

## **INVENTARIO DE EMISIONES DE COMPUESTOS NITROGENADOS DERIVADOS DE ACTIVIDADES AGROPECUARIAS EN EL OASIS NORTE DE LA PROVINCIA DE MENDOZA.**

D. Allende<sup>1</sup>, F. Castro<sup>2</sup>, E. Puliafito<sup>3</sup>.

Grupo de Estudios Atmosféricos y Ambientales (GEAA)- Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Tel. 0261-5243003 – e-mail: [allendedavid@gmail.com](mailto:allendedavid@gmail.com), [ferhcastro@gmail.com](mailto:ferhcastro@gmail.com), [epuliafito@frm.utn.edu.ar](mailto:epuliafito@frm.utn.edu.ar)

**RESUMEN:** En este estudio se estimaron las emisiones de amoníaco, óxido nitroso y óxido nítrico producto de prácticas agrícolas y cría de animales en el Oasis Norte de la Provincia de Mendoza. Las emisiones de estos compuestos fueron estimadas utilizando las relaciones semiempíricas sugeridas en las directrices de EMEP/CORINAIR y las presentadas en las guías del IPCC. Se consideró el año 2006 como año base para la realización de los cálculos. Las emisiones anuales estimadas de NO, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub> fueron de 87.5, 233.1 y 1370 toneladas respectivamente. Dichas emisiones se distribuyeron espacialmente utilizando una grilla cartesiana sobre mapas de uso del suelo obtenidos de un procesamiento multitemporal de imágenes satelitales Landsat. Finalmente, se compararon estos resultados con las emisiones de otras fuentes de origen antropogénico y se analizaron las incertidumbres.

**Palabras clave:** inventario de emisiones, agricultura, ciclo de nitrógeno, amoníaco, óxido nitroso, óxido nítrico.

### **INTRODUCCIÓN**

El nitrógeno (N) es un elemento que regula varios procesos ecológicos y bioquímicos de ecosistemas terrestres y acuáticos. Si bien, el nitrógeno es el elemento más abundante en la atmósfera terrestre, éste se encuentra presente de forma inaccesible para la mayoría de los organismos, ya que solamente, con la conversión del mismo a su forma reactiva, puede ser utilizado para el sustento de plantas y otros organismos. Existen varias fuentes antrópicas que incrementan cada año la cantidad de nitrógeno reactivo en la atmósfera. Estas incluyen, la fijación industrial de nitrógeno para su uso en fertilización, la utilización de cultivos que fijan este elemento simbióticamente y la movilización y fijación durante la combustión de combustibles fósiles, quema de biomasa, cambios de uso del suelo, etc. (Seinfeld y Pandis, 2006). Se estima que al presente, el uso anual de nitrógeno sintético en fertilizantes minerales es de alrededor 80 Tg (Tg = Teragramos; 1Tg = 10<sup>12</sup> g) e incluso una cantidad mucho mayor de N proveniente del estiércol se produce en los sistemas de crianza de animales, esperándose una tendencia creciente en las próximas décadas (Olivier et al., 1998; Beusen et al., 2008). El nitrógeno en exceso (que no es consumido por plantas u otros microorganismos del suelo) contribuye a la eutrofización acuática, y al aumento de concentración de nitratos en aguas superficiales, con efectos directos e indirectos en la salud humana (ver por ejemplo, Vitousek y Mason, 1993; Carpenter et al., 1998).

Existen numerosos estudios de calidad de aire centrados en contaminación urbana, con especial atención en varios contaminantes criterio (como dióxido de azufre, ozono, material particulado con diámetro aerodinámico menor a 2,5 µm, et.) pero, en general, se da menor atención a la contaminación producida por compuestos de nitrógeno reducido, provenientes de fuentes agrícolas que poseen un papel importante en la formación de ozono troposférico, acidificación y eutrofización de ecosistemas (Carpenter et al., 1998; Bouwman et al., 2002). Los suelos agrícolas son una importante fuente de amoníaco (NH<sub>3</sub>), óxido nítrico (NO) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). El óxido nitroso es un gas de efecto invernadero y participa en procesos de destrucción de ozono estratosférico (Seinfeld y Pandis, 2006; Vergé et al., 2006). El óxido nítrico, es precursor del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), que a su vez, es precursor del ácido nítrico, uno de los constituyentes principales de la lluvia ácida. Los NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>), si bien no son gases de efecto invernadero, poseen un papel muy importante en la producción de ozono troposférico.

El NH<sub>3</sub> asimismo, es un compuesto clave en la química troposférica, ya que puede reaccionar con gases ácidos (sulfúrico, clorhídrico, nítrico), afectando la subsecuente formación, transformación y deposición de aerosoles. La deposición de NH<sub>3</sub> provoca tanto acidificación como eutrofización de ecosistemas (Bouwman y Van Der

---

<sup>1</sup> Becario en formación doctoral CONICET

<sup>2</sup> Becario en formación doctoral ANPCyT

<sup>3</sup> Investigador Independiente CONICET

Hoek, 1997). Además, la deposición de nitrógeno principalmente de sustancias como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_x$ , conlleva a emisiones adicionales de  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{NO}_x$  (Papen y Butterbach-Bahl, 1999). Por otro lado, emisiones nitrogenadas relacionadas con la ganadería se deben fundamentalmente a denitrificación del nitrógeno orgánico presente en estiércol y orina del ganado, generando aeróbicamente óxido nitroso. Las aves de corral contribuyen con el mayor porcentaje a este tipo de emisiones, ya que la totalidad de su estiércol se maneja en forma sólida y aeróbica (Watanabe et al., 1997; Thornton et al., 1998). El óxido nitroso también se produce naturalmente en los suelos, aunque varias actividades agropecuarias agregan nitrógeno al mismo, tanto directa como indirectamente. La deposición de estiércol y orina de los animales que se mantienen en pastoreo, sobre los campos naturales y las pasturas, es una de las vías directas de incorporación de nitrógeno a los suelos. Las adiciones indirectas ocurren por dos mecanismos: a) la volatilización y subsiguiente deposición atmosférica del nitrógeno excretado, en forma de amoníaco y óxidos de nitrógeno y b) la lixiviación y el escurrimiento del nitrógeno excretado (Seinfeld y Pandis, 2006)

Mendoza, es una provincia esencialmente agrícola, donde un gran porcentaje de la población depende principalmente de la actividad agropecuaria, siendo en la última década la participación relativa de este sector del 9,1 % del PBI total generado por la Provincia. Debido a que se trata de una zona árida, las actividades se asientan principalmente en las áreas bajo riego. El Oasis Norte de la Provincia, formado por los ríos Mendoza y Tunuyán, es uno de los espacios vitales más importantes ya que concentra las actividades económicas más relevantes, destacándose la vitivinicultura, base de la economía mendocina, la olivicultura, la fruticultura y la horticultura.

El propósito de este estudio fue estimar emisiones antrópicas de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{NO}$ , con foco en actividades agropecuarias. Con este objetivo, se procedió primeramente a evaluar la intensidad de actividades agrícolas y de crianza de animales en los distintos distritos que componen el área de estudio. Luego, se desarrolló un inventario de emisiones de todas las cargas y salidas de nitrógeno usando balances de masa y relaciones semiempíricas para evaluar emisiones concretas, de acuerdo a las metodologías referidas más adelante en el texto. Además, se desagregaron espacialmente las emisiones calculadas utilizando un sistema grillado sobre mapas de uso del suelo, evaluándose la intensidad de las fuentes emisoras respecto a otras fuentes antrópicas, incorporando un análisis de incertidumbre. A partir de estos resultados, se destacaron las implicancias de los mismos y se plantearon nuevas inquietudes.

## ÁREA DE ESTUDIO

La provincia de Mendoza se localiza en el centro oeste de la República Argentina en la diagonal árida sudamericana, entre los 32° y 37° 35' de latitud sur y los 66° 30'y 70° 35' de longitud oeste. En los cordones montañosos del oeste se originan los ríos de la provincia, a partir de la fusión de las nieves y los glaciares, que luego transitan por el llano. La sistematización y regulación de estos ríos y el aprovechamiento del agua subterránea es lo que ha dado lugar en la planicie a los denominados oasis y a una forma particular de ocupación del territorio. Esta sistematización es el origen de una red de riego que comprende una serie de cauces, la mayoría artificiales, de diferente jerarquía y que dan vida a la agricultura.

El Oasis Norte es el más extenso de la Provincia y uno de los más importantes en el país. Abarca la totalidad o parte de los departamentos de Capital, Godoy Cruz, Las Heras, Guaymallén, Maipú, Junín, San Martín, Rivadavia, Luján de Cuyo, Lavalle y Santa Rosa (Figura 1). Económicamente, el hombre ha sabido aprovechar la aptitud agrícola que ofrece su suelo, producto de los materiales sedimentarios depositados (cono aluvial) por el paso del Río Mendoza en su camino hacia el noreste mendocino. Este oasis posee una especialización agrícola, donde prevalece el cultivo de vid, combinado con la horticultura y frutales, especialmente hacia el este.

El área urbana del Gran Mendoza ocupa un área de 16.700 km<sup>2</sup> sobre el Oasis Norte, extendiéndose de forma casi regular hacia el Nordeste, Este y Sur, mientras que las estribaciones de la Cordillera, impiden el crecimiento en las direcciones Norte y Oeste. Se trata de la cuarta aglomeración del país con 1.230.000 habitantes, siendo la más importante fuera de la Pampa Húmeda.

## METODOLOGÍA

En este estudio se utilizó la metodología propuesta por CORINAIR (EMEP/CORINAIR, 2006) para estimar emisiones provenientes de la agricultura y actividades ganaderas. Asimismo, se usaron las guías del International Panel on Climate Change (IPCC) (IPCC, 2006) como herramientas complementarias. Los datos provenientes del balance de nitrógeno se desarrollaron a escala regional utilizando un Sistema de Información Geográfica, utilizándose las estadísticas del período 2005-2006. Las emisiones de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) producto de excreciones animales incluyen la etapa de encierro, almacenamiento y disposición de abono.

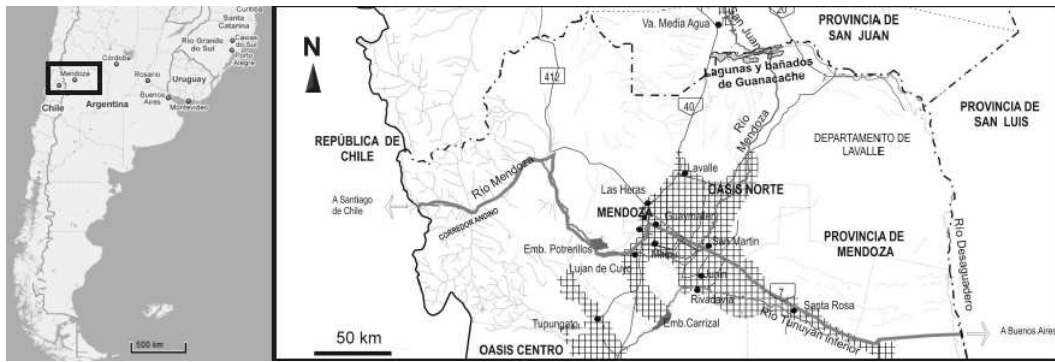


Figura 1: Diagrama del área en estudio, incluyendo un acercamiento al Oasis Norte en el que se ubica el Gran Mendoza (32° 53' S, 68° 50' W) hacia el oeste de la República Argentina.

Se usó un factor de emisión por clase de animal para la estimación de emisiones en la cría de animales, de acuerdo con la Ecuación 1

$$E_{NH_3} = Pop_i \times EF_i \quad (1)$$

Donde  $Pop_i$  es la población total de animales de clase  $i$ , calculada de acuerdo a censos agrícolas locales, y  $EF_i$  es el factor de emisión expresado en kg de  $NH_3$ /cabeza de animal/año.

En primer lugar, se procedió a la categorización de todas las poblaciones de ganado presentes en el área de estudio, considerando las clases definidas por INDEC, haciéndolas compatibles con el formato de clasificación internacional. Para cada clase, se calculó el número de animales presentes de acuerdo a varios censos nacionales (INDEC, 2006; SAGPYA, 2006). La Tabla 1 presenta los números de población para el período 2005-2006 y los datos de actividad utilizados para el cálculo.

| Clase de animal | Población (cabezas) | Excreción (kg N cabeza <sup>-1</sup> ) | EF(amoniaco) |
|-----------------|---------------------|--|--------------|
| Vacas lecheras  | 8.928               | 100                                    | 24.6         |
| Porcinos        | 1.763               | 14                                     | 12.3         |
| Caprinos        | 27.818              | 20                                     | 0.46         |
| Equinos         | 4.190               | 50                                     | 5.1          |
| Pollos          | 344.800             | 0.6                                    | 0.28         |

Tabla 1: Resumen de población de animales y datos de actividad utilizados.

La incursión de actividades ganaderas en este Oasis se desarrolla desde hace aproximadamente veinte años. Como se aprecia en la Tabla 1, las principales actividades involucradas son la cría de aves, caprinos y en menor medida, ganado bovino para producción láctea. Estas actividades poseen variaciones temporales, aunque no se distribuyen homogéneamente durante todo el año, ya que están fuertemente influenciadas por las condiciones cambiantes del tiempo, principalmente la presencia de sequías y precipitaciones níveas. La cantidad de nitrógeno excretada por cabeza, para cada tipo de animal, se computó de acuerdo a referencias nacionales (Sosa, 2005) e internacionales (EMEP/CORINAIR, 2006)

Las emisiones de óxido nítrico debido a la aplicación de estiércol como abono se calcularon en forma separada, de acuerdo con el porcentaje de nitrógeno liberado como  $N_2O$  a partir del estiércol, siguiendo las ecuaciones 2 y 3.

$$Nex_{(AWMS)} = \sum_i [n_i \times Nex_i \times AWMS_i] \quad (2)$$

$$E_j = \sum_j [Nex_{(AWMS)} \times EF_{(AWMS)}] \quad (3)$$

Donde  $Nex_{(AWMS)}$  es la tasa de excreción de nitrógeno para cada tipo de sistema de manejo de excrementos,  $n_i$  el número de animales de la clase  $i$ ,  $Nex_i$  la tasa de excreción de nitrógeno de los animales de clase  $i$ ,  $AWMS_i$  es la fracción de la excreción que se maneja en los diferentes sistemas para animales de clase  $i$ ,  $E_j$  es la tasa de emisión para todos los sistemas de manejo de excrementos para el contaminante  $j$  y  $EF_j$  es el factor de emisión para cada sistema de manejo de estiércol para el contaminante  $j$ .

Con el objeto de determinar factores de emisión para cada tipo de sistema de manejo de excrementos, se hizo una revisión bibliográfica. Por lo general, el estiércol no recibe tratamiento alguno, aunque se estimó que el total del estiércol de las aves (con o sin cama) se maneja en seco mientras que el 10% del producido por bovinos y el 75% de las de los porcinos se derivan a lagunas anaeróbicas. Debido a que los estudios disponibles no comprenden específicamente todas las situaciones locales, se decidió utilizar algunos valores por defecto del porcentaje de N producido por diferentes sistemas de manejo. Los porcentajes para cada sistema computado se resumen en la Tabla 2.

|                | Lagunas anaeróbicas | Sistema de tipo líquido | Abonado diario | Almacenamiento sólido y parcelas secas | Praderas y pastizales | Combustible | Otros |
|----------------|---------------------|-------------------------|----------------|--|-----------------------|-------------|-------|
| Vacas lecheras | 10                  | 0                       | 80             | 1                                      | 10                    | 0           | 0     |
| Aves de corral | 0                   | 0                       | 0              | 100                                    | 0                     | 0           | 0     |
| Caprinos       | 0                   | 0                       | 0              | 0                                      | 100                   | 0           | 0     |
| Cerdos         | 75                  | 0                       | 0              | 25                                     | 0                     | 0           | 0     |
| Otros          | 0                   | 0                       | 0              | 0                                      | 99                    | 0           | 1     |

Tabla 2: Valores utilizados para el porcentaje de estiércol producido de acuerdo a diferentes sistemas de manejo de estiércol.

Las emisiones directas del suelo generadas por el uso de abono de origen animal se calculan como una fracción del total del N restante en el estiércol. Dado, que los suelos en la región poseen bajo contenido de materia orgánica, la aplicación de estiércol en áreas cultivadas es una práctica común para mejorar la estructura del suelo. Se utiliza estiércol de aves y caprinos directamente sobre el suelo, junto con fertilizantes minerales principalmente durante los meses de primavera y verano, aunque en algunos casos, se aplican durante todo el año. Las emisiones indirectas de los suelos debido a lixiviación y escurrimiento del nitrógeno y posterior deposición de  $NH_3$  y  $NO_x$  se calcularon de acuerdo a la metodología del IPCC (Ecuación 4) utilizando factores de emisión por defecto ante la falta de mayor información sobre la pérdida de  $N_2O$  a partir de especies reactivas:

$$N_2O_{ind} = EF \cdot (ENH_3 + ENO) \quad (4)$$

Donde  $ENH_3$  es el total de las emisiones de amoníaco obtenido a través de las ecuaciones 2 y 3,  $ENO$  es el total de las emisiones de NO debido a la aplicación de fertilizantes y  $EF$  es el factor de emisión por defecto listado en el reporte del IPCC (IPCC, 2006).

Las emisiones asociadas con las prácticas agrícolas son una gran preocupación para todos los países cuya economía se basa en esta actividad primaria. Las pérdidas de amoníaco en el área de estudio se deben mayormente a la utilización de fertilizantes minerales como urea, fosfato diamónico (DAP), fertilizantes líquidos como UAN y, en menor medida, de los sistemas de producción animal. Para este trabajo, los datos de consumo de fertilizantes sintéticos fueron obtenidos de estadísticas de consumo aparente del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) y de estimaciones de Dirección de Agricultura de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA).

El uso de urea como principal fertilizante nitrogenado posee un gran efecto en la magnitud del amoníaco total, dado que la urea contribuye en alrededor del 70% al consumo del fertilizante nitrogenado en la región.

Para el cálculo de las emisiones de  $NH_3$  se usaron factores de emisión apropiados para urea, DAP, UAN y otros fertilizantes usados en menor medida (EMEP/CORINAIR, 2006), expresados en kg  $NH_3$ /kg de fertilizante aplicado (Ecuación 5).

$$ET_{fert} = \sum_i \left[ FA_i \times \sum_j (AD_j \times FF_j \times EF_j) \right] \quad (5)$$

Donde  $ET_{fert}$  es la emisión total proveniente de cultivos debido a la fertilización,  $FA_i$  es el área fertilizada por tipo de cultivo  $i$ ,  $AD_j$  es la dosis de nitrógeno promedio para el tipo de fertilizante  $j$ ,  $FF_j$  es la fracción del área fertilizada cubierta con el fertilizante de tipo  $j$  y  $EF_j$  es el factor de emisión por defecto para la pérdida de fertilizante. La Tabla 3 detalla el área total dentro del Oasis Norte ocupada por distintos usos del suelo. La Tabla 4 resume los factores de emisión para amoníaco debido a la volatilización de los fertilizantes más utilizados en el área de estudio. De igual manera, las emisiones de NO provenientes de la aplicación de fertilizantes se estimaron con la misma metodología. En ambos casos, se utilizaron datos estadísticos de consumo para cada tipo de fertilizante nitrogenado, en base anual (FAO, 2004; INDEC, 2006). Finalmente, el total de las emisiones agrícolas se georeferenció espacialmente de acuerdo a la distribución de usos del suelo usando una grilla cartesiana con resolución de 1 km x 1 km.

| Tipo de uso de suelo | Área ocupada (hectáreas) |
|----------------------|--------------------------|
| Vid                  | 99.366                   |
| Vegetación natural   | 82.339                   |
| Hortalizas           | 19.976                   |
| Olivos               | 6.616                    |
| Frutales             | 14.376                   |
| Forrajes             | 4.171                    |
| Forestales           | 1.649                    |
| Urbano               | 8.144                    |
| Sin Cultivar         | 89.584                   |

Tabla 3: Detalle del área ocupada por usos del suelo agrícolas y no agrícolas en el Oasis Norte.

| Tipo de fertilizante         | Kg de NH <sub>3</sub> volatilizado por kg de fertilizante |
|------------------------------|---|
| Sulfato de amonio            | 0.08  |
| Nitrato de amonio            | 0.02  |
| Urea                         | 0.15  |
| Urea-Nitrato de amonio (UAN) | 0.08  |
| Fosfato de amonio (MAP)      | 0.02  |
| Fosfato de diamonio (DAP)    | 0.05  |

Tabla 4: Detalle de factores de emisión por volatilización de amoníaco según tipo de fertilizante aplicado, de acuerdo con la metodología propuesta por IPCC.

Con este propósito se utilizaron mapas obtenidos a partir de la clasificación e interpretación de imágenes satelitales Landsat del período 2005-2006. La fuente de estos datos fue el Programa EcoAtlas, del Instituto de Desarrollo Rural de Mendoza (EcoAtlas, 2009). Los tipos de uso del suelo fueron procesados como urbano, pasturas, vegetación natural, tierra no cultivada, cultivos frutícolas, cultivos horticolas, viñedos y olivos, como se ve en la Figura 2. Para las emisiones provenientes de la cría de animales, se cuenta ya con georeferenciación puntual de los establecimientos de crianza avícola y de ganado bovino. Las emisiones del resto del ganado, se distribuyeron homogéneamente en zona de pastizales ante la falta de datos.

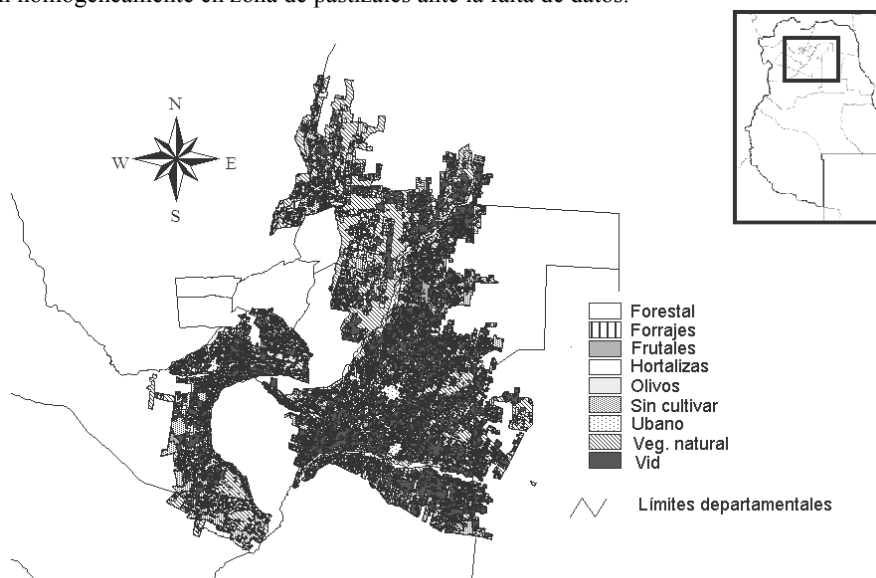


Figura 2: Datos de uso del suelo para el Oasis Norte basada en la clasificación e interpretación de datos de imágenes Landsat para el período 2005-2006.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El total de emisiones, de acuerdo al inventario detallado anteriormente, se muestra en la Tabla 5 y los patrones de distribución espacial para todas las emisiones se presentan en la Figura 3, Figura 4 y Figura 5.

De acuerdo con este análisis, de las 1370 toneladas anuales de amoníaco emitidas por año, alrededor del 70% proviene de la fertilización de cultivos, fundamentalmente de la suplementación nitrogenada de la vid. El resto de las emisiones estimadas provienen de los sistemas de manejo de estiércoles, principalmente de bovinos y aves de corral. Las estimaciones de óxido nitroso indican que cerca del 50 % de las mismas provienen también del uso de fertilizantes minerales. Las emisiones de N<sub>2</sub>O directas del suelo son alrededor del 35% del total estimado. Los patrones de distribución espacial muestran, en general, que la mayoría de las emisiones no provienen de un sector agrícola definido, si no que éstas están asociadas a toda el área rural. Los máximos de emisión de

amoníaco y óxido nítrico se localizan sobre centros de cultivos de vid y hortalizas, principalmente hacia el este del Oasis Norte.

| Amoníaco (NH <sub>3</sub> ) |       |               | Óxido nítrico (N <sub>2</sub> O) |      |              | Óxido nítrico (NO)   |  |             |
|-----------------------------|-------|---------------|----------------------------------|------|--------------|----------------------|--|-------------|
| Manejo de estiércol         |       | 408,7         | Manejo de estiércol              |      | 26,6         | Uso de fertilizantes |  | 87,5        |
| • Vacas                     | 228,0 |               | • Vacas                          | 6,9  |              |                      |  |             |
| • Porcinos                  | 38,3  |               | • Porcinos                       | 0,5  |              |                      |  |             |
| • Caprinos                  | 11,8  |               | • Caprinos                       | 10,2 |              |                      |  |             |
| • Equinos                   | 33,9  |               | • Equinos                        | 6,6  |              |                      |  |             |
| • Aves                      | 96,5  |               | • Aves                           | 2,3  |              |                      |  |             |
| Uso de fertilizantes        |       | 961,3         | Emisiones directas del suelo     |      | 81,4         |                      |  |             |
| • Vid                       | 536,8 |               | • Vid                            | 39,4 |              |                      |  |             |
| • Hortalizas                | 235,8 |               | • Hortalizas                     | 31,7 |              |                      |  |             |
| • Frutales                  | 188,7 |               | • Frutales                       | 10,2 |              |                      |  |             |
|                             |       |               | Emisiones indirectas del suelo   |      | 10,5         |                      |  |             |
|                             |       |               | Uso de fertilizantes             |      | 114,6        |                      |  |             |
|                             |       |               |                                  |      |              |                      |  |             |
| <b>Total NH<sub>3</sub></b> |       | <b>1370,0</b> | <b>Total N<sub>2</sub>O</b>      |      | <b>233,1</b> | <b>Total NO</b>      |  | <b>87,5</b> |

Tabla 5: Inventario de emisiones totales para compuestos nitrogenados provenientes de actividades agropecuarias, periodo 2005-2006, Oasis Norte de la Provincia de Mendoza.

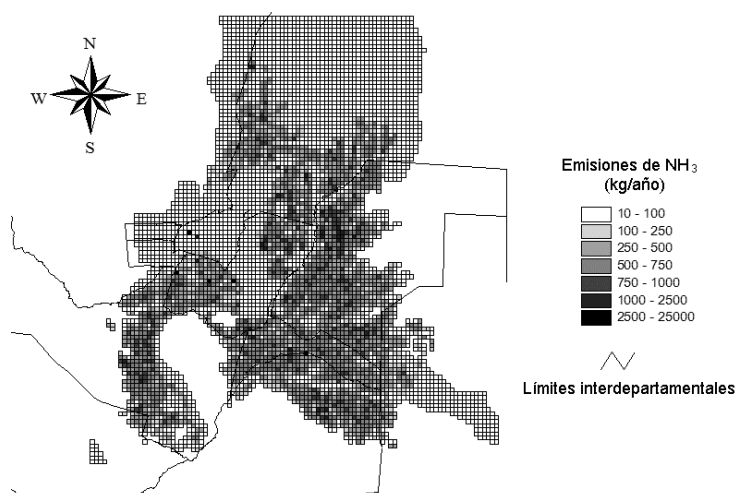


Figura 3: Emisiones grilla de amoníaco para la zona del Oasis Norte de la Provincia de Mendoza.

La Figura 6 presenta la contribución porcentual de distintas fuentes a las emisiones totales de compuestos nitrogenados para el Gran Mendoza. Se puede observar que las emisiones generadas por fuentes agrícolas contribuyen con aproximadamente el 90 % y el 50 % de las emisiones totales de NH<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O respectivamente. En lo que respecta a NO<sub>x</sub>, la contribución de estas fuentes es prácticamente insignificante respecto al total anual de 41.838 toneladas. La fertilización con urea es por mucho la fuente más importante de emisiones de amoníaco, si bien se estimaron emisiones significativas a partir de la aplicación de estiércol de aves y bovinos para la mejora de suelos agrícolas. Asimismo, los fertilizantes sintéticos parecen ser fuentes significativas de óxido nítrico y óxido nítrico.

Siendo de vital importancia el control de emisiones difusas, la cuantificación de balances de nitrógeno de estos sectores puede proporcionar algunas ideas para reducir emisiones excesivas de dichos compuestos. Asimismo, la modelación regional de calidad de aire exige una representación geográfica de las fuentes antrópicas en un nivel de detalle como el presentado en este trabajo.

La incertidumbre en el proceso de estimación de este inventario se atribuye fundamentalmente a los factores de emisión utilizados, a la generalización de actividades según los usos del suelo y a la variedad de prácticas agrícolas.

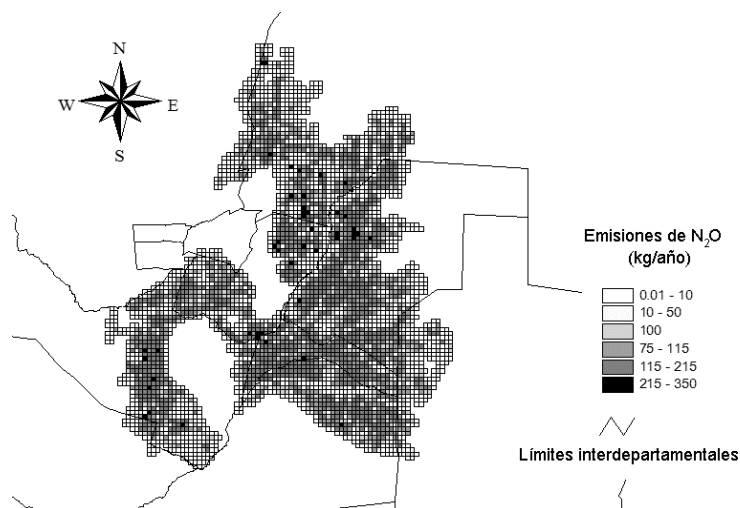


Figura 4: Emisiones grilladas de óxido nitroso para la zona del Oasis Norte de la Provincia de Mendoza.

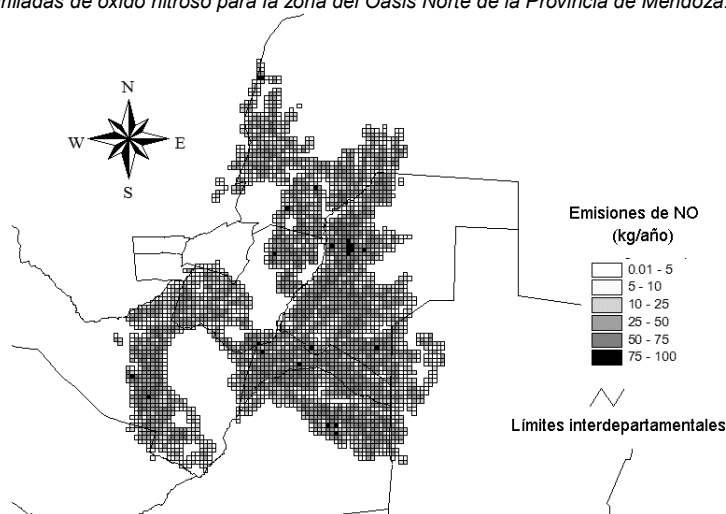


Figura 5: Emisiones grilladas de óxido nítrico para la zona del Oasis Norte de la Provincia de Mendoza.

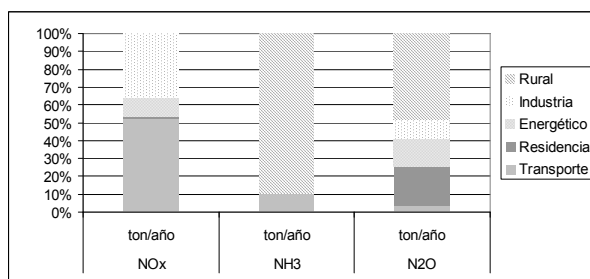


Figura 6: Contribución de distintas fuentes a las emisiones totales de compuestos nitrogenados para el Gran Mendoza (Fuente: este trabajo, Puliafito y Allende, 2007, Castro y Puliafito, 2008)

Sin embargo, ante la ausencia de datos más precisos se optó por utilizar factores por defecto para la región proporcionados por el IPCC. Si bien, potencialmente, el suelo es una de las mayores fuentes posibles de emisiones, las estimaciones para este ítem son las más inciertas, ya que no existen factores de emisión de calidad locales disponibles. Incluso, debido a su gran incertidumbre, muchos inventarios no incluyen emisiones provenientes del suelo, a pesar de su posible importancia. Existe además incertidumbre proveniente de los datos estadísticos utilizados, que en general es alrededor del 5%. Una mejora posible para este inventario de emisiones sería la incorporación de datos de aplicación de fertilizantes que permitieran una mejor resolución temporal para esta categoría, es decir, un tratamiento del inventario en una base mensual. En contraste, las emisiones provenientes de suelos en forma directa e indirecta, requieren mayor desarrollo, no solo en la estimación de

factores de emisión para los sistemas específicos presentes en la zona de estudio, sino también en el entendimiento de las interacciones suelo-atmósfera en el intercambio de compuestos nitrogenados.

Teniendo en cuenta estas limitaciones, los resultados deben considerarse estimaciones conservadoras del flujo de compuestos nitrogenados a la atmósfera.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido posible gracias a la colaboración de la Facultad Regional Mendoza Universidad Tecnológica Nacional, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica a través del PICT 2005 23-32686. Los autores desean agradecer además la enorme contribución del Ing. Hernán Puga, coordinador del Programa EcoAtlas del Instituto de Desarrollo Rural.

## REFERENCIAS

- Beusen A.H.W., Bouwman A.F., Heuberger P.S.C., Van Drecht G., Van Der Hoek, K.W. (2008). Bottom-up uncertainty estimates of global ammonia emissions from global agricultural production systems. *Atmospheric Environment*. 42, 24, 6067-6077.
- Bouwman A.F., Van Der Hoek K.W. (1997). Scenarios of animal waste production and fertilizer use and associated ammonia emission for the developing countries. *Atmospheric Environment*. 31:4095-102
- Bouwman A.F., Van Vuuren D.P., Derwent R.G., Posch, M. (2002). A global analysis of acidification and eutrophication of terrestrial ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* 141, 349-382.
- Carpenter S.R., Caraco N.F., Correll D.L., Howarth R.W., Sharples A.N., Smith V.H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 8, 559-568.
- Castro F., Puliafito S.E. (2008). Emisiones de fuentes móviles del Gran Mendoza. III Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI, Mendoza, Argentina. Universidad Tecnológica Nacional, Universidad Nacional de Cuyo. N. Maldonado, A. Vecar, Hebe Cremades (Eds.). 161-168.
- EcoAtlas (2009) <http://www.ecoatlas.org.ar>.
- EMEP/CORINAIR (2006). Emission Inventory Guidebook. 3ª edición. European Environment Agency.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2004). Uso de fertilizantes por cultivo en Argentina. Primera Edición. Roma.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2006) (<http://www.indec.gov.ar>)
- IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 4. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC.
- Olivier J. G. J., Bouwman A. F., Van der Hoek K. W., Berdowski J. J. M. (1998). Global air emission inventories for anthropogenic sources of NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O in 1990. *Environmental Pollution*. 102 (1), Supplement 1, Nitrogen, the Confer-N-s First International Nitrogen Conference, 135-148.
- Papen H., Butterbach-Bahl, K. (1999). A 3-year continuous record of nitrogen trace gas fluxes from untreated and limed soil of a N saturated spruce and beech forest ecosystems in Germany. Part I. N<sub>2</sub>O emissions. *Journal of Geophysical Research*. 104(15), 18487-18503.
- Puliafito E., Allende D. (2007). Calidad de aire en ciudades intermedias. *Revista Proyecciones*. UTN-FRBA. Año 5. 2. 33-52.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (2006). (<http://www.sagpya.mecon.gov.ar>).
- Seinfeld J.H. y Pandis S.N. (2006) *Atmospheric Chemistry and Physics*. From Air Pollution to Climate Change, 2ª edición, pp. 33-38. Wiley Interscience, New Jersey.
- Sosa O. (2005). Los estiércoles y su uso como enmiendas orgánicas. *Revista Agromensajes*. Facultad de Ciencias Agrarias UNR. 16. ISSN: 16698584.
- Thornton F.C., Shurpali N.J., Bock B.R., Reddy, K.C. (1998). N<sub>2</sub>O and NO emissions from poultry litter and urea application to bermuda grass. *Atmospheric Environment*. 32(9), 1623-1630.
- Vergé X.P.C., De Kimpe C., Desjardins R.L. (2007). Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. *Agricultural and Forest Meteorology*. 142. 2-4. The Contribution of Agriculture to the State of Climate. 255-269.
- Vitousek P.M., Matson, P.A. (1993). Agriculture, the global nitrogen cycle, and trace gas flux. *Biogeochemistry of Global Change: Radiatively Active Trace Gases*. pp. 193-208. Chapman and Hall. New York.
- Watanabe T., Osada T., Yoh M., Tsuruta H. (1997). N<sub>2</sub>O and NO emissions from grassland soils after the application of cattle and swine excreta. *Nutrient Cycles in Agroecosystems*. 49(1-3), 35-39.

## ABSTRACT

In this study, agro and food production ammonia, nitrous oxide and nitric oxide emissions were estimated for the Northern Oasis of the Mendoza Province. Emissions of these pollutants were calculated using the approach suggested by EMEP/CORINAIR methodologies. We used the year 2006 as a basis for the calculations. Total annual emissions for NO were estimates in 87.5 tons, 233.1 tons for N<sub>2</sub>O and 1370 tons for ammonia. All emissions were spatially distributed using a Cartesian grid over land use maps obtained by processing Landsat satellite images. Finally, the results were compared to emissions from other anthropogenic sources and the uncertainties were analyzed.

**Keywords:** emissions inventory, agriculture, nitrogen cycle, ammonia, nitric oxide, nitrous oxide.