



**Ministerio de Desarrollo Social y
Medio Ambiente
Secretaría de Desarrollo Sustentable y
Política Ambiental**

**INVENTARIO DE
EMISIONES 1997
DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO
PROCEDENTES DE LOS
SUELOS AGRÍCOLAS**



INVENTARIO DE EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO PROCEDENTES DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS

Los suelos agrícolas emiten N₂O en forma directa e indirecta. Las primeras incluyen a las emisiones procedentes de: 1) el nitrógeno aplicado a la agricultura; y 2) los suelos dedicados a la producción animal. Las emisiones indirectas de N₂O proceden también del nitrógeno aplicado a la agricultura.

El total de emisiones de N₂O-N en un país (kg N₂O-N / año) se calcula así:

$$N_2O = N_2O \text{ directas} + N_2O \text{ animales} + N_2O \text{ indirectas} \quad \{1\}$$

Estimación de las emsiones directas de óxido nitroso procedentes de los campos agrícolas

1. Cálculo del fertilizante sintético utilizado (F_{SN}):

Para realizar este cálculo se requiere conocer el total de fertilizante sintético, F_{SN}, utilizado en el país excluyendo las emisiones de NH₃ y NO_x (F_{SN}). En la Tabla 1 se presenta el consumo de fertilizantes nitrogenados, N_{FERT}, discriminado por fuente de N, en la Argentina.

Tabla 1: consumo de fertilizantes nitrogenados en el país.

Fuente: SENASA

Fertilizante	Consumo	
	% N (Mg)	N _{FERT} (Kg N/año)
1989		
Amoníaco anhidro	2.362,00	0,82
Fertilizantes compuestos	1.350,00	0,19
Fertilizantes foliares	113,00	0,08
Fosfato diamónico (21 %)	50,00	0,21
Fosfato diamónico (18 %)	56.392,00	0,18
Fosfato monoamónico	5.255,00	0,11
Nitrato amónico calcáreo	0,00	0,27
Nitrato de amonio	4.549,00	0,33
Nitrato de calcio	120,00	0,29
Nitrato de sodio	1.662,00	0,13
Nitrato de sodio	2.855,00	0,16
Nitrato de sodio-potasio	2.175,00	0,15
Sulfato de amonio	19.496,00	0,21
Sulfonitrato de amonio	3.350,00	0,26
Urea	191.815,00	0,46
UAN		
Total	291.544,00	108.676.630

1990

Amoniaco anhidro	3.304,00	0,82	2.709.280
Fertilizantes compuestos	3.337,00	0,19	634.030
Fertilizantes foliares	21,00	0,08	1.680
Fosfato diamónico (21 %)	0,00	0,21	0
Fosfato diamónico (18 %)	103.543,00	0,18	18.637.740
Fosfato monoamónico	4.990,00	0,11	548.900
Nitrato amónico calcáreo	0,00	0,27	0
Nitrato de amonio	5.516,00	0,33	1.820.280
Nitrato de calcio	570,00	0,29	165.300
Nitrato de potasio	4.164,00	0,13	541.320
Nitrato de sodio	375,00	0,16	60.000
Nitrato de sodio-potasio	1.755,00	0,15	263.250
Sulfato de amonio	17.033,00	0,21	3.576.930
Sulfonitrato de amonio	2.500,00	0,26	650.000
Urea	119.462,00	0,46	54.952.520
UAN			
Total	266.570,00		84.561.230

1991

Amoniaco anhidro	3.095,00	0,82	2.537.900
Fertilizantes compuestos	4.064,00	0,19	772.160
Fertilizantes foliares	224,00	0,08	17.920
Fosfato diamónico (21 %)	36,00	0,21	7.560
Fosfato diamónico (18 %)	96.324,00	0,18	17.338.320
Fosfato monoamónico	9.041,00	0,11	994.510
Nitrato amónico calcáreo	300,00	0,27	81.000
Nitrato de amonio	11.233,00	0,33	3.706.890
Nitrato de calcio	568,00	0,29	164.720
Nitrato de potasio	8.215,00	0,13	1.067.950
Nitrato de sodio	2.375,00	0,16	380.000
Nitrato de sodio-potasio	4.465,00	0,15	669.750
Sulfato de amonio	17.848,00	0,21	3.748.080
Sulfonitrato de amonio	3.200,00	0,26	832.000
Urea	128.728,00	0,46	59.214.880
UAN			
Total	289.716,00		91.533.640

1992

Amoniaco anhidro	5.016,00	0,82	4.113.120
Fertilizantes compuestos	7.340,00	0,19	1.394.600
Fertilizantes foliares	306,00	0,08	24.480
Fosfato diamónico (21 %)	0,00	0,21	0
Fosfato diamónico (18 %)	167.836,00	0,18	30.210.480
Fosfato monoamónico	7.763,00	0,11	853.930
Nitrato amónico calcáreo	600,00	0,27	162.000
Nitrato de amonio	18.974,00	0,33	6.261.420
Nitrato de calcio	708,00	0,29	205.320
Nitrato de potasio	11.049,00	0,13	1.436.370
Nitrato de sodio	2.348,00	0,16	375.680
Nitrato de sodio-potasio	2.710,00	0,15	406.500
Sulfato de amonio	35.674,00	0,21	7.491.540
Sulfonitrato de amonio	4.700,00	0,26	1.222.000
Urea	200.705,00	0,46	92.324.300
UAN			
Total	465.729,00		146.481.740

1993

Amoniaco anhidro	3.773,00	0,82	3.093.860
Fertilizantes compuestos	9.264,00	0,19	1.760.160
Fertilizantes foliares	185,00	0,08	14.800
Fosfato diamónico (21 %)	20,00	0,21	4.200
Fosfato diamónico (18 %)	205.421,00	0,18	36.975.780
Fosfato monoamónico	8.455,00	0,11	930.050
Nitrato amónico calcáreo	2.751,00	0,27	742.770
Nitrato de amonio	11.309,00	0,33	3.731.970
Nitrato de calcio	573,00	0,29	166.170
Nitrato de potasio	10.598,00	0,13	1.377.740
Nitrato de sodio	1.404,00	0,16	224.640
Nitrato de sodio-potasio	2.110,00	0,15	316.500
Sulfato de amonio	9.415,00	0,21	1.977.150
Sulfonitrato de amonio	5.000,00	0,26	1.300.000
Urea	285.753,00	0,46	131.446.380
UAN			
Total	556.031,00		184.062.170

1994

Amoniaco anhidro	7.013,00	0,82	5.750.660
Fertilizantes compuestos	17.996,00	0,19	3.419.240
Fertilizantes foliares	436,00	0,08	34.880
Fosfato diamónico (21 %)	0,00	0,21	0
Fosfato diamónico (18 %)	281.518,00	0,18	50.673.240
Fosfato monoamónico	26.902,00	0,11	2.959.220
Nitrato amónico calcáreo	4.500,00	0,27	1.215.000
Nitrato de amonio	38.443,00	0,33	12.686.190
Nitrato de calcio	542,00	0,29	157.180
Nitrato de potasio	5.981,00	0,13	777.530
Nitrato de sodio	1.725,00	0,16	276.000
Nitrato de sodio-potasio	1.150,00	0,15	172.500
Sulfato de amonio	13.316,00	0,21	2.796.360
Sulfonitrato de amonio	340,00	0,26	88.400
Urea	456.632,00	0,46	210.050.720
UAN			
Total	856.494,00		291.057.120

1995

Amoniaco anhidro	7.013,00	0,82	5.750.660
Fertilizantes compuestos	17.569,00	0,19	3.338.110
Fertilizantes foliares	1.910,00	0,08	152.800
Fosfato diamónico (21 %)	11,00	0,21	2.310
Fosfato diamónico (18 %)	330.135,00	0,18	59.424.300
Fosfato monoamónico	107.550,00	0,11	11.830.500
Nitrato amónico calcáreo	15.300,00	0,27	4.131.000
Nitrato de amonio	47.690,00	0,33	15.737.700
Nitrato de calcio	3.505,00	0,29	1.016.450
Nitrato de potasio	6.161,00	0,13	800.930
Nitrato de sodio	1.842,00	0,16	294.720
Nitrato de sodio-potasio	0,00	0,15	0
Sulfato de amonio	46.673,00	0,21	9.801.330
Sulfonitrato de amonio	3.600,00	0,26	936.000
Urea	512.800,00	0,46	235.888.000
UAN			
Total	1.101.759,00		349.104.810

1996			
Amoniaco anhidro		0,82	0
Fertilizantes compuestos	27.303,90	0,19	5.187.741
Fertilizantes foliares	680,10	0,08	54.408
Fosfato diamónico (21 %)	96,00	0,21	20.160
Fosfato diamónico (18 %)	542.520,40	0,18	97.653.672
Fosfato monoamónico	75.534,70	0,11	8.308.817
Nitrato amónico calcáreo	55.968,00	0,27	15.111.360
Nitrato de amonio	61.532,90	0,33	20.305.857
Nitrato de calcio	4.265,20	0,29	1.236.908
Nitrato de potasio	9.560,60	0,13	1.242.878
Nitrato de sodio	1.527,50	0,16	244.400
Nitrato de sodio-potasio	1.200,00	0,15	180.000
Sulfato de amonio	6.650,00	0,21	1.396.500
Sulfonitrato de amonio	10.200,00	0,26	2.652.000
Urea	762.689,50	0,46	350.837.170
UAN			
Total	1.559.728,80		504.431.871
1997			
Amoniaco anhidro		0,82	0
Fertilizantes compuestos	25.233,30	0,19	4.794.327
Fertilizantes foliares	842,30	0,08	67.384
Fosfato diamónico (21 %)	145,00	0,21	30.450
Fosfato diamónico (18 %)	542.681,76	0,18	97.682.717
Fosfato monoamónico	75.854,40	0,11	8.343.984
Nitrato amónico calcáreo	25.465,00	0,27	6.875.550
Nitrato de amonio	62.666,10	0,33	20.679.813
Nitrato de calcio	541,50	0,29	157.035
Nitrato de potasio	12.366,60	0,13	1.607.658
Nitrato de sodio	2.024,00	0,16	323.840
Nitrato de sodio-potasio	900,00	0,15	135.000
Sulfato de amonio	41.068,00	0,21	8.624.280
Sulfonitrato de amonio	23.267,30	0,26	6.049.498
Urea	605.217,00	0,46	278.399.820
UAN	20.692,00	0,32	6.621.440
Total	1.438.964,26		433.771.356
1998			
Amoniaco anhidro		0,82	0
Fertilizantes compuestos	12.477,10	0,19	2.370.649
Fertilizantes foliares	807,70	0,08	64.616
Fosfato diamónico (21 %)	532.937,20	0,21	111.916.812
Fosfato diamónico (18 %)	248,00	0,18	44.640
Fosfato monoamónico	89.742,30	0,11	9.871.653
Nitrato amónico calcáreo	13.600,00	0,27	3.672.000
Nitrato de amonio	10.260,00	0,33	3.385.800
Nitrato de calcio	1.949,60	0,29	565.384
Nitrato de potasio	10.474,20	0,13	1.361.646
Nitrato de sodio	2.540,00	0,16	406.400
Nitrato de sodio-potasio	600,00	0,15	90.000
Sulfato de amonio	10.260,00	0,21	2.154.600
Sulfonitrato de amonio	5.800,20	0,26	1.508.052
Urea	669.171,30	0,46	307.818.798
UAN	15.395,60	0,32	4.926.592
Total	1.360.867,60		445.231.050

Entre 1989 y 1995 estos datos fueron obtenidos de estadísticas de consumo aparente del

Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). De 1996 en adelante, son estimaciones de la Dirección de Agricultura de la SAGyP (R. Bertolassi, comunicación personal), tomando como base el consumo aparente y el remanente de año a año (“carry over”).

La Figura 1 muestra la evolución del consumo de nitrógeno utilizado en la agricultura entre 1989 y 1999. Como puede observarse, la agricultura argentina terminó usando alrededor de cinco veces más fertilizantes al final de la década, hecho atribuible al cambio en las condiciones macroeconómicas a partir de la sanción de la ley de convertibilidad en 1991. Si bien la urea es claramente la fuente nitrogenada prevaleciente, su participación disminuyó levemente durante el período (80 a 69 %).

Los cálculos de la hoja de trabajo 4-5, parte 1 del Manual del IPCC (1996) requieren conocer el total de fertilizante sintético, F_{SN} , utilizado en el país excluyendo las emisiones de NH_3 y NO_x . Para el cálculo se empleó la siguiente ecuación:

$$F_{SN} = N_{FERT} \times (1 - FRAC_{GASF}) \quad [2]$$

En la cual:

N_{FERT} = total de fertilizante sintético utilizado en el país (kg N / año)

$FRAC_{GASF}$ = fracción total de nitrógeno del fertilizante sintético que se emite como NO_x + NH_3 (kg N / kg N). Se utilizó el valor por defecto propuesto en la Tabla 4-17 por el IPCC. Este valor fue 0,1 kg NH_3 -N + NO_x -N / kg de nitrógeno en el fertilizante sintético aplicado.

La Tabla 2 presenta los valores de F_{SN} por cada año del período estudiado.

Tabla 2: total de fertilizante sintético utilizado en el país, excluyendo las emisiones de NH_3 y NO_x (F_{SN}).

Año	N_{FERT} (Kg N/año)	F_{SN} (Kg N/año)
1989	108.676.630	97.808.967
1990	84.561.230	76.105.107
1991	91.533.640	82.380.276
1992	146.481.740	131.833.566
1993	184.062.170	165.655.953
1994	291.057.120	261.951.408
1995	349.104.810	314.194.329
1996	504.431.871	453.988.684
1997	433.771.356	390.394.220
1998	445.231.050	400.707.945

2. Cálculo del aporte total de nitrógeno en cultivos y forrajeras fijadores de nitrógeno (F_{BN}):

Aporte procedente de los cultivos

La metodología propuesta por el Manual de Trabajo del IPCC (1996) contempla el aporte de los cultivos fijadores del nitrógeno (F_{BN1} , kg N / año), el cual puede calcularse a partir de la producción de legumbres secas y soja en el país, $Cultivo_{BF}$ (kg/año):

$$F_{BN1} = 2 \times Cultivo_{BF} \times FRAC_{NCRBF} \quad [3]$$

en la cual:

$Cultivo_{BF}$ = producción de biomasa de legumbres secas + soja en el país (kg de biomasa seca / año).

$FRAC_{NCRBF}$ = fracción del nitrógeno en cultivos fijadores del nitrógeno (kg N / kg de biomasa seca). Se utilizó el valor por defecto propuesto en la Tabla 4-17 por el IPCC. Este valor fue 0,03 kg N / kg de biomasa seca. Se aplicó un factor 2, o aproximadamente igual, para convertir la producción de cultivos a total de los cultivos.

Aporte de nitrógeno procedente de las leguminosas forrajeras:

La metodología propuesta considera que los principales aportes provienen de cultivos cosechables como soja y legumbres secas. De allí la necesidad de calcular la biomasa aérea a partir de los datos de producción surgidos de los rendimientos en grano o legumbre. Sin embargo, y a diferencia de los Estados Unidos, en la Argentina es considerable la fijación biológica de nitrógeno por parte de las leguminosas forrajeras, como alfalfa, tréboles. Particularmente, en la región pampeana es frecuente la rotación de los campos dedicados a la agricultura con pasturas consociadas de gramíneas y leguminosas. Estos campos son pastoreados en forma directa por ganado doméstico. Podría firmarse que, probablemente, la situación de Argentina no debería diferenciarse demasiado de lo que sucede en países como Nueva Zelanda o Inglaterra, o el caso de nuestro país vecino Uruguay, que también suelen sembrar pasturas consociadas para pastoreo directo. Por consiguiente, en Argentina no puede obviarse la contribución de las leguminosas forrajeras.

Para considerar la contribución de las leguminosas forrajeras se siguió básicamente la metodología del Manual de Trabajo de IPCC (1996), la cual fue modificada en algunos aspectos, consensuados previamente con el equipo de trabajo de Estados Unidos (Barbara Braatz, comunicación personal). Por ejemplo, uno de los criterios fue no aplicar el factor, 2, que se aplica al cálculo de los cultivos agrícolas, pues en pasturas normalmente se dispone de datos de producción de biomasa aérea.

Estadísticas de forrajeras de Argentina

Probablemente, éste fue uno de los aspectos más conflictivos a considerar, y el que seguramente constituirá una fuente de incertidumbre acerca del grado de veracidad de los resultados finales. A diferencia de los principales cultivos agrícolas, cuya producción es monitoreada año a año por la SAGyP, y sus estadísticas están normalmente disponibles en Internet (<http://siiap.sagyp.mecon.ar>) o en bibliotecas, no existen datos confiables sobre producción de forrajeras en la Argentina. Debido a ello se recurrió a diferentes estimaciones para subsanar esta deficiencia.

En primer lugar, si bien no se dispone de estadísticas confiables de producción anual de forrajeras, si existen estimaciones confiables de la superficie sembrada con forrajeras puras y pasturas consociadas. Estas estimaciones surgen de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), que es implementada anualmente por la SAGyP a partir de 1993 (R. Bertolassi, comunicación personal). En el caso de las alfalfas puras, los datos de área sembrada fueron chequeados con la información de los productores de semilla forrajera nucleados en la Asociación de Semilleros Argentinos, ASA (O. Domingo, comunicación personal). No existen datos registrados entre 1989 y 1992 sobre área sembrada con forrajeras, por lo cual no fue posible considerar su contribución entre estos años. Finalmente, existe una base confiable de datos que surge del Censo Nacional Agropecuario de 1988. En aras de poder realizar los cálculos de emisiones del período 1989-1997, se consideraron los datos del censo 88 como pertenecientes al año 1989.

Otro factor de incertidumbre surge del hecho que las ENA, llevadas a cabo desde 1993, sólo toman en consideración a las provincias pampeanas (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fé, La Pampa y Entre Ríos). Si bien estas provincias son por lejos las principales donde se siembran pasturas, se descartan algunas situaciones que pueden ser también importantes. Por ejemplo, la siembra de alfalfares para engorde vacuno en la provincia de San Luis, o la de melilotus en la provincia del Chaco.

Excepto en algunos años, en que no se consideró la superficie sembrada con tréboles, tanto el Censo 88 como las ENA consideran la superficie sembrada anualmente con alfalfa (*Medicago sativa*), tréboles (eg. *Trifolium repens*, *T. pratense*), Lotus (e.g. *L. corniculatus* y *L. tenuis*), Melilotus (*M. officinalis*) y con pasturas consociadas. Estas pasturas se componen normalmente, por partes iguales, de gramíneas como pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), festuca (*Festuca arundinacea*), cebadilla (*Bromus inermis*), etc, y de leguminosas como las citadas previamente. En el caso de las leguminosas puras, la superficie incluye tanto la destinada a pastoreo directo, o reservas forrajeras, como la destinada a producción de semilla.

Alfalfa

La Tabla 3 a presenta los datos disponibles, según las especificaciones previas del área sembrada de alfalfa.

Provincia	Tabla 3 a: superficie implantada con alfalfa pura en la región pampeana (ha)								
	1989*	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Buenos Aires	89,464				84,317	152,199	67,949	98,000	127,900
Córdoba	614,351				475,603	299,036	620,458	707,700	916,100
Entre Ríos					15,217	50,733	24,589	29,700	47,600
La Pampa	361,715				242,869	101,579	235,833	253,800	252,500
Santa Fe	102,297				79,542	154,609	252,281	468,400	526,400
Total región	1,167,827				897,548	758,156	1,201,110	1,557,600	1,870,500

* datos pertenecientes al Censo Nacional Agropecuario 1988.

Una estimación del grado de incertidumbre dado por considerar sólo las provincias pampeanas, es indicado por la superficie sembrada con alfalfa en provincias extra-pampeanas, a partir de datos del Censo '88 (Tabla 3 b). Como puede verse, en este censo la superficie extra-pampeana representó sólo el 12 % de la pampeana. La provincia de San Luis surge como la única con una contribución digna de considerar.

Tabla 3 b: superficie sembrada con alfalfa fuera de la región pampeana en 1988.

Otras provincias	Sup. implantada ha
Chaco	5,460.50
Chubut	7,303.40
Mendoza	14,648.60
Neuquén	2,814.40
Río Negro	10,397.70
Salta	9,871.00
San Juan	4,808.00
San Luis	63,587.30
Santiago del Estero	19,752.80
Tucumán	2,960.60
	141,604.30

No existen estadísticas, ni tampoco abundan los datos confiables sobre producción de biomasa por parte de forrajeras. Para subsanar esta dificultad se recurrió a la información publicada local, surgida de fuentes reconocidamente confiables (A. Ayala Torales, comunicación personal). Una compilación de los datos disponibles de producción de forrajeras puras y consociadas en pastoreo en la región pampeana fue realizada por C. A. Cangiano (1996).

Para el caso de las alfalfas puras, existen mediciones de producción realizadas al norte (Rafaela, prov. de Santa Fe) y al sur (Balcarce, prov. de Buenos Aires) de la región pampeana Tablas 3 c y d).

Tabla 3 c: producción de biomasa diaria por distintos tipos de alfalfa pura en Rafaela, pcia. Santa Fe.

Rafaela. Alfalfa con latencia (kg MS ha⁻¹ día⁻¹)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1° AÑO								22	23	45	47	45
2° AÑO	32	36	32	17	13	10	11	21	22	65	67	65
3° AÑO	19	18	19	17	13	10	10	19	20	39	40	39
4° AÑO	8	9	8	13	10	7	11	13	21	22	21	21
Prom.	19.67	21.00	19.67	15.67	12.00	9.00	10.67	17.67	21.00	42.00	42.67	41.67

Rafaela. Alfalfa sin latencia (kg MS ha⁻¹ día⁻¹)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1° AÑO							26	26	30	55	57	52
2° AÑO	29	32	32	20	19	17	19	23	25	52	53	42
3° AÑO	13	14	19	17	16	13	16	29	22	24	25	23
4° AÑO	8	9	8	13	10	10	13	16	20	21	22	13
Prom.	16.67	18.33	19.67	16.67	15.00	13.33	16.00	22.67	22.33	32.33	33.33	26.00

Tabla 3 d: producción diaria de biomasa de alfalfa pura en Balcarce, pcia. de Buenos Aires.

Balcarce/Chascomús. Alfalfa con reposo (kg MS ha⁻¹ día⁻¹)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1° AÑO											100	85
2° AÑO	40	80	45	15							100	70
3° AÑO	38	10	5	5							65	50
4° AÑO	30	20										
Prom.	36.00	36.67	25.00	10.00							82.50	60.00

Balcarce/Chascomús. Alfalfa con reposo intermedio (kg MS ha⁻¹ día⁻¹)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1° AÑO											75	70
2° AÑO	60	90	60	20							120	115
3° AÑO	95	33	20	10							70	85
4° AÑO	80	60	30									
Prom.	78.33	61.00	36.67	15.00							95.00	100.00

Balcarce/Chascomús. Alfalfa sin reposo (kg MS ha⁻¹ día⁻¹)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1° AÑO											70	65
2° AÑO	65	75	55	35							100	60
3° AÑO	38	35	25	10							45	55
4° AÑO	48	30	15									
Prom.	50.33	46.67	31.67	22.50							72.50	57.50

Estos datos de producción diaria fueron llevados a producciones mensuales, cuya sumatoria permitió obtener producciones anuales de biomasa de alfalfa. Estas producciones fueron, en promedio 8126,9 kg MS ha⁻¹ para Rafaela y 8172,3 kg MS ha⁻¹. Por consiguiente, la producción de alfalfa pura en las provincias pampeanas fue calculada multiplicando la superficie sembrada (Tabla 3 a) por una producción anual media de 8000 kg MS ha⁻¹. Las producciones resultantes se presentan en la Tabla 4 e.

Tabla 3 e: Producción de alfalfa pura a 8000 kg MS ha⁻¹ año⁻¹

Provincia	(Gg año ⁻¹)								
	1989*	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Buenos Aires	716	0	0	0	675	1,218	544	784	1,023
Córdoba	4,915	0	0	0	3,805	2,392	4,964	5,662	7,329
Entre Ríos	0	0	0	0	122	406	197	238	381
La Pampa	2,894	0	0	0	1,943	813	1,887	2,030	2,020
Santa Fe	818	0	0	0	636	1,237	2,018	3,747	4,211
Total región	9,343	0	0	0	7,180	6,065	9,609	12,461	14,964

* = censo nacional agropecuario
1988

De las provincias pampeanas, Córdoba concentra la mayor producción de alfalfa pura.

Tréboles

A diferencia de alfalfa, que suele ser cultivada pura tanto para corte como para pastoreo directo, los tréboles en sus variedades blanco (*Trifolium repens*) y rojo (*T. pratense*), se cultivan puros sólo para producción de semilla. Sin dudas, su uso más frecuente es para integrar mezclas en pasturas consociadas. La Tabla 4 a muestra la superficie sembrada con tréboles puros, a partir de estimaciones de ENA para los años 1989 y entre 1995 y 1997.

Tabla 4 a: superficie cultivada con tréboles puros en la región pampeana. Fuente: ENA.

Provincia	Superficie implantada (ha)								
	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Buenos Aires	19,288						34459	25700	18200
Córdoba	20,204						6430	200	800
Entre Ríos	4,410						2280	3900	300
La Pampa	3,352						12306	4300	15500
Santa Fe	13,646						3825	6800	7800
Total región	60,899						59300	40900	42600

Según el Censo '88 alrededor de 10.000 ha de tréboles se sembraron fuera de las provincias pampeanas. Ello significa alrededor de la sexta parte del área considerada. Para estimar la producción de biomasa de los tréboles, sólo raramente se dispone de información de cultivos puros, sino más bien consociados con gramíneas. En este último caso, la producción de trébol se consideró al 50 % del total de la pastura. Las mediciones disponibles fueron también realizadas en Rafaela y Balcarce, donde hay estaciones experimentales de INTA (Tablas 4 b y c).

Tabla 4 b: producción diaria de trébol blanco en pastura. Rafaela, prov. Santa Fe.

Rafaela. Trébol blanco/gramíneas (kg MS ha⁻¹ día⁻¹)

¹) T. blanco= 50 %

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1° AÑO										40	21	22	16
2° AÑO		6	7	6	23	19	17	16	26	30	26	17	16
3° AÑO		5	5	5	22	18	14	13	23	27	23	13	11
4° AÑO		3	4	3	20	16	10	10	19	23	19	10	6
Prom.	4.67	5.33	4.67	21.67	17.67	13.67	13.00	22.67	26.67	22.67	13.33	11.00	

Tabla 4 c: producción diaria de trébol blanco en pastura consociada, en Balcarce y Chascomús,

prov. Buenos Aires.

Balcarce/Chascomús. Trébol blanco/festuca (kg MS ha⁻¹ día⁻¹). Considerar

Trébol blanco = 50

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1° AÑO								19	29	35	40	24	48
2° AÑO	30	18	12										
Prom.	30.00	18.00	12.00						35.00	40.00	24.00	48.00	

Tabla 4 c (cont.): Balcarce/Chascomús. Trébol blanco/festuca (kg MS ha⁻¹ día⁻¹). Considerar Trébol blanco = 50

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1° AÑO											65	55
2° AÑO	18	21	25	21	12	6	3	8	22			
Prom.	18.00	21.00	25.00	21.00	12.00	6.00	3.00	8.00	22.00		65.00	55.00

Siguiendo el mismo procedimiento que el realizado para alfalfa, se obtuvieron las producciones anuales de trébol blanco. En promedio estas fueron 7759 kg MS ha⁻¹.

La Tabla 5 muestra datos de tres ensayos con pasturas consociadas en Balcarce y Chascomús (prov. Buenos Aires), que poseían trébol rojo (*Trifolium pratense*) integrando la mezcla.

Tabla 5: producciones diarias de trébol rojo en pasturas, en Balcarce y Chascomús,

prov. Buenos Aires.

Balcarce/Chascomús. Trébol rojo/raigrás perenne (kg MS ha⁻¹ día⁻¹)

Considerar Trébol rojo = 100 %

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1° AÑO											13	13	12
2° AÑO	10	10	12	2	2	1	1	10	15	24	45	75	
Prom.	10.00	10.00	12.00	2.00	2.00	1.00	1.00	10.00	15.00	18.50	29.00	43.50	

Balcarce/Chascomús. Trébol rojo/P.ovillo + cebadilla + falaris (kg MS ha⁻¹ día⁻¹)

Considerar Trébol rojo = 40%

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1° AÑO										18	18	30	42
2° AÑO	40	34	27	24	21	20	19	15					
Prom.	40.00	34.00	27.00	24.00	21.00	20.00	19.00	15.00	18.00	18.00	30.00	42.00	

Balcarce/Chascomús. Trébol rojo/P.ovillo + cebadilla + falaris (kg MS ha⁻¹ día⁻¹) Fert. 20 kg P ha⁻¹. Considerar Trébol rojo = 40%

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1° AÑO										20	46	63	64
2° AÑO	53	47	36	27	23	22	21	16					
Prom.	53.00	47.00	36.00	27.00	23.00	22.00	21.00	16.00	20.00	46.00	63.00	64.00	

Del promedio de las producciones anuales de estas pasturas, surge que la producción media de biomasa seca de trébol rojo es 3969,1 kg MS ha⁻¹.

La Tabla 6 muestra la producción anual en 1989 y entre 1995 y 1997 de tréboles balaco y rojo, considerando las producciones estimadas y que cada uno ocupa un 50 % del área sembrada.

Tabla 6: producción total de Tréboles (T. blanco + t. rojo)

Provincia	(Mg año ⁻¹)								
	1989*	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Buenos Aires	145	0	0	0	0	0	258	193	137
Córdoba	152	0	0	0	0	0	48	2	6
Entre Ríos	33	0	0	0	0	0	17	29	2
La Pampa	25	0	0	0	0	0	92	32	116
Santa Fe	102	0	0	0	0	0	29	51	59
Total región	457	0	0	0	0	0	445	307	320

Lotus

El género *Lotus* se siembra con dos de sus especies (*L. corniculatus* y *L. tenuis*), de las cuales la más frecuente es la primera citada. Son especies destinadas a suelos con deficiencias de drenaje y problemas de alcalinidad. La Tabla 7 a muestra la superficie sembrada con *Lotus* en la región pampeana.

Provincia	Tabla 7 a: superficie implantada con <i>Lotus</i> puro en la región pampeana. (ha)								
	1989*	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Buenos Aires	2,513						2677	600	3,700
Córdoba	1,900							100	0
Entre Ríos	11,093						14199	6,400	4,300
La Pampa							1083	3,200	700
Santa Fe								1,100	1,300
Total región	15,506						17,959	11,400	10,000

En Cangiano (1996) pueden hallarse resultados de un ensayo llevado a cabo en Balcarce y Chascomús, donde se midió la producción diaria de *Lotus corniculatus* (Tabla 7 b).

Tabla 7 b: producción diaria de pasturas de Lotus.

Balcarce/Chascomús. *Lotus corniculatus* (kg MS ha⁻¹ día⁻¹)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1° AÑO											45	25
2° AÑO	30	44	35	28	16	10	6	18	25			
Prom.	30.00	44.00	35.00	28.00	16.00	10.00	6.00	18.00	25.00		45.00	25.00

Utilizando estos datos, se realizó la Tabla 7 c que muestra la producción anual a partir del área sembrada (Tabla 7 a) y de una producción media anual de 8500 kg MS ha⁻¹.

Provincia	(Gg año ⁻¹)									
	1989*	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	
Buenos Aires	21	0	0	0	0	0	23	5	31	
Córdoba	16	0	0	0	0	0	0	1	0	
Entre Ríos	94	0	0	0	0	0	121	54	37	
La Pampa	0	0	0	0	0	0	9	27	6	
Santa Fe	0	0	0	0	0	0	0	9	11	
Total región	132	0	0	0	0	0	153	97	85	

* = censo nacional agropecuario 1988

Melilotus

Las Tablas 8 a y b presentan las estimaciones de la superficie sembrada (fuente: ENA) y de la producción de Melilotus, usando una producción media anual de 8000 kg MS ha⁻¹. Según el Censo '88 unas 70.000 ha de Melilotus se sembraban fuera de las provincias pampeanas, especialmente en las provincias de Chaco y Santiago del Estero. O sea, que en este caso, no considerar estas provincias, de las que no se conoce información fuera de este año, implica una subestimación importante del área sembrada con Melilotus.

Provincia	(ha)									
	1989*	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	
Buenos Aires	1,941							108,300	900	
Córdoba	67,320				49,198		60,359	1,100	37,500	
Entre Ríos	2,111				4,837		1,921	38,900	4,800	
La Pampa	3,603				13,139		16,179	1,200	10,400	
Santa Fe	25,716				27,277		37,296	7,400	50,300	
Total región	100,691				94,451		115,755	156,900	103,900	

Provincia	(Gg año ⁻¹)									
	1989*	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	
Buenos Aires	16	0	0	0	0	0	0	866	7	
Córdoba	539	0	0	0	394	0	483	9	300	
Entre Ríos	17	0	0	0	39	0	15	311	38	
La Pampa	29	0	0	0	105	0	129	10	83	
Santa Fe	206	0	0	0	218	0	298	59	402	
Total región	806	0	0	0	756	0	926	1,255	831	

* = censo nacional agropecuario 1988

Pasturas consociadas

La implantación de pasturas consociadas de gramíneas y leguminosas se encuentra sumamente difundida en la región pampeana, como un recurso de obtener forraje para ganado doméstico en pastoreo directo. Por otra parte, si bien esta práctica

reemplaza al uso de pastizales nativos, generalmente con escasa presencia de leguminosas, las pasturas integran los ciclos regeneradores de la fertilidad edáfica dentro de las rotaciones agrícolas. De todos modos, la práctica de rotar los suelos agrícolas con pasturas ha decrecido mucho en los últimos años, debido a una relación de precios favorable largamente a la agricultura. Las pasturas poseen una vida media variable en cada sector de la región pampeana. La estimación de ENA es que los agricultores renueva las pasturas cada 4 o 5 años, cuando éstas comienzan a mostrar síntomas de envejecimiento, o bien cuando se considera que los suelos han recuperado los atributos de fertilidad perdidos durante el ciclo agrícola previo. En promedio existe una tasa de renovación de 19 % (uno de cada cinco años) en la región pampeana (ENA). La Tabla 9 a presenta la superficie implantada con pasturas en la región pampeana.

Provincia	Superficie implantada con pasturas (ha)								
	1989*	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Buenos Aires	3,107,698				3,463,397	4,461,337	4,098,991	3,871,000	3,740,400
Córdoba	825,836				602,010	909,173	763,549	502,900	432,400
Entre Ríos	342,018				71,010	512,110	448,115	332,700	235,600
La Pampa	329,152				393,235	369,100	409,715	357,000	290,000
Santa Fe	1,081,904				885,890	694,693	878,516	606,200	453,500
Total región	5,686,608				5,415,542	6,946,412	6,598,886	5,669,800	5,151,900

Existe una manifiesta desproporción entre la superficie destinada a pasturas cultivadas y la destinada a leguminosas puras, incluida la más popular de ellas que es la alfalfa (Tablas 3 a). Esta desproporción también se observa cuando se comparan las superficies destinadas a pasturas dentro y fuera de la región pampeana, según el Censo '88. Sólo unas 63 mil hectáreas fueron sembradas en ese año. Por ello, no existe un riesgo importante de subestimación al no incluir a las provincias extra-pampeanas.

Para estimar la producción anual de las leguminosas incluidas en pasturas consociadas, se utilizaron las mediciones compiladas por Cangiano (1996). Se consideró que las leguminosas contribuían en un 50 % a la producción de la pastura. De esta forma se obtuvo la Tabla 9 b, donde se muestra la producción anual de leguminosas en pasturas.

Tabla 10 b: producción anual de leguminosas (50 % cobertura) en pasturas consociadas.

Provincia	(Gg MS ha ⁻¹ año ⁻¹)	(Gg año ⁻¹)								
		1989*	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Buenos Aires	3900	12,120	0	0	0	13,507	17,399	15,986	15,097	14,588
Córdoba	3000	3,221	0	0	0	2,348	3,546	2,978	1,961	1,686
Entre Ríos	3000	1,334	0	0	0	277	1,997	1,748	1,298	919
La Pampa	3000	1,284	0	0	0	1,534	1,439	1,598	1,392	1,131
Santa Fe	3000	4,219	0	0	0	3,455	2,709	3,426	2,364	1,769
Total región		22,178	0	0	0	21,121	27,091	25,736	22,112	20,092

* = censo nacional agropecuario 1988

Cálculo del aporte total de nitrógeno por las leguminosas forrajeras

El aporte de nitrógeno de las forrajeras fijadoras de nitrógeno (F_{BN2} , kg N / año) se calculó a partir de la producción de biomasa seca de alfalfa, tréboles, lotus y melilotus (puros y consociados) en el país:

$$F_{BN2} = \text{Biomasa}_{BF} \times \text{FRAC}_{NCRBF} \quad [4]$$

en la cual:

Biomasa_{BF} = producción de biomasa de forrajeras leguminosas en el país (kg de biomasa seca / año).

FRAC_{NCRBF} = fracción del nitrógeno en forrajeras fijadoras del nitrógeno (kg N / kg de biomasa seca). Se utilizó el valor por defecto propuesto en la Tabla 4-17 por el IPCC. Este valor fue 0,03 kg N / kg de biomasa seca.

Cálculo de los aportes totales de nitrógeno por cultivos y forrajeras fijadores de N

Para calcular estos aportes de nitrógeno se construyó la Tabla 10, donde se diferencian los cultivos y las forrajeras fijadoras de N. En el caso de los cultivos el factor 2, correspondiente a la relación residuo/cosecha, fue mejorado por valores más realistas de cada cultivo.

Tabla 10: cálculo de los aportes de nitrógeno por cultivos y forrajeras fijadores de nitrógeno.

	(miles de Mg)	Granos (kg biomasa seca/año)	Relación Residuo/ Producción	Total (kg biomasa seca/año)	FRAC_{NCRBF} (kg n/ kg de biomasa seca)	F_{BN} (kg N / año)
	A	B	C = A x B	D	E = C x F	
1989/90						
Cultivos						
Soja	10,934.7	10,934,700,000	2.1	22,962,870,000	0.03	688,886,100
Maní	234.7	234,700,000	1.0	234,700,000	0.03	7,041,000
Poroto	207.8	207,845,000	2.1	436,474,500	0.03	13,094,235
Arveja		0	1.5	0	0.03	0
Lenteja		0	1.5	0	0.03	0
Forrajes						
Alfalfa				9,342,612,000	0.03	280,278,360
Tréboles				60,898,900	0.03	1,826,967
Melilotus				805,528,800	0.03	24,165,864
Lotus				131,804,400	0.03	3,954,132
Past.consoc				19,856,752,080	0.03	595,702,562
	11,377	11,377,245,000		53,831,640,680		1,614,949,220
1990/91						
Cultivos						
Soja	10,862.0	10,862,000,000	2.1	22,810,200,000	0.03	684,306,000

Maní	310.6	310,600,000	1.0	310,600,000	0.03	9,318,000
Poroto	241.6	241,600,000	2.1	507,360,000	0.03	15,220,800
Arveja		0	1.5	0	0.03	0
Lenteja		0	1.5	0	0.03	0
Forrajes						
Alfalfa						
Tréboles						
Melilotus						
Lotus						
Past.consoc						
.						
	11,414	11,414,200,000		23,628,160,000		708,844,800

1991/92

Cultivos	11,310.0	11,310,000,000	2.1	23,751,000,000	0.03	712,530,000
Soja	221.4	221,400,000	1.0	221,400,000	0.03	6,642,000
Maní	212.3	212,300,000	2.1	445,830,000	0.03	13,374,900
Poroto	36.0	36,000,000	1.5	54,000,000	0.03	1,620,000
Arveja	24.0	24,000,000	1.5	36,000,000	0.03	1,080,000
Lenteja						
Forrajes						
Alfalfa						
Tréboles						
Melilotus						
Lotus						
Past.consoc						
.						
	494	493,700,000		757,230,000		735,246,900

1992/93

Cultivos						
Soja	11,045.0	11,045,000,000	2.1	23,194,500,000	0.03	695,835,000
Maní	233.4	233,400,000	1.0	233,400,000	0.03	7,002,000
Poroto	165.6	165,600,000	2.1	347,760,000	0.03	10,432,800
Arveja	38.6	38,600,000	1.5	57,900,000	0.03	1,737,000
Lenteja	25.1	25,100,000	1.5	37,650,000	0.03	1,129,500
Forrajes						
Alfalfa						
Tréboles						
Melilotus						
Lotus						
Past.consoc						
.						
	11,508	11,507,700,000		23,871,210,000		716,136,300

1993/94						
Cultivos						
Soja	11,720.0	11,720,000,000	2.1	24,612,000,000	0.03	738,360,000
Maní	209.0	209,000,000	1.0	209,000,000	0.03	6,270,000
Poroto	197.9	197,900,000	2.1	415,590,000	0.03	12,467,700
Arveja	39.0	39,000,000	1.5	58,500,000	0.03	1,755,000
Lenteja	32.0	32,000,000	1.5	48,000,000	0.03	1,440,000
Forrajes						
Alfalfa				7,180,384,000	0.03	215,411,520
Tréboles						
Melilotus				705,608,000	0.03	21,168,240
Lotus						
Past.consoc				19,363,683,000	0.03	
.						
	12,198	12,197,900,000		52,592,765,000		996,872,460

1994/95						
Cultivos						
Soja	12,134.0	12,134,000,000	2.1	25,481,400,000	0.03	764,442,000
Maní	238.1	238,100,000	1.0	238,100,000	0.03	7,143,000
Poroto	237.6	237,600,000	2.1	498,960,000	0.03	14,968,800
Arveja	31.0	31,000,000	1.5	46,500,000	0.03	1,395,000
Lenteja	12.0	12,000,000	1.5	18,000,000	0.03	540,000
Forrajes						
Alfalfa				6,065,248,000	0.03	181,957,440
Tréboles						
Melilotus						
Lotus						
Past.consoc				24,854,439,300	0.03	745,633,179
.						
	12,653	12,652,700,000		57,202,647,300		1,716,079,419

1995/96						
Cultivos						
Soja	12,448.2	12,448,200,000	2.1	26,141,220,000	0.03	784,236,600
Maní	462.4	462,400,000	1.0	462,400,000	0.03	13,872,000
Poroto	218.3	218,300,000	2.1	458,430,000	0.03	13,752,900
Arveja		0	1.5	0	0.03	0
Lenteja		0	1.5	0	0.03	0
Forrajes						
Alfalfa				9,608,880,000	0.03	288,266,400
Tréboles				444,750,000	0.03	13,342,500
Melilotus				926,040,000	0.03	27,781,200
Lotus				152,651,500	0.03	4,579,545
Past.consoc				23,485,749,900	0.03	704,572,497
.						
	13,129	13,128,900,000		61,680,121,400		1,850,403,642

1996/97							
Cultivos							
<i>Soja</i>	10,800.0	10,800,000,000	2.1	22,680,000,000	0.03	680,400,000	
<i>Maní</i>	280.9	280,900,000	1.0	280,900,000	0.03	8,427,000	
<i>Poroto</i>	268.5	268,500,000	2.1	563,850,000	0.03	16,915,500	
<i>Arveja</i>		0	1.5	0	0.03	0	
<i>Lenteja</i>		0	1.5	0	0.03	0	
Forrajes							
<i>Alfalfa</i>				12,460,800,000	0.03	373,824,000	
<i>Tréboles</i>				306,750,000	0.03	9,202,500	
<i>Melilotus</i>				1,255,200,000	0.03	37,656,000	
<i>Lotus</i>				96,900,000	0.03	2,907,000	
<i>Past.consoc</i>				20,493,300,000	0.03	614,799,000	
		11,349	11,349,400,000			58,137,700,000	1,744,131,000
1997/98							
Cultivos							
<i>Soja</i>	18,732.2	18,732,200,000	2.1	39,337,620,000	0.03	1,180,128,600	
<i>Maní</i>		0	1.0	0	0.03	0	
<i>Poroto</i>	303.2	303,200,000	2.1	636,720,000	0.03	19,101,600	
<i>Arveja</i>		0	1.5	0	0.03	0	
<i>Lenteja</i>		0	1.5	0	0.03	0	
Forrajes							
<i>Alfalfa</i>				14,964,000,000	0.03	448,920,000	
<i>Tréboles</i>				319,500,000	0.03	9,585,000	
<i>Melilotus</i>				831,200,000	0.03	24,936,000	
<i>Lotus</i>				85,000,000	0.03	2,550,000	
<i>Past.consoc</i>				18,822,060,000	0.03	564,661,800	
		19,035	19,035,400,000			74,996,100,000	2,249,883,000

Debido a las deficiencias existentes en las estadísticas disponibles, sólo se dispone de datos completos (cultivos + forrajeras) para los años 1989 (datos del Censo '88) y de 1995 en adelante. En lo que respecta a cultivos, la soja es prácticamente el único aportante importante, pues su biomasa representa entre el 96 y 97 % del total de los cultivos. La Figura 2 muestra la contribución proporcional de cultivos y forrajeras fijadores de nitrógeno. Como puede observarse, las forrajeras aportaron no menos (y aún más) del 50 % de la biomasa. Ello resalta las diferencias entre el caso argentino con otros países sin tanta presencia de leguminosas forrajeras.

La Figura 3 presenta la contribución de cada tipo de leguminosa forrajera. Las pasturas consociadas y la alfalfa, en ese orden, dominan por lejos los aportes de biomasa anual.

En la Figura 4 se observa que, en los años en que se dispone de estadísticas completas, el aporte de las forrajeras se mantuvo más o menos constante, mientras que los cultivos, debido al incremento de producción de soja, incrementaron su participación.

FIGURA 2: PRODUCCION DE BIOMASA POR CULTIVOS Y FORRAJERAS LEGUMINOSAS

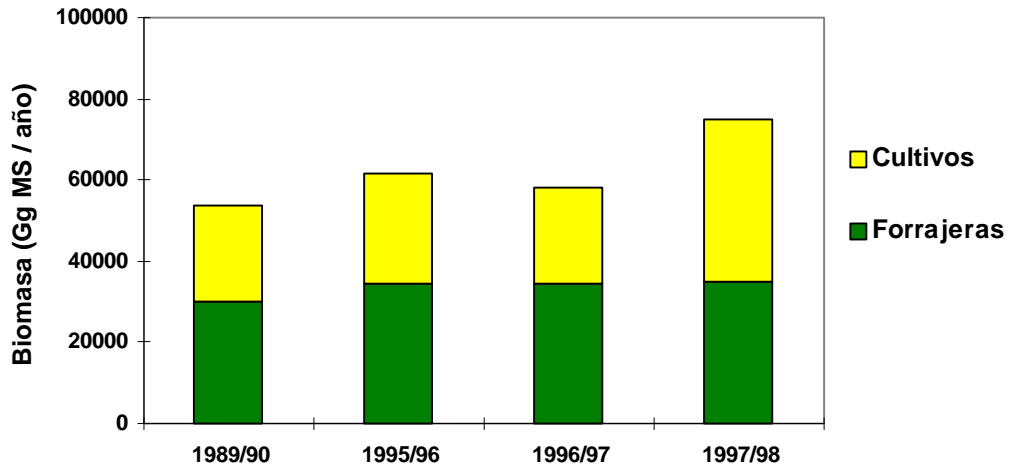


FIGURA 3: PRODUCCION DE BIOMASA DE LEGUMINOSAS FORRAJERAS

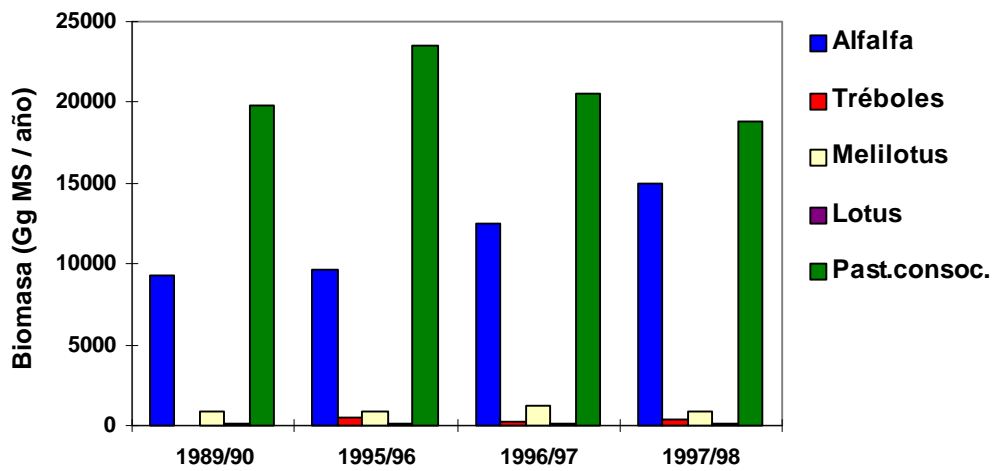
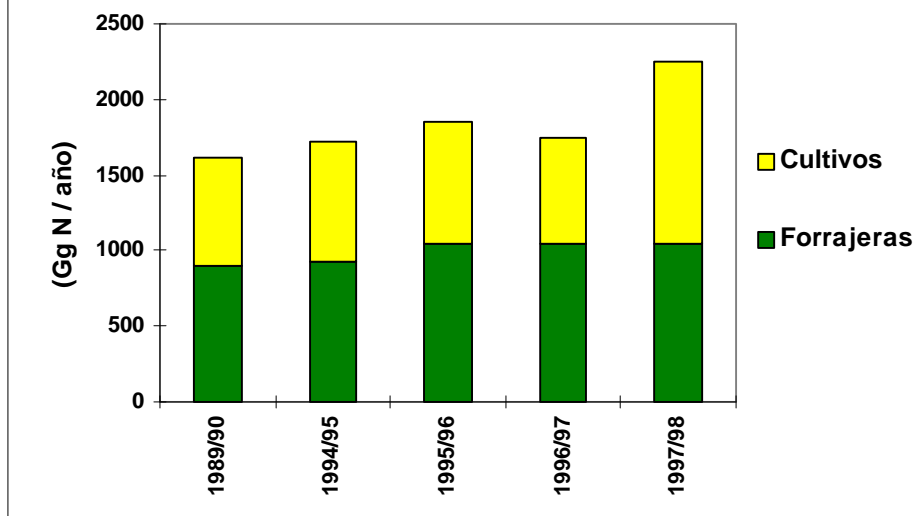


FIGURA 4: APOORTE DE NITROGENO POR FIJACION BIOLOGICA



Este comportamiento relativamente constante de las leguminosas forrajeras permite utilizar un valor constante de aporte de N para complementar la información estadística faltante entre 1990/91 y 1994/95. Este valor constante surge de promediar los aportes de nitrógeno por leguminosas forrajeras en 1989/90, y entre 1995/96 y 1997/98. El valor resultante es 992,2 +/- 31,02 Gg N/año.

3. Cálculo del nitrógeno procedente del estiércol (F_E):

4. Aporte de nitrógeno procedente de los residuos de las cosechas y las pasturas:

Cálculo del aporte procedente de cultivos agrícolas

Para calcular el aporte causado por enterramiento de rastrojos durante las labranzas, F_{RC} , la metodología del IPCC requiere conocer:

- Producción de soja y legumbres secas en el país, $Cultivo_{BF}$, kg / año.
- Producción de otros cultivos en el país, $Cultivo_0$, kg / año.

Estas cifras fueron obtenidas de las estadísticas de la SAGyP (<http://siiap.sagyp.mecon.ar>).

Los residuos de las cosechas reintegrados a los suelos (F_{RC} , en kg N / año) se calcularon empleando la siguiente ecuación:

$$F_{RC} = 2 \times \{ Cultivo_0 \times FRAC_{NCR0} + Cultivo_{BF} \times FRAC_{NCRBF} \} \times \{ 1 - FRAC_R \} \times$$

en la cual:

$\text{Cultivo}_{\text{BF}}$ = producción de legumbres secas + soja en el país (kg biomasa seca / año);

Cultivo_0 = producción de cultivos no fijadores de nitrógeno en el país (kg biomasa seca / año);

$\text{FRAC}_{\text{NCRBF}}$ = fracción de nitrógeno en cultivos fijadores del nitrógeno (kg N / kg de biomasa seca), (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC);

$\text{FRAC}_{\text{NCR0}}$ = fracción de nitrógeno en cultivos no fijadores del nitrógeno (kg N / kg de biomasa seca), (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC);

FRAC_R = fracción de los residuos de las cosechas que se retira de los campos durante la cosecha (kg N / kg de biomasa seca), (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC);

$\text{FRAC}_{\text{QUEM}}$ = fracción de los residuos de la cosecha que se quema en lugar de ser abandonados en los campos (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC).

El factor 2, que en nuestro caso se adaptó según las características de cada cultivo, y por ello fue a veces levemente distinto, permite realizar la conversión de las cifras de producción de cultivos comestibles, en las cifras totales de producción de biomasa de la cosecha.

Tabla 11: Aporte de nitrógeno de los residuos de las cosechas

	A1	A2	B	C1	C2	D	E	F	G
	Producción de cultivos no fijadores del nitrógeno (miles de Mg)	(kg biomasa seca/año)	Fracción de nitrógeno de cultivos no fijadores del nitrógeno (kg N/ kg biomasa seca)	(miles de Mg)	Producción de legumbres secas y soya (kg biomasa seca/año)	Fracción del nitrógeno en cultivos fijadores del nitrógeno (kg N/ kg biomasa seca)	Unidad menos la fracción de los residuos de las cosechas retirados de los campos (fracción)	Unidad menos de la fracción de residuos de las cosechas quemados (fracción)	Aporte de nitrógeno de los residuos de las cosechas (kg N/año)
$G = 2 \times (A \times B + C \times D) \times E \times F$									
1989-90									
Cereales	19,148	19,147,500,000	0.015				0.55	0.9	284,340,375
Oleaginosas	4,390	4,390,000,000	0.015	10,934.7	10,934,700,000	0.030	0.55	0.9	389,952,090
Legumbres				207.8	207,845,000	0.030	0.55	0.9	6,172,997
Totales	23,538	23,537,500,000		11,143	11,142,545,000				680,465,462
1990-91									
Cereales	22,573	22,573,100,000	0.015				0.55	0.9	335,210,535
Oleaginosas	4,490	4,490,200,000	0.015	11,172.6	11,172,600,000	0.030	0.55	0.9	398,505,690
Legumbres				241.6	241,578,000	0.030	0.55	0.9	7,174,867
Totales	27,063	27,063,300,000		11,414	11,414,178,000				740,891,092
1991-92									

Cereales	25,574	25,573,920,000	0.015				0.55	0.9	379,772,712
Oleaginosas	4,077	4,076,852,000	0.015	11,531.4	11,531,400,000	0.030	0.55	0.9	403,023,832
Legumbres				272.3	272,300,000	0.030	0.55	0.9	8,087,310
Totales	29,651	29,650,772,000		11,804	11,803,700,000				790,883,854

1992-93

Cereales	25,672	25,671,742,000	0.015				0.55	0.9	381,225,369
Oleaginosas	3,178.2	3,178,190,000	0.015	11,278.8	11,278,800,000	0.030	0.55	0.9	382,176,482
Legumbres				229.25	229,250,000	0.030	0.55	0.9	6,808,725
Totales	28,850	28,849,932,000		11,508	11,508,050,000				770,210,575

1993-94

Cereales	23,884	23,883,501,000	0.015				0.55	0.9	354,669,990
Oleaginosas	4,225.7	4,225,675,000	0.015	11,929.0	11,929,000,000	0.030	0.55	0.9	417,042,574
Legumbres				268.9	268,900,000	0.030	0.55	0.9	7,986,330
Totales	28,109	28,109,176,000		12,198	12,197,900,000				779,698,894

1994-95

Cereales	26,227	26,227,006,000	0.015				0.55	0.9	389,471,039
Oleaginosas	5,979.8	5,979,816,000	0.015	12,372.1	12,372,100,000	0.030	0.55	0.9	456,251,638
Legumbres				280.6	280,600,000	0.030	0.55	0.9	8,333,820
Totales	32,207	32,206,822,000		12,653	12,652,700,000				854,056,497

1995-96

Cereales	23,928.0	23,928,026,000	0.015				0.55	0.9	355,331,186
Oleaginosas	5,725.1	5,725,105,000	0.015	12,910.6	12,910,600,000	0.030	0.55	0.9	468,462,629
Legumbres				218.3	218,300,000	0.030	0.55	0.9	6,483,510
Totales	29,653	29,653,131,000		13,129	13,128,900,000				830,277,325

1996-97									
Cereales	36,295.4	36,295,403,000	0.015				0.55	0.9	538,986,735
Oleaginosas	5,535.0	5,535,000,000	0.015	11,080.9	11,080,900,000	0.030	0.55	0.9	411,297,480
Legumbres				268.519	268,519,000	0.030	0.55	0.9	7,975,014
Totales	41,830	41,830,403,000		11,349	11,349,419,000				958,259,229
1997-98									
Cereales	40,791.7	40,791,664,000	0.015				0.55	0.9	605,756,210
Oleaginosas	7,872.6	7,872,628,000	0.015	19,359.9	19,359,867,000	0.030	0.55	0.9	691,896,576
Legumbres				303.2	303,245,000	0.030	0.55	0.9	9,006,377
Totales	48,664	48,664,292,000		19,663	19,663,112,000				1,306,659,163

Cálculo del aporte procedente de las pasturas

La ganadería realizada sobre pasturas cultivadas implica la realización de labores de remoción del suelo y de enterramiento de residuos cada cierto número de años. Ello es lo que sucede en los suelos agrícolas pampeanos en rotación agrícola-ganadera. De acuerdo con datos tomados en la última encuesta nacional disponible (1997), la tasa de renovación de las pasturas implantadas difiere entre provincias, pero es en promedio casi 20 %. Ello implica una vida útil de cinco años para las pasturas cultivadas. Por consiguiente, puede considerarse que 1/5 de la biomasa total es aportada anualmente al suelo.

Tabla 12: tasa de renovación de pasturas en la región pampeana.

Fuente: ENA

Provincia	Tasa Renv. (%)
Buenos Aires	16
Córdoba	20
Entre Ríos	32
La Pampa	17
Santa Fe	28
Promedio región	19

Para calcular el aporte causado por enterramiento de pasturas durante las labranzas, F_{RCFORR} , la metodología utilizada requirió conocer la producción de biomasa de pasturas consociadas, $Pastura_{BF}$, kg / año. Estas cifras fueron calculadas previamente en la Tabla 10 b.

Los residuos de las pasturas reintegrados a los suelos (F_{RCFORR} , en kg N / año) se calcularon empleando la siguiente ecuación:

$$F_{RCFORR} = \{ Pastura_0 \times FRAC_{NCR0} + Pastura_{BF} \times FRAC_{NCRBF} \} \times \{ 1 - FRAC_R \} \times \{ 1 - FRAC_{QUEM} \} \times FRAC_{RENOV} \quad \{6\}$$

en la cual:

$Pastura_{BF}$ = biomasa seca de leguminosas en pasturas en el país (kg biomasa seca / año);

$Pastura_0$ = producción de gramíneas en pasturas en el país (kg biomasa seca / año);

$FRAC_{NCRBF}$ = fracción de nitrógeno en cultivos fijadores del nitrógeno (kg N / kg de biomasa seca), (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC);

$FRAC_{NCR0}$ = fracción de nitrógeno en cultivos no fijadores del nitrógeno (kg N / kg de biomasa seca), (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC);

$FRAC_R$ = fracción de los residuos de las cosechas que se retira de los campos durante la cosecha (kg N / kg de biomasa seca), (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC);

$FRAC_{QUEM}$ = fracción de los residuos de la cosecha que se quema en lugar de ser abandonados en los campos (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC).

$FRAC_{RENOV}$ = fracción incorporada anualmente al suelo, según la tasa de renovación media que surge de la Tabla 12.

Tabla 13: Aporte anual de nitrógeno de pasturas renovadas cada cinco años.

50 % de gramíneas y leguminosas

A	B	C	D	E	F	G	H
Biomasa incorporada anualmente de gramíneas (kg biomasa seca/año)	Fracción de nitrógeno de las gramíneas (kg N/kg biomasa seca)	Producción de biomasa de las leguminosas (kg biomasa seca/año)	Fracción del nitrógeno en las leguminosas (kg N/kg biomasa seca)	Unidad menos la fracción de los residuos de las cosechas retirados de los campos (fracción)	Unidad menos la fracción de los residuos de cosechas quemados (fracción)	Fracción incorporada anualmente, según tasa de renovación	Aporte de nitrógeno de los de las pasturas (kg N/año)
							$H = ((A \times B) + (C \times D)) \times E \times F \times G$
30,197,596,180	0.015	30,197,596,180	0.030	0.65	0.9	0.2	158,990,344
	0.015	0	0.030	0.65	0.9	0.2	0
	0.015	0	0.030	0.65	0.9	0.2	0
	0.015	0	0.030	0.65	0.9	0.2	0
27,249,675,000	0.015	27,249,675,000	0.030	0.65	0.9	0.2	143,469,539
30,919,687,300	0.015	30,919,687,300	0.030	0.65	0.9	0.2	162,792,154
34,618,071,400	0.015	34,618,071,400	0.030	0.65	0.9	0.2	182,264,146
34,612,950,000	0.015	34,612,950,000	0.030	0.65	0.9	0.2	182,237,182
35,021,760,000	0.015	35,021,760,000	0.030	0.65	0.9	0.2	184,389,566

Cálculo del aporte total de nitrógeno por enterramiento de residuos

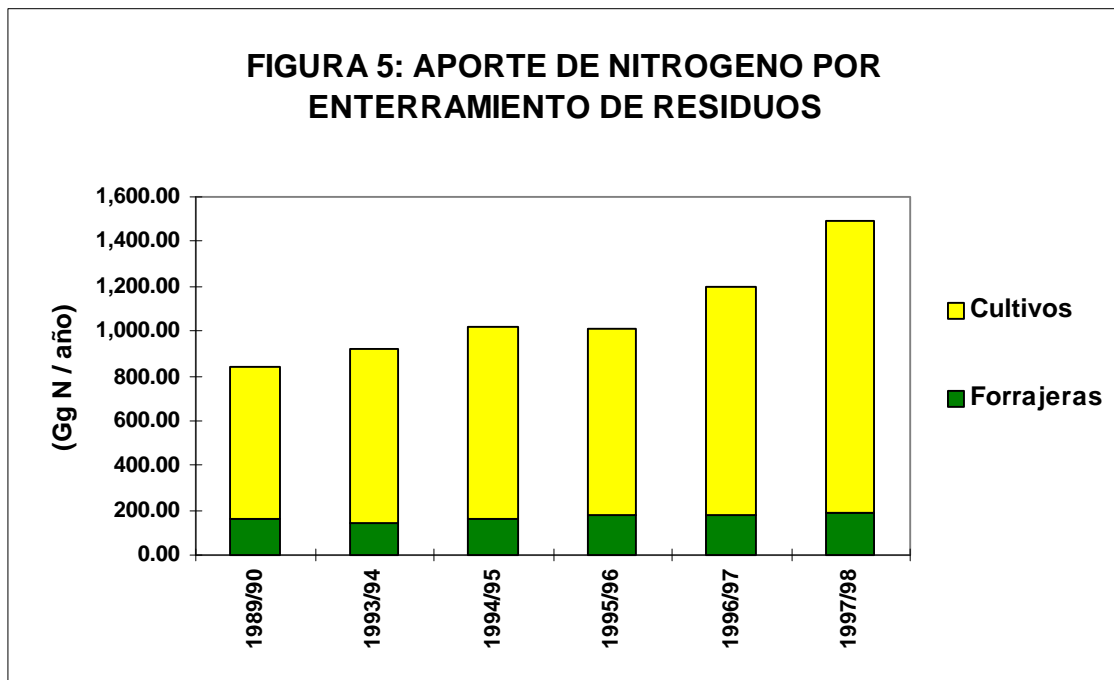
La suma de los aportes individuales de nitrógeno de cultivos, F_{RC} , y pasturas, F_{RCFORR} , permitió obtener el aporte total de nitrógeno por enterramiento de residuos, FR_{RES} , mediante la siguiente ecuación:

$$FR_{RES} = F_{RC} + F_{RCFORR} \quad \{7\}$$

Tabla 14: Aporte total de nitrógeno de residuos de cultivos y pasturas

A	B	C
Aporte de nitrógeno de los residuos de las cosechas	Aporte de nitrógeno de los de las pasturas	Aporte de nitrógeno de todos los residuos
(kg N/año)	(kg N/año)	(kg N/año)
		C = A + B
1989/90		
680,465,462	158990343.9	839,455,805
1990/91		
740,891,092	0	740,891,092
1991/92		
790,883,854	0	790,883,854
1992/93		
770,210,575	0	770,210,575
1993/94		
779,698,894	143469538.9	923,168,432
1994/95		
854,056,497	162792153.6	1,016,848,650
1995/96		
830,277,325	182264145.9	1,012,541,471
1996/97		
958,259,229	182237181.8	1,140,496,411
1997/98		
1306659163	184389566.4	1,491,048,729

En la Figura 5 puede observarse que, a diferencia que lo que sucede con el aporte de nitrógeno por fijación biológica (Fig. 4), en el aporte por enterramiento de residuos existe una participación preponderante de los cultivos agrícolas. Sin embargo, la contribución de las forrajeras (en los años donde hubo datos disponibles), también se mantuvo poco variable entre años (772,2 +/- 147,4 Gg N / año). Este valor puede ser utilizado para complementar la información estadística faltante entre 1990/91 y 1992/93. El incremento en los aportes de nitrógeno hacia el final del período deber ser atribuido, entonces, a las mayores cosechas que hubo al final de la década.



4. Aporte de nitrógeno procedente de los residuos de las cosechas y las pasturas:

Cálculo del aporte procedente de cultivos agrícolas

Para calcular el aporte causado por enterramiento de rastrojos durante las labranzas, F_{RC} , la metodología del IPCC requiere conocer:

- Producción de soja y legumbres secas en el país, $Cultivo_{BF}$, kg / año.
- Producción de otros cultivos en el país, $Cultivo_0$, kg / año.

Estas cifras fueron obtenidas de las estadísticas de la SAGyP (<http://siiap.sagyp.mecon.ar>).

Los residuos de las cosechas reintegrados a los suelos (F_{RC} , en kg N / año) se calcularon empleando la siguiente ecuación:

$$F_{RC} = 2 \times \{ Cultivo_0 \times FRAC_{NCR0} + Cultivo_{BF} \times FRAC_{NCRBF} \} \times \{ 1 - FRAC_R \} \times$$

en la cual:

$\text{Cultivo}_{\text{BF}}$ = producción de legumbres secas + soja en el país (kg biomasa seca / año);

Cultivo_0 = producción de cultivos no fijadores de nitrógeno en el país (kg biomasa seca / año);

$\text{FRAC}_{\text{NCRBF}}$ = fracción de nitrógeno en cultivos fijadores del nitrógeno (kg N / kg de biomasa seca), (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC);

$\text{FRAC}_{\text{NCR0}}$ = fracción de nitrógeno en cultivos no fijadores del nitrógeno (kg N / kg de biomasa seca), (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC);

FRAC_R = fracción de los residuos de las cosechas que se retira de los campos durante la cosecha (kg N / kg de biomasa seca), (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC);

$\text{FRAC}_{\text{QUEM}}$ = fracción de los residuos de la cosecha que se quema en lugar de ser abandonados en los campos (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC).

Los cálculos según esta metodología fueron volcados en la Tabla 20.

El factor 2 permite realizar la conversión de las cifras de producción de cultivos comestibles, en las cifras totales de producción de biomasa de la cosecha. Este valor, tomado por defecto, implica un índice de cosecha (i.e. residuo / grano) de 0,5. Se admite que este valor puede variar en función de los distintos cultivos o incluso cultivares utilizados.

Tabla 21: Aporte de nitrógeno de los residuos de las cosechas

	A1	A2	B	C1	C2	D	E	F	G
	Producción de cultivos no fijadores del nitrógeno (miles de Mg)	(kg biomasa seca/año)	Fracción de nitrógeno de cultivos no fijadores del nitrógeno (kg N/ kg biomasa seca)	(miles de Mg)	Producción de legumbres secas y soya (kg biomasa seca/año)	Fracción del nitrógeno en cultivos fijadores del nitrógeno (kg N/ kg biomasa seca)	Unidad menos la fracción de los residuos de las cosechas retirados de los campos (fracción)	Unidad menos de la fracción de residuos de las cosechas quemados (fracción)	Aporte de nitrógeno de los residuos de las cosechas (kg N/año)
									$G = 2 \times (A \times B + C \times D) \times E \times F$
1989-90									
Cereales	19,148	19,147,500,000	0.015				0.55	0.9	284,340,375
Oleaginosas	4,390	4,390,000,000	0.015	10,934.7	10,934,700,000	0.030	0.55	0.9	389,952,090
Legumbres				207.8	207,845,000	0.030	0.55	0.9	6,172,997
Totales	23,538	23,537,500,000		11,143	11,142,545,000				680,465,462
1990-91									
Cereales	22,573	22,573,100,000	0.015				0.55	0.9	335,210,535
Oleaginosas	4,490	4,490,200,000	0.015	11,172.6	11,172,600,000	0.030	0.55	0.9	398,505,690
Legumbres				241.6	241,578,000	0.030	0.55	0.9	7,174,867
Totales	27,063	27,063,300,000		11,414	11,414,178,000				740,891,092
1991-92									

Cereales	25,574	25,573,920,000	0.015				0.55	0.9	379,772,712
Oleaginosas	4,077	4,076,852,000	0.015	11,531.4	11,531,400,000	0.030	0.55	0.9	403,023,832
Legumbres				272.3	272,300,000	0.030	0.55	0.9	8,087,310
Totales	29,651	29,650,772,000		11,804	11,803,700,000				790,883,854

1992-93

Cereales	25,672	25,671,742,000	0.015				0.55	0.9	381,225,369
Oleaginosas	3,178.2	3,178,190,000	0.015	11,278.8	11,278,800,000	0.030	0.55	0.9	382,176,482
Legumbres				229.25	229,250,000	0.030	0.55	0.9	6,808,725
Totales	28,850	28,849,932,000		11,508	11,508,050,000				770,210,575

1993-94

Cereales	23,884	23,883,501,000	0.015				0.55	0.9	354,669,990
Oleaginosas	4,225.7	4,225,675,000	0.015	11,929.0	11,929,000,000	0.030	0.55	0.9	417,042,574
Legumbres				268.9	268,900,000	0.030	0.55	0.9	7,986,330
Totales	28,109	28,109,176,000		12,198	12,197,900,000				779,698,894

1994-95

Cereales	26,227	26,227,006,000	0.015				0.55	0.9	389,471,039
Oleaginosas	5,979.8	5,979,816,000	0.015	12,372.1	12,372,100,000	0.030	0.55	0.9	456,251,638
Legumbres				280.6	280,600,000	0.030	0.55	0.9	8,333,820
Totales	32,207	32,206,822,000		12,653	12,652,700,000				854,056,497

1995-96

Cereales	23,928.0	23,928,026,000	0.015				0.55	0.9	355,331,186
Oleaginosas	5,725.1	5,725,105,000	0.015	12,910.6	12,910,600,000	0.030	0.55	0.9	468,462,629
Legumbres				218.3	218,300,000	0.030	0.55	0.9	6,483,510
Totales	29,653	29,653,131,000		13,129	13,128,900,000				830,277,325

1996-97									
Cereales	36,295.4	36,295,403,000	0.015				0.55	0.9	538,986,735
Oleaginosas	5,535.0	5,535,000,000	0.015	11,080.9	11,080,900,000	0.030	0.55	0.9	411,297,480
Legumbres				268.519	268,519,000	0.030	0.55	0.9	7,975,014
Totales	41,830	41,830,403,000		11,349	11,349,419,000				958,259,229
1997-98									
Cereales	40,791.7	40,791,664,000	0.015				0.55	0.9	605,756,210
Oleaginosas	7,872.6	7,872,628,000	0.015	19,359.9	19,359,867,000	0.030	0.55	0.9	691,896,576
Legumbres				303.2	303,245,000	0.030	0.55	0.9	9,006,377
Totales	48,664	48,664,292,000		19,663	19,663,112,000				1,306,659,163

Otro aspecto que no es tomado en consideración por la metodología utilizada se refiere al sistema de labranza. En la actualidad existe creciente difusión de los sistemas de siembra directa en la región pampeana (Senigaliesi y Ferrari 1993). Según la Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa (AAPRESID) se habla de unos 7 millones de hectáreas cultivadas con este sistema actualmente en la Argentina. De todos modos, una parte importante de esta superficie no es dedicada continuamente a siembra directa, sino que esta práctica se aplica para sembrar soja de segunda en el doble cultivo trigo - soja.

Bajo siembra directa el cultivo es sembrado sobre los rastrojos en descomposición del cultivo anterior. El suelo se encuentra cubierto por una capa de residuos que se descomponen sobre la superficie, en lugar de ser incorporados al suelo mediante implementos mecánicos. De este modo, el retorno del carbono y el nitrógeno orgánicos al suelo se produce a lo largo del tiempo, y en forma pausada. Ello determina la estratificación de la materia orgánica en los primeros centímetros del suelo (Thomas et al. 1996). Bajo siembra directa continua, la capa más superficial del suelo suele tener elevados contenidos de carbono y nitrógeno orgánicos, con una alta participación de las fracciones más lábiles. Los niveles de carbono y nitrógeno orgánicos disminuyen rápidamente en profundidad, donde las fracciones prevaletientes son las de mayor peso molecular, y por ende, mayor tiempo de ciclado (Alvarez et al. 1995).

Dado que bajo siembra directa no existe enterramiento de rastrojos, sino sólo descomposición de los mismos sobre el suelo, debería en el futuro ponderarse cuál es la influencia de esta incorporación pausada sobre las emisiones de óxido nitroso durante los procesos de mineralización del nitrógeno orgánico. Ante la falta de esta información, para los presentes cálculos se utilizó los factores de emisión por defecto recomendados por el Manual de Trabajo, versión revisada en 1996, del IPCC: *Cálculo del aporte procedente de las pasturas*

La ganadería realizada sobre pasturas cultivadas implica la realización de labores de remoción del suelo y de enterramiento de residuos cada cierto número de años. Ello es lo que sucede en los suelos agrícolas pampeanos en rotación agrícola-ganadera. De acuerdo con datos tomados en la última encuesta nacional disponible (1997), la tasa de renovación de las pasturas implantadas difiere entre provincias, pero es en promedio casi 20 %. Ello implica una vida útil de cinco años para las pasturas cultivadas. Por consiguiente, puede considerarse que 1/5 de la biomasa total es aportada anualmente al suelo.

Tabla 22: tasa de renovación de pasturas en la región pampeana.

Fuente: ENA

Provincia	Tasa Renv. (%)
Buenos Aires	16
Córdoba	20
Entre Ríos	32
La Pampa	17
Santa Fe	28
Promedio región	19

Para calcular el aporte causado por enterramiento de pasturas durante las labranzas, F_{RCFORR} , la metodología utilizada requirió conocer la producción de biomasa de pasturas consociadas, $Pastura_{BF}$, kg / año. Estas cifras fueron calculadas previamente en las Tablas 18 b hasta d.

Los residuos de las pasturas reintegrados a los suelos (F_{RCFORR} , en kg N / año) se calcularon empleando la siguiente ecuación:

$$F_{RCFORR} = \{ Pastura_0 \times FRAC_{NCR0} + Pastura_{BF} \times FRAC_{NCRBF} \} \times \{ 1 - FRAC_R \times \{ 1 - FRAC_{QUEM} \} \times FRAC_{RENOV} \} \quad \{6\}$$

en la cual:

$Pastura_0$ = producción de gramíneas en pasturas en el país (kg biomasa seca / año). Este valor surge de la contribución teórica (50 %) de las gramíneas a la producción anual de las pasturas (Tabla 18 a hasta d);

$Pastura_{BF}$ = biomasa seca de leguminosas en pasturas en el país (kg biomasa seca / año). Este valor surge de la suma de la producción anual de alfalfa y de la contribución teórica (50 %) de las leguminosas a la producción anual de las pasturas (Tabla 18 a hasta d);

$FRAC_{NCRBF}$ = fracción de nitrógeno en cultivos fijadores del nitrógeno (kg N / kg de biomasa seca), (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC);

$FRAC_{NCR0}$ = fracción de nitrógeno en cultivos no fijadores del nitrógeno (kg N / kg de biomasa seca), (según Tabla 4-17 del Manual del IPCC);

$FRAC_R$ = fracción de los residuos de las cosechas que se retira de los campos durante la cosecha (kg N / kg de biomasa seca). Se considera que un 70 % de la biomasa aérea producida es consumida mediante pastoreo directo. Por consiguiente, un 30 % de la biomasa permanece en los campos y es susceptible de ser enterrada durante las labranzas;

$FRAC_{RENOV}$ = fracción incorporada anualmente al suelo, según la tasa de renovación media que surge de la Tabla 21.

**Tabla 23: Aporte anual de nitrógeno de pasturas renovadas cada cinco años.
50 % de gramíneas y leguminosas**

A	B	C	D	E	F	G
Biomasa incorporada anualmente de gramíneas (kg biomasa seca/año)	Fracción de nitrógeno de las gramíneas (kg N/kg biomasa seca)	Producción de biomasa de las leguminosas (kg biomasa seca/año)	Fracción del nitrógeno en las leguminosas (kg N/kg biomasa seca)	Unidad menos la fracción de biomasa retirada de los campos mediante pastoreo (fracción)	Fracción incorporada anualmente, según tasa de renovación	Aporte de nitrógeno de los de las pasturas (kg N/año) $G = ((A \times B) + (C \times D)) \times E \times F$
19,856,752,080	0.015	29,199,364,080	0.030	0.3	0.2	70,429,932
	0.015	0	0.030	0.3	0.2	0
	0.015	0	0.030	0.3	0.2	0
	0.015	0	0.030	0.3	0.2	0
19,363,683,000	0.015	26,544,067,000	0.030	0.3	0.2	65,206,635
24,854,439,300	0.015	30,919,687,300	0.030	0.3	0.2	78,024,433
23,485,749,900	0.015	33,094,629,900	0.030	0.3	0.2	80,707,509
20,493,300,000	0.015	32,954,100,000	0.030	0.3	0.2	77,761,350
18,822,060,000	0.015	33,786,060,000	0.030	0.3	0.2	77,754,762

Cálculo del aporte total de nitrógeno por enterramiento de residuos

La suma de los aportes individuales de nitrógeno de cultivos, F_{RC} , y pasturas, F_{RCFORR} , permitió obtener el aporte total de nitrógeno por enterramiento de residuos, F_{RES} , mediante la siguiente ecuación:

$$FR_{RES} = F_{RC} + F_{RCFORR}$$

{7}

Tabla 24: Aporte total de nitrógeno de residuos de cultivos y pasturas

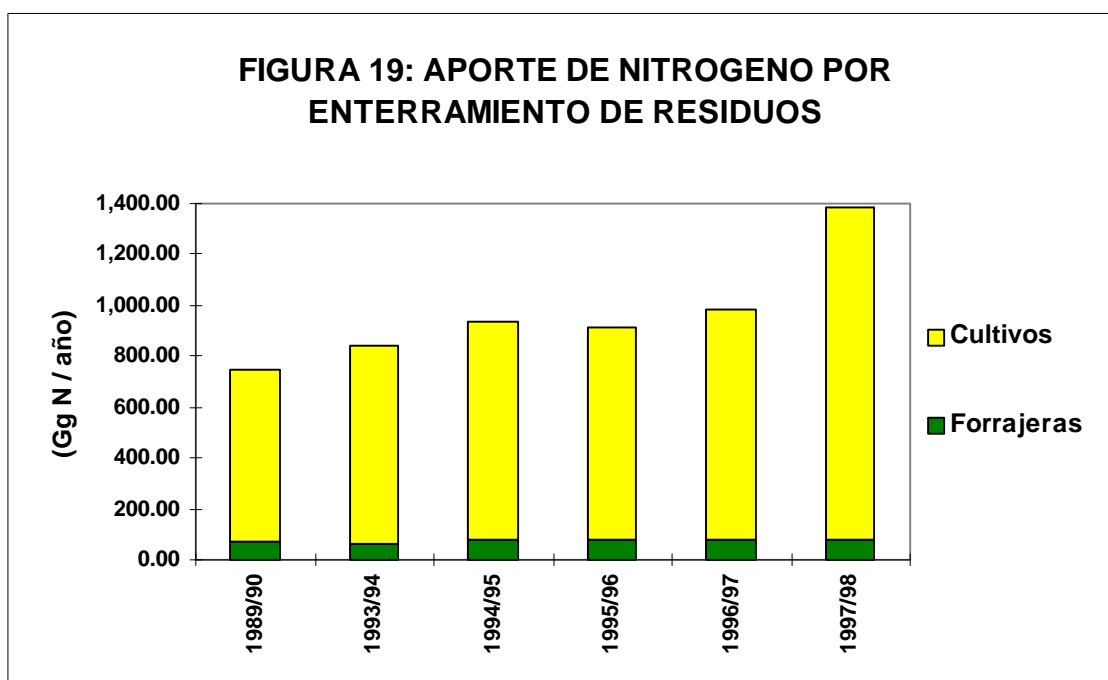
A	B	C
Aporte de nitrógeno de los residuos de las cosechas	Aporte de nitrógeno de las pasturas	Aporte de nitrógeno de todos los residuos
(kg N/año)	(kg N/año)	(kg N/año)
		C = A + B
1989/90		
680,465,462	70,429,932	750,895,394
1990/91		
740,891,092	0	740,891,092
1991/92		
790,883,854	0	790,883,854
1992/93		
770,210,575	0	770,210,575
1993/94		
779,698,894	65,206,635	844,905,529
1994/95		
854,056,497	78,024,433	932,080,929
1995/96		
830,277,325	80,707,509	910,984,834
1996/97		
958,259,229	77,761,350	1,036,020,579
1997/98		
1,306,659,163	77,754,762	1,384,413,925

En la Figura 19 puede observarse que, a diferencia que lo que sucede con el aporte de nitrógeno por fijación biológica (Fig. 18), en el aporte por enterramiento de residuos existe una participación preponderante de los cultivos agrícolas. La contribución de las forrajeras, en los años donde hubo datos disponibles, se mantuvo poco variable entre años (74981 +/- 2,41 Mg N / año). Este valor puede ser utilizado para complementar la información estadística faltante entre 1990/91 y 1992/93. Los cálculos resultantes se presentan en la Tabla 25. El incremento en los aportes de nitrógeno hacia el final del período deber ser atribuido, entonces, a las mayores cosechas que hubo al final de la década.

Tabla 25: Aportes de N por enterramiento de residuos (kg N / año) corregidos entre 1990/91 y 1992/93

	1989/90	1990/91	1991/92	1992/93
Cultivos	680,465,462	740,891,092	790,883,854	770,210,575
Forrajeras	70,429,932	74,980,770	74,980,770	74,980,770
Total	750,895,394	815,871,862	865,864,624	845,191,345

	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98
Cultivos	779,698,894	854,056,497	830,277,325	958,259,229	1,306,659,163
Forrajeras	65,206,635	78,024,433	80,707,509	77761350	77,754,762
Total	844,905,529	932,080,929	910,984,834	958,259,229	1,384,413,925



8. Estimación del total de emisiones directas de N₂O:

Las emisiones directas de N₂O pueden calcularse empleando la ecuación siguiente:

$$N_2O_{\text{DIRECTAS}} \text{ (kg N / año)} = \{F_{SN} + F_E + F_{RC} + F_{BN}\} \times FE_1 + F_{SO} \times FE_2 \quad \{8\}$$

En la Tabla 26 se calculan las emisiones directas de óxido nitroso, excluido las causadas por el cultivo de Histosoles. Este cálculo se presenta en la columna G de la Tabla 26, donde se suman las emisiones directas, expresadas como N₂O, correspondientes a nitrógeno aplicado a la agricultura (Tabla 11), uso de estiércol animal, fijación biológica de nitrógeno (Tabla 16), enterramiento de residuos (Tabla 19). Al nitrógeno aportado se le aplicó el factor de emisión por defecto del Manual de Trabajo revisado en 1996 por el IPCC.

TABLA 26: EMISIONES DIRECTAS DE ÓXIDO NITROSO PROCEDENTES DE LOS CAMPOS AGRÍCOLAS, EXCLUIDO EL CULTIVO DE LOS HISTOSOLES

Tipo de aporte de N en el suelo	A Cantidad de aporte de N (kg N/año)	Factor de emisión para las emisiones directas FE ₁ (kg N ₂ O-N/kg N)			Emisiones directas de los suelos (Gg N ₂ O-N/año) C = (A x B) x 10 ⁻⁶		
		B1	B2	B3	C1	C2	C3
		mínimo	media	máximo	mínimo	media	máximo
1989/90							
Fertilizante sintético (F _{SN})	97,808,967	0.0025	0.0125	0.0225	0.2445	1.2226	2.2007
Estiércol (F _E)		0.0025	0.0125	0.0225	0.0000	0.0000	0.0000
Cultivos fijadores de nitrógeno (F _{BN})	1,614,949,220	0.0025	0.0125	0.0225	4.0374	20.1869	36.3364
Residuos de las cosechas (F _{RC})	750,895,394	0.0025	0.0125	0.0225	1.8772	9.3862	16.8951
Total					6.1591	30.7957	55.4322
1990/91							
Fertilizante sintético (F _{SN})	76,105,107	0.0025	0.0125	0.0225	0.1903	0.9513	1.7124
Estiércol (F _E)		0.0025	0.0125	0.0225	0.0000	0.0000	0.0000
Cultivos fijadores de nitrógeno (F _{BN})	1,701,064,800	0.0025	0.0125	0.0225	4.2527	21.2633	38.2740
Residuos de las cosechas (F _{RC})	815,871,862	0.0025	0.0125	0.0225	2.0397	10.1984	18.3571

Total	6.4826	32.4130	58.3434
-------	--------	---------	---------

1991/92

Fertilizante sintético (F _{SN})	82,380,276	0.0025	0.0125	0.0225	0.2060	1.0298	1.8536
Estiércol (F _E)		0.0025	0.0125	0.0225	0.0000	0.0000	0.0000
Cultivos fijadores de nitrógeno (F _{BN})	1,727,466,900	0.0025	0.0125	0.0225	4.3187	21.5933	38.8680
Residuos de las cosechas (F _{RC})	865,864,624	0.0025	0.0125	0.0225	2.1647	10.8233	19.4820
Total					6.6893	33.4464	60.2035

1992/93

Fertilizante sintético (F _{SN})	131,833,566	0.0025	0.0125	0.0225	0.3296	1.6479	2.9663
Estiércol (F _E)		0.0025	0.0125	0.0225	0.0000	0.0000	0.0000
Cultivos fijadores de nitrógeno (F _{BN})	1,708,356,300	0.0025	0.0125	0.0225	4.2709	21.3545	38.4380
Residuos de las cosechas (F _{RC})	845,191,345	0.0025	0.0125	0.0225	2.1130	10.5649	19.0168
Total					6.7135	33.5673	60.4211

1993/94

Fertilizante sintético (F _{SN})	165,655,953	0.0025	0.0125	0.0225	0.4141	2.0707	3.7273
Estiércol (F _E)		0.0025	0.0125	0.0225	0.0000	0.0000	0.0000
Cultivos fijadores de nitrógeno (F _{BN})	1,752,512,700	0.0025	0.0125	0.0225	4.3813	21.9064	39.4315
Residuos de las cosechas (F _{RC})	844,905,529	0.0025	0.0125	0.0225	2.1123	10.5613	19.0104
Total					6.9077	34.5384	62.1692

1994/95

Fertilizante sintético (F _{SN})	261,951,408	0.0025	0.0125	0.0225	0.6549	3.2744	5.8939
Estiércol (F _E)		0.0025	0.0125	0.0225	0.0000	0.0000	0.0000
Cultivos fijadores de nitrógeno (F _{BN})	1,716,079,419	0.0025	0.0125	0.0225	4.2902	21.4510	38.6118
Residuos de las cosechas (F _{RC})	932,080,929	0.0025	0.0125	0.0225	2.3302	11.6510	20.9718
Total					7.2753	36.3764	65.4775

1995/96

Fertilizante sintético (F _{SN})	314,194,329	0.0025	0.0125	0.0225	0.7855	3.9274	7.0694
Estiércol (F _E)		0.0025	0.0125	0.0225	0.0000	0.0000	0.0000
Cultivos fijadores de nitrógeno (F _{BN})	1,850,403,642	0.0025	0.0125	0.0225	4.6260	23.1300	41.6341
Residuos de las cosechas (F _{RC})	910,984,834	0.0025	0.0125	0.0225	2.2775	11.3873	20.4972
Total					7.6890	38.4448	69.2006

1996/97							
Fertilizante sintético (F _{SN})	453,988,684	0.0025	0.0125	0.0225	1.1350	5.6749	10.2147
Estiércol (F _E)		0.0025	0.0125	0.0225	0.0000	0.0000	0.0000
Cultivos fijadores de nitrógeno (F _{BN})	1,744,131,000	0.0025	0.0125	0.0225	4.3603	21.8016	39.2429
Residuos de las cosechas (F _{RC})	958,259,229	0.0025	0.0125	0.0225	2.3956	11.9782	21.5608
Total					7.8909	39.4547	71.0185
1997/98							
Fertilizante sintético (F _{SN})	390,394,220	0.0025	0.0125	0.0225	0.9760	4.8799	8.7839
Estiércol (F _E)		0.0025	0.0125	0.0225	0.0000	0.0000	0.0000
Cultivos fijadores de nitrógeno (F _{BN})	2,249,883,000	0.0025	0.0125	0.0225	5.6247	28.1235	50.6224
Residuos de las cosechas (F _{RC})	1,384,413,925	0.0025	0.0125	0.0225	3.4610	17.3052	31.1493
Total					10.0617	50.3086	90.5556

8. Estimación de las emisiones directas de N₂O procedentes del cultivo de los Histosoles:

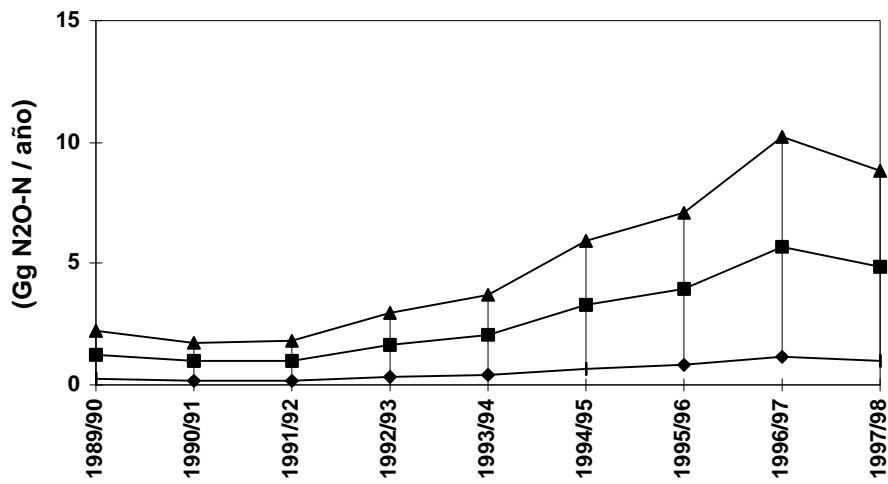
De acuerdo con el Mapa de Suelos de la República Argentina, publicado por INTA (1990), el Orden Histosoles se encuentra muy poco representado en nuestro país. Sólo ocupa algunas hectáreas en el territorio de Tierra del Fuego, donde además no suelen ser cultivados. Por consiguiente, no existen emisiones de óxido nitroso procedentes del cultivo de Histosoles en Argentina. En la Tabla 27 se presenta la estimación de estas emisiones, para lo cual se consideró un factor de emisión por defecto de 5 kg N/ha/año, correspondiente al valor por defecto para regiones templadas de la Tabla 4-18 del IPCC.

Tabla 27: Emisiones directas de óxido nitroso procedentes del cultivo de los Histosoles

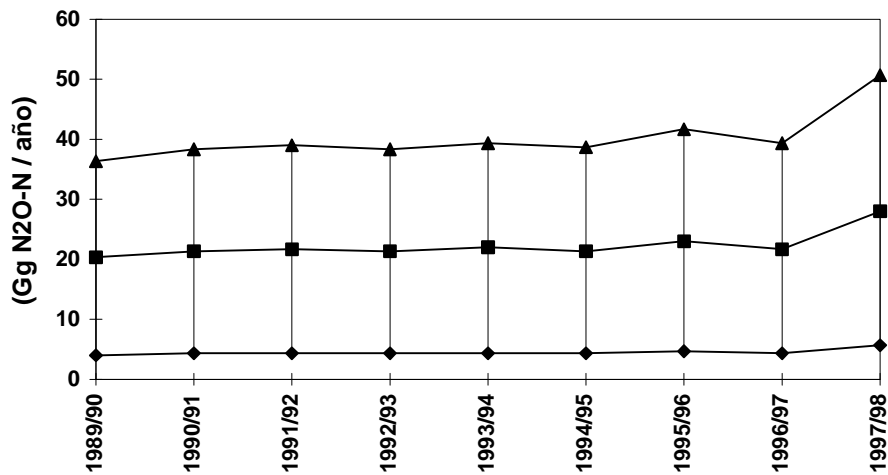
D	E	F	G1	G2	G3
Superficie de los suelos orgánicos cultivados	Factor de emisión para las emisiones directas de los suelos	Emisiones directas procedentes de los Histosoles		Total de emisiones directas de N ₂ O	
F _{SO} (ha)	FE ₂ (kg N ₂ O-N/ha/año)	(Gg N ₂ O-N/año)			
$F = (D \times E) \times 10^{-6}$			$G = (C + F) \{44/28\}$		
	1989/90				
0	5	0	9.68	48.39	87.11
	1990/91				
0	5	0	10.19	50.93	91.68
	1991/92				
0	5	0	10.51	52.56	94.61
	1992/93				
0	5	0	10.55	52.75	94.95
	1993/94				
0	5	0	10.85	54.27	97.69
	1994/95				
0	5	0	11.43	57.16	102.89
	1995/96				
0	5	0	12.08	60.41	108.74
	1996/97				
0	5	0	12.40	62.00	111.60
	1997/98				
0	5	0	15.81	79.06	142.30

En una serie de Figuras se muestra la evolución de las emisiones de óxido nitroso entre 1989/90 y 1997/98, debido al uso de fertilizantes nitrogenados (20 a), fijación biológica de nitrógeno (20 b), y enterramiento de residuos agrícolas (20 c).

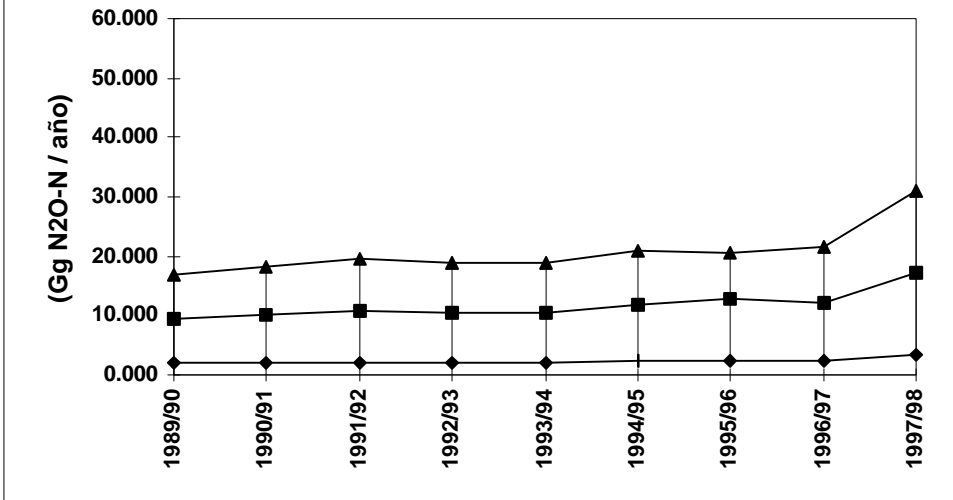
**FIGURA 20 a: EMISIONES DE OXIDO NITROSO
POR USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS**



**FIGURA 20 b: EMISIONES DE OXIDO NITROSO
POR FIJACION BIOLÓGICA DE NITRÓGENO**



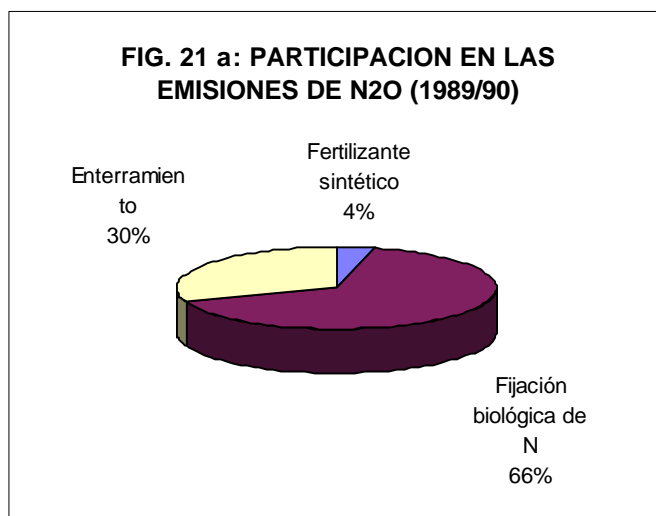
**FIGURA 20 c: EMISIONES DE OXIDO NITROSO
POR ENTERRAMIENTO DE RESIDUOS
AGRICOLAS**

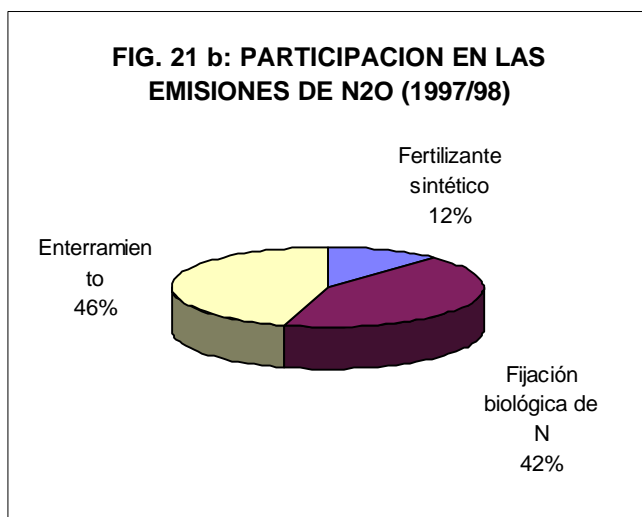


Puede observarse que mientras las emisiones debidas al fertilizantes tuvieron un sostenido incremento durante el período, hecho atribuible al aumento del consumo de fertilizantes en la agricultura argentina, las emisiones debidas a fijación biológica se mantuvieron constantes. Las emisiones por enterramiento de residuos agrícolas aumentaron levemente, al compás de lo sucedido con las producciones de los principales cultivos extensivos (soja, maíz, y trigo) durante las últimas tres campañas agrícolas.

Pese a estas variaciones, la participación porcentual de la fijación biológica de nitrógeno, como fuente de emisiones de óxido nitroso fue mayoritaria, tanto al inicio (Fig. 21 a), como al final de la década (Fig. 21 b). El uso de fertilizantes nitrogenados fue el componente minoritario, si bien dobló su participación en 10 años.

**FIG. 21 a: PARTICIPACION EN LAS
EMISIONES DE N2O (1989/90)**





Análisis comparativo entre la Argentina y Estados Unidos

En la Tabla 28 se presenta un análisis comparativo de las emisiones directas por manejo agrícola de los suelos, entre la Argentina y los Estados Unidos. La agricultura argentina emite alrededor de siete a ocho veces menos óxido nitroso en forma directa que la estadounidense. Ello es atribuible a las evidentes diferencias de magnitud entre ambas agriculturas. Por ejemplo, en Estados Unidos se usan anualmente unas 10 millones de toneladas de N como fertilizante sintético, mientras que en nuestro país recién en los últimos años se están usando medio millón de toneladas de nitrógeno. Las producciones agrícolas tienen, en general, ese orden de magnitud de diferencia entre ambos países. Por consiguiente, las estimaciones de emisiones directas calculadas para la Argentina parecen ser coherentes con las estimaciones de Estados Unidos.

Tabla 28: Emisiones de N₂O procedentes del manejo agrícola del suelo (Gg N₂O)

Actividad	1989/90	1990/91	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96
Argentina	48.4	50.9	52.6	52.7	54.3	57.2	60.4
EEUU	390	403	418	398	461	424	442
Rel. USA / Arg.	8.06	7.91	7.95	7.55	8.49	7.42	7.32

Estimación de las emisiones indirectas de nitrógeno

Las emisiones indirectas de N₂O (kg / año) se calcularon empleando la siguiente ecuación:

$$N_2O_{\text{INDIRECTAS}} = N_2O_{(G)} + N_2O_{(L)} \quad \{9\}$$

en la cual:

$$N_2O_{(G)} = (N_{FERT} \times FRAC_{GASF} + N_E \times FRAC_{GASM}) \times FE_4 \quad \{10\}$$

$$N_2O_{(L)} = (N_{FERT} + N_{EX}) \times FRAC_{LIX} \times FE_5 \quad \{11\}$$

en la cual:

$FRAC_{LIX}$ = fracción del aporte de nitrógeno en los suelos que se pierde debido a la lixiviación y la escorrentía (kg N / kg de nitrógeno aplicado);

$N_2O_{INDIRECTAS}$ = emisiones indirectas de N_2O del país (kg N / año);

$N_2O_{(G)}$ = emisiones de N_2O del país debidas a la deposición atmosférica de NH_3 y NO_x (kg N / año);

$N_2O_{(L)}$ = emisiones de N_2O del país debidas a la lixiviación y la escorrentía de nitrógeno (kg N / año).

1. Estimación de las emisiones indirectas procedentes de la deposición atmosférica de NH_3 y NO_x :

El nitrógeno aplicado a la agricultura como fertilizante y abono pueden originar emisiones indirectas por deposición atmosférica de NH_3 y NO_x . Para calcular estas emisiones se construyó la Tabla 19, que se corresponde con la Hoja de Trabajo 4-5, parte 5 de 5 del Manual de Trabajo del IPCC (1996).

En la columna A de la Tabla 19 se anotó el total de N en el fertilizante sintético aplicado a los suelos, N_{FERT} . En la columna B se anotó la fracción del N en el fertilizante sintético que se volatiliza ($FRAC_{GASF}$). Se utilizaron los valores por defecto proporcionados en la Tabla 4-17 del Manual de Trabajo del IPCC. Del producto entre los valores de las columnas A y B se obtuvo la cantidad total de fertilizante sintético aplicado a los suelos que se volatiliza. Este resultado se indicó en la columna C.

En la columna D se anotó la excreción total de N por el ganado (N_{EX}), mientras que en la columna E se anotó la fracción total del N excretado en el estiércol que se volatiliza ($FRAC_{GASM}$). También en este caso se utilizaron los valores por defecto presentados en la tabla 4-17 del Manual del IPCC. Del producto entre los valores de las columnas D y E se obtuvo la cantidad total de N excretado que se volatiliza. Este resultado se anotó en la columna F.

En la columna G se anotó el factor de emisión FE_4 , cuyos valores por defecto fueron tomados de la Tabla 4-18 del Manual de Trabajo del IPCC.

Las cantidades totales de N volatilizado del fertilizante y del estiércol fueron sumadas, y luego multiplicadas por el factor de emisión FE_4 . Ello permitió obtener las emisiones de óxido nitroso. Este resultado, expresado en gigagramos, fue anotado en la columna H.

2. Estimación de las emisiones indirectas procedentes de la lixiviación y escorrentía:

Para estimar estas emisiones se construyó la Tabla 20, que es continuación de la hoja de trabajo 4-5, parte 5 de 5 del Manual de Trabajo del IPCC (1996). En la columna I de esta tabla se anotó la cantidad total de fertilizante sintético utilizado en el país N_{FERT} . En la columna J se anotó el total de N excretado por el ganado (N_{EX}), mientras que en la columna K se anotó la fracción del N lixiviado (FRAC_{LIX}). Se utilizaron los valores por defecto presentados en la Tabla 4-17 del Manual del IPCC.

En la columna L de la Tabla 20 se anotó el factor de emisión FE_5 , del cual se tomaron los valores por defecto presentados en la Tabla 4-18 del Manual de Trabajo del IPCC. Las emisiones de óxido nitroso procedentes de la lixiviación fueron obtenidas de la suma de los valores en las columnas I y J, los que fueron multiplicados por los factores de las columnas K y L. El resultado final correspondiente a la lixiviación, expresado en gigagramos, se indicó en la columna M.

El total de las emisiones indirectas de óxido nitroso fue anotado en la columna N de la Tabla 20, y surgen de la suma de los dos totales de las columnas H y M multiplicado por la relación de conversión 44/28.

TABLA 19: EMISIONES INDIRECTAS DE OXIDO NITROSO PROCEDENTES DE LA DEPOSICION ATMOSFERICA DE NH₃ Y NO_x

A	B	C	D	E	F	G1	G2	G3	H1	H2	H3
N en el fertilizante sintético aplicado a los suelos, N _{FERT} (kg N/año)	Fracción del N en el fertilizante sintético aplicado que se volatiliza FRAC _{GASFS} (kg N / kg N)	Cantidad del N en el fertilizante sintético aplicado que se volatiliza (kg N / kg N)	Total de N excretado por el ganado N _{EX} (kg N / año)	Fracción del total de N en el estiércol excretado que se volatiliza FRAC _{GASM} (kg N / kg N)	Total de N excretado por el ganado que se volatiliza (kg N / kg N)		Factor de emisión FE ₄			Emisiones óxido nitroso (Gg N ₂ O-N / año)	
		C = A x B			F = (D x E)	min	medio	max	H = (C + F) x G x 10 ⁻⁶		
1989											
108.676.630	0,1	10.867.663	0	0,2	0	0,002	0,010	0,020	0,0217	0,1087	0,2174
1.990											
84.561.230	0,1	8.456.123	0	0,2	0	0,002	0,010	0,020	0,0169	0,0846	0,1691
1.991											
91.533.640	0,1	9.153.364	0	0,2	0	0,002	0,010	0,020	0,0183	0,0915	0,1831
1.992											
146.481.740	0,1	14.648.174	0	0,2	0	0,002	0,010	0,020	0,0293	0,1465	0,2930
1.993											
184.062.170	0,1	18.406.217	0	0,2	0	0,002	0,010	0,020	0,0368	0,1841	0,3681
1.994											
291.057.120	0,1	29.105.712	0	0,2	0	0,002	0,010	0,020	0,0582	0,2911	0,5821
1.995											
349.104.810	0,1	34.910.481	0	0,2	0	0,002	0,010	0,020	0,0698	0,3491	0,6982
1.996											
504.431.871	0,1	50.443.187	0	0,2	0	0,002	0,010	0,020	0,1009	0,5044	1,0089
1.997											

433.771.356	0,1	43.377.136	0	0,2	0	0,002	0,010	0,020	0,0868	0,4338	0,8675
1.998											
<u>445.231.050</u>	0,1	<u>44.523.105</u>	0	0,2	<u>0</u>	<u>0,002</u>	<u>0,010</u>	<u>0,020</u>	0,0890	0,4452	0,8905

**TABLA 20: EMISIONES INDIRECTAS DE OXIDO NITROSO
PROCEDENTES DE LA LIXIVIACION**

I	J	K	L1	L2	L3	M1	M2	M3	N1	N2	N3	O1	O2	O3
Fertilizante sintético utilizado N_{FERT} (kg N / año)	Excreción de N del ganado N_{EX} (kg N / año)	Fracción de N lixiviado $FRAC_{LIX}$ (kg N / kg N)		Factor de emisión FE_5		Emisiones de óxido nitroso procedentes de la lixiviación (Gg N_2O-N / año)			Total de emisiones indirectas de óxido nitroso (Gg N_2O / año)			Total de emisiones de óxido nitroso (Gg)		
			min	medio	max	$M = (I + J) \times K \times L \times 10^{-6}$			$N = (H + M) [44/28]$			$O = (G + C + N)$		
1989														
108.676.630	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,0652	0,8151	3,9124	0,0022	0,1392	1,3363	10,0287	50,2720	91,5753
1.990														
84.561.230	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,0507	0,6342	3,0442	0,0013	0,0843	0,8090	10,5577	52,8664	95,8167
1.991														
91.533.640	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,0549	0,6865	3,2952	0,0016	0,0987	0,9480	10,8828	54,5046	98,8786
1.992														
146.481.740	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,0879	1,0986	5,2733	0,0040	0,2529	2,4277	10,9233	54,8487	100,7001
1.993														
184.062.170	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,1104	1,3805	6,6262	0,0064	0,3993	3,8332	11,1687	56,2112	104,2947
1.994														
291.057.120	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,1746	2,1829	10,4781	0,0160	0,9984	9,5848	11,7816	59,8264	115,4752
1.995														
349.104.810	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,2095	2,6183	12,5678	0,0230	1,4364	13,7892	12,5045	63,8444	126,1237
1.996														
504.431.871	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,3027	3,7832	18,1595	0,0480	2,9989	28,7894	13,3772	69,6446	148,7516
1.997														
433.771.356	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,2603	3,2533	15,6158	0,0355	2,2176	21,2887	16,2657	83,3687	167,3605
1.998														
445.231.050	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,2671	3,3392	16,0283	0,0374	2,3363	22,4284	0,0374	2,3363	22,4284

En la Figura 7 se presenta la evolución de las emisiones acumulativas indirectas de óxido nitroso. Resulta evidente que la lixiviación fue el porte principal a estas emisiones. Estas se incrementaron hacia el final del período, como resultado del aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados.

Del mismo modo, en la Figura 8 se presenta la evolución acumulativa de las emisiones totales de óxido nitroso durante el período. Surge claramente que éstas se debieron casi en su totalidad a las fuentes directas, relacionadas con el nitrógeno aplicado en la agricultura, la fijación biológica, el estiércol y el enterramiento de residuos de cosechas y pasturas.

Referencias

- Cangiano, C. 1996. Producción Animal en Pastoreo. INTA Balcarce.
- INTA – CFI. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Buenos Aires.

Estimación de las emisiones indirectas de nitrógeno

Las emisiones indirectas de N₂O (kg / año) se calcularon empleando la siguiente ecuación:

$$N_2O_{\text{INDIRECTAS}} = N_2O_{(G)} + N_2O_{(L)} \quad \{9\}$$

en la cual:

$$N_2O_{(G)} = (N_{\text{FERT}} \times \text{FRAC}_{\text{GASF}} + N_{\text{E}} \times \text{FRAC}_{\text{GASM}}) \times \text{FE}_4 \quad \{10\}$$

$$N_2O_{(L)} = (N_{\text{FERT}} + N_{\text{EX}}) \times \text{FRAC}_{\text{LIX}} \times \text{FE}_5 \quad \{11\}$$

en la cual:

FRAC_{LIX} = fracción del aporte de nitrógeno en los suelos que se pierde debido a la lixiviación y la escorrentía (kg N / kg de nitrógeno aplicado);

N₂O_{INDIRECTAS} = emisiones indirectas de N₂O del país (kg N / año);

N₂O_(G) = emisiones de N₂O del país debidas a la deposición atmosférica de NH₃ y NO_x (kg N / año);

$N_2O_{(L)}$ = emisiones de N_2O del país debidas a la lixiviación y la escorrentía de nitrógeno (kg N / año).

1. Estimación de las emisiones indirectas procedentes de la deposición atmosférica de NH_3 y NO_x :

El nitrógeno aplicado a la agricultura como fertilizante y abono pueden originar emisiones indirectas por deposición atmosférica de NH_3 y NO_x . Para calcular estas emisiones se construyó la Tabla 29, que se corresponde con la Hoja de Trabajo 4-5, parte 5 de 5 del Manual de Trabajo del IPCC (1996).

En la columna A de la Tabla 29 se anotó el total de N en el fertilizante sintético aplicado a los suelos, N_{FERT} . En la columna B se anotó la fracción del N en el fertilizante sintético que se volatiliza ($FRAC_{GASFS}$). Se utilizaron los valores por defecto proporcionados en la Tabla 4-17 del Manual de Trabajo del IPCC. Del producto entre los valores de las columnas A y B se obtuvo la cantidad total de fertilizante sintético aplicado a los suelos que se volatiliza. Este resultado se indicó en la columna C.

En la columna D se anotó la excreción total de N por el ganado (N_{EX}), mientras que en la columna E se anotó la fracción total del N excretado en el estiércol que se volatiliza ($FRAC_{GASM}$). También en este caso se utilizaron los valores por defecto presentados en la tabla 4-17 del Manual del IPCC. Del producto entre los valores de las columnas D y E se obtuvo la cantidad total de N excretado que se volatiliza. Este resultado se anotó en la columna F.

En la columna G se anotó el factor de emisión FE_4 , cuyos valores por defecto fueron tomados de la Tabla 4-18 del Manual de Trabajo del IPCC.

Las cantidades totales de N volatilizado del fertilizante y del estiércol fueron sumadas, y luego multiplicadas por el factor de emisión FE_4 . Ello permitió obtener las emisiones de óxido nitroso. Este resultado, expresado en gigagramos, fue anotado en la columna H.

2. Estimación de las emisiones indirectas procedentes de la lixiviación y escorrentía:

Para estimar estas emisiones se construyó la Tabla 30, que es continuación de la hoja de trabajo 4-5, parte 5 de 5 del Manual de Trabajo del IPCC (1996). En la columna I de esta tabla se anotó la cantidad total de fertilizante sintético utilizado en el país N_{FERT} . En la columna J se anotó el total de N excretado por el ganado (N_{EX}), mientras que en la columna K se anotó la fracción del N lixiviado ($FRAC_{LIX}$). Se utilizaron los valores por defecto presentados en la Tabla 4-17 del Manual del IPCC.

En la columna L de la Tabla 30 se anotó el factor de emisión FE_5 , del cual se tomaron los valores por defecto presentados en la Tabla 4-18 del Manual de Trabajo del IPCC. Las emisiones de óxido nitroso procedentes de la lixiviación fueron obtenidas de la suma de los valores en las columnas I y J, los que fueron multiplicados por los factores de las columnas K y L. El resultado final correspondiente a la lixiviación, expresado en gigagramos, se indicó en la columna M.

El total de las emisiones indirectas de óxido nitroso fue anotado en la columna N de la Tabla 30, y surgen de la suma de los dos totales de las columnas H y M multiplicado por la relación de conversión 44/28.

TABLA 29: EMISIONES INDIRECTAS DE OXIDO NITROSO PROCEDENTES DE LA DEPOSICION ATMOSFERICA DE NO_x

A	B	C	D	E	F	G1	G2	G3
N en el fertilizante sintético aplicado a los suelos, N _{FERT} (kg N/año)	Fracción del N en el fertilizante sintético aplicado que se volatiliza FRAC _{GASFS} (kg N / kg N)	Cantidad del N en el fertilizante sintético aplicado que se volatiliza (kg N / kg N)	Total de N excretado por el ganado N _{EX} (kg N / año)	Fracción del total de N excretado en el estiércol que se volatiliza FRAC _{GASM} (kg N / kg N)	Total de N excretado por el ganado que se volatiliza (kg N / kg N)	Factor de emisión FE ₄ (kg N ₂ O-N / kg N)		
		C = A x B		F = (D x E)		min	medio	max
1989								
108,676,630	0.1	10,867,663	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020
1,990								
84,561,230	0.1	8,456,123	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020
1,991								
91,533,640	0.1	9,153,364	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020
1,992								
146,481,740	0.1	14,648,174	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020
1,993								
184,062,170	0.1	18,406,217	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020
1,994								
291,057,120	0.1	29,105,712	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020
1,995								
349,104,810	0.1	34,910,481	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020
1,996								
504,431,871	0.1	50,443,187	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020
1,997								
433,771,356	0.1	43,377,136	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020
1,998								
445,231,050	0.1	44,523,105	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020

TABLA 30: EMISIONES INDIRECTAS DE OXIDO NITROSO PROCEDENTES DE LA LIXIVIACION

I Fertilizante sintético utilizado N_{FERT} (kg N / año)	J Excreción de N del ganado N_{EX} (kg N / año)	K Fracción de N lixiviado $FRAC_{LIX}$ (kg N / kg N)	L1	L2	L3	M1	M2	M3	N1	N2	N3	
			Factor de emisión FE_5			Emisiones de óxido nitroso procedentes de la lixiviación (Gg N_2O-N / año)			Total de emisiones indirectas de óxido nitroso (Gg N_2O / año)			
			min	medio	max	$M = (I + J) \times K \times L \times 10^{-6}$			$N = (H + M) [44/28]$			
1989												
108,676,630	0	0.3	0.002	0.025	0.12	0.065	0.815	3.912	0.137	1.452	6.49	
1,990												
84,561,230	0	0.3	0.002	0.025	0.12	0.051	0.634	3.044	0.106	1.129	5.05	
1,991												
91,533,640	0	0.3	0.002	0.025	0.12	0.055	0.687	3.295	0.115	1.223	5.46	
1,992												
146,481,740	0	0.3	0.002	0.025	0.12	0.088	1.099	5.273	0.184	1.957	8.74	
1,993												
184,062,170	0	0.3	0.002	0.025	0.12	0.110	1.380	6.626	0.231	2.459	10.99	
1,994												
291,057,120	0	0.3	0.002	0.025	0.12	0.175	2.183	10.478	0.366	3.888	17.38	
1,995												
349,104,810	0	0.3	0.002	0.025	0.12	0.209	2.618	12.568	0.439	4.663	20.84	
1,996												
504,431,871	0	0.3	0.002	0.025	0.12	0.303	3.783	18.160	0.634	6.738	30.12	
1,997												
433,771,356	0	0.3	0.002	0.025	0.12	0.260	3.253	15.616	0.545	5.794	25.90	
1,998												
445,231,050	0	0.3	0.002	0.025	0.12	0.267	3.339	16.028	0.560	5.947	26.58	

En la Figura 22 se presenta la evolución de las emisiones acumulativas indirectas de óxido nitroso. Resulta evidente que la lixiviación fue el porte principal a estas emisiones. Estas se incrementaron hacia el final del período, como resultado del aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados.

Del mismo modo, en la Figura 23 se presenta la evolución acumulativa de las emisiones totales de óxido nitroso durante el período. Surge claramente que éstas se debieron casi en su totalidad a las fuentes directas, relacionadas con el nitrógeno aplicado en la agricultura, la fijación biológica, el estiércol y el enterramiento de residuos de cosechas y pasturas.

Referencias

- Alvarez, R., Díaz, R.A., Barbero, N., Santanatoglia, O.J., Blotta, L., 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil and Tillage Research* 33, 17-28.
- Cangiano, C. 1996. Producción Animal en Pastoreo. INTA Balcarce.
- INTA – CFI. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Buenos Aires.
- Senigaglia, C. y M. Ferrari. 1993. Soil and crop responses to alternative tillage practices. En: *International Crop Science I*. (Eds: Buxton, D.R.; Shibles, R.; Forsberg, R.A.; Blad, B.L.; Asay, K.H.; Paulsen, G.M.; Wilson, R.F.) Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA: 27-35.
- Thomas, G.W., Hazsler, G.R., Robins, R.L., 1996. The effects of organic matter and tillage on maximum compactibility of soils using the Proctor test. *Soil Science* 161, 502-508.

Inventario de emisiones de efecto invernadero debido a quema de rastrojos en la República Argentina

La quema de rastrojos es una práctica que se realiza para facilitar las posteriores labores agrícolas, y tiene por finalidad que no existan residuos en descomposición del cultivo anterior durante el crecimiento del cultivo subsiguiente. Además de ser una fuente de emisiones de metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxidos del nitrógeno (NO_x), y óxido nitroso (N_2O) hacia la atmósfera, la quema de rastrojos genera inmovilización de nutrientes (nitrógeno, principalmente) por la flora bacteriana encargada de descomponer los rastrojos del cultivo previo.

Para evaluar la proporción de rastrojos quemados, se recurrió a los datos reportados por Andrade y Abbate (1997), en el informe previo. Al no haber información fácilmente accesible sobre quema de rastrojos en nuestro país, estos autores estimaron la quema de rastrojos a partir de una encuesta realizada a técnicos de todos los Centros Regionales de INTA. De la encuesta surgió que los cultivos cuyos rastrojos son quemados en nuestro país son: algodón, lino, trigo y caña de azúcar.

La quema de rastrojos es una práctica poco frecuente en la pradera pampeana, principal productora de cultivos de la Argentina, pero es habitual en el noroeste (NEA) y nordeste (NOA) argentinos donde es común quemar rastrojos de algodón y de caña de azúcar. Existen diferentes razones por las cuales se queman los rastrojos. Por ejemplo, cultivos como el trigo pueden dejar abundante volumen de residuos, los cuales no son además de fácil descomposición dado su elevada relación C/N (≈ 80). La necesidad de quemar estos rastrojos se agudiza en casos que no es posible dejar períodos de barbecho suficientemente largos (> 60 días). Otros cultivos, como el lino, poseen rastrojos con muy alta relación C/N (> 100), y por ende, son de difícil descomposición. No obstante, la participación del lino en la agricultura argentina es cada vez menos importante.

1. Producción de caña de azúcar y residuos quemados en la Argentina:

Un caso de características diferentes es el de la caña de azúcar, de importante participación en la agricultura argentina. A diferencia de los otros cultivos donde se cosechan órganos reproductivos (e.g. granos o fibras), en la caña de azúcar se cosecha todo el tallo, que es el que contiene el jugo azucarado. Este tallo es molido en los ingenios azucareros, donde uno de los principales factores que afectan la calidad azucarera, y aumentan los costos de cosecha, transporte y procesamiento fabril, son las impurezas que acompañan a los tallos molibles de la caña de azúcar (i.e. "trash"). Las porciones inmaduras de los tallos, normalmente el tercio superior (i.e. despunte) y las hojas de la caña de azúcar son componentes frecuentes y de elevada incidencia en los contenidos normales de materias extrañas determinadas en las distintas alternativas de cosecha, adquiriendo mayor significación en el sistema de cosecha integral. En el sistema tradicional, se realiza el quemado de las hojas en el campo, previo a la cosecha, con el fin de facilitar la posterior recolección de cañas y el proceso industrial para la obtención del jugo azucarado. Existe consenso, sin embargo, que desde hace uno diez años este sistema está siendo reemplazado progresivamente por la cosecha integral con equipos mecánicos, y uso de defoliantes químicos.

El contenido porcentual de hojas y despunte de caña al momento de la cosecha establece el nivel máximo del "trash" vegetal intrínseco del cultivo, que deberá ser eliminado por los distintos sistemas de recolección. Este contenido varía por distintos factores, entre los que se destacan las características de crecimiento del cañaveral, la época de cosecha y las características varietales.

En la Tabla 1 se presentan datos originales de Romero et al. (1995), quienes determinaron los contenidos porcentuales de material total no molible del tallo (i.e. despunte) y de hojas del tallo molible de tres variedades de caña de azúcar usadas en la provincia de Tucumán. La Tabla 2, por su parte, presenta la variación de los contenidos de humedad y de las proporciones de hojas verdes y secas a lo largo del período de zafra.

Tabla 1: Variación del contenido porcentual de material total no molible (TV) y el de las hojas del tallo molible (HTM) de tres variedades de caña de azúcar durante el período de zafra (Romero et al., (1995).

cultivar	may	jun	jul	ago	set	oct
<i>NA 63-90</i>						
TV	36	31	28	25	22	13
HTM	18	14	10	10	4	2
<i>TUC 68-19</i>						
TV	28	26	25	22	18	12
HTM	12	9	5	5	3	2
<i>NA 56-79</i>						
TV	28	26	25	20	12	11
HTM	12	9	5	5	2	1

Tabla 2: variación del contenido de humedad y de la proporción de hojas verdes y secas de caña de azúcar en distintas épocas de cosecha. Promedio de tres cultivares (Romero et al. 1995).

	jul	ago	set	oct
% hojas verdes	78	74	72	58
% humedad	71	62	63	44
% hojas secas	21	25	30	46
% humedad	37	18	10	12

Tomado como base estos datos originales se confeccionó la Tabla 3, que muestra la variación porcentual de la materia seca (MS) susceptible de ser quemada durante el período de zafra. La MS presente en tallos verdes surgió del siguiente cálculo:

$$\% \text{ MS en TV} = \% \text{ TV (Tabla 1)} \times \% \text{ MS (Tabla 2)} \quad \{1\}$$

y la MS presente en hojas verdes y secas, fue calculada así:

$$\% \text{ MS en HTM verdes} = \% \text{ HTM (Tabla 1)} \times \% \text{ MS en hojas verdes} \times \% \text{ participación de hojas verdes (Tabla 2)} \quad \{2\}$$

$$\% \text{ MS en HTM secas} = \% \text{ HTM (Tabla 1)} \times \% \text{ MS en hojas secas} \times \% \text{ participación de hojas secas (Tabla 2)} \quad \{3\}$$

El porcentaje total de impurezas susceptible de ser quemado surge de la siguiente suma:

$$\% \text{ MS quemable} = \Sigma (\% \text{ MS TV}, \% \text{ MS HTM verdes}, \% \text{ MS HTM secas}) \quad \{4\}$$

Tabla 3: % de materia seca total quemable durante de zafra de caña de azúcar (a partir de datos de las Tablas 1 y 2.

cultivar	jul	ago	set	oct
<i>NA 63-90</i>				
TV	19.88	15.50	13.86	5.72
HTM verdes	5.54	4.59	1.81	0.51
HTM secas	0.78	0.45	0.12	0.11
% MS quemable	26.20	20.54	15.79	6.34
<i>TUC 68-19</i>				
TV	17.75	13.64	11.34	5.28
HTM verdes	2.77	2.29	1.36	0.51
HTM secas	0.39	0.23	0.09	0.11
% MS quemable	20.91	16.16	12.79	5.90
<i>NA 56-79</i>				
TV	17.75	12.40	7.56	4.84
HTM verdes	2.77	2.29	0.91	0.26
HTM secas	0.39	0.23	0.06	0.06
% MS quemable	20.91	14.92	8.53	5.15
Promedio % MS quemable				
	22.67	17.21	12.37	5.80

Finalmente, como porcentaje final se consideró el promedio de % MS quemable de los cultivares evaluados por Romero et al. (1995). Como resultado de las variaciones temporales existentes, tanto a nivel de los contenidos porcentuales de tallo no molible, como de hojas en tallo molible (Tabla 1), y las proporciones de hojas verdes y secas y

sus respectivas humedades (Tabla 2), existen importantes cambios a lo largo del período de zafra en el porcentaje de MS susceptible de ser quemada (Tabla 3).

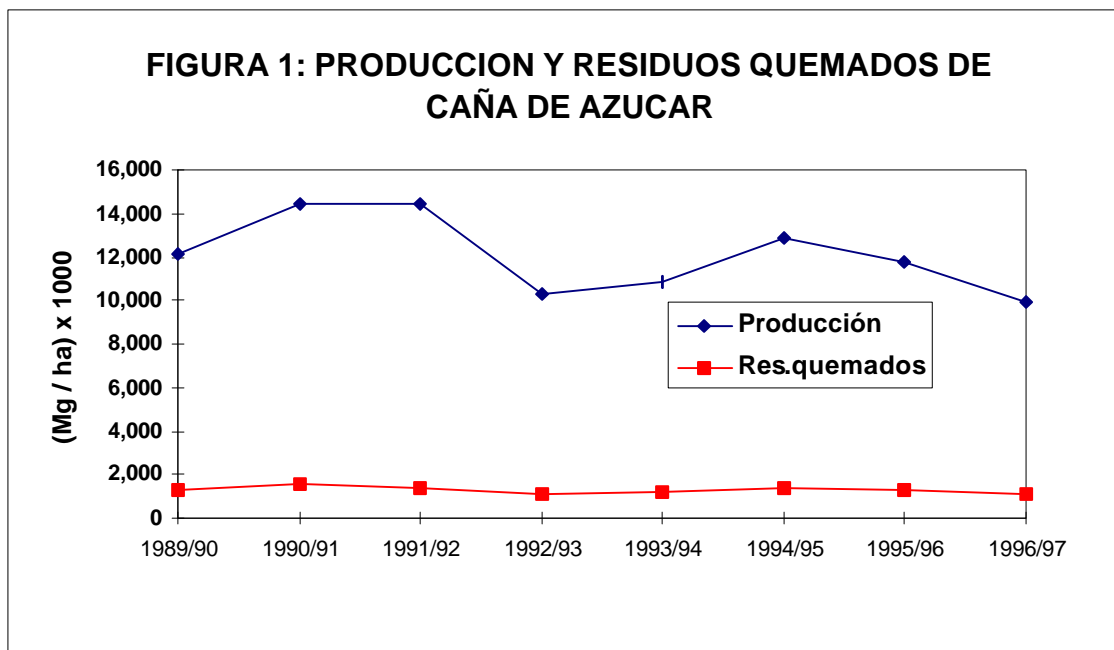
La caña de azúcar es cultivada, principalmente, en provincias del NEA y NOA argentinos. En la Tabla 4 se presentan las modalidades de cosecha en cada provincia, la proporción del cultivo que es cosechada en cada época, y los porcentaje de materia seca quemable que surgen de la Tabla 3. Este porcentaje corresponde a los despuntes y hojas en tallo molible que se eliminan previo a la zafra. En las provincias con cosecha temprana se consideró un promedio del porcentaje de MS quemable de julio-agosto ($\approx 20\%$), mientras que para las provincias con cosecha normal y tardía, se consideró el porcentaje de MS quemable de setiembre-octubre ($\approx 9\%$). En estas provincias, se obtuvo la suma ponderada de MS quemable, que surge de la proporción en que participa cada período de cosecha. En las provincias con un sólo período de cosecha, el cálculo se realizó sobre la base de los % de MS quemable de agosto-setiembre ($\approx 12\%$). Existe consenso en que se reduciendo año a año la superficie quemada, por lo que se aplicó un factor de reducción de 1 % anual en la misma. En el cálculo de la biomasa total de residuos quemados, se consideró el valor por defecto del IPCC (0,90) correspondiente a la fracción de biomasa oxidada. En función de estos cálculos se confeccionó la Tabla 5, donde aparecen la producción de caña enviada a ingenio de cada provincia productora (datos de la SAGyP), la cantidad de residuos quemados de cada provincia.

Tabla 5. Cálculo de las fracciones de residuos y las fracciones quemadas en diferentes provincias argentinas productoras de caña de azúcar

Provincia	A	B	C	D	E	F
	Producción de caña enviada a ingenio (Mg)	Fracción de residuos	Biomasa de residuos (Mg MS) C = A x B	Fracción de residuos quemados	Fracción oxidada en los campos	Residuos quemados (Mg MS) F = C x D x E
1989/90						
Corrientes	0	0.130	0	0.00	0.90	0
Formosa	6,800	0.130	884	0.11	0.90	88
Jujuy	3,840,000	0.130	499200	0.96	0.90	431,309
Misiones	73,200	0.130	9516	0.11	0.90	942
Salta	1,300,000	0.130	169000	0.96	0.90	146,016
Santa Fe	180,000	0.130	23400	0.11	0.90	2,317
Tucumán	6,700,000	0.130	871000	0.93	0.90	729,027
Total	12,100,000			0.93		1,309,698
1990/91						
Corrientes	0	0.130	0	0.00	0.90	0
Formosa	8,000	0.130	1040	0.11	0.90	102
Jujuy	4,100,000	0.130	533000	0.95	0.90	455,907
Misiones	59,000	0.130	7670	0.11	0.90	752
Salta	1,350,000	0.130	175500	0.95	0.90	150,116
Santa Fe	113,000	0.130	14690	0.11	0.90	1,440
Tucumán	8,790,000	0.130	1142700	0.92	0.90	946,876
Total	14,420,000			0.92		1,555,191

1991/92						
Corrientes	0	0.130	0	0.00	0.90	0
Formosa	13,000	0.130	1690	0.11	0.90	164
Jujuy	3,300,000	0.130	429000	0.94	0.90	363,280
Misiones	38,500	0.130	5005	0.11	0.90	486
Salta	1,253,000	0.130	162890	0.94	0.90	137,936
Santa Fe	130,000	0.130	16900	0.11	0.90	1,640
Tucumán	8,100,000	0.130	1053000	0.91	0.90	863,822
Total	12,834,500			0.91		1,367,328
1992/93						
Corrientes	0	0.130	0	0.00	0.90	0
Formosa	11,000	0.130	1430	0.11	0.90	137
Jujuy	3,000,000	0.130	390000	0.93	0.90	326,952
Misiones	58,000	0.130	7540	0.11	0.90	724
Salta	1,080,000	0.130	140400	0.93	0.90	117,703
Santa Fe	70,000	0.130	9100	0.11	0.90	874
Tucumán	6,091,000	0.130	791830	0.90	0.90	643,077
Total	10,310,000			0.90		1,089,467
1993/94						
Corrientes	1,090	0.130	141.7	0.00	0.90	0
Formosa	9,355	0.130	1216.15	0.11	0.90	116
Jujuy	3,002,500	0.130	390325	0.92	0.90	323,952
Misiones	45,100	0.130	5863	0.11	0.90	558
Salta	790,000	0.130	102700	0.92	0.90	85,236
Santa Fe	107,500	0.130	13975	0.11	0.90	1,329
Tucumán	6,898,100	0.130	896753	0.89	0.90	721,006
Total	10,853,645			0.89		1,132,197
1994/95						
Corrientes	450	0.130	58.5	0.00	0.90	0
Formosa	9,234	0.130	1200.42	0.10	0.90	113
Jujuy	2,743,000	0.130	356590	0.91	0.90	292,994
Misiones	54,925	0.130	7140.25	0.10	0.90	672
Salta	1,202,500	0.130	156325	0.91	0.90	128,445
Santa Fe	220,100	0.130	28613	0.10	0.90	2,694
Tucumán	8,620,000	0.130	1120600	0.88	0.90	891,974
Total	12,850,209			0.88		1,316,892
1995/96						
Corrientes	1,450	0.130	188.5	0.00	0.90	0
Formosa	7,972	0.130	1036.36	0.10	0.90	97
Jujuy	2,531,000	0.130	329030	0.90	0.90	267,646
Misiones	35,100	0.130	4563	0.10	0.90	425
Salta	971,500	0.130	126295	0.90	0.90	102,733
Santa Fe	183,600	0.130	23868	0.10	0.90	2,225
Tucumán	8,083,700	0.130	1050881	0.88	0.90	828,114
Total	11,814,322			0.87		1,201,240
1996/97						
Corrientes		0.130	0	0.00	0.90	0

Formosa		0.130	0	0.10	0.90	0
Jujuy		0.130	0	0.89	0.90	0
Misiones		0.130	0	0.10	0.90	0
Salta		0.130	0	0.89	0.90	0
Santa Fe		0.130	0	0.10	0.90	0
Tucumán		0.130	0	0.87	0.90	0
Total	9,948,500	0.130	1,293,305	0.86	0.90	1,003,346



La fracción de residuos quemados varió mucho entre provincias, en función del sistema de cosecha utilizado. De todos modos, las principales provincias productoras agrupadas en el NOA se caracterizan todas por quemar la mayor parte de los residuos de caña. La producción de caña procesada por ingenios azucareros varió entre 1989/90 y 1996/97 dentro de un rango de 10 a 15 millones de toneladas anuales, mientras que el total de MS quemada lo hizo entre 1 y 1,6 millones de toneladas anuales (Figura 1). No obstante estas variaciones poco significativas entre años, entre la campaña 1989/90 y 1996/96 se observó un incremento importante en la participación porcentual de la provincia de Tucumán (Figura 2). Este hecho es atribuible a diversas mejoras de manejo (e.g. cosecha integral, uso de agroquímicos, mejores cultivares, etc.) implementadas en la provincia (información de la Estación Experimental Obispo Colombres, Tucumán).

FIGURA 2 a: PARTICIPACION DE CADA PROVINCIA EN LA PRODUCCION NACIONAL DE CAÑA DE AZUCAR 1989/90

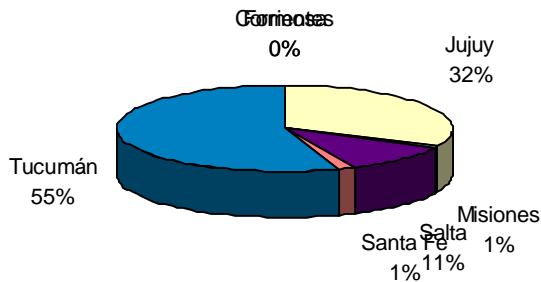
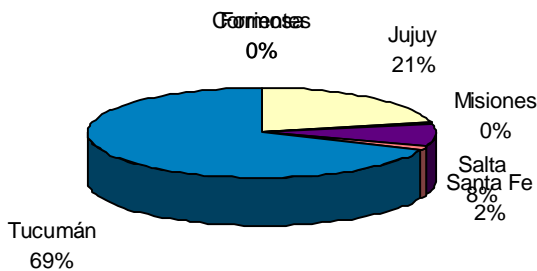


FIGURA 2 b: PARTICIPACION DE CADA PROVINCIA EN LA PRODUCCION NACIONAL DE CAÑA DE AZUCAR 1995/96



2. Producción de algodón, trigo y lino, y residuos quemados en la Argentina:

La producción de estos cultivos, cuyos rastrojos son quemados, fue obtenida a partir de las Series de Agricultura de la SAGyP.

a) Algodón:

El algodón se produce principalmente en provincias del NEA (Chaco), y en menor medida en el NOA. En la Figura 3 se presenta la evolución de la producción anual del cultivo entre 1989/90 y 1996/97, y la de los residuos quemados. Para calcular la cantidad de residuos se consideró que el cultivo posee una eficiencia de cosecha (biomasa de fibra cosechada / biomasa total del cultivo) = 17 %. Ello implica la siguiente relación residuos / cosecha:

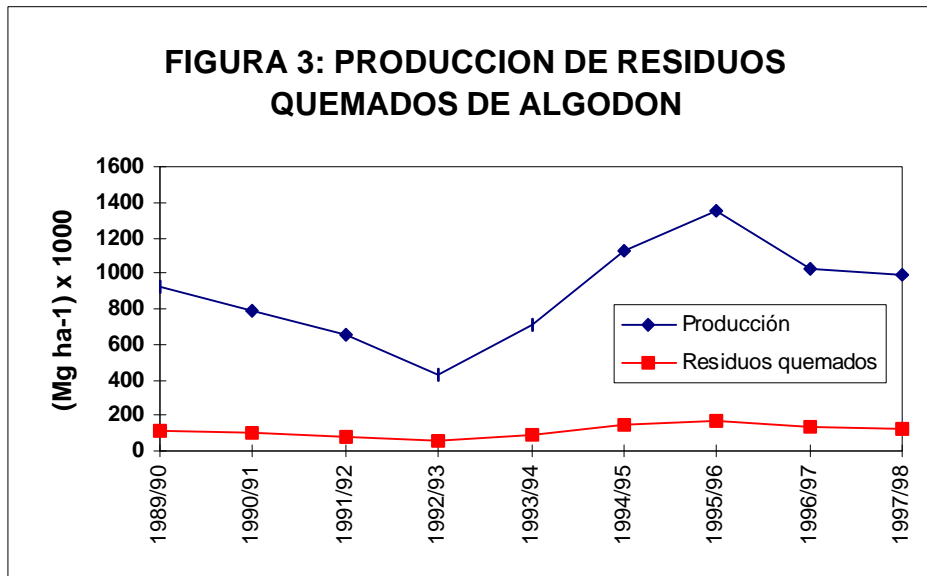
$$\text{Rel. residuo / cultivo} = 83 / 17 = 4,88 \quad \{5\}$$

El total de materia seca presente en los residuos se calculó considerando que estos poseen un 3 % de humedad (% MS = 97 %). Finalmente, se consideró que sólo un 3 % de los residuos son quemados anualmente, y al igual que en caña de azúcar, existe un valor por defecto de 0,90 que considera el total de biomasa oxidada durante la quema.

La cantidad de residuos de algodón quemados anualmente, surgió del siguiente cálculo:

$$\text{Res. quemados (Gg ha}^{-1}\text{)} = \text{Prod. fibra (Gg ha}^{-1}\text{)} \times 4,88 \times 0,97 \times 0,03 \times 0,90 \quad \{6\}$$

De este cálculo se deduce que la proporción de residuos de algodón quemados anualmente equivale al 13 % ($4,88 \times 0,97 \times 0,03 \times 0,9$) de lo cosechado en fibra.



b) lino:

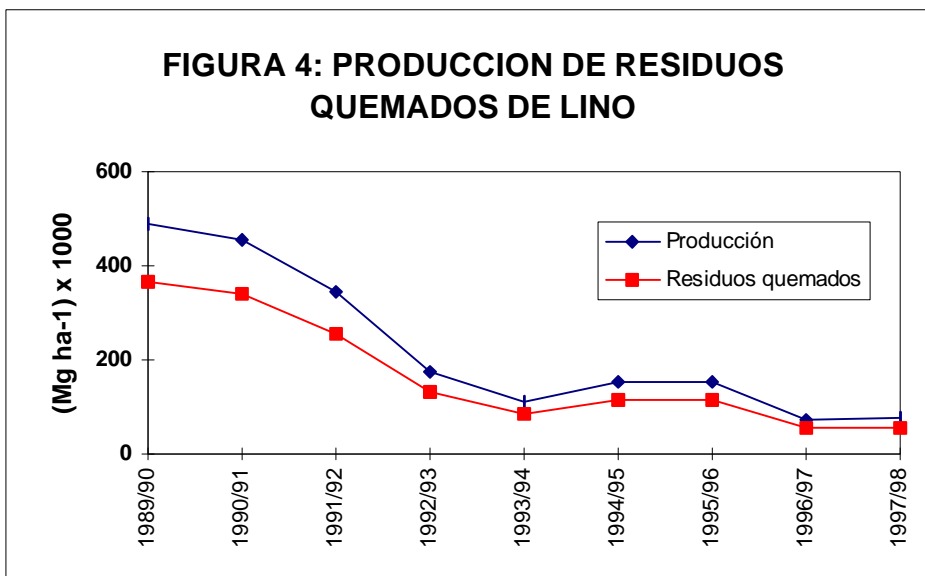
Tal como surge de la Figura 4, el lino es un cultivo de producción declinante en la Argentina. El procedimiento seguido para el cálculo de los residuos quemados anualmente fue similar al utilizado para el algodón. En el caso del lino, se consideró una eficiencia de cosecha de 35 %. De este modo, se obtuvo la siguiente relación residuo / cultivo:

$$\text{Rel. residuo / cultivo} = 65 / 35 = 1,86 \quad \{7\}$$

Para el resto de los cálculos, se consideró un porcentaje de humedad de 11 %, y que un 50 % de los residuos son quemados anualmente. De este modo, el cálculo final para averiguar la cantidad de residuos quemados de lino es:

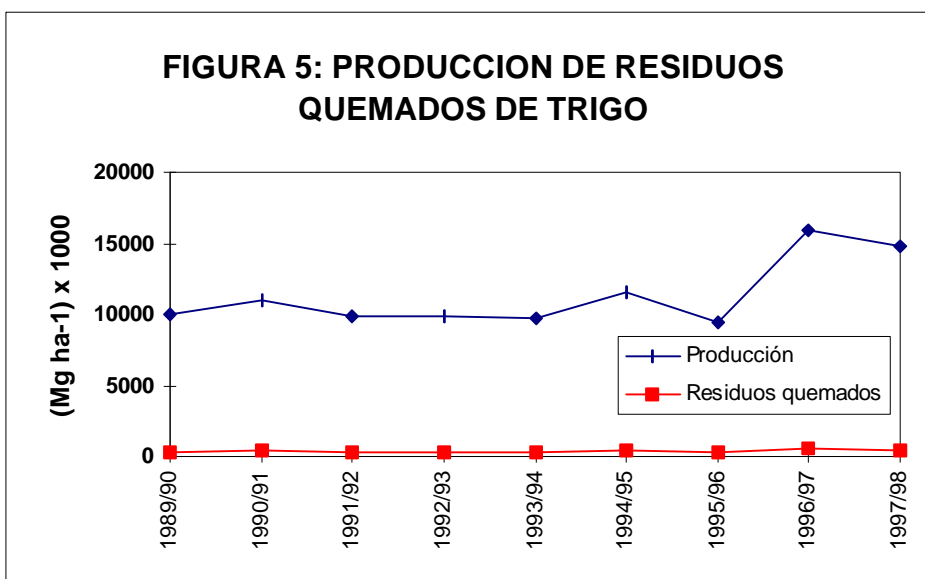
$$\text{Res. quemados (Gg ha}^{-1}\text{)} = \text{Prod. de lino Gg ha}^{-1}\text{)} \times 1,86 \times 0,89 \times 0,50 \times 0,90 \quad \{8\}$$

De acuerdo con este valor, la cantidad de residuos de lino quemados equivale al 74 % de la producción anual del cultivo. Esta cantidad se presenta también en la Figura 4.



c) trigo:

La evolución de la producción anual de trigo entre 1989/90 y 1996/97 se presenta en la Figura 5.



Para el cálculo de los residuos quemados anualmente, se consideró una relación residuo / cultivo de 1,33 (valor por defecto del IPCC, Tabla 4-15), una humedad de cosecha del 14 %, y que sólo un 3 % de los residuos (según estimaciones de la SAGyP) son quemados anualmente en los campos. De este modo, el cálculo de residuos quemados fue el siguiente:

$$\text{Res. quemados (Gg ha}^{-1}\text{)} = \text{Prod. de trigo Gg ha}^{-1}\text{) } \times 1,33 \times 0,86 \times 0,03 \times 0,90 \quad \{9\}$$

De acuerdo con este cálculo, la proporción de residuos de trigo quemados anualmente (Fig. 5) equivale solamente a un 3 % de la producción anual cosechada.

3. Cálculo de las emisiones de gases:

Se utilizó la metodología del Manual de Trabajo del IPCC, en la versión revisada en 1996, según los procedimientos de llenado de la *Hoja de Trabajo 4.4. Quema en el Campo de los Residuos Agrícolas*. La Tabla 6 (1 de 3), que reproduce la primer parte de dicha Hoja de Trabajo, presenta los cálculos realizados para estimar el total de biomasa quemada de cada cultivo, tal como se explicó en los ítems previos para caña de azúcar, algodón, lino y trigo.

Tabla 6: Quema en el campo de rastrojos agrícolas (1 de 3)

Cultivos	A Prod. anual (Gg cultivo)	B Relación residuos/ cultivo	C Cantidad de residuos (Gg biomasa) C= (A x B)	D Fracción de MS	E Cantidad de residuos secos ^b (Gg MS) E= (C x D)	F Fracción quemada en los campos ^c	G Fracción oxidada	H Total de biomasa quemada (Gg MS) H= (E x F x G)
1989/90								
Algodón	923	4.88	4504	0.97	4369	0.03	0.9	118
Caña de azúcar ^a	12,100	-	-	0.17	2057	0.925	0.9	1712
Lino	490	1.86	911	0.89	811	0.5	0.9	365
Trigo	10,000	1.33	13300	0.86	11438	0.032	0.9	329
Total	23,513		18715		18675			2525
1990/91								
Algodón	789	4.88	3852	0.97	3737	0.03	0.9	101
Caña de azúcar ^a	14,420	-	-	0.17	2451	0.916	0.9	2020
Lino	457	1.86	850	0.89	756	0.5	0.9	340
Trigo	10,992	1.33	14619	0.86	12573	0.032	0.9	362
Total	26,658		19321		19517			2824
1991/92								
Algodón	652	4.88	3182	0.97	3086	0.03	0.9	83
Caña de azúcar ^a	12,835	-	-	0.17	2182	0.907	0.9	1780
Lino	343	1.86	638	0.89	568	0.5	0.9	255
Trigo	9,884	1.33	13146	0.86	11305	0.032	0.9	326
Total	23,713		16965		17141			2445

1992/93								
Algodón	431	4.88	2101	0.97	2038	0.03	0.9	55
Caña de azúcar ^a	10,310	-	-	0.17	1753	0.898	0.9	1416
Lino	177	1.86	328	0.89	292	0.5	0.9	131
Trigo	9,874	1.33	13133	0.86	11294	0.032	0.9	325
Total	20,791		15563		15377			1928
1993/94								
Algodón	706	4.88	3445	0.97	3341	0.03	0.9	90
Caña de azúcar ^a	10,858	-	-	0.17	1846	0.889	0.9	1476
Lino	112	1.86	209	0.89	186	0.5	0.9	84
Trigo	9,659	1.33	12846	0.86	11047	0.032	0.9	318
Total	21,334		16500		16421			1968
1994/95								
Algodón	1,125	4.88	5491	0.97	5326	0.03	0.9	144
Caña de azúcar ^a	12,850	-	-	0.17	2185	0.880	0.9	1729
Lino	152	1.86	283	0.89	252	0.5	0.9	113
Trigo	11,308	1.33	15040	0.86	12934	0.032	0.9	373
Total	25,436		20813		20697			2359
1995/96								
Algodón	1,347	4.88	6573	0.97	6376	0.03	0.9	172
Caña de azúcar ^a	11,814	-	-	0.17	2008	0.871	0.9	1574
Lino	153	1.86	284	0.89	253	0.5	0.9	114
Trigo	9,445	1.33	12562	0.86	10803	0.032	0.9	311
Total	22,759		19419		19440			2171
1996/97								
Algodón	1,030	4.88	5026	0.97	4875	0.03	0.9	132
Caña de azúcar ^a	9,949	-	-	0.17	1691	0.862	0.9	1312
Lino	72	1.86	133	0.89	119	0.5	0.9	53
Trigo	15,914	1.33	21165	0.86	18202	0.032	0.9	524
Total	26,964		26324		24887			2022
1997/98								
Algodón	987.2	4.88	4818	0.97	4673	0.03	0.9	126
Caña de azúcar ^a		-	-	0.17	0	0	0.9	0
Lino	75.1	1.86	140	0.89	124	0.5	0.9	56
Trigo	14800.2	1.33	19684	0.86	16928	0.032	0.9	488
Total	15863		24641		21726			670

a= corresponde a la producción de caña de azúcar procesada anualmente por los ingenios

b = en el caso de caña de azúcar el cálculo fue: E

= A x D

c = en el caso de caña de azúcar se aplica un factor de reducción de 1 % anual.

El procedimiento para el cálculo de las fracciones de carbono y nitrógeno liberadas se presenta en la Tabla 6, parte 2 de 3, que se corresponde también con la Hoja de Trabajo 4.4. del Manual del IPCC.

Tabla 6: Quema en el campo de residuos agrícolas (2 de 3)

Cultivos	H	I	J	K	L
	Total de biomasa quemada (Gg dm) H= (E x F x G)	Fracción de carbono en el residuo	Total del carbono liberado (Gg C) J= (H x I)	Relación nitrógeno-carbono	Total del nitrógeno liberado (Gg N) L= (J x K)
1989/90					
Algodón	118	0.500	59	0.010	0.59
Caña de azúcar ^a	1712	0.500	856	0.010	8.56
Lino	365	0.500	183	0.009	1.64
Trigo	329	0.485	160	0.012	1.92
Total	854		1257		12.71
1990/91					
Algodón	101	0.500	50	0.010	0.50
Caña de azúcar ^a	730	0.500	365	0.010	3.65
Lino	340	0.500	170	0.009	1.53
Trigo	362	0.485	176	0.012	2.11
Total	852		761		7.79
1991/92					
Algodón	83	0.500	42	0.010	0.42
Caña de azúcar ^a	1780	0.500	890	0.010	8.90
Lino	255	0.500	128	0.009	1.15
Trigo	326	0.485	158	0.012	1.89
Total	707		1217		12.36
1992/93					
Algodón	55	0.500	28	0.010	0.28
Caña de azúcar ^a	1416	0.500	708	0.010	7.08
Lino	131	0.500	66	0.009	0.59
Trigo	325	0.485	158	0.012	1.89
Total	546		959		9.84
1993/94					
Algodón	90	0.500	45	0.010	0.45
Caña de azúcar ^a	1476	0.500	738	0.010	7.38
Lino	84	0.500	42	0.009	0.38
Trigo	318	0.485	154	0.012	1.85
Total	527		979		10.06
1994/95					
Algodón	144	0.500	72	0.010	0.72
Caña de azúcar ^a	1729	0.500	865	0.010	8.65
Lino	113	0.500	57	0.009	0.51
Trigo	373	0.485	181	0.012	2.17
Total	670		1174		12.04

		1995/96			
Algodón	172	0.500	86	0.010	0.86
Caña de azúcar ^a	1574	0.500	787	0.010	7.87
Lino	114	0.500	57	0.009	0.51
Trigo	311	0.485	151	0.012	1.81
Total	634		1081		11.05
		1996/97			
Algodón	132	0.500	66	0.010	0.66
Caña de azúcar ^a	1312	0.500	656	0.010	6.56
Lino	53	0.500	27	0.009	0.24
Trigo	524	0.485	254	0.012	3.05
Total	740		1003		10.51
		1997/98			
Algodón	126	0.500	63	0.010	0.63
Caña de azúcar ^a	0	0.500	0	0.010	0.00
Lino	56	0.500	28	0.009	0.25
Trigo	488	0.485	236	0.012	2.84
Total	670		328		3.72

Para el cálculo de las fracciones de carbono en la biomasa viva, para trigo se tomó un valor de 0,485 (Tabla 4-15 del Manual del IPCC). Para los restantes cultivos se consideró el valor por defecto (0,50) sugerido por el IPCC. La sumatoria del carbono liberado por cada cultivo permitió obtener el total liberado por año.

Como se observa en la Figura 6, el cultivo de la caña de azúcar es por lejos el principal contribuyente al carbono liberado por quema de residuos. La participación porcentual de este cultivo se fue similar en 1989/90 que en 1996/97 (Figura 7 a y b). Entre estos años disminuyó la participación del lino, y aumentó la del trigo. De todos, estos dos cultivos sólo contribuyen minoritariamente a la liberación de carbono por quema de residuos (Fig. 6).

El nitrógeno presente en los residuos se calculó a partir de la relación nitrógeno / carbono de cada tipo de cultivo. Este valor fue más bajo en el caso del lino (relación C/N = 110), y más altos para el caso del trigo (relación C/N = 83). La sumatoria del nitrógeno liberado por cada cultivo permitió obtener el total liberado por año.

FIGURA 6: EVOLUCION DEL CARBONO LIBERADO POR CULTIVO

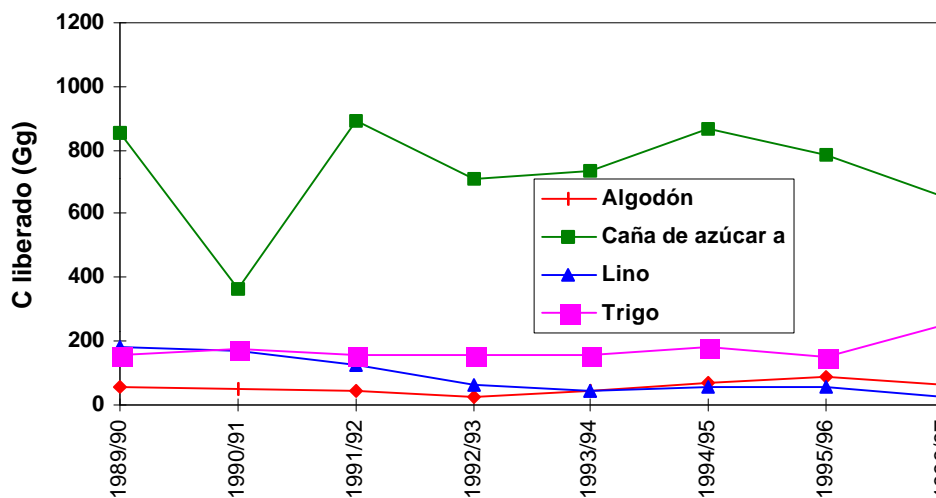


FIG. 7 a:CONTRIBUCION DE CADA CULTIVO AL C LIBERADO POR QUEMA DE RESIDUOS (1989/90)

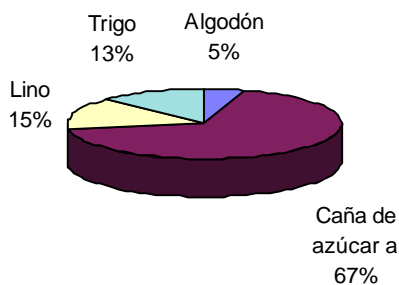
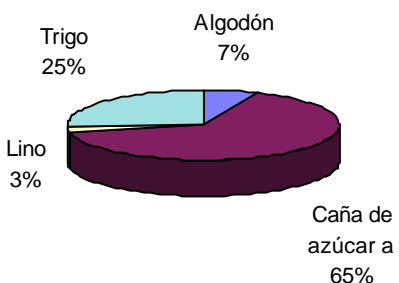


FIG. 7 b:CONTRIBUCION DE CADA CULTIVO AL C LIBERADO POR QUEMA DE RESIDUOS (1996/97)



La Tabla 6, parte 3 de 3, que se corresponde con la última parte de la Hoja de Trabajo 4-4 del Manual del IPCC, presenta las emisiones de gases distintos que CO₂

liberado durante la quema de residuos agrícolas. Para los cálculos se utilizaron las relaciones de emisión (valores medios, mínimos y máximos) aportados por la Tabla 4-16 para metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Las emisiones de quema de residuos agrícolas fueron expresadas también como cada uno de estos gases, utilizando las relaciones de conversión dadas por su peso molecular. Tal como sugiere el Manual del IPCC, la relación para el N₂O fue 44/28 y para NO_x fue 46/14. En este último caso se empleó a NO₂ como molécula de referencia.

**Tabla 6: Quema en el campo de residuos agrícolas
(3 de 3)**

Gases	M1	M2	M3	N1	N2	N3	O	P1	P2	P3
	Relaciones de emisión			Emisiones (Gg C) o (Gg N)			Relación de conversión	Emisiones de quema de residuos agrícolas		
	mínimo	media	máximo	mínimo	media	máximo		mínimo	media	máximo
	N= (J x M)							(Gg) P= (N x O)		
1989/90										
CH ₄	0.003	0.005	0.007	3.771	6.285	8.799	1.333	5.028	8.380	11.732
CO	0.04	0.06	0.08	50.280	75.420	100.560	2.333	117.320	175.980	234.640
1990/91										
N= (L x M)										
N ₂ O	0.005	0.007	0.009	0.064	0.089	0.114	1.571	0.100	0.140	0.180
NO _x	0.094	0.121	0.148	1.195	1.538	1.881	3.286	3.926	5.053	6.181
1991/92										
N= (L x M)										
CH ₄	0.003	0.005	0.007	2.283	3.805	5.327	1.333	3.044	5.073	7.103
CO	0.04	0.06	0.08	30.440	45.660	60.880	2.333	71.027	106.540	142.053
1992/93										
N= (L x M)										
N ₂ O	0.005	0.007	0.009	0.039	0.055	0.070	1.571	0.061	0.086	0.110
NO _x	0.094	0.121	0.148	0.732	0.943	1.153	3.286	2.406	3.097	3.788
1992/93										
N= (L x M)										
CH ₄	0.003	0.005	0.007	2.877	4.795	6.713	1.333	3.836	6.393	8.951
CO	0.04	0.06	0.08	38.360	57.540	76.720	2.333	89.507	134.260	179.013
1992/93										
N= (L x M)										
N ₂ O	0.005	0.007	0.009	0.049	0.069	0.089	1.571	0.077	0.108	0.139
NO _x	0.094	0.121	0.148	0.925	1.191	1.456	3.286	3.039	3.912	4.785

1993/94										
CH ₄	0.003	0.005	0.007	2.937	4.895	6.853	1.333	3.916	6.527	9.137
CO	0.04	0.06	0.08	39.160	58.740	78.320	2.333	91.373	137.060	182.747
N= (L x M)										
N ₂ O	0.005	0.007	0.009	0.053	0.074	0.095	1.571	0.083	0.117	0.150
NO _x	0.094	0.121	0.148	0.983	1.266	1.548	3.286	3.231	4.159	5.087
1994/95										
CH ₄	0.003	0.005	0.007	3.522	5.870	8.218	1.333	4.696	7.827	10.957
CO	0.04	0.06	0.08	46.960	70.440	93.920	2.333	109.573	164.360	219.147
N= (L x M)										
N ₂ O	0.005	0.007	0.009	0.060	0.084	0.108	1.571	0.095	0.132	0.170
NO _x	0.094	0.121	0.148	1.132	1.457	1.782	3.286	3.719	4.787	5.855
1995/96										
CH ₄	0.003	0.005	0.007	3.243	5.405	7.567	1.333	4.324	7.207	10.089
CO	0.04	0.06	0.08	43.240	64.860	86.480	2.333	100.893	151.340	201.787
N= (L x M)										
N ₂ O	0.005	0.007	0.009	0.055	0.077	0.099	1.571	0.087	0.122	0.156
NO _x	0.094	0.121	0.148	1.039	1.337	1.635	3.286	3.413	4.393	5.373
1996/97										
CH ₄	0.003	0.005	0.007	3.009	5.015	7.021	1.333	4.012	6.687	9.361
CO	0.04	0.06	0.08	40.120	60.180	80.240	2.333	93.613	140.420	187.227
N= (L x M)										
N ₂ O	0.005	0.007	0.009	0.053	0.074	0.095	1.571	0.083	0.116	0.149
NO _x	0.094	0.121	0.148	0.988	1.272	1.555	3.286	3.246	4.178	5.111

Las Figuras 8 a, b, c y d presentan la evolución de las emisiones de metano, monóxido de carbono, óxido nítrico y óxidos de nitrógeno debido a quema de residuos. En todos los casos las emisiones de gases mostraron una caída en 1990/91, año en que hubo menor producción de caña de azúcar.

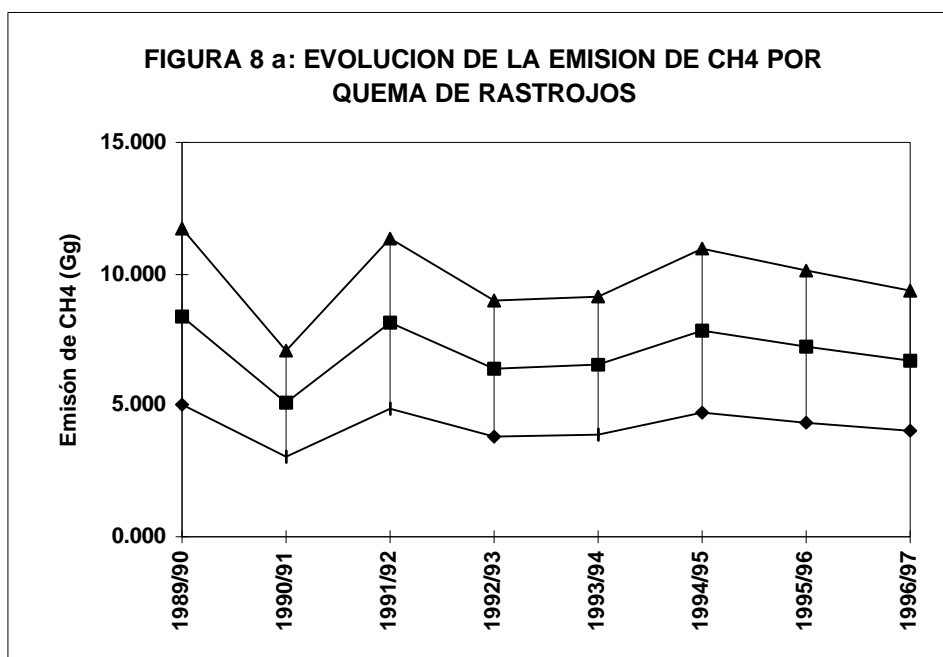


FIGURA 8 b: EVOLUCION DE LA EMISION DE CO POR QUEMA DE RASTROJOS

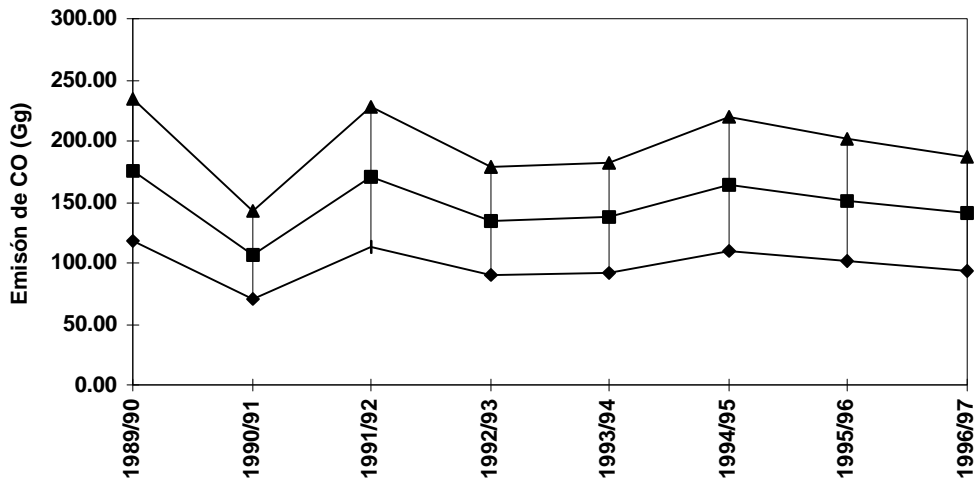


FIGURA 8 c: EVOLUCION DE LA EMISION DE NO2 POR QUEMA DE RASTROJOS

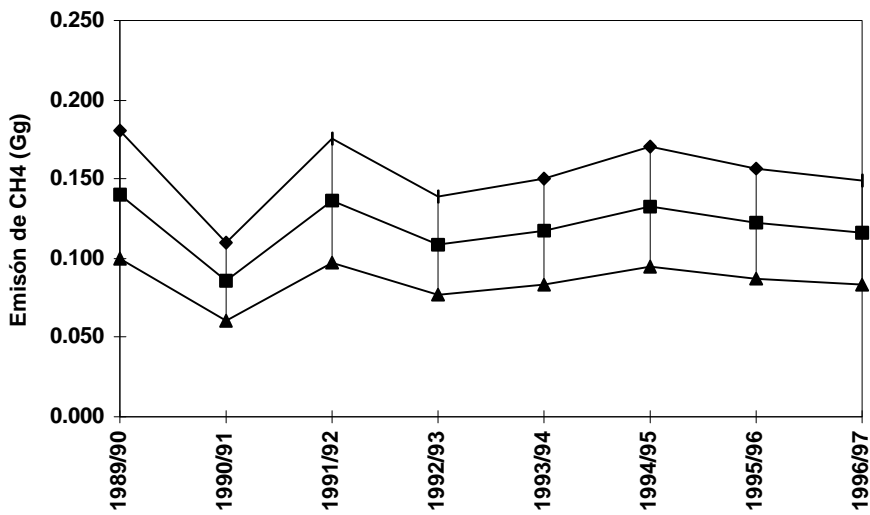
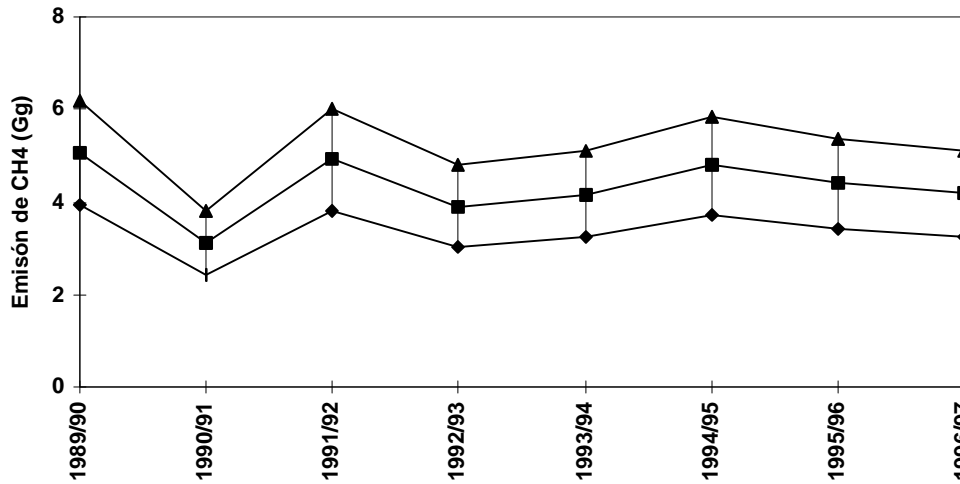


FIGURA 8 d: EVOLUCION DE LA EMISION DE NOx POR QUEMA DE RASTROJOS



Referencias:

- Agricultura. Series. <http://siiap.sagyp.mecon.ar>
- Romero, E. R.; I. Olea y J. Scandaliaris. 1995. Evaluación de diferentes factores que afectan el contenido porcentual de hojas y despunte de la caña de azúcar. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán, 72: 5 - 9.

Estimación de las emisiones indirectas de nitrógeno

Las emisiones indirectas de N₂O (kg / año) se calcularon empleando la siguiente ecuación:

$$N_2O_{INDIRECTAS} = N_2O_{(G)} + N_2O_{(L)} \quad \{9\}$$

en la cual:

$$N_2O_{(G)} = (N_{FERT} \times FRAC_{GASF} + N_E \times FRAC_{GASM}) \times FE_4 \quad \{10\}$$

$$N_2O_{(L)} = (N_{FERT} + N_{EX}) \times FRAC_{LIX} \times FE_5 \quad \{11\}$$

en la cual:

$FRAC_{LIX}$ = fracción del aporte de nitrógeno en los suelos que se pierde debido a la lixiviación y la escorrentía (kg N / kg de nitrógeno aplicado);

$N_2O_{INDIRECTAS}$ = emisiones indirectas de N_2O del país (kg N / año);

$N_2O_{(G)}$ = emisiones de N_2O del país debidas a la deposición atmosférica de NH_3 y NO_x (kg N / año);

$N_2O_{(L)}$ = emisiones de N_2O del país debidas a la lixiviación y la escorrentía de nitrógeno (kg N / año).

1. Estimación de las emisiones indirectas procedentes de la deposición atmosférica de NH_3 y NO_x :

El nitrógeno aplicado a la agricultura como fertilizante y abono pueden originar emisiones indirectas por deposición atmosférica de NH_3 y NO_x . Para calcular estas emisiones se construyó la Tabla 29, que se corresponde con la Hoja de Trabajo 4-5, parte 5 de 5 del Manual de Trabajo del IPCC (1996).

En la columna A de la Tabla 29 se anotó el total de N en el fertilizante sintético aplicado a los suelos, N_{FERT} . En la columna B se anotó la fracción del N en el fertilizante sintético que se volatiliza ($FRAC_{GASFS}$). Se utilizaron los valores por defecto proporcionados en la Tabla 4-17 del Manual de Trabajo del IPCC. Del producto entre los valores de las columnas A y B se obtuvo la cantidad total de fertilizante sintético aplicado a los suelos que se volatiliza. Este resultado se indicó en la columna C.

En la columna D se anotó la excreción total de N por el ganado (N_{EX}), mientras que en la columna E se anotó la fracción total del N excretado en el estiércol que se volatiliza ($FRAC_{GASM}$). También en este caso se utilizaron los valores por defecto presentados en la tabla 4-17 del Manual del IPCC. Del producto entre los valores de las columnas D y E se obtuvo la cantidad total de N excretado que se volatiliza. Este resultado se anotó en la columna F.

En la columna G se anotó el factor de emisión FE_4 , cuyos valores por defecto fueron tomados de la Tabla 4-18 del Manual de Trabajo del IPCC.

Las cantidades totales de N volatilizado del fertilizante y del estiércol fueron sumadas, y luego multiplicadas por el factor de emisión FE_4 . Ello permitió obtener las emisiones de óxido nitroso. Este resultado, expresado en gigagramos, fue anotado en la columna H.

2. Estimación de las emisiones indirectas procedentes de la lixiviación y escorrentía:

Para estimar estas emisiones se construyó la Tabla 30, que es continuación de la hoja de trabajo 4-5, parte 5 de 5 del Manual de Trabajo del IPCC (1996). En la columna I de esta tabla se anotó la cantidad total de fertilizante sintético utilizado en el país N_{FERT} . En la columna J se anotó el total de N excretado por el ganado (N_{EX}), mientras que en la

columna K se anotó la fracción del N lixiviado ($FRAC_{LIX}$). Se utilizaron los valores por defecto presentados en la Tabla 4-17 del Manual del IPCC.

En la columna L de la Tabla 30 se anotó el factor de emisión FE_5 , del cual se tomaron los valores por defecto presentados en la Tabla 4-18 del Manual de Trabajo del IPCC. Las emisiones de óxido nitroso procedentes de la lixiviación fueron obtenidas de la suma de los valores en las columnas I y J, los que fueron multiplicados por los factores de las columnas K y L. El resultado final correspondiente a la lixiviación, expresado en gigagramos, se indicó en la columna M.

El total de las emisiones indirectas de óxido nitroso fue anotado en la columna N de la Tabla 30, y surgen de la suma de los dos totales de las columnas H y M multiplicado por la relación de conversión 44/28.

TABLA 29: EMISIONES INDIRECTAS DE OXIDO NITROSO PROCEDENTES DE LA DEPOSICION ATMOSFÉRICA DE NH₃ Y NO_x

A	B	C	D	E	F	G1	G2	G3	H1	H2	H3
N en el fertilizante sintético aplicado a los suelos, N _{FERT} (kg N/año)	Fracción del N en el fertilizante sintético aplicado que se volatiliza FRAC _{GASFS} (kg N / kg N)	Cantidad del N en el fertilizante sintético aplicado que se volatiliza C = A x B (kg N / kg N)	Total de N excretado por el ganado N _{EX} (kg N / año)	Fracción del total de N en el estiércol excretado que se volatiliza FRAC _{GASM} (kg N / kg N)	Total de N excretado por el ganado que se volatiliza F = (D x E) (kg N / kg N)		Factor de emisión FE ₄ (kg N ₂ O-N / kg N)				Emisiones óxido nitroso (Gg N ₂ O-N / año)
							min	medio	max		H = (C + F) x G x 10 ⁻⁶
1989											
108,676,630	0.1	10,867,663	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020	0.0217	0.1087	0.2174
1,990											
84,561,230	0.1	8,456,123	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020	0.0169	0.0846	0.1691
1,991											
91,533,640	0.1	9,153,364	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020	0.0183	0.0915	0.1831
1,992											
146,481,740	0.1	14,648,174	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020	0.0293	0.1465	0.2930
1,993											
184,062,170	0.1	18,406,217	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020	0.0368	0.1841	0.3681
1,994											
291,057,120	0.1	29,105,712	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020	0.0582	0.2911	0.5821
1,995											
349,104,810	0.1	34,910,481	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020	0.0698	0.3491	0.6982
1,996											
504,431,871	0.1	50,443,187	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020	0.1009	0.5044	1.0089
1,997											
433,771,356	0.1	43,377,136	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020	0.0868	0.4338	0.8675
1,998											
445,231,050	0.1	44,523,105	0	0.2	0	0.002	0.010	0.020	0.0890	0.4452	0.8905

**TABLA 30: EMISIONES INDIRECTAS DE OXIDO NITROSO
PROCEDENTES DE LA LIXIVIACION**

I Fertilizante sintético utilizado N_{FERT} (kg N / año)	J Excreción de N del ganado N_{EX} (kg N / año)	K Fracción de N lixiviado $FRAC_{LIX}$ (kg N / kg N)	L1	L2	L3	M1	M2	M3	N1	N2	N3	O1	O2	O3
			Factor de emisión FE_5			Emisiones de óxido nitroso procedentes de la lixiviación (Gg N_2O-N / año)			Total de emisiones indirectas de óxido nitroso (Gg N_2O / año)			Total de emisiones de óxido nitroso (Gg)		
			min	medio	max	$M = (I + J) \times K \times L \times 10^{-6}$			$N = (H + M) [44/28]$			$O = (G + C + N)$		
1989														
108.676.630	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,0652	0,8151	3,9124	0,1366	1,4516	6,4895	10,1631	51,5844	96,7285
1.990														
84.561.230	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,0507	0,6342	3,0442	0,1063	1,1295	5,0495	10,6627	53,9116	100,0571
1.991														
91.533.640	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,0549	0,6865	3,2952	0,1151	1,2226	5,4659	10,9963	55,6285	103,3965
1.992														
146.481.740	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,0879	1,0986	5,2733	0,1841	1,9566	8,7471	11,1034	56,5524	107,0195
1.993														
184.062.170	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,1104	1,3805	6,6262	0,2314	2,4585	10,9911	11,3937	58,2705	111,4527
1.994														
291.057.120	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,1746	2,1829	10,4781	0,3659	3,8877	17,3803	12,1315	62,7157	123,2707
1.995														
349.104.810	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,2095	2,6183	12,5678	0,4389	4,6630	20,8465	12,9204	67,0711	133,1811
1.996														
504.431.871	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,3027	3,7832	18,1595	0,6341	6,7378	30,1218	13,9633	73,3835	150,0840
1.997														
433.771.356	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,2603	3,2533	15,6158	0,5453	5,7939	25,9023	16,7755	86,9450	171,9742
1.998														
445.231.050	0	0,3	0,002	0,025	0,12	0,2671	3,3392	16,0283	0,5597	5,9470	26,5867	0,5597	5,9470	26,5867

En la Figura 22 se presenta la evolución de las emisiones acumulativas indirectas de óxido nitroso. Resulta evidente que la lixiviación fue el porte principal a estas emisiones. Estas se incrementaron hacia el final del período, como resultado del aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados.

Del mismo modo, en la Figura 23 se presenta la evolución acumulativa de las emisiones totales de óxido nitroso durante el período. Surge claramente que éstas se debieron casi en su totalidad a las fuentes directas, relacionadas con el nitrógeno aplicado en la agricultura, la fijación biológica, el estiércol y el enterramiento de residuos de cosechas y pasturas.

Referencias

- Alvarez, R., Díaz, R.A., Barbero, N., Santanatoglia, O.J., Blotta, L., 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil and Tillage Research* 33, 17-28.
- Cangiano, C. 1996. Producción Animal en Pastoreo. INTA Balcarce.
- INTA – CFI. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Buenos Aires.
- Senigaglia, C. y M. Ferrari. 1993. Soil and crop responses to alternative tillage practices. En: *International Crop Science I*. (Eds: Buxton, D.R.; Shibles, R.; Forsberg, R.A.; Blad, B.L.; Asay, K.H.; Paulsen, G.M.; Wilson, R.F.) Crop Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA: 27-35.
- Thomas, G.W., Hazsler, G.R., Robins, R.L., 1996. The effects of organic matter and tillage on maximum compactibility of soils using the Proctor test. *Soil Science* 161, 502-508.

FIGURA 22: EVOLUCION DE LAS EMISIONES INDIRECTAS DE OXIDO NITROSO

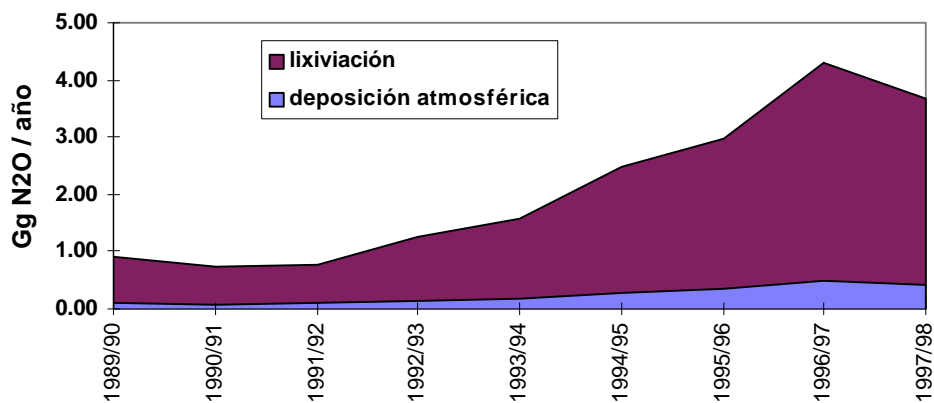
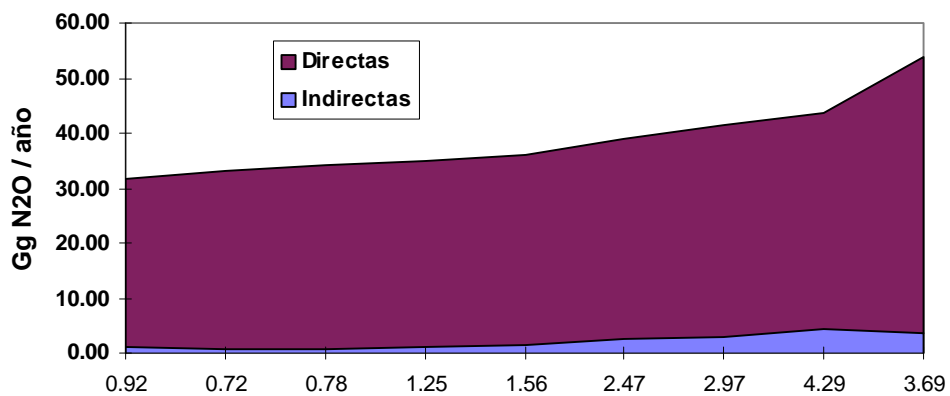


FIGURA 23: EVOLUCION DE LAS EMISIONES DE OXIDO NITROSO





**Secretaría
de Desarrollo
Sustentable y
Política Ambiental**