

## Emisión de gases de efecto invernadero de la fertilización nitrogenada en México\*

### Emission of greenhouse gases from nitrogen fertilization in Mexico

Adrián González-Estrada<sup>1§</sup> y Maricela Camacho Amador<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Texcoco, Estado de México, CP. 56250. <sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo Posgrado de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales. Chapingo, Estado de México. CP. 56230. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: adrglez@prodigy.net.mx.

#### Resumen

La agricultura mexicana es una fuente importante de gases de efecto invernadero, principalmente a través de la fertilización nitrogenada que emite un importante gas de efecto invernadero: el óxido nitroso, el cual representa 50.4% de las emisiones del sector en unidades equivalentes de bióxido de carbono. No obstante, la importancia de tales emisiones, no se dispone de estimaciones fidedignas. El objetivo de ésta investigación fue cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la fertilización nitrogenada en la agricultura mexicana, durante el período 1980-2014. El método seguido para la cuantificación de esas emisiones es el propuesto por: la agencia para la protección ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (EE.UU), el Panel Intergubernamental del Cambio Climático y la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas. Se cuantificaron las aplicaciones totales de los distintos fertilizantes nitrogenados en la agricultura mexicana de 1980 a 2014 y se estimaron las emisiones de óxido nitroso y su transformación en unidades equivalentes de bióxido de carbono. Se concluyó que el uso de fertilizantes químicos en la agricultura mexicana es ineficiente, debido a que no se toman en cuenta los costos de las emisiones de óxido

#### Abstract

Mexican agriculture is an important source of greenhouse gases, mainly through nitrogen fertilization that emits an important greenhouse gas: nitrous oxide, which represents 50.4% of the emissions of the sector in equivalent units of carbon dioxide. However, the importance of such emissions, reliable estimates are not available. The objective of this research was to quantify the emissions of greenhouse gases produced by nitrogen fertilization in Mexican agriculture, during the period 1980-2014. The method followed for the quantification of these emissions is the one proposed by: the environmental protection agency of the United States of America (USA), the Intergovernmental Panel on Climate Change and the Food and Agriculture Organization of the United Nations. The total applications of the different nitrogenous fertilizers in Mexican agriculture from 1980 to 2014 were quantified and nitrous oxide emissions and their conversion into equivalent units of carbon dioxide were estimated. It was concluded that the use of chemical fertilizers in Mexican agriculture is inefficient, because the costs of nitrous oxide emissions are not taken into account when deciding the amount of nitrogen to be applied per hectare. Consequently, the costs of nitrous oxide emissions

\* Recibido: octubre de 2017  
Aceptado: noviembre de 2017

nitroso a la hora de decidir la cantidad de nitrógeno que se aplicará por hectárea. En consecuencia, se deben cuantificar los costos de las emisiones de óxido nitroso producidas por los fertilizantes químicos nitrogenados y definir, con base en ello, una política eficiente para la aplicación de fertilizantes y para el abatimiento de las emisiones que producen.

**Palabras clave:** agricultura mexicana, fertilizantes nitrogenados, óxido nitroso.

## Introducción

El calentamiento global y el resultante cambio climático son una realidad cuya intensidad es creciente. En los últimos sesenta años se ha observado a nivel planetario un creciente calentamiento de la atmósfera y del agua de los océanos, una reducción de la superficie cubierta con hielo y un aumento del nivel de los mares. La causa principal es el conjunto de actividades productivas de la sociedad actual.

México, por sus características físico geográfica, será uno de los países más afectados por el cambio climático, debido a que está ubicado entre dos grandes océanos, en la latitud en la que se ubican los grandes desiertos del mundo, y tiene grandes sistemas montañosos. En cuanto a los efectos que tendrán esos cambios climáticos, México verá reducida su capacidad productiva agrícola 27% para el año 2050 (Cline, 2008); la productividad en el cultivo del maíz y frijol irá disminuyendo y se tendrá una pérdida de fertilidad en los suelos de 25% de las unidades de producción. Para el año 2030 se pronostica que las condiciones naturales prevalecientes serán menos propicias para la producción de la mayoría de los cultivos. Esta situación se empeorará a fines del presente siglo (DOF, 2014). Los impactos económicos negativos provocados por los fenómenos hidrológicos y meteorológicos extremos irán creciendo. Las pérdidas ocasionadas por esos fenómenos pasaron de un promedio anual de 730 millones de pesos durante el período 1980-1999 a 21 950 millones por año en el período 2000-2012 (SEMARNAT, 2013).

En el año 2012 la actividad productiva y social de la humanidad produjo 52.76 gigatoneladas de bióxido de carbono equivalente (Gt CO<sub>2</sub> eq), de acuerdo con el Oak Ridge National Laboratory (2015). México aporta 1.3% al total. La agricultura y la ganadería mexicanas contribuyen con 12.3% al total de emisiones de gases de efecto

produced by nitrogenous chemical fertilizers must be quantified and, based on this, an efficient policy for the application of fertilizers and for abatement of the emissions they produce must be defined.

**Keywords:** Mexican agriculture, nitrogen fertilizers, nitrous oxide.

## Introduction

Global warming and the resulting climate change are a reality whose intensity is growing. In the last sixty years, an increasing warming of the atmosphere and water of the oceans, a reduction of the surface covered with ice and an increase in the level of the seas has been observed at planetary level. The main cause is the set of productive activities of the current society.

Mexico, due to its geographical physical characteristics, will be one of the countries most affected by climate change, because it is located between two large oceans, at the latitude where the great deserts of the world are located, and has large mountain systems. In terms of the effects of these climate changes, Mexico will see its agricultural production capacity reduced by 27% by the year 2050 (Cline, 2008); the productivity in the cultivation of corn and beans will decrease and there will be a loss of fertility in the soils of 25% of the production units. By the year 2030 it is forecast that the prevailing natural conditions will be less conducive to the production of most crops. This situation will worsen at the end of this century (DOF, 2014). The negative economic impacts caused by extreme hydrological and meteorological phenomena will grow. The losses caused by these phenomena went from an annual average of 730 million pesos during the period 1980-1999 to 21 950 million pesos per year in the period 2000-2012 (SEMARNAT, 2013).

In 2012, the productive and social activity of humanity produced 52.76 gigatons of carbon dioxide equivalent (Gt CO<sub>2</sub> eq), according to the Oak Ridge National Laboratory (2015). Mexico contributes 1.3% to the total. Mexican agriculture and livestock contribute 12.3% to the country's total greenhouse gas (GEI) emissions, mainly through nitrogen fertilization that emits an important greenhouse gas: nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), which contributes 50.4% of all emissions in the sector.

invernadero (GEI) del país, principalmente a través de la fertilización nitrogenada que emite un importante gas de efecto invernadero: el óxido nitroso ( $N_2O$ ), el cual aporta 50.4% de todas las emisiones del sector.

Las emisiones de óxido nitroso ( $N_2O$ ) son generadas por procesos naturales y por la lixiviación, la volatilización y la escorrentía de fertilizantes nitrogenados, así mismo por la descomposición de los residuos de cultivos y de animales. Según la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2002), China es el mayor consumidor de fertilizantes nitrogenados en el mundo y pierde 57.5% de todo el nitrógeno que aplica en la agricultura, debido al 50% de la volatilización y en 7.5% a la infiltración. En México las emisiones de óxido nitroso  $N_2O$  en el año 2014 fueron 22 860.1 t. La contribución de las distintas fuentes emisoras es: los suelos agrícolas 67.2% (de la aplicación de fertilizantes nitrogenados), el transporte 18.2%, el manejo del estiércol 9.3%, el tratamiento y eliminación de las aguas residuales 2.8% y otras fuentes 2.5% (SEMARNAT-INECC, 2013). A nivel mundial el uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura ha crecido muy rápidamente, por lo que se prevé que las emisiones correspondientes aumentarán 50% para el año 2030.

No obstante la importancia de las emisiones de óxido nitroso producidas por la fertilización química en la agricultura mexicana, no existe una estimación fidedigna de su magnitud.

Ruiz (2011), utilizó la matriz de insumo-producto de México del año 2003 y la información del Inventario nacional de gases de efecto invernadero 1990-2002 de SEMARNAT-INE (2006) para estimar los costos de las emisiones de gases de efecto invernadero de cada uno de las 79 ramas económicas. Con esa información calculó el vector de los coeficientes de emisión por rama, normalizando los valores de emisión respecto al valor bruto de la producción de 2003 basándose en el método sugerido por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). Esa estructura porcentual fue aplicada a las emisiones totales del año 2003, reportadas por el Instituto de Ecología. Así obtuvo las emisiones de GEI para cada sector o subsector. Luego, se compatibilizaron las categorías de la clasificación del IPCC con las ramas de la matriz insumo-producto, mediante la distribución de las emisiones en cada rama por su participación relativa en el valor agregado bruto dentro del sector correspondiente en el mismo año (2003).

Nitrous oxide emissions ( $N_2O$ ) are generated by natural processes and by the leaching, volatilization and runoff of nitrogen fertilizers, as well as the decomposition of crop and animal waste. According to the Food and Agriculture Organization (FAO, 2002), China is the largest consumer of nitrogen fertilizers in the world and loses 57.5% of all nitrogen applied in agriculture, due to 50% volatilization and 7.5% to infiltration. In Mexico, nitrous oxide emissions  $N_2O$  in 2014 were 22 860.1 t. The contribution of the different emitting sources is: agricultural soils 67.2% (mainly from the application of nitrogen fertilizers), transport 18.2%, manure management 9.3%, treatment and disposal of wastewater 2.8% and other sources 2.5% (SEMARNAT-INECC, 2013). Globally, the use of nitrogen fertilizers in agriculture has grown very rapidly, so it is expected that the corresponding emissions will increase 50% by the year 2030.

Despite the importance of nitrous oxide emissions produced by chemical fertilization in Mexican agriculture, there is no reliable estimate of its magnitude.

Ruiz (2011), used the input-output matrix of Mexico in 2003 and the information from the National Inventory of Greenhouse Gases 1990-2002 of SEMARNAT-INE (2006) to estimate the costs of greenhouse gas emissions of each of the 79 economic branches. With this information, it calculated the vector of the emission coefficients by branch, normalizing the emission values with respect to the gross value of the 2003 production based on the method suggested by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). This percentage structure was applied to the total emissions of 2003, reported by the Institute of Ecology. Thus, it obtained the GEI emissions for each sector or sub-sector. Then, the categories of the IPCC classification were made compatible with the branches of the input-output matrix, by distributing the emissions in each branch by their relative share in the gross value added within the corresponding sector in the same year (2003).

Another procedure based on average coefficients is the one used to obtain the estimates contained in the national inventory of greenhouse gases 1990-2010 SEMARNAT (2013a). Table A.3.3 of annex A of the National Inventory of Greenhouse Gas Emissions 1990-2010 of SEMARNAT (2013a), which presents estimates of nitrous oxide emissions produced by the application of such fertilizers in Mexico, is based on the assumption that nitrogenous synthetic fertilizers have 34.5% active nitrogen, "which

Otro procedimiento basado en coeficientes medios es el usado para obtener las estimaciones contenidas en el inventario nacional de gases de efecto invernadero 1990-2010 SEMARNAT (2013a). El Cuadro A.3.3 de anexo A del inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero 1990-2010 de SEMARNAT (2013a), en el que se presentan las estimaciones sobre las emisiones de óxido nitroso producido por la aplicación de tales fertilizantes en México, está basado en el supuesto de que los fertilizantes sintéticos nitrogenados tienen 34.5% de nitrógeno activo, “que es el valor de la media nacional”. Ese coeficiente es erróneo y consecuentemente, las estimaciones del Cuadro A.3.3 basadas en él también lo son. Ese error estadístico también distorsiona las estimaciones que aparecen en la base de datos de FAOSTAT (2016). En el caso de las emisiones de óxido nitroso producidas por la aplicación de fertilizantes químicos nitrogenados, ese error produce estimaciones con errores considerables. La fuente de esos errores de estimación radica en que se usaron coeficientes basados en una simple media del contenido de nitrógeno en los distintos fertilizantes nitrogenados (34.5%), en lugar de usar una media ponderada del consumo nacional aparente de los mismos, como hubiera sido lo correcto.

Después de tomar en cuenta los errores estadísticos citados, y conscientes de la importancia que tiene el contribuir con el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones a nivel nacional y mundial, en esta investigación se propuso el objetivo de estimar, con mayor rigor y precisión, las emisiones anuales de óxido nitroso ( $N_2O$ ) producidas por la fertilización nitrogenada en la agricultura mexicana durante el período 1980-2014, tomando en cuenta las versiones más recientes de las ecuaciones usadas para la estimación de las emisiones de óxido nitroso.

## Materiales y métodos

### Base paramétrica de referencia

La causa principal del calentamiento global es la concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero que mantienen la radiación infrarroja de la superficie terrestre, con lo cual hacen aumentar la temperatura del aire. Los gases de efecto invernadero son: el bióxido de carbono ( $CO_2$ ), el metano ( $CH_4$ ), el óxido nitroso ( $N_2O$ ), los clorofluorocarbonos (CFC), el vapor de agua y otros. Los primeros tres gases representaron en conjunto 99% de las emisiones y los

is the value of the national average”. That coefficient is wrong and consequently, the estimates in Table A.3.3 based on it are also wrong. This statistical error also distorts the estimates that appear in the FAOSTAT database (2016). In the case of nitrous oxide emissions produced by the application of nitrogenous chemical fertilizers, this error produces estimates with considerable errors. The source of these estimation errors is that coefficients based on a simple average of the nitrogen content in the different nitrogen fertilizers (34.5%) were used, instead of using a weighted average of the apparent national consumption of the same, as it would have been the right thing.

After taking into account the aforementioned statistical errors, and aware of the importance of contributing to the fulfillment of emission reduction targets at national and global levels, this research proposed the objective of estimating, with greater rigor and precision, the annual emissions of nitrous oxide ( $N_2O$ ) produced by nitrogenous fertilization in Mexican agriculture during the period 1980-2014, taking into account the most recent versions of the equations used to estimate nitrous oxide emissions.

## Materials and methods

### Reference parametric base

The main cause of global warming is the concentration in the atmosphere of greenhouse gases that maintain infrared radiation from the earth’s surface, which increases the air temperature. The greenhouse gases are: carbon dioxide ( $CO_2$ ), methane ( $CH_4$ ), nitrous oxide ( $N_2O$ ), chlorofluorocarbons (CFC), water vapor and others. The first three gases together accounted for 99% of emissions and the last three 1%, in 2002. The role played by carbon dioxide is very important for life, because if it did not exist, the average temperature on Earth would be  $-18\text{ }^\circ\text{C}$  and, on the contrary, a higher concentration at a certain point will warm the atmosphere in a very significant way (Uzawa, 2010). The latter is what has been happening.

The most important greenhouse gases produced by human activities are: carbon dioxide  $CO_2$ , emitted by the consumption of fossil fuels and industrial activities represents 65% of total emissions, methane  $CH_4$ , represents 16%, carbon dioxide  $CO_2$ , produced by agriculture, livestock and forestry 11%, nitrous oxide  $N_2O$  6%, and fluorinated

últimos tres 1%, en 2002. El papel que juega el bióxido de carbono es muy importante para la vida, pues si no existiera, la temperatura media en la tierra sería de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  y, por el contrario, una concentración mayor a cierto punto calentará la atmósfera de una manera muy significativa (Uzawa, 2010). Esto último es lo que ha estado pasando.

Los gases de efecto invernadero más importantes producidos por las actividades humanas son: el bióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , emitido por el consumo de combustibles fósiles y por las actividades industriales representa el 65% del total de emisiones, el metano  $\text{CH}_4$ , representa 16%, el bióxido de carbono  $\text{CO}_2$ , producido por la agricultura, la ganadería y la silvicultura, 11%, el óxido nitroso  $\text{N}_2\text{O}$ , 6%, y los gases fluorados o gases F (6%) (IPCC, 2014a). En cuanto a las emisiones por sector, medidas en unidades equivalentes a bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$  eq), la producción de electricidad y calor contribuyó con 25%, la agricultura, ganadería y silvicultura 24%, la industria con 21%, el transporte 14%, los edificios comerciales y residenciales con 6% y las demás emisiones del sector energético 10% (IPCC, 2014a).

De acuerdo con el IPCC (2014a), la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero (GEI) producidos por la naturaleza ha fluctuado en los últimos 650 000 años, conforme se alternan períodos de calentamiento y enfriamiento de la tierra. En los 1 000 años previos a 1 750 los niveles de  $\text{CO}_2$  nunca se incrementaron más allá de las 30 partes por millón (ppm). Sin embargo, en las últimas dos décadas el incremento fue mayor. Al inicio de la revolución industrial en 1750, la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera era de 280 partes por millón (ppm). Sin embargo, en 1960 era de 315 y en 2010 de 380 (Sachs, 2008). La mitad de las emisiones acumuladas de  $\text{CO}_2$  entre 1 750 y 2012 se han producido en los últimos 42 años.

Ese proceso de crecimiento de las emisiones continúa acelerándose. De 1970 a 1999 las emisiones de esos gases, medidas en giga toneladas de bióxido de carbono equivalente ( $\text{Gt CO}_2$  eq), crecieron a una tasa anual de 1.64%, mientras que del año 2000 al 2012 crecieron a una tasa de 2.69% por año (IPCC, 2014). Esos datos contrastan rotundamente con toda la retórica usada por la mayoría de los países para resaltar sus programas de control de emisiones de GEI y la sociedad actual está actuando muy irresponsablemente.

En el año 2012 la actividad productiva y social de la humanidad produjo 52.76 gigatoneladas de bióxido de carbono equivalente ( $\text{Gt CO}_2$  eq) (ORNL, 2015). Los países

gases or F gases (6%) (IPCC, 2014a). In terms of emissions by sector, measured in units equivalent to carbon dioxide ( $\text{CO}_2$  eq), electricity and heat production contributed 25%, agriculture, livestock and forestry 24%, industry with 21%, transportation 14 %, commercial and residential buildings with 6% and other emissions from the energy sector 10% (IPCC, 2014a).

According to the IPCC (2014a), the concentration in the atmosphere of greenhouse gases (GEI) produced by nature has fluctuated in the last 650 000 years, as periods of warming and cooling of the land alternate. In the 1 000 years prior to 1750  $\text{CO}_2$  levels never increased beyond 30 parts per million (ppm). However, in the last two decades the increase was greater. At the beginning of the industrial revolution in 1750, the concentration of carbon dioxide in the atmosphere was 280 parts per million (ppm). However, in 1960 it was 315 and in 2010 it was 380 (Sachs, 2008). Half of the accumulated emissions of  $\text{CO}_2$  between 1750 and 2012 have occurred in the last 42 years.

That process of growth of emissions continues to accelerate. From 1970 to 1999, the emissions of these gases, measured in giga tonnes of carbon dioxide equivalent ( $\text{Gt CO}_2$  eq), grew at an annual rate of 1.64%, while from 2000 to 2012 they grew at a rate of 2.69% per year (IPCC, 2014). These data contrast sharply with all the rhetoric used by most countries to highlight their GHG emission control programs and society today is acting very irresponsibly.

In 2012, the productive and social activity of humanity produced 52.76 gigatons of carbon dioxide equivalent ( $\text{Gt CO}_2$  eq) (ORNL, 2015). The countries with the highest emissions are: China (23.6%), USA (12%), India (5.7%), Brazil (5.7%), Russian Federation (5.3%), Arab Countries (4.9%), Japan (2.8%), Germany (1.8%) and Mexico (1.3%). China produces almost a quarter of global emissions. Note that China, India, Brazil, the Russian Federation, the Arab World and Mexico contribute 46.4%.

Between 1970 and 2012 the country increased its greenhouse gas emissions from 210.5 to 663.4 million tons in units of carbon dioxide equivalent. This last number is equivalent, simply, to 0.6634  $\text{Gt CO}_2$  eq. According to SEMARNAT-INECC (2013), emissions in 2010 were 748.3 million tons and not 663.4. In just 42 years, emissions multiplied 3.15 times in relation to the base year. According to the World Bank database (World Bank, 2013), emissions per capita in Mexico of carbon dioxide alone,  $\text{CO}_2$ , were 1.64 t in

con mayores emisiones son: China (23.6%), USA (12%), India (5.7%), Brasil (5.7%), Federación Rusa (5.3%), Países Árabes (4.9%), Japón (2.8%), Alemania (1.8%) y México (1.3%). China produce casi una cuarta parte de las emisiones mundiales. Note que China, India, Brasil, Federación Rusa, el Mundo Árabe y México contribuyen con 46.4%.

Entre 1970 y 2012 el país incrementó sus emisiones de gases de efecto invernadero desde 210.5 a 663.4 millones de toneladas en unidades de bióxido de carbono equivalente. Este último número equivale, simplemente, a 0.6634 Gt CO<sub>2</sub> eq. Según SEMARNAT-INECC (2013), las emisiones en el año 2010 fueron 748.3 millones de toneladas y no 663.4. En tan solo 42 años las emisiones se multiplicaron 3.15 veces en relación con el año base. De acuerdo con la base de datos del Banco Mundial (World Bank, 2013), las emisiones per capita en México tan solo de bióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, fueron 1.64 t en 1960, 2.2 en 1970, 3.7 en 1990 y 3.9 t en 2013, lo cual significa que entre 1960 y el año 2013 las emisiones en México se multiplicaron 2.38 veces, a una la tasa media anual de crecimiento de 4.59%. Sin embargo, las emisiones totales de gases de efecto invernadero fueron 7.1 t de CO<sub>2</sub> eq.

De acuerdo con el inventario nacional de gases de efecto invernadero 1990-2010 (SEMARNAT-INECC, 2013), del total nacional de emisiones de gases de efecto invernadero, convertidas a unidades equivalentes de bióxido de carbono, CO<sub>2</sub> eq, el sector de la energía aportó 21.8%, el transporte 22.2%, la agricultura y ganadería 12.3%, emisiones fugitivas 11.1%, la industria 8.2%, manufactura e industria de la construcción 7.6%, el uso del suelo, los cambios en el uso del suelo y la silvicultura 6.3%, los desechos 5.9% y el sector comercial y residencial 4.6%.

### **Emisiones de óxidos nitrosos (N<sub>2</sub>O), en términos de bióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq), producidas por la aplicación de fertilizantes nitrogenados**

Con el fin de fue cuantificar las emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) producidas por la fertilización nitrogenada en la agricultura mexicana, primero se reunió información sobre aplicación anual de las distintas clases de fertilizantes nitrogenados en la República Mexicana. Posteriormente, se calculó el contenido de nitrógeno equivalente para cada una de las clases de fertilizantes aplicados. Después, se estimaron las emisiones de N<sub>2</sub>O por consumo de fertilizantes nitrogenados. Finalmente, se expresaron esas emisiones en unidades de bióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq).

1960, 2.2 in 1970, 3.7 in 1990 and 3.9 t in 2013 , which means that between 1960 and 2013, emissions in Mexico multiplied 2.38 times, at an average annual rate of growth of 4.59%. However, total greenhouse gas emissions were 7.1 t of CO<sub>2</sub> eq.

According to the National Inventory of Greenhouse Gases 1990-2010 (SEMARNAT-INECC, 2013), of the total national greenhouse gas emissions, converted to equivalent units of carbon dioxide, CO<sub>2</sub> eq, the energy sector contributed 21.8%, transportation 22.2%, agriculture and livestock 12.3%, fugitive emissions 11.1%, industry 8.2%, manufacturing and construction industry 7.6%, land use, changes in land use and forestry 6.3%, waste 5.9% and the commercial and residential sector 4.6%.

### **Emissions of nitrous oxides (N<sub>2</sub>O), in terms of carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub> eq), produced by the application of nitrogen fertilizers**

In order to quantify the nitrous oxide emissions (N<sub>2</sub>O) produced by nitrogen fertilization in Mexican agriculture, information was first gathered on the annual application of the different types of nitrogen fertilizers in the Mexican Republic. Subsequently, the equivalent nitrogen content was calculated for each of the fertilizer classes applied. Afterwards, the N<sub>2</sub>O emissions were estimated for the consumption of nitrogen fertilizers. Finally, these emissions were expressed in units of carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub> eq).

The application of nitrogenous chemical fertilizers produces direct (ED) and indirect (EI) emissions of nitrous oxide. The direct emission of nitrous oxide is produced by two microbiological processes: nitrification, which is an oxidation of ammonium to nitrate and denitrification, which is a reduction of nitrate to the gaseous forms of nitrogen, N<sub>2</sub>O and N<sub>2</sub>. Then, indirect emissions are produced through the processes of volatilization/redeposition and leaching. In order to estimate the direct emissions (ED) of N<sub>2</sub>O associated with the application of nitrogen fertilizers in agriculture, the method developed by the Environmental Protection Agency (EPA, 1992) of the USA, FAO (2014) and the Intergovernmental Panel on Climate Change (Klein, 2006), which is summarized in the following conversion equation.

$$ED(N_2O)=CF*CE*(44/28)*10^{-6}$$

La aplicación de fertilizantes químicos nitrogenados produce emisiones directas (ED) e indirectas (EI) de óxido nitroso. La emisión directa de óxido nitroso es producida por dos procesos microbiológicos: la nitrificación, que es una oxidación del amonio al nitrato y la desnitrificación, que es una reducción del nitrato a las formas gaseosas del nitrógeno,  $N_2O$  y  $N_2$ . Después, se producen las emisiones indirectas, mediante los procesos de volatilización/redeposición y lixiviación. Con el fin de estimar las emisiones directas (ED) de  $N_2O$  asociadas con la aplicación de fertilizantes nitrogenados en la agricultura, se usó el método elaborado por la Agencia para la Protección Ambiental (EPA, 1992) de EE.UU, la FAO (2014) y el Panel Intergubernamental del Cambio climático (Klein, 2006), el cual se resume en la siguiente ecuación de conversión.

$$ED(N_2O) = CF * CE * (44/28) * 10^{-6}$$

Donde: CF es el consumo de fertilizantes en toneladas de nitrógeno activo aplicado, CE representa el coeficiente o factor de emisión y la fracción  $(44/28) = 0.01571429$  representa el peso molecular de  $N_2O$  en relación con las moléculas de nitrógeno contenidas en el óxido nitroso ( $N_2O/N_2O-N$ ); es decir, esta expresión representa la relación de pesos moleculares del  $N_2O$ : el número 44 es la suma total de pesos moleculares de sus dos moléculas de nitrógeno que es 28 y del oxígeno, que es 16, y el número 28 es el peso molecular de  $N_2$ .

El servicio de investigación agrícola del Departamento de Agricultura de EE.UU, estimó en 1990 que 100 kg de nitrógeno aplicado como fertilizante emiten 1.84 kg de  $N_2O$ . La Agencia para la Protección Ambiental de EE.UU. (EPA, 1992) estimó un coeficiente de emisiones (CE) igual a 0.0117 t de  $N_2O$  por cada tonelada de nitrógeno aplicado, lo cual significa que 1.17% del nitrógeno aplicado como fertilizante es liberado a la atmósfera como  $N_2O$ . El coeficiente de emisiones usado por la FAO (2012) es 0.0125. El estimado por Davidson (2009) es 0.01458. Según Shcherbak *et al.* (2014) el coeficiente medio de emisiones de 1 000 mediciones en campo es igual a 0.01. El estimador aquí usado es  $CE = 0.01$ , el cual fue obtenido por Klein (2006) y reportado en las guías para el inventario de gases de efecto invernadero del Intergovernmental Panel on Climate Change.

El óxido nitroso es un gas de efecto invernadero (GEI) muy poderoso y su potencial de calentamiento global (GWP) es 310, lo cual significa que cada tonelada de óxido

Where: CF is the fertilizer consumption in tons of applied active nitrogen, CE represents the coefficient or emission factor and the fraction  $(44/28) = 0.01571429$  represents the molecular weight of  $N_2O$  in relation to the nitrogen molecules contained in the nitrous oxide ( $N_2O/N_2O-N$ ); that is, this expression represents the molecular weight ratio of  $N_2O$ : the number 44 is the total sum of molecular weights of its two nitrogen molecules which is 28 and oxygen, which is 16, and the number 28 is the molecular weight of  $N_2$

The agricultural research service of the US Department of Agriculture estimated in 1990 that 100 kg of nitrogen applied as fertilizer emit 1.84 kg of  $N_2O$ . The US Environmental Protection Agency. (EPA, 1992) estimated an emission coefficient (CE) equal to 0.0117 t of  $N_2O$  per ton of nitrogen applied, which means that 1.17% of the nitrogen applied as fertilizer is released to the atmosphere as  $N_2O$ . The coefficient of emissions used by FAO (2012) is 0.0125. The estimate by Davidson (2009) is 0.01458. According to Shcherbak *et al.* (2014) the average emission coefficient of 1000 measurements in the field is equal to 0.01. The estimator used here is  $CE = 0.01$ , which was obtained by Klein (2006) and reported in the guidelines for the greenhouse gas inventory of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Nitrous oxide is a very powerful greenhouse gas (GEI) and its global warming potential (GWP) is 310, which means that each tonne of nitrous oxide equals 310 tonnes of carbon dioxide (SEMARNAT, 2013a). According to the EPA (1992), the formula for transforming direct emissions of nitrous oxide into carbon dioxide equivalent ( $CO_2$  eq) is as follows.

$$ED(N_2O)(CO_2 \text{ eq}) = GWP[(CF)(CE)(44/28) * 10^{-6}]$$

On the other hand, the indirect emissions (EI) of nitrous oxide produced by nitrogen fertilizers are determined as follows, according to the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Klein, 2006).

$$EI(N_2O) = (CF)[(Frac_{GASF} * CE_4) + (Frac_{LEACH} * CE_5)] (44/28) * 10^{-6}$$

Where:  $Frac_{GASF}$  is the fraction of applied nitrogenous fertilizer that is volatilized in the form of ammonia ( $NH_3$ ) and in different forms of nitric oxide ( $NO_x$ );  $CE_4$  is the coefficient of indirect emissions from volatilization;

nitroso equivale a 310 toneladas de bióxido de carbono (SEMARNAT, 2013a). De acuerdo con la EPA (1992), la fórmula para transformar las emisiones directas de óxido nitroso en bióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2$  eq) es la siguiente.

$$ED(\text{N}_2\text{O})(\text{CO}_2 \text{ eq}) = \text{GWP}[(\text{CF})(\text{CE})(44/28)*10^{-6}]$$

Por otra parte, las emisiones indirectas (EI) de óxido nitroso producidas por los fertilizantes nitrogenados se determinan de la manera siguiente, de acuerdo con las guías del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (Klein 2006).

$$EI(\text{N}_2\text{O}) = (\text{CF})[(\text{Fracc}_{\text{GASF}}*\text{CE}_4) + (\text{Fracc}_{\text{LEACH}}*\text{CE}_5)](44/28)*10^{-6}$$

Donde:  $\text{Fracc}_{\text{GASF}}$  es la fracción del fertilizante nitrogenado aplicado que se volatiliza en forma de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y en distintas formas de óxido nítrico ( $\text{NO}_x$ );  $\text{CE}_4$  es el coeficiente de emisiones indirectas procedentes de la volatilización;  $\text{Fracc}_{\text{LEACH}}$  representa la cantidad del nitrógeno activo aplicado que se lixivia, y  $\text{CE}_5$  es el coeficiente de emisiones indirectas procedentes de la lixiviación. De acuerdo con los parámetros contenidos en los Cuadros 24-28 de (FAO, 2014), la expresión previa se transforma en la siguiente:

$$EI(\text{N}_2\text{O}) = (\text{CF})[(0.1*0.01) + (0.3*0.0075)](44/28)*10^{-6}$$

La fórmula que se usó para transformar las emisiones indirectas de óxido nitroso en bióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2$  eq) es la siguiente.

$$EI(\text{N}_2\text{O})(\text{CO}_2 \text{ eq}) = \text{GWP}*EI(\text{N}_2\text{O})$$

Finalmente, las emisiones totales (ET) de óxido nitroso, en unidades de  $\text{CO}_2$  eq producidas por la aplicación de fertilizantes nitrogenados, son la suma de las emisiones directas e indirectas. Es decir.

$$ET(\text{N}_2\text{O})(\text{CO}_2 \text{ eq}) = ED(\text{N}_2\text{O})(\text{CO}_2 \text{ eq}) + EI(\text{N}_2\text{O})(\text{CO}_2 \text{ eq})$$

### Fuentes estadísticas

El cálculo de las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  en términos de  $\text{CO}_2$  eq para México estuvo basada en la dinámica de consumo nacional aparente de los fertilizantes nitrogenados expresado en toneladas de nitrógeno activo, durante el periodo

$\text{Fracc}_{\text{LEACH}}$  represents the amount of active nitrogen applied that is leached, and  $\text{CE}_5$  is the coefficient of indirect emissions from leaching. According to the parameters contained in Tables 24-28 of (FAO, 2014), the previous expression is transformed into the following.

$$EI(\text{N}_2\text{O}) = (\text{CF})[(0.1*0.01) + (0.3*0.0075)](44/28)*10^{-6}$$

The formula used to transform the indirect emissions of nitrous oxide into carbon dioxide equivalent ( $\text{CO}_2$  eq) is as follows.

$$EI(\text{N}_2\text{O})(\text{CO}_2 \text{ eq}) = \text{GWP}*EI(\text{N}_2\text{O})$$

Finally, the total emissions (ET) of nitrous oxide, in units of  $\text{CO}_2$  eq produced by the application of nitrogen fertilizers, are the sum of direct and indirect emissions. That is to say:

$$ET(\text{N}_2\text{O})(\text{CO}_2 \text{ eq}) = ED(\text{N}_2\text{O})(\text{CO}_2 \text{ eq}) + EI(\text{N}_2\text{O})(\text{CO}_2 \text{ eq})$$

### Statistical sources

The calculation of  $\text{N}_2\text{O}$  emissions in terms of  $\text{CO}_2$  eq for Mexico was based on the apparent national consumption dynamics of nitrogen fertilizers expressed in tons of active nitrogen, during the period 1980-2014, for which the base of data FAOSTAT (2016). The following statistical sources were also reviewed: 1) the National Inventory of greenhouse gas emissions (INEGEI) for the period 1990-2010; 2) the greenhouse gas (GEI) inventory of agriculture 1990-2010; 3) the reports of the fourth national communication; 4) the reports of the Environmental Protection Agency of the United States (EPA, 1992); 5) the Statistical Yearbook of the Economic Commission for Latin America (CEPAL, 2011); 6) the agrifood information system for consultation (SIACON) (1980-2012); and 7) the statistics of carbon market facilitators, such as Thomson Reuters Point Carbon, among others.

The documents consulted to obtain statistics were the following: a) the distribution of climate change among the sectors of the Mexican economy (SEMARNAT, 2009a; 2013a), where the impact of polluting gas emissions on the production of 79 branches is evaluated economic and b) the economic estimate of the interrelations of climate change with agriculture and land degradation (SEMARNAT, 2009b; 2013).



1980-2014, para lo cual se utilizó la base de datos FAOSTAT (2016). También se revisaron las siguientes fuentes estadísticas: 1) el inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero (INEGEI) del período 1990-2010; 2) el inventario de gases efecto invernadero (GEI) de la agricultura 1990- 2010; 3) los reportes de la cuarta comunicación nacional; 4) los reportes de la Environmental Protection Agency de EE.UU. (EPA, 1992); 5) el anuario estadístico de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL, 2011); 6) el sistema de información agroalimentaria de consulta (SIACON) (1980-2012); y 7) las estadísticas de facilitadores del mercado del carbono, como Thomson Reuters Point Carbon, entre otras.

Los documentos consultados para obtener estadísticas fueron los siguientes: a) la distribución del cambio climático entre los sectores de la economía mexicana (SEMARNAT, 2009a; 2013a), donde se evalúa el impacto de las emisiones de gases contaminantes en de la producción de 79 ramas económicas; y b) la estimación económica de las interrelaciones del cambio climático con la agricultura y la degradación de las tierras (SEMARNAT, 2009b; 2013).

## Resultados

Los estimadores de las emisiones de óxido nitroso producidas por las aplicaciones de fertilizantes químicos nitrogenados en la agricultura mexicana se presentan en los Cuadros 1 y 2.

Los estimadores de las emisiones de óxido nitroso expresadas en unidades equivalentes a bióxido de carbono producidas por las aplicaciones de fertilizantes químicos nitrogenados en la agricultura mexicana, se presentan en los Cuadros 3 y 4.

## Discusión

Los resultados presentados en los Cuadros 1 a 4 sobre el consumo de nitrógeno activo son más verosímiles, cercanos a la realidad y fidedignos, que los reportados por SEMARNAT (2013a) y por FAOSTAT (2016), debido a los procedimientos estadísticos inadecuados que aplicaron. El supuesto que los fertilizantes sintéticos nitrogenados tienen en promedio 34.5% de nitrógeno activo, es falso, porque es una simple media aritmética del contenido de N en los fertilizantes nitrogenados,

## Results

The estimators of the nitrous oxide emissions produced by the applications of nitrogenous chemical fertilizers in Mexican agriculture are presented in Tables 1 and 2.

### Cuadro 1. Consumo aparente de fertilizantes nitrogenados en toneladas de N activo y emisiones de N<sub>2</sub>O en México, 1980-1996.

**Table 1. Apparent consumption of nitrogen fertilizers in tons of active N and emissions N<sub>2</sub>O in Mexico, 1980-1996.**

Año	N activo	Emisiones de óxido nitroso N <sub>2</sub> O (Gg)		
		Directas	Indirectas	Total
1980	904 330	14.2109	4.618543	18.829443
1981	1 111 698	17.46954	5.677601	23.147141
1982	1 180 600	18.552286	6.029493	24.581779
1983	1 087 900	17.095571	5.556061	22.651632
1984	1 193 200	18.750286	6.093843	24.844129
1985	1 262 600	19.840857	6.448279	26.289136
1986	1 324 900	20.819857	6.766454	27.586311
1987	1 378 080	21.655543	7.038051	28.693594
1988	1 269 100	19.943	6.481475	26.424475
1989	1 292 800	20.315429	6.602514	26.917943
1990	1 346 300	21.156143	6.875746	28.031889
1991	1 155 200	18.153143	5.899771	24.052914
1992	1 230 000	19.328571	6.281786	25.610357
1993	1 193 000	18.747143	6.092821	24.839964
1994	1 182 400	18.580571	6.038686	24.619257
1995	1 049 000	16.484286	5.357393	21.841679
1996	1 207 400	18.973429	6.166364	25.139793

The estimates of nitrous oxide emissions expressed in units equivalent to carbon dioxide produced by the applications of nitrogenous chemical fertilizers in Mexican agriculture are presented in Tables 3 and 4.

## Discussions

The results presented in Tables 1 to 4 on the consumption of active nitrogen are more credible, close to reality and reliable, than those reported by SEMARNAT (2013a) and by FAOSTAT (2016), due to the inadequate statistical procedures they applied. The assumption that nitrogenous

lo correcto es calcular la media ponderada del contenido de N del consumo nacional aparente de los distintos fertilizantes nitrogenados, tomando en cuenta el porcentaje distinto de N que tiene cada uno de los fertilizantes y las cantidades consumidas de cada producto. Por ello, las estimaciones del Cuadro A.3.3 de SEMARNAT (2013a) son erróneas.

**Cuadro 2. Consumo aparente de fertilizantes nitrogenados en toneladas de N activo y emisiones de óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) en México, 1997-2014.**

**Table 2. Apparent consumption of nitrogen fertilizers in tons of active N and nitrous oxide emissions (N<sub>2</sub>O) in Mexico, 1997-2014.**

Año	N activo	Emisiones de óxido nítrico N <sub>2</sub> O (Gg)		
		Directas	Indirectas	Total
1997	1 197 000	18.81	6.11325	24.92325
1998	1 333 000	20.947143	6.807821	27.754964
1999	1 300 000	20.428571	6.639286	27.067857
2000	1 342 000	21.088571	6.853786	27.942357
2001	1 374 100	21.593	7.017725	28.610725
2002	1 176 400	18.486286	6.008043	24.494329
2003	886 124	13.924806	4.525562	18.450368
2004	907 137	14.25501	4.632878	18.887888
2005	915 801	14.391159	4.677127	19.068285
2006	1 057 564	16.618863	5.40113	22.019993
2007	1 141 863	17.943561	5.831657	23.775219
2008	939 477	14.76321	4.798043	19.561253
2009	856 546	13.460009	4.374503	17.834511
2010	823 145	12.935136	4.203919	17.139055
2011	837 502	13.160746	4.277242	17.437988
2012	989 000	15.541429	5.050964	20.592393
2013	1 001 838	15.743169	5.11653	20.859698
2014	1 097 914	17.252934	5.607204	22.860138

Después de aplicar el filtro Hodrick-Prescott (1997) a la serie temporal del consumo aparente de fertilizantes químicos nitrogenados en México, se observó que la tendencia secular de esa variable creció de 1980 a 1989 -año en el que se considera el inicio real más no formal del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN)- y empezó a decrecer a partir de 1990, a partir del año 2012 empezó a crecer nuevamente. También se observó que la serie del consumo aparente de fertilizantes sintéticos nitrogenados fluctúa irregularmente en relación con esa tendencia secular. Como era de esperarse, las correspondientes series temporales de las emisiones de óxido nítrico y la expresada

synthetic fertilizers have an average of 34.5% of active nitrogen, is false, because it is a simple arithmetic mean of the N content in the different nitrogen fertilizers, being correct to calculate a weighted average of the N content of the national consumption apparent of the different nitrogen fertilizers, taking into account the different percentage of N that each of the nitrogen fertilizers has and the quantities consumed of each product. For this reason, the estimates in Table A.3.3 of SEMARNAT (2013a) are erroneous.

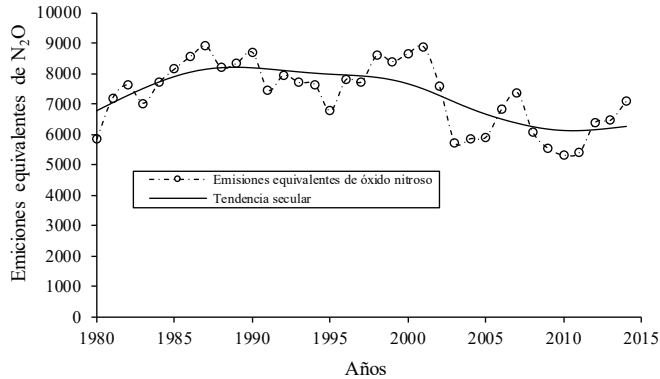
**Cuadro 3. Consumo aparente de fertilizantes nitrogenados en toneladas de N activo y emisiones de óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) en unidades de CO<sub>2</sub> eq en México, 1980-1996.**

**Table 3. Apparent consumption of nitrogen fertilizers in tons of active N and nitrous oxide emissions (N<sub>2</sub>O) in units of CO<sub>2</sub> eq in Mexico, 1980-1996.**

Año	N activo	Emisiones de CO <sub>2</sub> eq (Gg)		
		Directas	Indirectas	Total
1980	904 330	4 405.379	1 431.748	5 837.127
1981	1 111 698	5 415.557	1 760.056	7 175.614
1982	1 180 600	5 751.209	1 869.143	7 620.351
1983	1 087 900	5 299.627	1 722.379	7 022.006
1984	1 193 200	5 812.589	1 889.091	7 701.68
1985	1 262 600	6 150.666	1 998.966	8 149.632
1986	1 324 900	6 454.156	2 097.601	8 551.756
1987	1 378 080	6 713.218	2 181.796	8 895.014
1988	1 269 100	6 182.33	2 009.257	8 191.587
1989	1 292 800	6 297.783	2 046.779	8 344.562
1990	1 346 300	6 558.404	2 131.481	8 689.886
1991	1 155 200	5 627.474	1 828.929	7 456.403
1992	1 230 000	5 991.857	1 947.354	7 939.211
1993	1 193 000	5 811.614	1 888.775	7 700.389
1994	1 182 400	5 759.977	1 871.993	7 631.97
1995	1 049 000	5 110.129	1 660.792	6 770.92
1996	1 207 400	5 881.763	1 911.573	7 793.336

After applying the Hodrick-Prescott filter (1997) to the time series of apparent consumption of nitrogen based chemical fertilizers in Mexico, it was observed that the secular trend of that variable grew from 1980 to 1989 -this year in which the real beginning is considered. The most non-formal of the North American Free Trade Agreement (NAFTA)- and began to decrease from 1990, from the year 2012 began to grow again. It was also observed that the series of the apparent consumption of nitrogenous synthetic fertilizers

en unidades equivalentes a bióxido de carbono tienen un comportamiento análogo, como se observa en la siguiente Figura 1.



**Figura 1. Emisiones de óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) en unidades de CO<sub>2</sub> eq en México, 1980-2014.**

**Figure 1. Emissions of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) in units of CO<sub>2</sub> eq in Mexico, 1980-2014.**

## Conclusiones

El uso de fertilizantes químicos nitrogenados en la agricultura mexicana es ineficiente económica, social y ambientalmente. Se deben cuantificar los costos de las emisiones de óxido nítrico producidas por los fertilizantes químicos nitrogenados y definir, con base en ello, una política fiscal-ambiental eficiente para abatimiento de emisiones.

El gobierno de México debe incluir en sus estrategias y programas de desarrollo la realización de estudios de impacto económico, social y ambiental, para identificar y cuantificar los costos de las externalidades negativas, generadas por las distintas actividades productivas, con el fin de instrumentar soluciones óptimo-económicas que también sean eficientes desde el punto de vista del bienestar social y de la necesidad de adaptación al cambio climático.

En los últimos 30 años los programas de altos rendimientos se ha promovido un uso excesivo de fertilizantes, más allá de la dosis óptima- económica de fertilización y además, no se ha considerado el costo de las emisiones de óxido nítrico producidas por los fertilizantes químicos nitrogenados. En general, se observa un proceso de sobre-intensificación de

fluctuantes irregularmente en relación con esta tendencia secular. Como se esperaba, la correspondiente serie de tiempo de emisiones de óxido nítrico y que expresadas en unidades equivalentes a dióxido de carbono tienen un comportamiento análogo, como se muestra en la siguiente Figura 1.

**Cuadro 4. Consumo aparente de fertilizantes nitrogenados en toneladas de N activo y emisiones de óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) en unidades de CO<sub>2</sub> eq en México, 1997-2014.**

**Table 4. Apparent consumption of nitrogen fertilizers in tons of active N and nitrous oxide emissions (N<sub>2</sub>O) in units of CO<sub>2</sub> eq in Mexico, 1997-2014.**

Año	N activo	Emisiones de N <sub>2</sub> O en CO <sub>2</sub> eq (Gg)		
		Directas	Indirectas	Total
1997	1 197 000	5 831.1	1 895.108	7 726.208
1998	1 333 000	6 493.614	2 110.425	8 604.039
1999	1 300 000	6 332.857	2 058.179	8 391.036
2000	1 342 000	6 537.457	2 124.674	8 662.131
2001	1 374 100	6 693.83	2 175.495	8 869.325
2002	1 176 400	5 730.749	1 862.493	7 593.242
2003	886 124	4 316.69	1 402.924	5 719.614
2004	907 137	4 419.053	1 436.192	5 855.245
2005	915 801	4 461.259	1 449.909	5 911.168
2006	1 057 564	5 151.847	1 674.35	6 826.198
2007	1 141 863	5 562.504	1 807.814	7 370.318
2008	939 477	4 576.595	1 487.393	6 063.989
2009	856 546	4 172.603	1 356.096	5 528.699
2010	823 145	4 009.892	1 303.215	5 313.107
2011	837 502	4 079.831	1 325.945	5 405.776
2012	989 000	4 817.843	1 565.799	6 383.642
2013	1 001 838	4 880.382	1 586.124	6 466.506
2014	1 097 914	5 348.41	1 738.233	7 086.643

## Conclusions

The use of nitrogenous chemical fertilizers in Mexican agriculture is inefficient economically, socially and environmentally. The costs of nitrous oxide emissions produced by nitrogenous chemical fertilizers must be quantified and, based on this, an efficient fiscal-environmental policy for abatement of emissions must be defined.

la agricultura en las regiones más avanzadas de México, lo cual no sólo es una evidencia de ineficiencia y desperdicio sino que; además, muestra una orientación irresponsable con respecto a la sociedad y a su bienestar.

## Literatura citada

- CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 2011. Anuario estadístico de América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. Santiago de Chile. 222 p.
- Cline, W. R. 2008. Global warming and agriculture. Finance y development. March. 1-33 pp.
- Davidson, E. A. 2009. The contribution of manure and fertilizer nitrogen to atmospheric nitrous oxide since 1860. *Nature Geoscience* 2:659-662.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2013. Programa especial de cambio climático 2014-2018. 28 de abril. México, D. F. 96 p.
- EJehle, G. A. and Reny, P. J. 2011. *Advanced microeconomic theory*. Prentice Hall. New York. 656 p.
- EPA (Environmental Protection Agency). 1992. State workbook: methodologies for estimating greenhouse gas emissions and the inventory of US. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-1994. Washington, D. C. 344 p.
- FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura de la Organización de las Naciones Unidas). 2002. *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*. Naciones Unidas. Roma. 97 p. [ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/ESPIM/CD-ROM/documents/3B\\_s.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/ESPIM/CD-ROM/documents/3B_s.pdf).
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2014. *Estimating greenhouse gas emissions in agriculture*. United Nations. Rome. 181 p.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database). 2016. *Fertilizers database*. United Nations. Rome. <http://faostat.fao.org/beta/en/#data/RF>.
- Hodrick, R. J. and Prescott, E. C. 1997. Postwar US business cycles: an empirical investigation. *J. Money Credit and Banking*. 29(1):1-16.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 2006. *Inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero 1990-2002*. México, D. F. 157 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014a. *Climate change 2014: mitigation of climate change*. Fifth Assessment Report. Cambridge University Press. New York. 1435 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014b. *Greenhouse gas emissions accelerate despite reduction efforts*. IPCC press released on April 13, 2014. Berlin. 3 p.
- Klein, C. 2006. IPCC. *Guidelines for national greenhouse gas inventories*. 4(11):11-54.
- MasColell, A.; Whinston, M. D. and Green, J. R. 1995. *Microeconomic theory*. Oxford University Press. Cambridge, England. 981 p.
- Oak Ridge National Laboratory. 2015. *Global, regional, and national fossil- fuel CO<sub>2</sub> emissions, 1970-2012*. Carbon dioxide information analysis center. Environmental Sciences Division. US. Department of Energy. Oak Ridge, Tennessee. United States. [http://cdiac.ornl.gov/CO2\\_Emission/timeseries/global](http://cdiac.ornl.gov/CO2_Emission/timeseries/global).

The Mexican government should include economic, social and environmental impact studies in its strategies and development programs to identify and quantify the costs of negative externalities, generated by the different productive activities, in order to implement optimum-economic solutions that are also efficient from the point of view of social welfare and the need to adapt to climate change.

In the last 30 years in the programs of high yields an excessive use of fertilizers has been promoted, beyond the optimum-economical dose of fertilization and in addition, the cost of nitrous oxide emissions produced by nitrogen chemical fertilizers has not been considered. In general, there is a process of over-intensification of agriculture in the most advanced regions of Mexico, which is not only evidence of inefficiency and waste, but also shows an irresponsible orientation towards society and its well-being.

*End of the English version*



- Ruiz, P. 2011. Estimación de los costos relativos de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ramas de la economía mexicana. *El trimestre económico*. 27(1):173-191.
- Sachs, J. 2008. *Common wealth: Economics for a crowded planet*. The Penguin Press. New York. 400 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009a. *Distribución de los costos del cambio climático entre los sectores de la economía mexicana un enfoque de insumo producto*. México, D. F. 88 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009b. *Impacto del cambio climático en las tierras y sus características*. México, D. F. 89 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. *Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40*. Primera edición. México, D. F. 64 p.
- SEMARNAT-INECC (Secretaría del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales)-(Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2013. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2010*. México, D. F. 186 p.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013a. *Inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero 1990-2010*. México, DF. 384 p.
- Shcherbak, I.; Millara, N. and Robertson, G. P. 2014. Global meta-analysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions to fertilizer nitrogen. *Proceedings of the National Academy of Science*. 24(25):9199-9204.

Uzawa, H. 2010. Global warming, carbon taxes and international fund for atmospheric stabilization. Initiative for policy dialogue. Climate Task Force Meeting, University of Manchester. Manchester, UK. 31 p.

World Bank. 2013. Environment: 3.8 world development indicators: energy dependency, efficiency and carbon dioxide emissions. Washington, DC. <http://wdi.worldbank.org/table/3.8>.