27	896.41	874.87
3C1c	0.00	92.00	105.23	132.07	56.74	380.68	226.58	261.64	136.30	47.86
Total	634.40	1,687.91	1,382.37	1,561.62	1,131.76	3,929.56	1,665.54	1,823.39	1,242.89	1,151.49

**Figura 46.** Emisiones de GEI, categoría [3C3] Quema de biomasa, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>



#### 5.3.1.1 [3C1a] Emisiones de GEI por quema de biomasa en tierras forestales

En esta categoría se incluyen los incendios forestales que, de acuerdo con los datos oficiales de SEMARNAT-CONAFOR, fueron atendidos. En el periodo de 1995 a 2013 ocurrieron en promedio 8,421 incendios con una afectación promedio anual de 301,951 ha. El 99% de los incendios son de tipo superficial (SEMARNAT 2009, Estrada 2006).



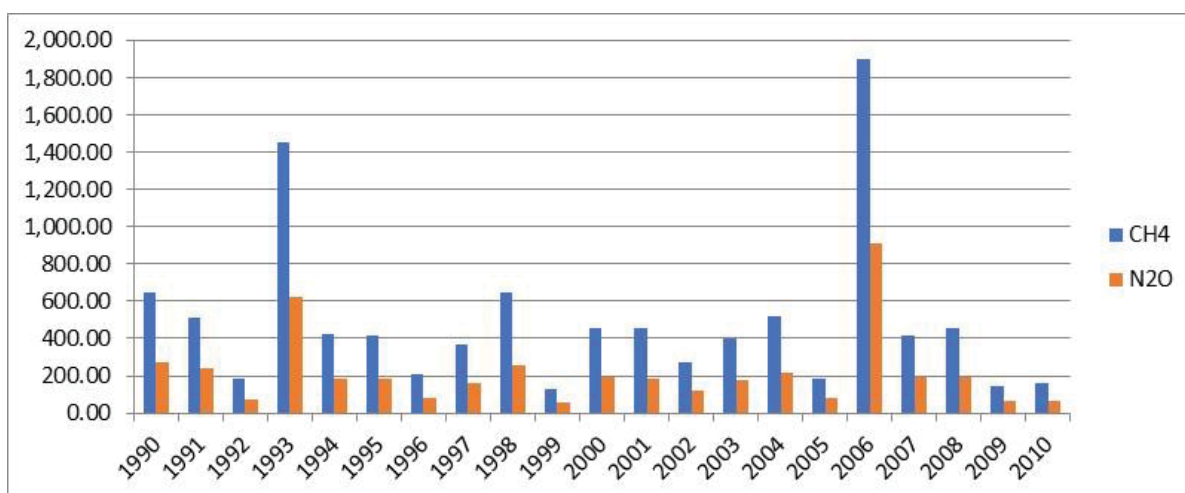
Las guías de buenas prácticas (GBP) de IPCC,<sup>1</sup> reconocen que es indispensable identificar las principales fuentes de GEI, comprender la naturaleza de los incendios y entonces calcular las fuentes de emisión por tipo de cobertura forestal.

En 2015, se generaron 228.76 Gg de CO<sub>2e</sub>; en 1995 —primer año para el que se cuenta con datos— las emisiones de GEI estimadas en esta categoría fueron 915.50 Gg de CO<sub>2e</sub> (Tabla 40). En promedio, para el periodo 1995-2015 las emisiones anuales de GEI en esta categoría fueron 708.42 Gg de CO<sub>2e</sub>.

**Tabla 40.** Emisiones de GEI por quema de biomasa en tierras forestales, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

IPCC	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
CH <sub>4</sub>	-	646.49	415.17	455.03	186.74	1,903.07	412.33	457.94	143.91	161.97
N <sub>2</sub> O	-	269.01	184.94	194.55	78.71	914.37	194.63	189.54	66.27	66.79
Total	-	915.50	600.10	649.59	265.45	2,817.44	606.96	647.48	210.18	228.76

**Figura 47.** Emisiones de GEI, categoría [3C1a] Quema de biomasa en tierras forestales, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>



#### Aspectos metodológicos

Para el cálculo de emisiones se utilizó la ecuación 2.27 correspondiente a las guías de buenas prácticas IPCC (2006), Volumen 4, capítulo 2. Para estimar la cantidad de GEI por incendios forestales, se requieren los datos del área quemada, la masa de combustible disponible, la fracción de biomasa consumida y los factores de emisión por especie química. (Ver **Anexo D**, sección [3C] Fuentes agregadas...)

Los datos acerca del área afectada por incendios forestales provienen de los reportes mensuales de CONAFOR, que registran las áreas afectadas por incendios que fueron comba-

<sup>1</sup> Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, o Informe sobre las buenas prácticas. En inglés: *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*.

tidos. La base de datos contiene información desde 1995 (**Anexo D**). Los reportes oficiales de áreas afectadas contienen registros históricos por entidad federativa y año, clasificados por estrato de vegetación afectada en arbóreo, arbustivo o herbáceo.

Para ser consistentes en el inventario, fue necesario homologar las subcategorías de vegetación de la categoría de Tierra [3B] mencionadas en el **Anexo D**, en todo el país y para todos los reportes tabulares por estrato dominante en función de su fase de desarrollo de la vegetación.

Al cuantificar el combustible se tomó como base la unidad de material vegetativo, que representa uno o varios ambientes de combustión (Riccardi *et al.* 2007). En el caso de los incendios superficiales, los estratos que la conforman son el horizonte de fermentación, hojas superficiales, material leñoso caído (MLC), vegetación de baja altura (estrato herbáceo) y arbustos.

Para caracterizar y cuantificar la biomasa y materia orgánica muerta de estos estratos por tipo de vegetación, se usaron principalmente los métodos propuestos en el Sistema de Clasificación y Caracterización de Combustibles Forestales (FCCS, por sus siglas en inglés) (Ottmar *et al.* 2007, Riccardi *et al.* 2007) y de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (APA; en inglés, EPA, por United States Environmental Protection Agency).

De la revisión de la literatura se obtuvieron 186 camas prototipo de combustibles para diferentes tipos de vegetación en México. Con la finalidad de hacer generalizaciones nacionales, las camas prototipo de combustibles se agregaron según los métodos sugeridos por Hardy *et al.* (2000) para formar la clase de condición de combustible (ccc) que represente cada subcategoría.

Las tres categorías de combustibles que se establecieron fueron: horizonte de fermentación; hojas; MLC fino y pequeño (<7.62 cm); MLC grueso (>7.62); hierbas, y arbustos.

Con el fin de asignar la biomasa potencial con la mayor cantidad de información empleada para su combustión se construyeron ccc por clase de cobertura en función del estrato afectado, de tal manera que, dependiendo del estrato afectado, se asigna la masa disponible para realizar el proceso de combustión.

Los factores de consumo fueron tomados por defecto de los valores usados en el software Consume 3.0. Éstos se aplicaron a tipos de vegetación similares de clima templado de las subcategorías de bosque de pino, encino, bosque mesófilo de montaña y matorrales xerófilos.

En selvas tropicales es escasa o inexistente la información sobre los factores de consumo y para México solo Kauffman *et al.* (2003) registran valores para selvas bajas caducifolias en quemadas de conversión de uso del suelo; por ser la única fuente, se usaron para las selvas secas. En los otros grupos de combustibles de selvas tropicales se utilizaron los valores de proporción de biomasa consumida proporcionados por los lineamientos de IPCC en su sección de USCUS (IPCC 2003).

Los factores de consumo se asignaron a cada superficie de las subcategorías y su fase de desarrollo de vegetación, en función del ambiente de combustión que interviene y en correspondencia con su masa disponible según sea el componente.

Se seleccionaron para este informe los factores de emisión de Andreae y Merlet (2001), que comprenden una revisión exhaustiva y actualizada de todas las publicaciones sobre factores de emisión de CO<sub>2</sub> y gases traza de CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O y NO<sub>x</sub> en bosques, y que proporcionan valores generales en categorías similares a las propuestas por IPCC para el sector USCUS.

### 5.3.1.2 [3C1b] Emisiones de GEI por quema de biomasa en tierras de cultivo

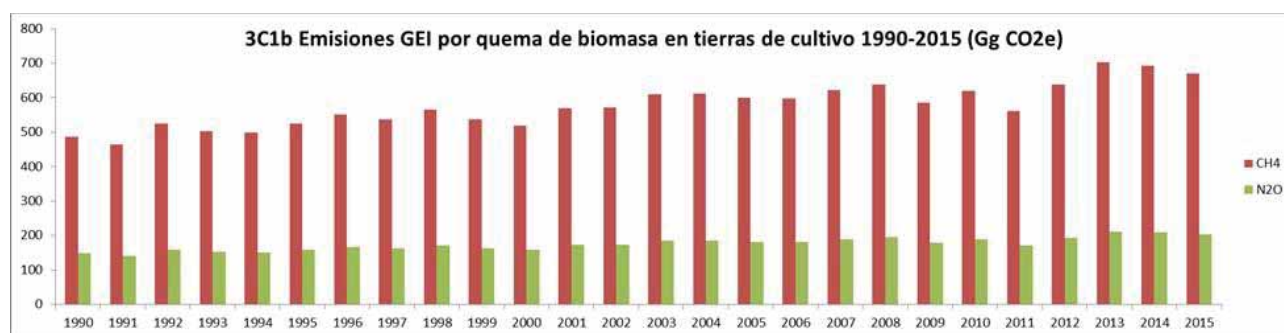
En esta categoría se incluyen las emisiones de GEI procedentes de las quemas precosecha en el cultivo de la caña de azúcar y de los residuos agrícolas de las cosechas. Se inventarían los gases de metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) producidos por la combustión de un porcentaje de residuos agrícolas quemados *in situ*. Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no se contabilizan debido a que “...el carbono liberado a la atmósfera es reabsorbido en el siguiente ciclo agrícola” (IPCC, 1996)

En 2015 se generaron 874.8 Gg de CO<sub>2e</sub> (±192.79%); de ese total, 671.3 Gg de CO<sub>2e</sub> correspondieron a CH<sub>4</sub> (77%) y 203.5 Gg de CO<sub>2e</sub> a N<sub>2</sub>O (23%). En 1990, las emisiones de GEI estimadas en esta categoría fueron 634.4 Gg de CO<sub>2e</sub> (Tabla 41). El aumento en las emisiones de GEI entre 1990 y 2015 fue 38 por ciento.

**Tabla 41.** Emisiones de GEI, categoría [3C1b] Quema de biomasa en tierras de cultivo, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

GEI	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
CH <sub>4</sub>	486.69	522.29	519.12	598.92	620.61	560.99	638.37	702.38	688.09	671.34
N <sub>2</sub> O	147.71	158.13	157.92	181.03	188.96	170.46	193.63	211.89	208.32	203.53
Total	634.40	680.41	677.04	779.96	809.57	731.45	831.99	914.27	896.41	874.87

**Figura 48.** Emisiones de GEI, categoría [3C1b] Quema de biomasa en tierras de cultivo, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>



### Aspectos metodológicos

En las *Directrices del IPCC 2006* se describen métodos de carácter general para estimar las emisiones de metano y óxido nitroso procedentes de la quema de residuos agrícolas; se eligió el nivel 1, más adecuado para México, con base en la aplicación del árbol de decisiones genérico aplicable a las emisiones de GEI procedentes de la quema de residuos agrícolas (Figura 2.6, Volumen 4, IPCC, 2006).<sup>2</sup>

La quema de residuos agrícolas en los campos de cultivo es una práctica común. La superficie quemada y la cantidad de biomasa disponible para la combustión son datos de actividad clave en esta categoría, requeridos en la ecuación 2.27 de IPCC 2006.<sup>3</sup>

Como fuente oficial de información para obtener los datos de actividad correspondientes al país, se empleó la publicada en el *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*, publicado por SIAP-SAGARPA<sup>4</sup> para el periodo 1990-2015 (SIAP, 2017) (Figura 48). (Ver Anexo D, sección [3C] Fuentes agregadas...)

Los cultivos enlistados se clasificaron de la siguiente manera:

Cereales (C)	Leguminosas (L)	Oleaginosas (O)	Caña de Azúcar (AzC)
Maíz (Cm)	Frijol	Soya	
Sorgo (Cs)	Garbanzo	Cártamo	
Trigo (Ct)	Haba	Ajonjolí	
Cebada (Cc)	Chícharo	Cacahuete	
Avena (Cav)	Lenteja	Girasol	
Arroz (Car)	Arvejón	Canola/Colza	

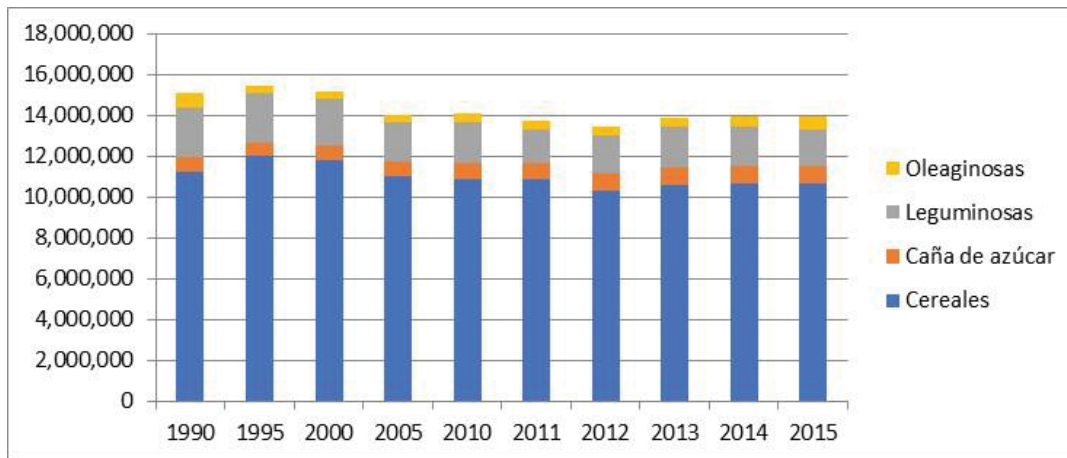
El resto de los cultivos —forrajes, perennes, frutales, industriales, tubérculos, hortalizas, ornamentales y medicinales (FPFITHOM)— no se incluyeron en la estimación de la biomasa quemada bajo el supuesto de que sus residuos no están disponibles para la combustión.

<sup>2</sup> Figura 2.6. Árbol de decisiones genérico para la identificación del nivel apropiado para estimar las emisiones de GEI provocadas por incendios en una categoría de uso de la Tierra. Capítulo 2: Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la Tierra. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la Tierra (ASOUT).

<sup>3</sup> Ecuación 2.27, *Ibid.* Ver Anexo.

<sup>4</sup> <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

**Figura 49.** Superficie sembrada de cultivos por año clasificados en cuatro clases, 1990-2015  
Hectáreas



En su GBP 2000, IPCC afirmó que:

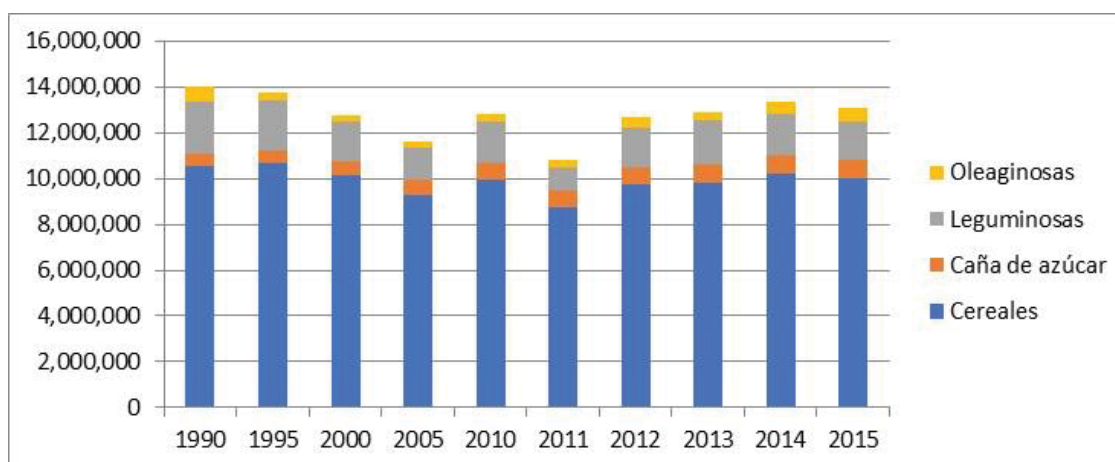
...se estima que en los países desarrollados se quema en los campos el 10% del total de los residuos agrícolas, mientras que en los países en desarrollo ese porcentaje asciende a 25%. Estas cifras pueden ser excesivas. La buena práctica sugiere que una estimación del 10% puede resultar más acertada para los países en desarrollo”.<sup>5</sup>

Con base en esta recomendación, complementada con el supuesto de que “al asumir una distribución equitativa del rendimiento, se puede considerar que el 10% de la superficie cosechada se quema” (FAO, 2017),<sup>6</sup> se multiplicó la superficie cosechada (ha) reportada por SIAP (Figura 49), por el porcentaje indicado (10%) para cada uno de los cultivos seleccionados.

<sup>5</sup> Apéndice 4A.2. Emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes de la quema de residuos agrícolas. Capítulo 4. Agricultura.

<sup>6</sup> Lección 2.5. Página 8 de 26. [<http://www.fao.org/elearning/#/elc/es/course/NGHGI>]

**Figura 50.** Superficie cosechada de cultivos por año clasificados en cuatro clases, 1990-2015  
Hectáreas



La proporción de residuos agrícolas quemados establecida por IPCC 2000, aplicada por FAO (2017), es consistente con lo reportado para México, donde “...85% del rastrojo de maíz producido en el país, se utiliza para la alimentación de animales”<sup>7</sup> (Borja Bravo, Reyes Muro, Espinosa García, y Vélez Izquierdo, 2013).

La biomasa quemada (t MS) se determinó mediante el producto de la superficie quemada (ha), el rendimiento (t/ha) (Tabla 42) y el índice cultivo residuo (ICR) utilizado por Valdez-Vázquez, Acevedo-Benítez y Hernández-Santiago (2010) para estimar el potencial de aprovechamiento energético de los residuos agrícolas para diversos cultivos en México. En los casos específicos de la avena y el girasol, se empleó el ICR reportado por Rosillo-Calle, de Groot, Hemstock, y Woods (2007). Para el cultivo de la caña de azúcar, en el que se practican quemas previas a la cosecha; se utilizó el ICR publicado por Ordóñez y Hernández (2006) y los valores (%) de “caña quemada” publicados en los informes anuales estadísticos del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar<sup>8</sup> (CONADESUCA, 2016). (Ver Anexo D, sección[3C] Fuentes agregadas...)

**Tabla 42.** Rendimiento de los cultivos  
t/ha

Cultivo/Año	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Cereales</b>										
Maíz	1.99	2.29	2.46	2.93	3.26	2.91	3.19	3.19	3.30	3.48
Sorgo	3.29	3.04	3.08	3.45	3.92	3.72	3.83	3.74	4.17	3.13
Trigo	4.21	3.73	4.94	4.75	5.42	5.48	5.66	5.29	5.19	4.53
Cebada	1.87	1.98	2.45	2.48	2.51	2.23	3.14	2.00	2.70	2.34
Avena	1.57	1.79	1.41	1.66	1.66	0.98	1.79	1.84	1.77	1.79
Arroz	3.74	4.68	4.18	5.06	5.19	5.10	5.62	5.43	5.71	5.81

<sup>7</sup> Capítulo 1. “Producción y consumo de rastrojos en México”.

<sup>8</sup> Cifras históricas a nivel nacional, indicadores de campo. Porcentaje de caña quemada.

<b>Caña de azúcar</b>	69.87	77.65	68.53	77.11	71.63	69.67	69.30	78.16	74.39	73.02
<b>Leguminosas</b>										
Frijol	0.62	0.62	0.59	0.66	0.71	0.63	0.69	0.74	0.76	0.62
Garbanzo	1.33	1.47	1.73	1.37	1.48	1.50	2.04	1.82	1.61	1.71
Haba	0.90	0.81	0.72	1.10	1.01	0.66	1.00	1.33	1.25	1.30
Chícharo	4.40	4.15	4.72	4.74	4.94	4.75	4.80	4.83	4.75	5.17
Lenteja	1.96	1.03	1.02	0.89	0.70	1.21	0.86	0.29	0.98	0.53
Arvejón	0.85	0.90	1.07	1.02	0.96	1.08	1.10	1.16	1.27	1.33
<b>Oleaginosas</b>										
Soya	2.01	1.41	1.46	1.95	1.09	1.32	1.74	1.52	1.88	1.36
Cártamo	1.01	1.17	1.14	1.09	1.16	2.08	1.49	1.14	1.26	0.98
Ajonjolí	0.54	0.58	0.58	0.53	0.53	0.57	0.71	0.65	0.67	0.65
Cacahuete	1.24	1.32	1.55	1.52	1.55	1.30	1.99	1.77	1.63	1.60
Girasol	0.13	1.77	0.70	1.45	2.02	1.53	1.02	1.26	1.12	0.94
Canola/Colza	50.00	10.36	2.38	1.32	1.23	1.24	1.17	1.60	1.30	1.06
Total cultivos	204	264	288	309	311	317	308	328	319	326

Como factor de combustión ( $C_f$ ) se aplicó la fracción de oxidación por defecto (90%) establecida en las *Directrices del IPCC 2006*.<sup>9</sup>

En 1990 se estimó la quema de 7.9 millones de toneladas de materia seca de la biomasa, en los campos agrícolas de México; en 2015, la biomasa quemada en campos agrícolas fue de 10.9 millones de toneladas de materia seca.

Se descartó el uso de los valores por defecto de IPCC 2006 de biomasa disponible para la combustión ( $M_B$ ) del Cuadro 2.4, por implicar rendimientos superiores a los de los cultivos en México (p. ej., en maíz, los residuos generados reportados en la tabla 2.4, se originan con rendimientos superiores a 8 t/ha; mientras que el rendimiento promedio de este cultivo en México fue de 3.5 t/ha en 2015).

Para el cálculo de las emisiones de metano se emplearon los valores obtenidos por el estudio comisionado por el INECC a la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) para la determinación de factores de emisión de este GEI por quema de los cultivos de maíz ( $C_m$ ), sorgo ( $C_s$ ), trigo ( $C_t$ ), cebada ( $C_c$ ) y caña de azúcar ( $AzC$ ) (Mugica-Álvarez, 2017). Para el resto de los cultivos se usó el factor de emisión por defecto de este GEI para residuos agrícolas (2.7 g  $CH_4$ /kg MS quemada), indicado en el Cuadro 2.5. En las estimaciones de óxido nítrico se empleó el valor por defecto para este gas (0.07 g  $N_2O$ /kg MS quemada) para todos los cultivos.<sup>10</sup> (Ver **Anexo D**, sección[3C] Fuentes agregadas...)

### 5.3.1.3 [3C1c] Emisiones de GEI por quema de biomasa en praderas

En 2015 se generaron 47.86 Gg de  $CO_{2e}$ ; en 1995 —primer año para el que se cuenta con datos— las emisiones de GEI estimadas en esta categoría fueron 92.00 Gg de  $CO_{2e}$  (Tabla

<sup>9</sup> “[Para] la fracción oxidada correspondiente a cada tipo de cultivo (el valor por defecto es de 0.90).” Paso 3. Estimación del total de biomasa quemada. Sección 4.5. Capítulo 4. Volumen 2. Libro de trabajo.

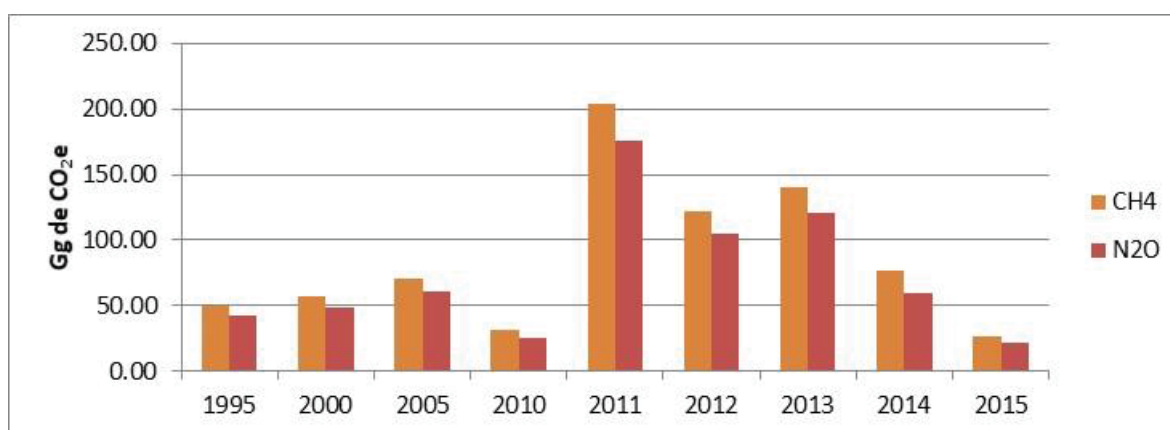
<sup>10</sup> Los valores del Cuadro 2.5 están basados en la revisión publicada por Andreae y Merlet, (2001).

43). En promedio, para el periodo 1995-2015, las emisiones anuales de GEI fueron 130.62 Gg de CO<sub>2e</sub>.

**Tabla 43.** Emisiones de GEI, categoría [3C1a] Quema de biomasa en praderas, 1995-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

GEI	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
CH <sub>4</sub>	49.36	56.46	71.15	30.93	204.52	121.65	140.64	76.28	26.69
N <sub>2</sub> O	42.64	48.77	60.93	25.81	176.16	104.93	121.00	60.01	21.17
Total	92.00	105.23	132.07	56.74	380.68	226.58	261.64	136.30	47.86

**Figura 51.** Emisiones de GEI, categoría [3C1a] Quema de biomasa en praderas, 1995-2015



#### Aspectos metodológicos

La metodología utilizada corresponde a aquella referida en el apartado 5.3.1.1 [3C1a] Emisiones de GEI por quema de biomasa en tierras forestales.

### 5.3.2 [3C2] Encalado de suelos

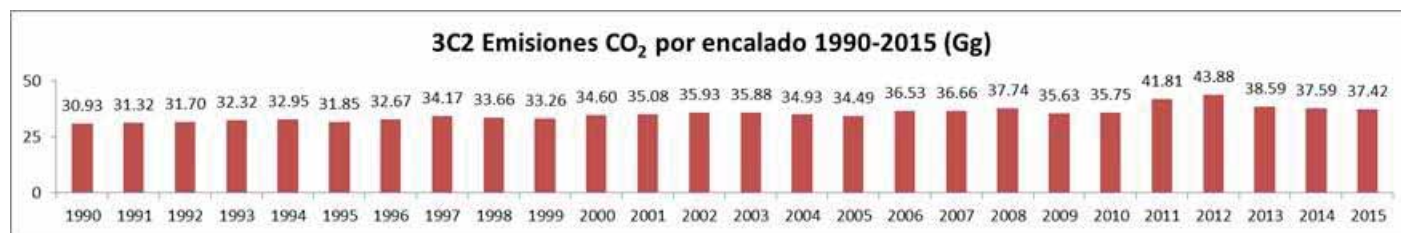
El encalado se emplea para reducir la acidez del suelo y mejorar el crecimiento de los cultivos en tierras agrícolas y bosques bajo manejo forestal. El agregado de carbonatos a los suelos, en forma de cal (p. ej., piedra caliza cálcica CaCO<sub>3</sub> o dolomita CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), que, en presencia de humedad, por hidrólisis, origina bicarbonato y éste produce emisiones de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2006).

En 2015 se generaron 37.4 Gg de CO<sub>2</sub> (±49.30%; 18.9-55.8 Gg de CO<sub>2</sub>) por el encalado de suelos; en 1990, las emisiones estimadas de CO<sub>2</sub> por esta práctica fueron 30.9 Gg. En el periodo 1990-2015, las emisiones anuales por esta fuente aumentaron 19% (Tabla 44).

**Tabla 44.** Emisiones de CO<sub>2</sub> por encalado de suelos, 1990-2015  
Gg

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
30.93	31.85	34.60	34.49	35.75	41.81	43.88	38.59	37.59	37.42



**Figura 52.** Emisiones de CO<sub>2</sub> por encalado de suelos**Aspectos metodológicos**

En las *Directrices del IPCC 2006* se describen los métodos para estimar las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) originadas por el encalado de suelos; se eligió el más adecuado para México, con base en la aplicación del árbol de decisiones para la identificación del nivel apropiado para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> del encalado (Figura 11.4, IPCC, 2006).<sup>11</sup>

Se elaboraron las estimaciones, nivel 1, conforme a la ecuación 11.12.<sup>12</sup> El encalado de suelos no es una práctica común en las tierras de cultivo en México; la Asociación Nacional de Fabricantes de Cal (ANFACAL) estima que 2% de la producción nacional de estos minerales se destina a usos agrícolas (Lee-Godínez, 2017),<sup>13</sup>

Con base en este juicio de expertos, se procesaron los datos de producción nacional de cal viva, cal hidratada, cal química/siderúrgica y cal dolomítica del Banco de Información Económica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el periodo 1990-2015 (Figura 52). Esta fuente de información es la misma que se utilizó para el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> por producción de cal en la categoría [2A2]<sup>14</sup> (INEGI, 2017). (Ver Anexo D, sección[3C] Fuentes agregadas...)

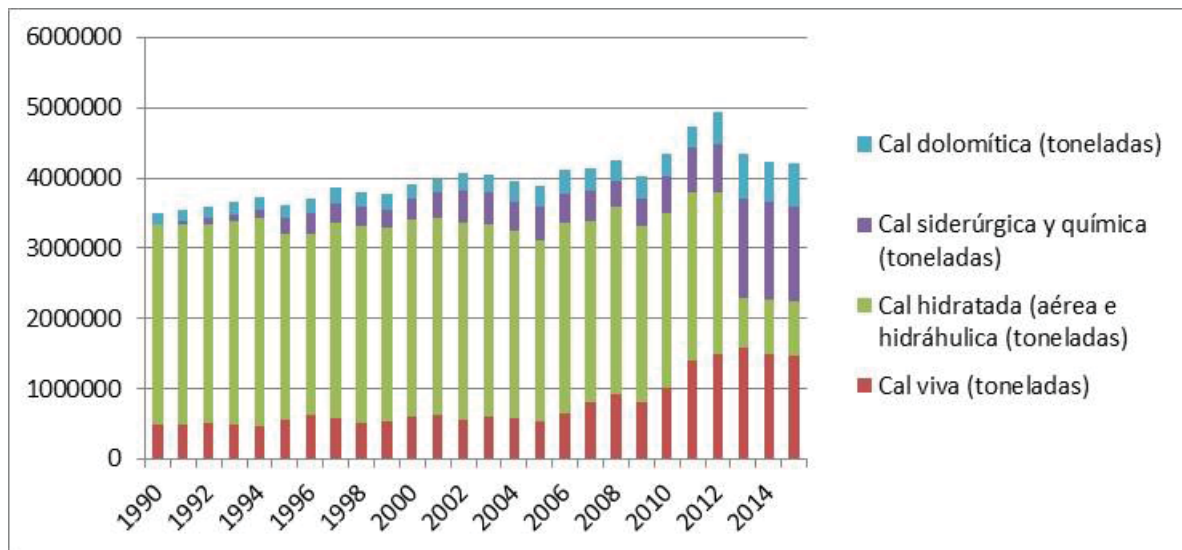
<sup>11</sup> Figura 11.4. Árbol de decisiones para la identificación del nivel apropiado para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> del encalado. Capítulo 11. Sección 3. Emisiones de CO<sub>2</sub> por encalado de suelos. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT).

<sup>12</sup> Ecuación 11.12. *Ibid.*

<sup>13</sup> Salvador Lee Godínez, Representante de la ANFACAL, comunicación personal.

<sup>14</sup> Figura 1.1. Capítulo 1. Introducción. Volumen 3: Procesos industriales y uso de productos.

**Figura 53.** Producción nacional de cal viva, cal hidratada, cal química/siderúrgica y cal dolomítica, 1990-2015  
Toneladas



En 1990 se aplicaron 66,971 toneladas de cal y 3,073 toneladas de dolomita en los suelos agrícolas del país. En 2015, se incorporaron 71,720 toneladas de cal y 12,293 toneladas de dolomita en los campos agrícolas del país.

Se emplearon los factores de emisión de dióxido de carbono por defecto para cal y dolomita, equivalentes a los contenidos de carbono de los carbonatos en ambos minerales [12%, en  $\text{CaCO}_3$  y 13%, en  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ].<sup>15</sup> No se derivaron factores de emisión de  $\text{CO}_2$  propios para México debido a que esta no es una categoría clave de emisiones. (Ver **Anexo E**, sección[3C] Fuentes agregadas...)

### 5.3.3 [3C3] Aplicación de urea

El agregado de urea a los suelos durante la fertilización conduce a una pérdida de  $\text{CO}_2$  que se fija en el proceso de producción industrial. La urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) se convierte en amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), ion hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) en presencia de agua y de la enzima ureasa. De manera similar a la reacción del suelo cuando se le agrega cal, el bicarbonato que se forma se convierte en  $\text{CO}_2$  y agua. Esta categoría de fuente se incluye porque la absorción de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera durante la fabricación de urea se estima en la categoría [2B1] Producción de amoniaco, del sector de procesos industriales y uso de productos (PIUP).<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Sección 11.3.1. Capítulo 11. Sección 3. Emisiones de  $\text{CO}_2$  por encalado de suelos. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT).

<sup>16</sup> Sección 3.2. Capítulo 3: Emisiones de la industria química. Volumen 3: PIUP.

El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) es uno de los principales productos químicos industriales y el compuesto nitrogenado sintético más importante. Se utiliza directamente como fertilizante y es materia prima de diversos compuestos orgánicos como la urea. La producción de urea es un proceso secundario asociado a las plantas de producción de amoníaco. La urea se produce mediante la reacción de  $\text{NH}_3$  con  $\text{CO}_2$ ; la cantidad de  $\text{CO}_2$  incorporado en su fabricación debe restarse de la cantidad total de  $\text{CO}_2$  generado. Las emisiones de  $\text{CO}_2$  generadas por el uso de la urea deben contabilizarse en los sectores correspondientes. En específico, las emisiones provenientes del uso de la urea como fertilizante deben incluirse en el sector “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra” (IPCC, 2006).<sup>17</sup>

En 2015 se generaron 409.7 Gg de  $\text{CO}_2$  ( $\pm 50.2\%$ ; 203.83-615.59 Gg de  $\text{CO}_{2e}$ ) por la aplicación de urea en México; en 1990, las emisiones estimadas de  $\text{CO}_2$  por esta práctica fueron 436.1 Gg. En el periodo 1990-2015, las emisiones promedio por esta categoría fueron 426.8 Gg. (Tabla 45).

**Tabla 45.** Emisiones de  $\text{CO}_2$  por aplicación de urea, 1990-2015  
Gg

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
436.19	312.40	440.00	451.00	498.67	498.67	506.00	479.60	513.33	409.71

**Figura 54.** Emisiones de  $\text{CO}_2$  por aplicación de urea



#### Aspectos metodológicos

En las *Directrices del IPCC 2006* se describen los métodos para estimar las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) originadas por la fertilización de suelos con urea; se eligió el más adecuado para México, con base en la aplicación del árbol de decisiones para la identificación del nivel apropiado para la estimación de las emisiones de  $\text{CO}_2$  del encalado (Figura 11.5, IPCC, 2006).<sup>18</sup>

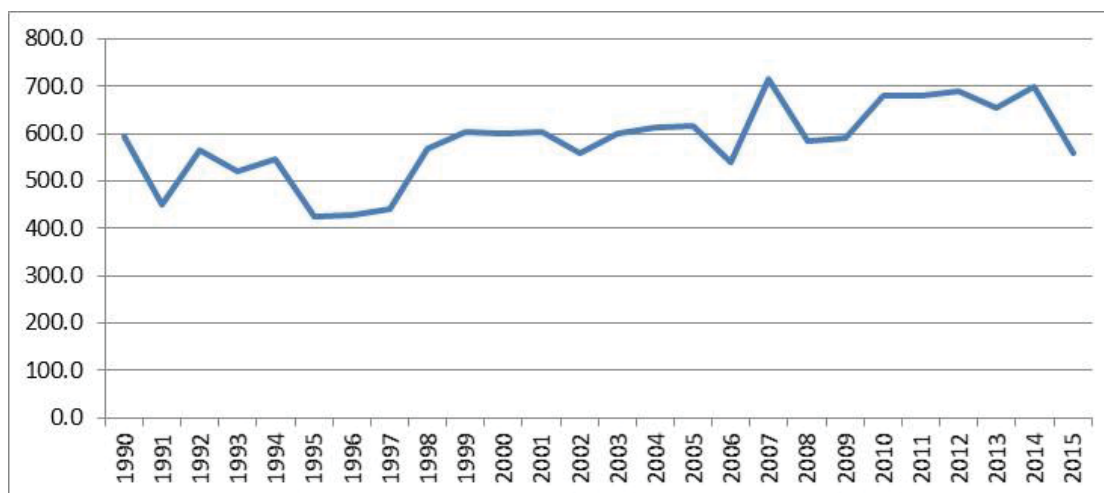
Se elaboraron las estimaciones, nivel 1, conforme a la ecuación 11.13.<sup>19</sup> De acuerdo con la International Fertilizer Industry Association (IFA), el consumo de urea en México fue de 558,700 toneladas en 2015 (Figura 54), 1.1% del consumo mundial (IFA, 2017).

<sup>17</sup> Recuadro 3.2. Sección 3.2.2.3. Mismo capítulo y volumen que la nota anterior.

<sup>18</sup> Figura 11.5. Árbol de decisiones para la identificación del nivel apropiado para la estimación de las emisiones de  $\text{CO}_2$  por fertilización de suelos con urea. Capítulo 11. Sección 4. Emisiones de  $\text{CO}_2$  por fertilización con urea. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT).

<sup>19</sup> Ecuación 11.13. *Ibid.*

**Figura 55.** Consumo de urea en México, 1990-2015  
Miles de toneladas



Entre 1990 y 2015, el consumo mundial anual de urea pasó de 27.8 a 51.8 millones de toneladas, lo que representó un incremento de 86%; mientras que el consumo en México disminuyó 6% en se periodo.

Se aplicó el factor general de emisión de dióxido de carbono (0.20 para urea), equivalente a la proporción de carbono en su peso molecular [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  PM = 60;  $12/60 = 20\%$ ]<sup>20</sup>. No se derivaron factores de emisión de  $\text{CO}_2$  propios para México debido a la falta de información y a que no es una categoría clave de emisiones

### 5.3.4 [3C4] Emisiones directas de óxido nitroso de los suelos gestionados

El óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se produce en forma natural en los suelos a través de los procesos microbianos de nitrificación<sup>21</sup> y desnitrificación<sup>22</sup>. Algunas actividades agrícolas aportan nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) a los suelos, aumentando la disponibilidad de este elemento químico para la nitrificación y desnitrificación y, por tanto, la cantidad de  $\text{N}_2\text{O}$  emitido (IPCC, 2000).<sup>23</sup>

En el presente se reconoce el papel de los suelos como fuente principal de emisiones de óxido nitroso, aunque queda por comprender la complejidad de los procesos microbianos subyacentes y su relación con factores bióticos, como la diversidad de la comunidad microbiana, la interacción entre las plantas y los microorganismos, etc., y factores abióti-

<sup>20</sup> Sección 11.4.2. Capítulo 11. Sección 4. Emisiones de  $\text{CO}_2$  por aplicación de urea. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT).

<sup>21</sup> La nitrificación es la oxidación aerobia microbiana de iones de amonio a nitratos.

<sup>22</sup> La desnitrificación es la reducción anaerobia microbiana de nitratos a nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ); el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se forma en una etapa intermedia de las reacciones bioquímicas.

<sup>23</sup> Sección 4.7.1. Capítulo 4. Agricultura.

cos, como elementos del clima (temperatura, humedad, etc.), propiedades fisicoquímicas, etc. (Butterbach-Bahl, Baggs, Dannenmann, Kiese, y Zechmeister-Boltenstern, 2013).

La metodología desarrollada por IPCC para el nivel 1 no toma en cuenta las diferentes clases de uso de suelo, tipos de suelo o condiciones climáticas (IPCC, 2006),<sup>24</sup> mientras que sí considera las diversas vías de incorporación de nitrógeno a los suelos como aplicación de fertilizantes sintéticos, abonos de origen animal, fijación biológica de nitrógeno y mineralización de los residuos de cultivos en campos agrícolas (IPCC, 2002).

En la metodología —y en la actualización 1990-2015 de este inventario— se incluyen las siguientes fuentes de nitrógeno para estimar las emisiones directas de  $N_2O$  de los suelos: fertilizantes sintéticos nitrogenados ( $F_{SN}$ ); estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo ( $F_{PRP}$ ), y residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) de cultivos, incluidos fijadores de N y forrajes ( $F_{CR}$ ) reincorporados al suelo en campos agrícolas (IPCC, 2006).<sup>25</sup>

En 2015, los suelos gestionados emitieron 22,654.38 Gg de  $CO_{2e}$  ( $\pm 79.7\%$ ; 4,649.1-41,336.6 Gg de  $CO_{2e}$ ) de óxido nitroso en forma directa; esta cantidad representó 3.3% de las emisiones totales de GEI (4.3% de las emisiones netas). En 1990, las emisiones estimadas en esta categoría fueron 23,213.2 Gg de  $CO_{2e}$ . El promedio anual de emisiones de  $N_2O$  para el periodo 1990-2015 fue de 21,620.2 Gg de  $CO_{2e}$ . (Tabla 46)

**Tabla 46.** Emisiones directas de  $N_2O$  de los suelos gestionados, 1990-2015  
Gg de  $CO_{2e}$

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
23,347.01	21,189.18	21,784.30	21,865.70	21,658.72	21,385.24	22,078.39	22,559.35	23,187.41	22,992.89

**Figura 56.** Emisiones directas de  $N_2O$  de los suelos gestionados, 1990-2015  
Gg de  $CO_{2e}$



### Aspectos metodológicos

En las *Directrices del IPCC 2006* se describen métodos para estimar las emisiones directas de óxido nitroso ( $N_2O$ ) procedentes de los suelos gestionados; se eligió el nivel 1, más adecua-

<sup>24</sup> Sección 11.2. Emisiones  $N_2O$  de suelos gestionados. Capítulo 11. Sección 2. Emisiones de  $N_2O$  de suelos gestionados. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT).

<sup>25</sup> Sección 11.2.1. *Ibid.*

do para México, con base en la aplicación del árbol de decisiones aplicable a esta categoría (Figura 11.2, Volumen 4, IPCC, 2006).<sup>26</sup>

La cantidad de nitrógeno incorporado anualmente en los suelos es el componente clave para la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O, conforme a la ecuación 11.1 de IPCC 2006.<sup>27</sup>

En los cálculos de esta categoría se emplearon los factores de emisión de N<sub>2</sub>O por defecto de IPCC 2006 (Cuadro 11.1, Volumen 4, IPCC 2006). (Ver **Anexo E**, sección[3C] Fuentes agregadas...)

#### **Fertilizantes sintéticos nitrogenados ( $F_{SN}$ )**

Este término se refiere a la cantidad anual de fertilizantes sintéticos nitrogenados ( $F_{SN}$ ) aplicados a los suelos. Los datos del consumo anual de fertilizante en México para el periodo 1990-2014 se tomaron de la base de datos estadísticos FAOSTAT. El consumo del 2015 se estimó con base en los datos reportados en el periodo referido (FAO, 2016).

**Tabla 47.** Consumo de fertilizantes sintéticos nitrogenados (FSN) en México, 1990-2015  
Miles de toneladas

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1346.3	1049.0	1342.0	1219.5	1074.7	1100.7	1291.1	1290.2	1361.6	1126.9

#### **Estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo ( $F_{PRP}$ )**

El término se refiere a la cantidad de nitrógeno que proviene del manejo de las excretas de los animales (IPCC, 2006).

El  $F_{PRP}$  se estimó a partir de las estadísticas de SIAP-SAGARPA). Se utilizaron los pesos de finalización publicados por la misma dependencia. Los pesos iniciales se tomaron de publicaciones oficiales de SAGARPA para el caso de ganados bovino, caprino y ovino, y aves de corral; en el caso de los cerdos se utilizó la publicación del *Benchmark Latam*, Pig Improvement Company (PIC), 2013 y 2014. Finalmente, para el caso del ganado equino — caballos, mulas y asnos— se utilizó el juicio de experto.

Los factores de excreción de nitrógeno se obtuvieron de la tabla 10.19 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC* 2006. El nitrógeno contabilizado fue el proveniente de bovinos de la etapa de hembras adultas; cerdos de las etapas de hembras y engorda en producción familiar, y ovejas, cabras, caballos, mulas y asnos que se encontraban en pastoreo. (Ver **Anexo D**, sección de Ganadería.)

#### **Residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) reincorporados al suelo en tierras de cultivo ( $F_{ca}$ )**

Este término se refiere a la cantidad de nitrógeno contenida en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo cultivos fijadores de N<sub>2</sub>, que se devuelve a los suelos

<sup>26</sup> Figura 11.2. Árbol de decisiones para emisiones directas de N<sub>2</sub>O de suelos gestionados. Mismo capítulo, sección y volumen que la nota anterior

<sup>27</sup> Ecuación 11.1. *Ibid.* Ver Anexo.

anualmente; también incluye el N<sub>2</sub> de forrajes fijadores y no fijadores de nitrógeno que se mineraliza durante la renovación del forraje o las pasturas (IPCC, 2006).

El F<sub>CR</sub> se estimó a partir de estadísticas de superficies cosechadas, rendimiento de cultivos y factores por defecto de relaciones residuo: rendimiento aéreo/subterráneo, fracción de materia seca y contenido de nitrógeno de los residuos, como se expresa en el cuadro 11.2 y las ecuaciones 11.7 y 11.7A,<sup>28</sup> para una estimación nivel 1.

Como fuente oficial de información para obtener los datos de actividad correspondientes al país, se empleó la publicada en el *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* del SIAP-SAGARPA<sup>29</sup> para 69 cultivos en el periodo 1990-2015 (SIAP, 2017), clasificados en los siguientes grupos, establecidos en las directrices metodológicas (IPCC, 2006):

1. Cereales (cultivos no fijadores de nitrógeno).
2. Cultivos fijadores de nitrógeno (leguminosas).
3. Tubérculos y raíces.
4. Forrajes fijadores de nitrógeno.
5. Forrajes no fijadores de nitrógeno.
6. Gramíneas perennes (caña de azúcar).

El cálculo resta la biomasa quemada, estimada en la categoría [3C1b] y la fracción de residuos aprovechados para la alimentación del ganado y otros usos. En cereales (C) se determinó una tasa de remoción de 85%, estimada para maíz por Borja Bravo *et al.* (2013). Se aplicó una tasa de remoción de 95% para cultivos forrajeros. En el resto de los cultivos se asumió que no hubo retiro de residuos de los campos agrícolas.

**Tabla 48.** Nitrógeno de residuos agrícolas reincorporado al suelo en tierras de cultivo en México, 1995-2015  
Toneladas

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
542,628	620,124	768,454	980,535	1,090,439	1,008,807	1,134,976	1,164,453	1,186,630	1,172,424

### 5.3.5 [3C5] Emisiones indirectas de óxido nitroso de los suelos gestionados

Las emisiones indirectas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) representan una tercera parte del total de las emisiones globales de este gas generado por fuentes agropecuarias (IPCC, 2002); se originan a partir de la pérdida del nitrógeno aplicado en los suelos por dos vías principales: 1) volatilización y posterior deposición de compuestos nitrogenados como amoníaco (NH<sub>3</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), y 2) lixiviación y escorrentía (IPCC, 1996),

<sup>28</sup> Capítulo 11. Sección 2. Emisiones de N<sub>2</sub>O de suelos gestionados. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT).

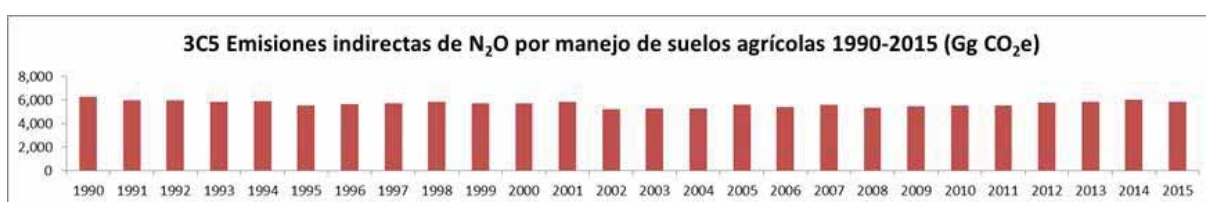
<sup>29</sup> <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

En 2015, las emisiones estimadas de óxido nitroso en esta categoría fueron 5,821.9 Gg de CO<sub>2e</sub> ( $\pm 129.10\%$ ); en 1990, las emisiones estimadas de óxido nitroso en esta categoría fueron 6,289.93 Gg de CO<sub>2e</sub>. Las emisiones promedio de esta categoría para el periodo 1990-2015 fueron 5,676.63 Gg de CO<sub>2e</sub> (Tabla 49).

**Tabla 49.** Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por manejo de suelos agrícolas, 1995-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
6,289.93	5,553.68	5,722.70	5,579.31	5,541.45	5,503.95	5,755.97	5,843.04	6,018.93	5,821.98

**Figura 57.** Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por manejo de suelos agrícolas  
Gg de CO<sub>2e</sub>



### Aspectos metodológicos

En las *Directrices del IPCC 2006* se describen métodos para estimar las emisiones indirectas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) procedentes de los suelos gestionados; se eligió el nivel 1, más adecuado para México, con base en la aplicación del árbol de decisiones aplicable a esta categoría (Figura 11.3, Volumen 4, IPCC, 2006).<sup>30</sup>

Al igual que en la categoría 3C4, la cantidad de nitrógeno incorporado anualmente en los suelos es el componente clave para la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O, como se expresa en las ecuaciones 11.9 y 11.10 de IPCC 2006.<sup>31</sup>

En los cálculos de esta categoría se emplearon los factores de emisión de N<sub>2</sub>O por defecto de IPCC 2006 (Cuadro 11.3, Volumen 4, IPCC 2006).

### 5.3.6 [3C6] Emisiones indirectas de óxido nitroso por sistemas de manejo del estiércol

Las emisiones estimadas de N<sub>2</sub>O en esta categoría fueron 913.66 Gg de CO<sub>2e</sub> ( $\pm 42.35\%$ ) en 2015. En 1990, las emisiones de óxido nitroso en esta categoría fueron 522.77 Gg de CO<sub>2e</sub>; la diferencia representa un aumento de 75% en las emisiones de GEI entre 1990 y 2015. (Tabla 50).

<sup>30</sup> Figura 11.3. Árbol de decisiones para emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de suelos gestionados. Capítulo 11. Sección 2. Emisiones de N<sub>2</sub>O de suelos gestionados. Volumen 4: ASOUT.

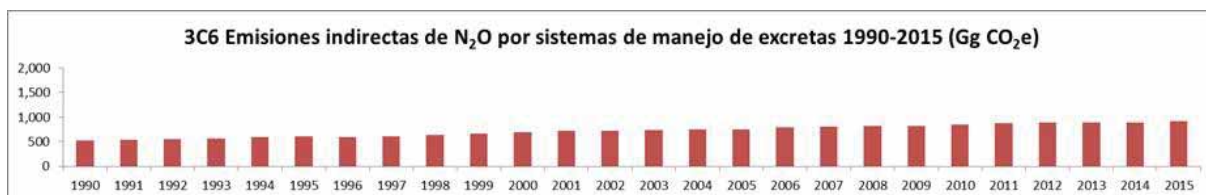
<sup>31</sup> Ecuaciones 11.9 y 11.10. *Ibid.* Ver Anexo.



**Tabla 50.** Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por sistemas de manejo del estiércol, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
522.77	611.35	690.22	755.79	846.19	873.97	885.05	888.06	892.20	913.66

**Figura 58.** Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por sistemas de manejo del estiércol  
Gg de CO<sub>2e</sub>



### Aspectos metodológicos

Para estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O se utilizaron las *Directrices del IPCC 2006*, donde se describen los métodos para estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes del manejo de las excretas; se eligió el nivel 1, de acuerdo al árbol de decisiones de la Figura 10.4 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC 2006* para el caso del N<sub>2</sub>O.

Los datos de actividad se obtuvieron de SIAP-SAGARPA para el periodo 1990-2015 (Pesquera, 2017). La información utilizada fue el número de animales, volumen de producción, pesos al mercado en todos los casos y, para el peso de inicio de la etapa, se utilizaron los publicados por la misma dependencia y los de otras publicaciones oficiales de SAGARPA para el caso de bovinos, caprinos, ovinos y aves de corral; mientras que, para el caso de los cerdos, se utilizó la publicación del *Benchmark Latam*, Pig Improvement Company (PIC), 2013 y 2014; finalmente para el caso de caballos, mulas y asnos se utilizó el juicio de experto para establecer el peso promedio de la etapa. (Ver **Anexo D**, sección de ganadería.)

Los factores de emisión se obtuvieron de la Tabla 10.25 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC 2006*, para el caso del CH<sub>4</sub>, y de las Tablas 10.19, 10.21, 10.22 y 10.23 de las mismas *Directrices...* para el caso de N<sub>2</sub>O. Los manejos de excretas utilizados fueron pisos de rejilla, lagunas de oxidación, biodigestores y pastoreo para los cerdos; corral de engorda, estercolero, manejo líquido, lagunas de oxidación y biodigestores para el ganado bovino; para las aves de corral, cama con y sin materia orgánica y estercoleros, y para ganados ovinos, caprinos y equinos se asumió que toda la población se encontraba en pastoreo. (Ver **Anexo D**, sección de Ganadería.)

### 5.3.7 [3C7] Cultivo de arroz

La descomposición anaeróbica de la materia orgánica en los arrozales genera escapes de metano (CH<sub>4</sub>) hacia la atmósfera durante la estación de crecimiento. La cantidad anual de este gas que se emite desde una superficie dedicada a este cultivo depende de la variedad sembrada, el número y la duración de los cultivos, el tipo de suelo y la temperatura, las

prácticas de manejo del agua y el uso de fertilizantes y otros aditivos orgánicos e inorgánicos (IPCC, 2000).

El proceso implicado en las emisiones de metano, incluye la producción de este gas en los suelos por bacterias metanógenas y su transporte del suelo hacia la atmósfera (IPCC, 2002a).

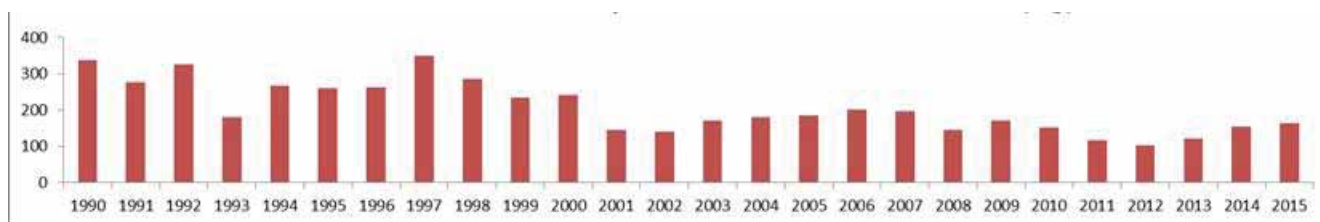
La superficie anual de tierras dedicadas al cultivo del arroz en todo el mundo fue cercana a 160 millones de hectáreas en 2015 (IRRI, 2017). En México, las superficies sembradas de arroz se redujeron de *ca.* 120,000 ha en 1990 a poco más de 42,000 ha en 2015 (SIAP, 2017) como consecuencia de la apertura comercial y el aumento de importaciones (Gómez-Merino, Tucuch-Haas, Trejo-Téllez, y García-Morales, 2017).

En 2015, se originaron 164.8 Gg de CO<sub>2e</sub> (±55.7%; 72.87-256.65 Gg de CO<sub>2e</sub>) de CH<sub>4</sub> a partir de este cultivo en México. En 1990, las emisiones estimadas de este gas, en esta categoría, fueron 337.9 Gg de CO<sub>2e</sub>; una disminución del 51% en las emisiones de CH<sub>4</sub> en el periodo (Tabla 51).

**Tabla 51.** Emisiones de metano por el cultivo de arroz, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
337.96	259.62	241.73	185.55	152.30	116.13	103.70	122.08	154.41	164.76

**Figura 59.** Emisiones de metano por el cultivo de arroz, 1990-2015  
Gg de CO<sub>2e</sub>



### Aspectos metodológicos

En las *Directrices del IPCC 2006* se describen los métodos para estimar las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) procedentes del cultivo de arroz; se eligió el más adecuado para México, con base en la aplicación del árbol de decisiones aplicable a las emisiones de metano por producción de arroz (Figura 5.2, IPCC, 2006).<sup>32</sup>

Se aplicó el cálculo básico, nivel 1, para esta categoría, en la que la superficie cosechada y la duración del cultivo son datos de actividad clave, expresados en la ecuación 5.1 de las *Directrices del IPCC 2006*.<sup>33</sup> (Ver **Anexo E**, sección [3C] Fuentes agregadas...)

<sup>32</sup> Figura 5.2. Árbol de decisiones para las emisiones de CH<sub>4</sub> resultantes de la producción de arroz. Capítulo 5: Nivelras de cultivo. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la Nivelra (ASOUT).

<sup>33</sup> Ecuación 5.1. *Ibid.*

Como fuente oficial de información para obtener los datos de actividad correspondientes al país, se empleó la publicada en el *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*, SIAP-SAGARPA para el periodo 1990-2015 (SIAP, 2017). (Ver **Anexo D**, sección[3C] Fuentes agregadas...)

En el caso del arroz se identificaron las superficies cosechadas por modalidad hídrica: riego y temporal para el periodo 1990-2015. En 1990, se cosecharon 52,781 hectáreas de riego y 52,621 hectáreas de temporal; en 2015, se cosecharon 31,422 hectáreas de riego y 9,215 de temporal (**Tabla 52**).

**Tabla 52.** Superficie cosechada por modalidad hídrica, 1990-2015  
Hectáreas

Arroz	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Riego	52,781	41,887	33,159	29,184	26,831	19,292	16,486	21,679	28,093	31,422
Temporal	52,621	36,552	50,909	28,296	14,916	14,745	15,309	11,458	12,549	9,215
Total	105,402	78,439	84,068	57,479	41,747	34,037	31,795	33,137	40,642	40,637

La duración del cultivo por variedad, en días; se obtuvo de la publicación *Paquetes tecnológicos para el cultivo de arroz en México* (INIFAP, 2015)

En las estimaciones se incorporaron los factores de ajuste de emisiones de metano por modalidad hídrica ( $SF_w$ ) indicados para cultivos de riego y de temporal. En ambos tipos de cultivo se aplicó el mismo factor de ajuste de emisiones de metano por modalidad hídrica previa al cultivo ( $SF_p$ ).<sup>34</sup>

Los factores de ajuste de emisiones de metano por agregados orgánicos ( $F_o$ ), tipo de suelo ( $SF_s$ ) y variedad ( $SF_r$ ) no se integraron en los cálculos debido a la falta de información; no se profundizó en la investigación de estos factores, por no tratarse de una categoría clave de emisiones.

#### **Factores de emisión**

Se empleó el factor de emisión de metano por defecto establecido en el Cuadro 5.11.<sup>35</sup> (Ver **Anexo E**, sección[3C] Fuentes agregadas...)

## **Referencias**

- Andreae, M. O., & Merlet, P. (2001). Emissions of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 955–966. <http://doi.org/10.1029/2000GB001382>
- Andreae, M. O., P. Merlet. 2001. Emission of trace gases and aereosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*. Vol. 15, No. 4. Pp. 955-966.
- Borja Bravo, M., Reyes Muro, L., Espinosa García, J. A., & Vélez Izquierdo, A. (2013). Producción y consumo de rastrojos en México. Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México.

<sup>34</sup> Cuadros 5.12 y 5.13. Sección 5.5.2. Capítulo 5. Tierras de Cultivo. Volumen 4: ASOUT.

<sup>35</sup> Los valores de los Cuadros 5.11 al 5.13 están basados en (Yan, Yagi, Akiyama, y Akimoto, 2005)

- Butterbach-Bahl, K., Baggs, E. M., Dannenmann, M., Kiese, R., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2013). Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130122–20130122. <http://doi.org/10.1098/rstb.2013.0122>
- Cartography and Geographic Information Science 33: 159–171.
- CONADESUCA. (2016). Informe Estadístico del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar en México Zafra 2015\_2016.
- CONAFOR. 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos: Informe de Resultados. CONAFOR-SEMARNAT. Zapopan, Jalisco, México. 173 p.
- CONAGUA. (2016). Reporte del Clima en México. Servicio Meteorológico Nacional, 1–27. Retrieved from <http://www.accuweather.com/en/mx/mexico-weather>
- ESRI, ArcGis, Ver. 10.1 SP1 for Desktop
- Estrada C. I. 2006. Identificación de áreas susceptibles de incendio forestal en el parque nacional “El Chico”, Hidalgo. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 90 p.
- FAO. (2016). FAOSTAT.
- FAO. (2017). Curso: El inventario nacional de GEI para la agricultura.
- Gómez-Merino, F., Tucuch-Haas, C., Trejo-Téllez, L., & García-Morales, S. (2017). Producción y Consumo de Arroz en México. *Agro-Síntesis*, (Julio), 22–28.
- Hardy C. C., Burgan R. E. y R. D. Ottmar. 2000. A database for Spatial Assesments of Fire Characteristics, Fuel Profiles, and PM10 Emissions. En: Sampson R. N., Atkinson R. D. y J. W. Lewis (eds). *Mapping Wildfire Hazards and Risks*. Food Products Press, NY, USA.
- IFA. (2017). IFADATA.
- INEGI. (1991). Censo Agrícola-Ganadero 1991. Retrieved August 23, 2017, from [http://www.inegi.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca1991/Resultados\\_Agricola/default.aspx](http://www.inegi.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca1991/Resultados_Agricola/default.aspx)
- INEGI. (2007). Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007.
- INEGI. (2017). Banco de Información Económica.
- INEGI. 1993. Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie IV. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2002. Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie III. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2007. Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie IV. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2009. Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación escala 1: 250 000 Serie III. México. 77 p.
- INEGI. 2011. Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie V. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación Serie V: escala 1: 250 000. Distrito Federal, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. 2016. Marco Geoestadístico Nacional. México.
- INIFAP. (2015). Paquetes Tecnológicos para el Cultivo de Arroz en México.
- IPCC, Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 4. Retrieved from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- IPCC. (1996). Chapter 4 Agriculture Volume 3: Reference Manual. In Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reference Manual (p. 140). IPCC.
- IPCC. (2000). IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. In IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (p. 94).
- IPCC. (2002a). CH<sub>4</sub> Emissions from Rice Agriculture. In Background Papers IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (pp. 399–417).
- IPCC. (2002b). Indirect N<sub>2</sub>O Emissions From Agriculture. In Background Papers IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (pp. 381–397).
- IPCC. (2006a). Chapter 1 Introduction Volume 4: ASOUT. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (pp. 1–21). IPCC.
- IPCC. (2006b). IPCC Chapter 2 Generic Methodologies Applicable To Multiple Land-. In IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (pp. 1–59).

- IPCC. 1996. *Climate Change 1995 - The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC. 2003. *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Editado por Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe y Fabian Wagner. Publicado por IGES para IPCC.
- IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.
- IRRI. (2017). *World Rice Statistics*.
- Kauffman J. B., Steele M. D., Cummings D. L., Jaramillo V. J. 2003. Biomass dynamics associated with deforestation, fire, and conversion to cattle pasture in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecology Management*, 176 (2003) 1-12.
- Levine, J. S. (1994). Biomass Burning and the Production of Greenhouse Gases. In *Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change* (pp. 1–13).
- Luis. (n.d.). *Factores* (2nd ed.). Méx.
- Mugica-Álvarez, V. (2017). Determinación de factores de emisión de dióxido de carbono, partículas en suspensión de 2.5 y 10 micras y contaminantes de vida corta, metano y carbono negro por prácticas de quema agrícola.
- Olofsson, P., G. M. Foody, M. Herold, S. V. Stehman, C. E. Woodcock and M. A. Wulder. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* 148: 42-57.
- Olofsson, P., G. M. Foody, S. V. Stehman and C. E. Woodcock. 2013. Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment* 129: 122–131.
- Ordóñez, B., & Hernández, T. (2006). Obtención de Factores de Emisión nacionales en el Sector Agrícola para disminuir incertidumbre en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.
- Ottmar R. D., Sandberg D. V., Riccardi C. L. y S. J. Prichard. 2007. An Overview of the Fuel Characteristic Classification System: Quantifying, classifying, and creating fuelbeds for resource planning. *Canadian Journal of Forest Research*. 37: pp. 2383-2393.
- Ottmar, R.D., Burns, M.F., Hall, J.N. and Hanson, A.D. 1993. *Consume user's guide*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-304. Portland, Oregon: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 118 p.
- Pesquera, S. de información agroalimentaria y. (2017). *SIACON 1980-2014*. Retrieved June 5, 2017, from [infodiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php](http://infodiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php)
- PIC. (2013). *Análisis de la industria porcina en Latinoamérica 2013*.
- PIC. (2014). *Análisis de la industria porcina en Latinoamérica 2014*.
- Pontius, R. G. 2000. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 66: 1011-1016.
- Pontius, R. G. and C. D. Lippitt. 2006. Can error explain map differences over time?
- Prichard, S.J.; Ottmar, R.D.; Anderson, G.K. *Consume user's guide v. 3.0*. [http://www.fs.fed.us/pnw/fera/products/consume/consume30\\_users\\_guide.pdf](http://www.fs.fed.us/pnw/fera/products/consume/consume30_users_guide.pdf). (1 abril 2009)
- Riccardi C. L., Ottmar R. D., Sandberg D. V., Andreu A., Elman E., Kopper K., y J. Long. 2007. The fuelbed: a key element of the fuel Characteristic Classification System. *Canadian Journal of Forest Research*. 37: pp. 2394-2412.
- Rosillo-Calle, F., de Groot, P., Hemstock, S. L., & Woods, J. (2007). *The Biomass Assessment Handbook*.
- SAGARPA, Gallardo, J. L., Villamar, L., & Barrera, M. (2006). *Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México 2006*. México Distrito Federal. Retrieved from [http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios de situacin actual y perspectiva/Attachments/14/sitpor06d.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios%20de%20situacion%20actual%20y%20perspectiva/Attachments/14/sitpor06d.pdf)
- SEMARNAT 2009. <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn.aspx>. (1 de abril de 2009).
- SIAP. (2017). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, S. (2015). *SIACON (1980-2014)*.
- Valdez-Vázquez, I., Acevedo-Benítez, J. A., & Hernández-Santiago, C. (2010). Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 2147–2153. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.034>
- Yan, X., Yagi, K., Akiyama, H., & Akimoto, H. (2005). Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. *Global Change Biology*, 11(7), 1131–1141. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00976.x>
- Andreae, M. O., & Merlet, P. (2001). Emissions of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 955–966. <http://doi.org/10.1029/2000GB001382>

- Borja Bravo, M., Reyes Muro, L., Espinosa García, J. A., & Vélez Izquierdo, A. (2013). *Producción y consumo de rastrojos en México. Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*.
- Butterbach-Bahl, K., Baggs, E. M., Dannenmann, M., Kiese, R., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2013). Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130122–20130122. <http://doi.org/10.1098/rstb.2013.0122>
- CONADESUCA. (2016). *Informe Estadístico del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar en México Zafra 2015\_2016*.
- FAO. (2016). FAOSTAT.
- FAO. (2017). Curso: El inventario nacional de GEI para la agricultura.
- Gómez-Merino, F., Tucuch-Haas, C., Trejo-Téllez, L., & García-Morales, S. (2017). Producción y Consumo de Arroz en México. *Agro-Síntesis*, (Julio), 22–28.
- IFA. (2017). IFADATA.
- INEGI. (2017). Banco de Información Económica.
- INIFAP. (2015). *Paquetes Tecnológicos para el Cultivo de Arroz en México*.
- IPCC. (1996). Chapter 4 Agriculture Volume 3: Reference Manual. In *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reference Manual* (p. 140). IPCC.
- IPCC. (2000). IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. In *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (p. 94).
- IPCC. (2002a). CH4 Emissions from Rice Agriculture. In *Background Papers IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (pp. 399–417).
- IPCC. (2002b). INDIRECT N2O EMISSIONS FROM AGRICULTURE. In *Background Papers IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (pp. 381–397).
- IPCC. (2006a). Chapter 1 Introduction Volume 4: AFOLU. In *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (pp. 1–21). IPCC.
- IPCC. (2006b). IPCC Chapter 2 Generic Methodologies Applicable To Multiple Land-. In *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (pp. 1–59).
- IRRI. (2017). World Rice Statistics.
- Levine, J. S. (1994). Biomass Burning and the Production of Greenhouse Gases. In *Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change* (pp. 1–13).
- Mugica-Álvarez, V. (2017). *Determinación de factores de emisión de dióxido de carbono, partículas en suspensión de 2.5 y 10 micras y contaminantes de vida corta, metano y carbono negro por prácticas de quema agrícola*.
- Ordóñez, B., & Hernández, T. (2006). *Obtención de Factores de Emisión nacionales en el Sector Agrícola para disminuir incertidumbre en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*.
- Pesquera, S. de información agroalimentaria y. (2017). SIACON 1980-2014. Retrieved June 5, 2017, from [infodiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php](http://infodiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php)
- Rosillo-Calle, F., de Groot, P., Hemstock, S. L., & Woods, J. (2007). *The Biomass Assessment Handbook*.
- SIAP. (2017). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, S. (2015). SIACON (1980-2014).
- Valdez-Vázquez, I., Acevedo-Benítez, J. A., & Hernández-Santiago, C. (2010). Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 2147–2153. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.034>
- Yan, X., Yagi, K., Akiyama, H., & Akimoto, H. (2005). Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. *Global Change Biology*, 11(7), 1131–1141. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.00976.x>