

IMPACTOS Y REGULACIONES AMBIENTALES DEL ESTIÉRCOL GENERADO POR LOS SISTEMAS GANADEROS DE ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA

ENVIRONMENTAL REGULATIONS AND IMPACT OF MANURE GENERATED BY LIVESTOCK OPERATIONS IN SOME AMERICAN COUNTRIES

Juan M. Pinos-Rodríguez^{1*}, Juan C. García-López¹, Luz Y. Peña-Avelino², Juan A. Rendón-Huerta², Cecilia González-González², Flor Tristán-Patiño²

¹Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, ²Programa Multidisciplinario de Postgrado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). 78377, Altair No. 200., Fraccionamiento del Llano, San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. (jpinos@uaslp.mx).

RESUMEN

El estiércol generado en los sistemas ganaderos puede provocar impactos ambientales negativos si no existe un control en el almacenamiento, el transporte o la aplicación, debido a la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera, y la acumulación de micro y macro nutrientes en el suelo y en los cuerpos hídricos superficiales. En EE.UU. hay legislaciones específicas para el manejo y el depósito de excretas animales que impacten cuerpos de agua, suelo y atmósfera, las cuales son supervisadas y certificadas por la agencia de protección ambiental (EPA). En Canadá las regulaciones para manejo y depósito de excretas animales no son menos rigurosas. En Argentina, Chile, Colombia y México, la regulación y vigilancia gubernamental sobre el uso y manejo de excretas animales es escasa y confusa, ya que sólo se especifican ciertas normas sobre descargas de contaminantes al agua, restando importancia a las emisiones a la atmósfera y suelo, y sin especificaciones claras relacionadas con excretas de ganado.

Palabras clave: estiércol, regulaciones ambientales, ganadería.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento continuo de la población humana mundial influye en el aumento de la producción de alimentos. Del alimento generado por el sector agrícola, 40 % es de origen animal. Algunos grupos ambientalistas consideran que la industria pecuaria tiene gran responsabilidad en el calentamiento global por la generación de

ABSTRACT

Manure generated by livestock operations can cause negative impacts on the environment if there is no control of its storage, transport or application. Manure emits greenhouse gases into the atmosphere, and micro and macro nutrients accumulate in soil and bodies of surface water. Today, in the USA specific legislation exists for management and deposition of animal excreta that impact bodies of water, the soil and the atmosphere, which is supervised and certified by the Environmental Protection Agency (EPA). In Canada the regulations for management and deposition of animal manure are no less rigorous. In Argentina, Chile, Colombia and México regulation and government vigilance of the use and management of animal manure is scarce and confusing, specifying only certain norms for discharges of pollutants into water, while giving less importance to emissions into the atmosphere and soil, and there are no clear specifications related to animal manure.

Key words: manure, environmental regulation, livestock husbandry.

INTRODUCTION

The continuous growth of the world's human population impacts the current increase in food production. Of the food generated by the agricultural sector, 40 % originates from animals. Some groups of environmentalists consider that the livestock industry is largely responsible for global warming through the generation of pollutants that are dumped onto soil, into water and emitted into the atmosphere. Governments, mainly of industrialized countries and some developing countries, have established regulations for the use, management

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: noviembre, 2011. Aprobado: abril, 2012.

Publicado como ENSAYO en *Agrociencia* 46: 359-370. 2012.

contaminantes vertidos al suelo, agua y atmósfera. Los gobiernos, principalmente de los países industrializados y algunos en desarrollo, han establecido regulaciones sobre uso, manejo y tratamiento de excretas ganaderas para que su impacto ambiental sea el menor posible. El objetivo de este ensayo fue analizar las regulaciones correspondientes a emisiones por estiércol generado en las operaciones de ganadería intensiva en EE.UU., Canadá, Argentina, Chile, Colombia y México.

Impactos ambientales del estiércol

Aunque las enfermedades humanas ocasionadas por excretas animales no son frecuentes, en granjas avícolas los trabajadores pueden presentar asma, pulmonía y enfermedades oculares (irritación) cuando la ventilación en las granjas es deficiente. Otro riesgo de enfermedades para la población humana es el consumo de agua contaminada con: 1) estiércol conteniendo bacterias patógenas y la más común es *Escherichia coli* que causa diarrea y gases abdominales (LeJeune y Wetzel, 2007); 2) contenidos altos de nitratos que reducen la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, conocida como metahemoglobinemia (Miner *et al.*, 2000); 3) hormonas, principalmente estrógenos, relacionadas con una reducción en la cantidad de esperma en humanos (Sharpe y Skakkebaek, 1993). El impacto ambiental como generación de gases de efecto invernadero, eutrofización de cuerpos de agua y sobrecarga de nutrientes en suelos de cultivo ocasionado por excretas de ganado, dependerá en gran medida de la especie pecuaria, del sistema de alimentación y del manejo del estiércol.

Los estudios comparativos de impacto ambiental entre sistemas de producción animal extensivos y tecnificados son escasos. Thomassen *et al.* (2008) sugieren que los sistemas de producción de leche de tipo orgánico impactan menos al agua y al suelo, pero emiten más gases de efecto invernadero, comparados con los sistemas de producción de leche convencionales. Sin embargo, los resultados son inciertos porque en su mayoría se basan en el concepto de cantidad y no de eficiencia. Por ejemplo, los contaminantes de la cadena productiva de la industria lechera se deben evaluar considerando aquellos provenientes de la producción de cultivos y granos, producción y transporte de leche, procesamiento,

and treatment of livestock manure to reduce environmental impact to as little as possible. The objective of this paper was to analyze the regulations relative to emissions from manure generated in intensive livestock operations in the USA, Canada, Argentina, Chile, Columbia and México.

Impacts of manure on the environment

Even though human diseases caused by animal excreta are not frequent, in poultry operations workers can develop asthma, pneumonia and eye diseases (irritation) when ventilation in the installations is deficient. Another risk of disease for humans is drinking water contaminated with: 1) manure containing pathogenic bacteria, the most common of which is *Escherichia coli*, a cause of diarrhea and abdominal gases (LeJeune and Wetzel, 2007); 2) high contents of nitrates, which reduce the blood's capacity to transport oxygen, a disorder known as methemoglobinemia (Miner *et al.*, 2000); and 3) hormones, mainly estrogens, related to a reduction in human sperm count (Sharpe and Skakkebaek, 1993). Environmental impact, such as generation of greenhouse gases, eutrophication of bodies of water and overcharge of nutrients in crop soils caused by livestock excreta, will depend largely on the livestock species, feeding system and management of the manure.

Studies that compare the environmental impact of extensive animal production systems and those of intensive technological systems are scarce. Thomassen *et al.* (2008) suggest that organic-type dairy production systems have less impact on water and soil but emit more greenhouse gases compared with conventional dairy production systems. However, the results are uncertain because they are based mostly on the concept of quantity and not efficiency. For example, the pollutants from the production chain of the dairy industry should be evaluated considering those from the production of grains and other crops, production and transport of milk, processing, packaging, distribution, retail sales, consumption and elimination.

The application of manure on croplands provides ecological benefits. Nutrients such as nitrogen and phosphorus are deposited on the soil; nitrogen from manure is found mainly in the form of ammonia, which plants use as a nutrient

empaques, distribución, venta al detalle, consumo y eliminación.

La aplicación de estiércol en tierras de cultivo proporciona un beneficio ecológico al depositar nutrientes como nitrógeno y fósforo en el suelo; el nitrógeno del estiércol se encuentra principalmente en forma de amoníaco y las plantas lo usan como nutriente (Miner *et al.*, 2000). A pesar de ello, la valoración del estiércol como fertilizante orgánico, comparada con la de fertilizantes químicos, es mínima. Por sus características orgánicas, el estiércol aumenta la capacidad de retención de agua, el intercambio catiónico y la filtración de agua al subsuelo, y reduce la erosión. Además, la fracción líquida del estiércol ayuda a disminuir las pérdidas de nitrógeno, carbono y azufre en sus formas gaseosas, en el suelo (Capulin *et al.*, 2001), así puede reducir el uso de fertilizantes químicos y, por tanto, el impacto ambiental (Bouwman y Booi, 1998).

Como se indicó, los constituyentes inorgánicos de importancia ambiental contenidos en la excreta son nitrógeno y fósforo, pero es importante conocer sus concentraciones porque el método de fertilización, la combinación con otros fertilizantes, la velocidad de descomposición y sus posibles factores de riesgo como contaminantes, dependerán de ellos (IPCC, 2006). Según ASABE (2005), los volúmenes promedio de estiércol fresco generados cada día son 0.102 kg/pollo de engorda, 0.270 kg/pavo, 4.7 kg/cerdo de engorda, 22 kg/bovino de engorda, 38 kg/vaca seca y 68 kg/vacas lactante.

El Cuadro 1 y 2 están los resultados de estudios de composición del estiércol e incluyen la ingesta, retención y excreción de nitrógeno y fósforo, así como la excreción de otros nutrientes al suelo (de Wit *et al.*, 1997). La digestión anaeróbica del estiércol produce gases que en su mayoría son metano (60 %), bióxido de carbono (39 %), y trazas (0.2 %) de óxido nitroso (Bekkering *et al.*, 2010). El metano es un gas no tóxico, un biogás que contribuye significativamente al efecto invernadero. A inicios de la década de 1970, creció el interés en el uso de biofermentadores para generar y capturar biogás para usar como biocombustible (NAS, 2001). Un proceso de biofermentación de las excretas reduce 66 % las emisiones de metano y óxido nitroso (Chadwick *et al.*, 2011) y 98 % los olores (Massé *et al.*, 2011), y resulta en beneficios ambientales y sociales.

(Miner *et al.*, 2000). Despite this, the value given to manure as an organic fertilizer, compared with that of chemical fertilizers, has been minimal. Because of its organic characteristics, manure increases the soil's capacity for water retention, cationic exchange, and filtration of water into the subsoil, and it reduces erosion. Moreover, the liquid fraction of manure helps to decrease losses of gaseous nitrogen, carbon, and sulfur in the soil (Capulin *et al.*, 2001), thus fertilizing with manure can reduce the use of chemical fertilizers, decreasing, therefore, environmental impact. (Bouwman and Booi, 1998).

As mentioned above, the environmentally important inorganic constituents contained in excreta are nitrogen and phosphorus, but it is important to determine their concentrations since the method of fertilization, the combination with other fertilizers, the rate of decomposition and possible risk factors as pollutants will depend on it (IPCC, 2006). According to ASABE (2005), average volumes of fresh manure generated daily are 0.102 kg/broiler, 0.27 kg/turkey, 4.7 kg/finishing pig, 22 kg/finishing cattle, 38 kg/dry cow, and 68 kg/lactating cow.

Tables 1 and 2 show the results of manure composition, including, intake, retention and excretion of nitrogen and phosphorus as well as other soil nutrients (de Wit *et al.*, 1997). Anaerobic digestion of the manure produces gases, which are mostly methane (60 %), carbon dioxide (39 %) and traces (0.2 %) of nitrous oxide (Bekkering *et al.*, 2010). Methane is a nontoxic gas, a biogas that significantly contributes to the greenhouse effect. In the early 1970s, there was growing interest in the use of biofermenters to generate and capture biogás for use as a biofuel (NAS, 2001). A process of biofermentation of excreta reduces emissions of methane and nitrous oxide by 66 % (Chadwick *et al.*, 2011) and 98 % of the odors (Massé *et al.*, 2011), resulting in benefits for the environment and society.

In the soil

The soil can be seriously affected by manure if it contains high concentrations of nutrients (nitrogen and phosphorus), pathogenic microorganisms (*E. coli*), antibiotics, and compounds that interact with the endocrine system (hormones, steroids,

Cuadro 1. Ingesta, retención y excreción (kg año^{-1}) de nitrógeno y fósforo por especies pecuarias.
Table 1. Intake, retention, and excretion (kg year^{-1}) of nitrogen and phosphorus by livestock species.

Especie	Consumo		Retención		Excreción	
	N	P	N	P	N	P
Bovino lechero [†]	163.7	22.6	34.1	5.9	129.6	16.7
Bovino lechero [‡]	39.1	6.7	3.2	0.6	35.9	6.1
Cerda [†]	46.0	11.0	14.0	3.0	32.0	8.0
Cerda [‡]	18.3	5.4	3.2	0.7	15.1	4.7
Cerdo en crecimiento [†]	20.0	3.0	6.0	1.3	14.0	1.7
Cerdo en crecimiento [‡]	9.8	2.9	2.7	0.6	7.1	2.3
Gallina ponedora [†]	1.2	0.3	0.4	0.1	0.8	0.2
Gallina ponedora [‡]	0.6	0.2	0.1	0.1	0.5	0.1
Pollo [†]	1.1	0.2	0.5	0.1	0.6	0.1
Pollo [‡]	0.4	0.1	0.1	0.0	0.3	0.1

[†]Sistemas tecnificado. [‡]Sistemas con baja productividad. Fuente: de Wit *et al.* (1997).

Cuadro 2. Excreción de nutrientes en sistemas confinados.
Table 2. Excretion of nutrients in confined systems.

Especie	Nutrientes $\text{kg } 1000 \text{ kg}^{-1}$ estiércol				
	K	Ca	Mg	Na	Mn
Bovino lechero [†]	3.7-6.9	1.2-6.5	1.6-3.0	-	0.05-0.11
Bovino lechero [‡]	4.6	1.5	0.6	0.7	-
Cerda [†]	3.6	4.6	1.2	0.6	-
Cerda [‡]	2.9	6.4	1.5	0.7	-
Cerdo en crecimiento [†]	6.8	3.5	1.5	1.0	-
Cerdo en crecimiento [‡]	-	-	-	-	-
Gallina de postura [†]	4.9-11.0	-	1.7-2.1	-	-
Gallina de postura [‡]	5.1	12.8	1.2	0.8	-
Pollo [†]	17.8	14.7	3.6	3.0	-

[†]Sistemas de alta productividad. [‡]Sistemas con bajas productividad. Fuente: de Wit *et al.* (1997).

En suelo

El suelo puede ser seriamente afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de nutrientes (nitrógeno, fósforo), microorganismos patógenos (*E. coli*), antibióticos, y compuestos que interactúen con el sistema endócrino (hormonas esteroidales, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas) (Powers, 2009). En países donde las regulaciones ambientales son laxas o no existen, el estiércol se aplica al suelo continuamente, excediendo la capacidad de captación de nutrientes por los cultivos (Dietz y Hoogervorst, 1991). Esta sobrecarga de nutrientes en el suelo

phytoestrogens, pesticides and herbicides) (Powers, 2009). In countries where environmental regulations are lax or do not exist, manure is applied to the soil continuously, exceeding the crops' capacity to absorb the nutrients (Dietz and Hoogervorst, 1991). This nutrient overload causes infiltration by runoff and leaching into surface and underground water (Miner *et al.*, 2000). For example, fresh cattle manure spread over cropland contains nitrogen in the form of nitrates and nitrites; the accumulation of these oxidized compounds in the crop can cause intoxication of the livestock that consumes it (Nocholson, 2007).

ocasiona su infiltración por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas (Miner *et al.*, 2000). Por ejemplo, las excretas bovinas frescas esparcidas en áreas de cultivo contienen nitrógeno en forma de nitratos y nitritos; la forma de acumulación de estos compuestos oxidados en el cultivo puede causar intoxicación en el ganado que los consuma (Nicholson, 2007).

En agua

La expansión de la agricultura y ganadería intensiva se han establecido mayoritariamente en áreas con escasas de agua. El agua es contaminada por excretas ganaderas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas, e indirectamente por escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo (EPA, 2006). El nitrógeno es abundante en el estiércol, y está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través del suelo, mientras que el fósforo del estiércol está relacionado con la contaminación de aguas superficiales (Miller, 2001; Reddy *et al.*, 1999).

Debido a que el fósforo en el agua no se considera directamente tóxico, no se han establecido niveles estándares en el agua potable. Sin embargo, el fósforo tiene un impacto ambiental importante en los recursos hídricos porque vertido directamente en las corrientes o aplicado en dosis excesivas en el suelo, estimula el proceso de eutrofización el cual aumenta las plantas acuáticas, disminuye el oxígeno disuelto y varía el pH, afectando así la calidad del agua (EPA, 2000). Aunque no se ha reportado la concentración de nitrógeno y fósforo en los distintos cuerpos de agua, la cantidad de ellos lixiviados o arrastrados a mantos acuíferos depende de la precipitación (duración), la percolación (los suelos arenosos presentan altas tasas de percolación) y la pendiente del suelo por donde se desplazan las escorrentías (Nelson, 1999).

En el aire

Las descargas a la atmósfera provenientes del estiércol incluyen polvo, olores y gases producto de la digestión anaeróbica y descomposición aeróbica. El polvo se presenta principalmente en operaciones ganaderas en confinamiento en zonas áridas. Cuando

In water

Expansion of agriculture and intensive livestock production have occurred mostly in areas where water is scarce. Water is polluted by livestock excreta directly through runoff, infiltration and deep percolation under the operations, and indirectly by runoff and surface flows from grazing areas and cropland (EPA, 2006). Nitrogen is abundant in manure and is related to pollution of underground water by nitrate leaching through the soil, while the phosphorus in the manure is related to surface water pollution (Miller, 2001; Reddy *et al.*, 1999).

Because phosphorus in water is not considered directly toxic, standard levels in drinking water have not been established. However, phosphorus has major environmental impact on water resources because when dumped directly in currents or applied in excessive amounts on the soil, it stimulates the process of eutrophication, which increases the growth of aquatic plants, decreases dissolved oxygen, and varies pH, thus affecting water quality (EPA, 2000). Although concentrations of nitrogen and phosphorus have not been reported in different bodies of water, the amount of these leached or washed into water tables depends on rainfall (duration), percolation (sandy soils have high rates of percolation), and slope of the terrain over which runoff occurs (Nelson, 1999).

In the air

The discharges into the atmosphere from manure include dust, odors and gases resulting from anaerobic digestion and aerobic decomposition. Dust is present mainly in confined livestock operations located in dry areas. When vegetation is completely removed, a layer of manure is formed and movements of the cattle produce enormous clouds of dust. Odor is not a health risk, but most people in urban zones find the odors emitted by the manure unacceptable (Miner *et al.*, 2000).

Major among the pollutants released by manure into the atmosphere is ammonia, as well as other greenhouse gases (GHG), including methane and nitrous oxide. The overall emissions of enteric methane, manure methane, and nitrous oxide are 113, 40 and 10 TgCO₂Eq (EPA, 2005). Of the total world production, México contributes less than

la vegetación es completamente removida, se forma una capa de estiércol y el movimiento del ganado produce enormes nubes de polvo. El olor no presenta riesgos a la salud, pero la mayoría de la gente encuentra inaceptable los olores emitidos por el estiércol en zonas urbanas (Miner *et al.*, 2000).

Entre los contaminantes liberadas por el estiércol hacia la atmósfera destaca el amoníaco, así como otros gases de efecto invernadero (GEI) que incluyen metano y óxido nitroso. Las emisiones globales de metano entérico, metano de estiércol y de óxido nitroso son 113, 40 y 10 TgCO₂Eq (EPA, 2005). México contribuye con menos de 0.04 % del metano y menos de 0.008 % de óxido nítrico del total mundial (SEMARNAT, 2008). El metano es un GEI 23 veces más potente que el CO₂, y el estiércol contribuye con 16 % de las emisiones globales (IPCC, 2006). El metano emitido por el estiércol proviene del metano de la fermentación entérica capturado en las heces, y de la digestión anaeróbica de la materia orgánica del estiércol (De Klein *et al.*, 2008). El estiércol contribuye con 50 % del total de emisiones de amoníaco hacia la atmósfera, porque su tasa de volatilización es mayor a 23 % (BANR y BEST, 2003).

El óxido nitroso es 296 veces más potente que el CO₂, y México contribuye con 0.7 % de emisiones de este gas por actividades pecuarias en el mundo. El estiércol aporta cerca del 25 % de las emisiones antropogénicas de óxido nitroso (IPCC, 2006), el cual se genera durante los procesos de nitrificación (oxidación biológica de amonio a nitrito y nitrato) y desnitrificación (reducción de nitrato a nitrógeno gaseoso), donde el intermediario es el óxido nitroso (Stevens y Laughlin, 1998).

Tratados y regulaciones

Las regulaciones o normas para el manejo de estiércol generado por el ganado en confinamiento varían mucho entre países y regiones, y su propósito es disminuir el impacto negativo en el ambiente. Las regulaciones de la calidad del agua y del suelo son por lo general de ámbito local y nacional, mientras que en materia atmosférica los tratados son del ámbito transfronterizo e incluso transoceánico, pues las emisiones locales pueden tener repercusiones globales. Ello se mostró en la degradación de la capa de ozono por las emisiones de clorofluorocarbonos y el

0.04 % of the methane and less than 0.008 % of the nitric oxide (SEMARNAT, 2008). Methane is a GHG 23 times more potent than CO₂, and manure contributes 16 % of the global emissions worldwide (IPCC, 2006). Methane emitted by manure comes both from enteric fermentation captured in the feces and from anaerobic digestion of the manure organic matter (De Klein *et al.*, 2008). Manure contributes 50 % of the total emissions of ammonia into the atmosphere since its volatilization rate is more than 23 % (BANR and BEST, 2003).

Nitrous oxide is 296 times more potent than CO₂, and México contributes 0.7 % of the world emissions of this gas produced by livestock activities. Manure contributes nearly 25 % of the anthropogenic emissions of nitrous oxide (IPCC, 2006), which is generated during the processes of nitrification (biological oxidation of ammonia to nitrite and nitrate) and denitrification (reduction of nitrate to gaseous nitrogen), in which nitrous oxide is the intermediary (Stevens and Laughlin, 1998).

Treaties and regulations

Regulations and norms for management of manure generated by confined livestock vary quite a bit among countries and regions, but their objective is to decrease its negative impact on the environment. Regulations on water and soil quality are generally local and national, while those regarding the atmosphere are trans-border, and even transoceanic, treaties, since local emissions can have global repercussions. This was shown by the ozone layer degraded by emissions of chlorofluorocarbons and global warming caused by gases such as carbon dioxide (Rowland and Molina, 1975).

The Gothenburg Protocol was signed on November 30, 1999, by 47 European countries, the USA, and Canada, as a result of the 1979 Geneva Convention, to abate across-the-border atmospheric pollution. The objective was to reduce acidification, eutrophication and tropospheric ozone by implementing limits on emissions of ammonia, nitrous oxide, sulfur dioxide and volatile organic compounds (UNECE, 1999). The signing countries are committed to generating and distributing manuals of good practices for storage and application of manure to reduce emissions. Furthermore, the participants should exchange

calentamiento global causado por el efecto invernadero, el cual es propiciado por las emisiones de gases como el bióxido de carbono (Rowland y Molina, 1975).

El protocolo de Gotemburgo fue firmado el 30 de noviembre de 1999, por 47 países europeos, EE.UU. y Canadá, como consecuencia de la Convención para abatir la contaminación atmosférica transfronteriza realizada en Ginebra en 1979. El objetivo del protocolo fue disminuir la acidificación, eutrofización y el ozono troposférico, a través de la implementación de límites de emisiones de amoníaco, óxido nítrico, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles (UNECE, 1999). Los signatarios se comprometieron a generar y divulgar manuales de buenas prácticas para el almacenamiento y aplicación del estiércol a fin de disminuir las emisiones. A su vez, las partes deberían intercambiar entre sí información de mejoras técnicas en las prácticas agrícolas y ganaderas. El protocolo de Kioto, resultado de la Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático realizado en 1992 en Nueva York, estableció mitigar el progresivo calentamiento global mediante la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este protocolo establece que para 2005 la reducción de dichos gases resultaría en una emisión similar a la de 1990. En el Anexo A de este protocolo, el manejo del estiércol está considerado como una de las fuentes de emisiones de GEI en el sector agrícola (UN, 1998).

Algunos de los objetivos considerados en los tratados internacionales no se han alcanzado. Por ejemplo, para el 2020 las emisiones de GEI aumentarían en 38 % debido a actividades agrícolas, energéticas e industriales principalmente (EPA, 2006). Algunos de los signatarios, especialmente los países industrializados, no están dispuestos a disminuir sus emisiones indicando que el Producto Interno Bruto se reduciría. En EE.UU. hay cinco leyes federales importantes que sirven como marco para todas las regulaciones relacionadas con la actividad pecuaria y el ambiente (Morse, 1995): Ley de Agua Limpia (Clean Water Act 402), la Ley de Aire Limpio (Clean Air Act), Ley de Agua Potable Segura (Safe Drinking Water Act), Ley de Especies en Peligro de Extinción (Endangered species Act) y Ley Federal de Insecticidas, Fungicidas y Rodenticidas (Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act). En 1972 se estableció la Ley de Sistemas de Eliminación de Descargas de Contaminación Nacional (National Pollution Discharge

information about better techniques for agriculture and husbandry practices. The Kyoto protocol, result of the United Nations Framework Convention on Climate Change held in New York, set the target of mitigating increasing global warming through the reduction of greenhouse gas emissions. This protocol establishes that by 2005 the reduction of these gases would result in emissions similar to those of 1990. In Appendix A of this protocol, management of manure is considered one of the sources of GHG emissions in the agricultural sector (UN, 1998).

Some of the objectives considered in international treaties have not been achieved. For example, by 2020 GHG emissions will increase by 38 % due mainly to agriculture, energy production and industry (EPA, 2006). Some of the signing countries, especially industrialized countries, are not willing to reduce emissions, arguing that their GNP would decrease. In the USA, there are five important federal laws that serve as a framework for all of the regulations related to husbandry and the environment (Morse, 1995): The Clean Water Act 402, The Clean Air Act, the Safe Drinking Water Act, the Endangered Species Act, and the Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act. In 1972 the National Pollution Discharge Elimination System Act was passed, identifying Concentrated Animal Feeding Operations (CAFO) as points of discharge that require licensing. Although the EPA is responsible for controlling and certifying polluting residues discharged into surface and underground bodies of water by the CAFO, many farms have assumed the responsibility of licensing and some have even created agencies especially for this purpose (Miner *et al.*, 2000). Today, 31 of the 50 USA states have specific laws and regulations for CAFOs and programs of continuous inspection for licensing (EPA, 2010). Nevertheless, regulation of GHG emissions is still limited. Recently, California became the first state of the US to pass regulations for GHG emissions, including those originated by agriculture. This obligates the livestock sector to quantify these emissions and implement strategies for reducing them (Place and Mitloehner, 2010).

The Canadian Environment Protection Act issued in 1999 serves as a regulating framework for all other laws regarding the environment and natural resources. The Canada Water Act of 1970, section II, refers to water pollution. The norms vary among

Elimination System), que identifica a las operaciones de alimentación de animales en confinamiento (CAFO, Concentrated Animal Feeding Operation), como puntos de descarga que requieren permisos para ello. La EPA es la encargada de controlar y certificar las descargas de residuos contaminantes hacia cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) generados por las CAFO. Sin embargo, muchas granjas han asumido la responsabilidad de asignar los permisos y algunos hasta han creado agencias especialmente para este fin (Miner *et al.*, 2000). Actualmente, 31 de los 50 estados de EE.UU. cuentan con leyes y regulaciones específicas para las CAFO y programas de inspección continua para la asignación de permisos (EPA, 2010). No obstante, la regulación de gases de efecto invernadero aún es limitada. Recientemente, California fue el primer estado de EE.UU. en establecer regulaciones de las emisiones de GEI, incluyendo las originadas por la agricultura. Lo anterior obliga al sector pecuario a cuantificar dichas emisiones y a implementar estrategias para reducirlas (Place y Mitloehner, 2010).

La Ley Canadiense de Protección Ambiental (Canadian Environment Protection Act) emitida en 1999, sirve como marco regulador para todas las demás leyes referentes al ambiente y a los recursos naturales. La Ley de Agua de Canadá (Canada Water Act) de 1970, en la sección II se refiere a la contaminación del agua. Las normativas varían entre las diferentes provincias canadienses, pero el marco regulatorio, códigos y parámetros específicos para efluentes y descargas se encuentran en la Guía de Calidad de Efluentes y Tratamiento de Aguas Residuales en Establecimientos Federales (Guidelines of Effluent Quality and Wastewater Treatment at Federal Establishments) (DE, 2011).

En Colombia, la reglamentación nacional no se refiere específicamente al manejo del estiércol en operaciones ganaderas. En materia ambiental general, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial emitió el Decreto-Ley 2811 de 1974 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente que en su capítulo II se refiere al control y la prevención de la contaminación del agua, incluyendo las actividades rurales y la eliminación de estiércol. Además, la Resolución 0601 de 2006 sobre la Norma de Calidad del Aire fija límites máximos para la emisión de sustancias contaminantes y de olores, entre los cuales

the different Canadian provinces, but the regulatory framework, codes and specific parameter for effluents and discharges are found in the Guidelines of Effluent Quality and Wastewater Treatment at Federal Establishments (DE, 2011).

In Colombia, national regulations do not refer specifically to management of manure in livestock operations. In general environmental matters, the Ministry of Environment, Housing and Territorial Development issued the Decree-Law 2811 of 1974 in which is dictated in the National Code of Renewable Natural Resources and Protection of the Environment; chapter II refers to the control and prevention of water pollution and includes rural activities and elimination of manure. Moreover, the 2006 Resolution 0601 on Air Quality norms fixes maximum values for emission of pollutants and odors, among which are ammonia and hydrosulfuric acid generated by the decomposition of manure (MAVDT, 2006).

Likewise, in Argentina there are no specific norms relative to manure management, but there are provincial laws, such as the Law of Protection of Sources of Water Supply, Water Courses and Water Receiving Bodies of Water, and the Atmosphere that, in the province of Buenos Aires, regulates all types of discharges of residual effluents (solids, liquids or gases) of any origin that can degrade the quality of air or water. Decree 2009/60 regulates this law and establishes that the municipalities are responsible for inspection and applying the corresponding fines (GBA, 2009). In each hectare of soil in intensive livestock production systems up to 220 kg of nitrates and 261 kg of zinc, as well as 2500 ppm of phosphorus, can accumulate, while in underground water 180 ppm nitrates, 7 ppm of phosphorus, 90 ppb of copper and contamination by pathogenic microorganisms have been detected (Herrero and Gil, 2008). Despite this evidence, specific norms for regulating these pollutants are scarce and often confusing.

Environmental regulation in Chile does not mention agriculture, husbandry or management of manure. Act 19300 on general environmental bases names protection of natural resources and prevention of pollution as functions of the State. To regulate some of the articles of this law, there are decrees that establish (MSGP, 1994): 1) norms for emissions of liquid residues into underground

están el amoníaco y el ácido sulfhídrico generados por la descomposición del estiércol (MAVDT, 2006).

Similarmente, en Argentina no hay normas específicas respecto al manejo de estiércol, pero hay leyes provinciales, como la Ley de Protección a las Fuentes de Provisión y a los Cursos y Cuerpos Receptores de Agua y a la Atmósfera que, en la provincia de Buenos Aires, regula todo tipo de descarga de efluentes residuales (sólidos, líquidos o gaseosos) de cualquier origen que puedan degradar la calidad del aire o del agua. El decreto 2009/60 reglamenta esta ley y establece que las municipalidades son responsables de la inspección y la aplicación de multas correspondientes (GBA, 2009). En cada ha de suelo en sistemas intensivos de producción pecuaria se puede acumular hasta 220 kg de nitratos y 261 kg de zinc, así como 2500 ppm de fósforo, mientras que en aguas subterráneas se han detectado 180 ppm de nitratos, 7 ppm de fósforo y 90 ppb de cobre, y contaminación por microorganismos patógenos (Herrero y Gil, 2008). A pesar de estas evidencias, las normas específicas para regular estos contaminantes, son escasas y muchas veces confusas.

La reglamentación ambiental en Chile no menciona la actividad agropecuaria ni el manejo de estiércol. La Ley 19300 sobre bases generales del ambiente señala la función del Estado como protector de los recursos naturales y la prevención de la contaminación. Para reglamentar algunos artículos de dicha ley hay decretos que establecen (MSGP, 1994): 1) normas de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas, incluyendo sustancias que se infiltren por el suelo, y presenta límites permisibles de nitrógeno en el suelo; 2) regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, estableciendo límites para nutrientes y patógenos como coliformes fecales (Decreto 90); 3) normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza, ya sean gases, polvos, humos o vapores en cualquier lugar de trabajo, aunque no se mencionan las operaciones de ganadería intensiva (Decreto 144).

En México, la Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente prohíbe descargar a cuerpos de agua, estiércol o aguas residuales sin previo tratamiento. La Comisión Nacional del Agua establece los parámetros para las descargas residuales en aguas y bienes nacionales con base en las normas

water, including substances that leach into the soil, and limits of permissible amounts of nitrogen in the soil; 2) regulation of pollutants associated with wastewater discharges into oceans and bodies of continental surface water, setting limits on nutrients and pathogens such as fecal coliforms (Decree 90); 3) norms to prevent emanations of atmospheric pollutants of any nature, whether they be gases, dust, smoke or vapors in any workplace, although intensive livestock operations are not mentioned (Decree 114).

In México, the General Law on Ecological Balance and Protection of the Environment prohibits the discharge of manure or sewage water into bodies of water without previous treatment. The National Commission on Water sets the parameters for residual discharges in national waters and property based on the norms NOM-001-1996 and NOM-002-ECOL-1996 (SEMARNAP, 1996ab). The General Law for Prevention and Integrated Management of Waste considers those residues generated in agricultural and livestock activities to be of the type requiring special handling. The State Law on Livestock Production in the state of Michoacán establishes that the localities with high concentrations of hogs must implement obligatory programs for managing manure. However, the lack of vigilance by the environmental authorities has resulted in abuse mainly because environmental authorities have delegated the responsibility of analyzing the discharges to the hog ranchers themselves (Pérez, 2001).

Mitigating GHG emissions from livestock manure is not simple. When a solution to a problem is apparently found, another problem often arises with undesirable consequences. For example, Wu-Haan *et al.* (2007) point out that adding zeolite to the diet of laying hens reduces emissions of ammonia by 40 %, but the emissions of hydrogen sulfide increased 300 %. The production of cows' milk using rice silage as forage generated less acidification, eutrofication and energy consumption, but GHG emissions was higher compared with the use of corn silage (Ogino *et al.*, 2008). Also, Thomassen *et al.* (2008) report that conventional dairy farms use more energy per liter of milk than organic dairy farms, although the latter emitted more ammonia, nitrate and nitrous oxide due to inappropriate management of the manure, and they require 50 % more land with potential for sequestering carbon.

NOM-001-1996 y NOM-002-ECOL-1996 (SEMARNAP, 1996ab). La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos considera como residuos de manejo especial a aquellos generados en actividades agrícolas y ganaderas. La Ley Estatal de Ganadería en el estado de Michoacán establece que las localidades con alta concentración de ganado porcino deben implantar programas obligatorios de manejo de estiércol. Sin embargo, la falta de vigilancia por las autoridades ambientales ha resultado en un abuso en la descarga de desechos a cuerpos de agua en granjas porcinas, principalmente porque las autoridades estatales delegan la responsabilidad de analizar las descargas a los propios porcinocultores (Pérez, 2001).

La solución para mitigar los GEI por estiércol del ganado no es sencilla, porque cuando aparentemente se encuentra solución a un problema, con frecuencia surge otro con consecuencias no deseables. Por ejemplo, Wu-Haan *et al.* (2007) señalan que la adición de zeolita en dietas para gallinas de postura redujo casi en 40 % las emisiones de amoníaco en las heces, pero las emisiones de sulfuro de hidrógeno aumentaron 300 %. La producción de leche bovina usando ensilado de arroz como forraje generó menos acidificación, eutrofización y consumo de energía pero aumentó los GEI, en comparación con el uso de ensilado de maíz (Ogino *et al.*, 2008). Además, Thomassen *et al.* (2008) reportan que las granjas lecheras convencionales utilizan más energía por litro de leche que las granjas lecheras orgánicas, aunque estas últimas emitieron más amoníaco, nitrato y óxido nitroso debido a un manejo inadecuado del estiércol, y requieren 50 % más de tierra con potencial para captura de carbono.

CONCLUSIONES

La intensificación de la producción ganadera aumenta la generación de estiércol, lo cual origina una gran cantidad de nutrientes desechados y concentrados en un área pequeña. Una alternativa viable para disminuir el impacto ambiental negativo de las excretas ganaderas es generar biogás, pero los costos de los equipos para capturar y utilizar este gas para generar electricidad son altos todavía. En EE.UU. y Canadá, la implementación y el cumplimiento de marcos regulatorios específicos sobre manejo y aplicación de excretas ganaderas, ofrecen múltiples bene-

CONCLUSIONS

Intensification of livestock production increases production of manure, and the large quantity of discarded nutrients are concentrated in a small area. A feasible alternative for decreasing the negative environmental impact of livestock excreta is generating biogas, although the costs of equipment for its capture and use it is still high. In the USA and Canada, implementation and compliance with regulatory frameworks specific to management and application of manure offer multiple long-term benefits, whether it is the lower environmental impact, generation of energy or participation in the market of carbon bonds. Regulations of this nature in Argentina, Chile, Colombia and México still lack incentives for good practices in managing livestock manure. Governments should assume the responsibility for periodic monitoring of livestock production systems to control excessive discharges of pollutants into the environment and natural resources. They should also promote compensations in the form of carbon bonds.

—End of the English version—



ficios ambientales a largo plazo, ya sea por el menor impacto ambiental, la generación de energía o por la participación en el mercado de bonos de carbono. La normativa de esta índole en Argentina, Chile, Colombia y México aun carece de estímulos por las buenas prácticas en el manejo de excretas ganaderas; por tanto, los gobiernos deben responsabilizarse de la monitorización periódica en los sistemas ganaderos para controlar las descargas excedentes de contaminantes al ambiente y a los recursos naturales, y además deben promover las compensaciones por bonos de carbono.

LITERATURA CITADA

- ASABE. 2005. Manure production and characteristics. ASAE Standard D384.2. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, MI. pp: 19.
- BANR (Board on Agriculture and Natural Resources) and BEST (Board of Environmental Studies and Toxicology). 2003. Air Emissions from Animal Feeding Operations: Current

- Knowledge, Future Needs. The National Academic Press. Washington, D.C. USA. pp: 225.
- Bekkering, J., A. A. Broekhuis, and W. J. T. van Gemert. 2010. Optimisation of a green gas supply chain –A review. *Biores. Technol.* 101: 450-456.
- Bouwman, A. F., and H. Booiij. 1998. Global use and trade of feedstuffs and consequences for the nitrogen cycle. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 52: 261-267.
- Capulin, G. J., E. R. Nuñez, B. J. Etchevers, y C. G. Baca. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35: 287-299.
- Chadwick, D., S. Sommer, R. Thorman, D. Fanguero, L. Cardenas, B. Amon, and T. Misselbrook. 2011. Manure management: implications for greenhouse gas emissions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167: 514-531.
- DE (Department of the Environment). 2011. Canadian Environmental Protection Act, 1999. *Gazette* 145(27): 2005-2188.
- De Klein, C. A. M., C. Pinares-Patiño, and G. C. Waghorn. 2008. Greenhouse gas emissions. *In: McDowell, R. W. (ed). Environmental Impacts of Pasture-Based Farming, Ag Research Invermay Agricultural Centre Mosgiel. New Zealand Cab International. Cambridge, UK. pp: 1-32.*
- de Wit J., H. G. van de Meer, and A. J. Nell. 1997. Animal manure: asset or liability? *Revista Mundial de Zootecnia*, 88. www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/FEEDback/War/W5256t/W5256t05.htm#TopOfPage. (Consultado: febrero, 2012).
- Dietz, F. J., and N. J. P. Hoogervorst. 1991. Towards a sustainable and efficient use of manure in agriculture: the Dutch case. *Environ. Resour. Econ.* 1:313-332.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2000. National Water Quality Inventory 2000 Report (EPA-841-R-02-001). United States Environment Protection Agency, USA. pp: 207.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2005. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2005. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 393.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2006. Global Anthropogenic Non-CO₂ greenhouse gas emissions: 1990-2020. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 274.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2010. Animal Feeding Operations-Laws, Regulations, Policies and Guidance. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 15.
- GBA (Gobierno de Buenos Aires). 2009. Decreto reglamentario de la ley 5965, ecología efluentes gaseosos: reglamentación. Generadores de emisiones gaseosas-medioambiente-atmosfera; y Decreto reglamentario de la ley 5965, protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera. GBA, Argentina. pp: 2.
- Herrero, M. A., y S. B. Gil. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecol. Austral* 18: 273-289.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds). Published: IGES, Japan. Vol 4. (10) pp: 87.
- LeJeune, J. T., and A. N. Wetzel. 2007. Preharvest control of *Escherichia coli* O157 in cattle. *J. Anim. Sci.* 85: E73-E80.
- Massé, D. I., G. Talbot, and Y. Gilbert. 2011. On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167: 436-445.
- MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2006. Resolución 0601. Norma de Calidad del Aire a Nivel de Inmisión. MAVDT, República de Colombia. pp: 13.
- MSGP (Ministerio Secretaria General de la Presidencia). 1994. Ley 19300 sobre bases generales de medio ambiente. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Chile. pp: 38.
- Miller, J. J. 2001. Impact of intensive livestock operations on water quality. *Proc. Western Canadian. Dairy Seminar* 13: 405-416.
- Miner, J. R., F. J. Humenik, and M. R. Overchash. 2000. Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality. Environmental Quality. Iowa State University Press. Ames, IA, USA. pp: 318.
- Morse, D. 1995. Environmental considerations of livestock producers. *J. Anim. Sci.* 73: 2733-2740.
- NAS (National Academy of Science). 2001. Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes. Books for Business. Washington, D. C. USA. pp: 144.
- Nelson, C. J. 1999. Managing nutrients across regions of the United States. *J. Anim. Sci.* 77: 90-100.
- Nicholson, S. S. 2007. Nitrate and nitrite accumulating plants. *In: Gupta, R. C. (ed). Veterinary Toxicology, Basic and Clinical Principles. Elsevier Ltd, Netherlands. pp: 876-879.*
- Ogino, A., M. Ishida, T. Ishikawa, A. Ikeguchi, M. Waki, H. Yokoyama, Y. Tanaka, and H. Hirooka. 2008. Environmental impacts of a Japanese dairy farming system using whole-crop rice silage as evaluated by life cycle assessment. *Anim. Sci. J.* 79: 727-736.
- Pérez, R. 2001. Porcinocultura y contaminación del agua en la Piedad, Michoacán, México. *Rev. Int. Contaminación Ambiental* 17(1): 5-13.
- Place, S. E., and F. M. Mitloehner. 2010. Contemporary environmental issues: A review of the dairy industry's role in climate change and air quality and the potential of mitigation through improved production efficiency. *J. Dairy Sci.* 93: 3407-3416.
- Powers, W. 2009. Environmental challenges ahead for the U.S. dairy industry. *In: Proc. 46th Florida Dairy Production Conference, Gainesville, FL, USA. pp: 13-24.*
- Reddy, K. R., R. H. Kadlec, E. Flaig, and P. M. Gale. 1999. Phosphorus retention in streams and wetlands: a review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 29: 83-146.
- Rowland F. S. and M. J. Molina. 1975. Chlorofluoromethanes in the environment. *Rev. Geophys.* 13(1): 1-35.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca), 1996a. NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. SEMARNAP, Gobierno Federal, D.F. México. pp: 38.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1996b. NOM-002-ECOL-1996 que

- establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal. SEMARNAT, Gobierno Federal, México. pp: 20.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2008. México Profile. Animal Waste Management Emissions. SEMARNAT, Gobierno Federal, D.F. México. pp: 41.
- Sharpe, R., and N Skakkebæk. 1993. Are oestrogens involved in falling sperm counts and disorders of the male reproductive tract? *The Lancet* 341: 1392-1395.
- Stevens, R. J., and R. J. Laughlin. 1998. Measurement of nitrous oxide and di-nitrogen emission from agricultural soils. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 52: 131-139.
- Thomassen, M. A., K. J. van Calster, M. C. J. Smits, G. L. Iepema, and I. J. M. de Boer. 2008. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agric. Systems* 96(1-3): 95-107.
- United Nations (UN). 1998. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. UN. pp: 20.
- United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). 1999. The Gothenburg protocol to abate acidification, eutrophication and ground-level Ozone. UNECE, Sweden. pp: 65.
- Wu-Haan, W., W. J. Powers, C. R. Angel, C. E. Hale, III, and T. J. Applegate. 2007. Effect of an acidifying diet combined with zeolite and slight protein reduction on air emissions from laying hens of different ages. *Poult. Sci.* 86: 182-190.