



*Al servicio
de las personas
y las naciones*

INFORME FINAL

**“ESCENARIO LÍNEA BASE DE EMISIONES GEI DEL
SECTOR AGROPECUARIO Y CAMBIO DE USO DE
SUELO”**

PNUD SDP 113/2012

CENTRO AGRIMED
*Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de Chile*

JUNIO 2013

Índice

Resumen Ejecutivo	7
1 Introducción	14
2 Contribución de la agricultura a las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero	15
2.1 Preámbulo	15
2.2 Aclaraciones para la cuantificación de emisiones futuras de la agricultura	16
3 Objetivos	19
3.1 Objetivos generales.....	19
3.2 Objetivos específicos.....	19
4 Relato de la Agricultura, al año 2006	20
4.1 Generalidades	20
4.2 Tendencias por rubros	21
Sector Agrícola	21
Sector Pecuario	31
5 Metodología IPCC para contabilizar emisiones de GEI	38
5.1 Aspectos generales.....	38
5.2 Fundamentos del cálculo de emisiones y capturas de GEI y su adaptación para este estudio.....	39
Sector “Agropecuario”	39
Sector “Uso y Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura”	41
6 Generación de escenarios de uso del suelo: El Modelo AGRI-LU	43
6.1 Descripción general.....	43
6.2 El Modelo AGRI-LU	46
6.3 Consideraciones	54
7 Generación de información complementaria de la actividad agropecuaria.....	56
7.1 Residuos agrícolas	56
7.2 Consumo futuro de fertilizantes nitrogenados	57
7.3 Poblaciones de especies animales domésticas	59
Vacunos	62
Porcinos.....	64

Aves	67
Ovinos.....	68
Otras especies	69
7.4 Otros datos de actividad requeridos: emisiones de base ganadera	70
7.5 Cambio de uso del suelo	71
8 Proyección de emisiones de GEI, en función de los escenarios anuales futuros.....	76
8.1 Resultados de la proyección de emisiones/capturas de GEI. (Resultados agregados).....	76
8.2 Emisiones por fuentes.....	78
Emisión de Metano por Fermentación Entérica	78
Emisiones de Metano y Óxido Nitroso por Manejo del Estiércol	81
Emisión de Metano por Cultivación del Arroz	85
Emisión de Óxido Nitroso desde la superficie de Suelos Agrícolas.....	85
Emisiones por quema de residuos de cultivos	90
Emisiones por cambio de uso del suelo	97
9 Análisis de sensibilidad.....	98
10 Comparación de las emisiones de GEI del año 2012: real y proyectado	106
11 Referencias bibliográficas	109
12 ANEXOS	111
12.1 Dosis de nitrógeno y los factores de emisión que son requeridos para la estimación de emisiones directas e indirectas de óxido nitroso.....	111
12.2 Factores de emisión por pastoreo directo y esparcimiento diario	111
12.3 Factores de emisión de metano por fermentación entérica y gestión del estiércol	112
Gestión del Ganado y Estiércol.	112
12.4 Esquema general de las emisiones agrícolas de GEI	113
12.5 Esquema de N ₂ O desde los suelos cultivados	114
12.6 Esquema de emisiones GEI de origen animal	114
12.7 Esquema de flujos de GEI por habilitación de suelos forestal	115
12.8 Esquema del aporte de los residuos de cultivos a las emisiones GEI	115
12.9 CH ₄ emitido por manejo del estiércol	116
12.10 N ₂ O Emitido por manejo del estiércol.....	116
12.11 Emisiones por manejo del estiércol	117

12.12	Modelo AGRI	117
Figura 12. 1.	Diagrama modelo AGRI	118
12.13	Proyecciones realizadas con el Modelo AGRI	119
12.14	Protocolo de cálculo de las tasas de cambio de las superficies cultivadas	124
Figura 12. 2.	Relación entre el PIB agrícola y el PIB nacional.....	125

Índice de figuras y cuadros

Figura 4. 1.	Cereales de grano: superficie ocupada, entre 1984 y 2006	21
Figura 4. 2.	Cereales de grano: superficie ocupada, entre 1997 y 2006.....	22
Figura 4. 3.	Arroz. Superficie cultivada entre 1984 y 2006	23
Figura 4. 4.	Arroz. Superficie cultivada, entre 1997 y 2006.	24
Figura 4. 5.	Leguminosas de grano: superficie ocupada entre 1984 y 2006.....	25
Figura 4. 6.	Leguminosas de grano: superficie ocupada entre 1997 y 2006.....	25
Figura 4. 7.	Frutales y Viñas: superficie ocupada entre 1984 y 2006.....	26
Figura 4. 8.	Frutales y Viñas: superficie ocupada entre 1997 y 2006.....	26
Figura 4. 9.	Frutales caducifolios: superficie ocupada entre 1984 y 2007.....	27
Figura 4. 10.	Frutales caducifolios: superficie entre 1997 y 2006.....	28
Figura 4. 11.	Vides: superficie ocupada entre 1984 y 2006.	28
Figura 4. 12.	Vides superficie ocupada entre 1997 y 2006.	29
Figura 4. 13.	Cultivos industriales y papas: superficie ocupada entre 1984 y 2006	29
Figura 4. 14.	Cultivos industriales y papas: superficie ocupada entre 1997 y 2006	30
Figura 4. 15.	Tendencia del consumo de fertilizantes nitrogenados.	31
Figura 4. 16.	Tendencia poblacional de los bovinos, entre 1977 y 2006	32
Figura 4. 17.	Tendencia poblacional de vacas lecheras, vacas no-lecheras y otros bovinos.	32
Figura 4. 18.	Tendencia poblacional de los porcinos, entre 1977 y 2006.....	33
Figura 4. 19.	Tendencia poblacional de las aves entre 1983 y 2006.....	34
Figura 4. 20.	Tendencia poblacional de ovinos entre 1977 y 2006.....	35
Figura 4. 21.	Tendencia de la población caprina, entre 1977 y 2006.	36
Figura 4. 22.	Tendencia de la población equina, entre 1977 y 2006.	36
Figura 4. 23.	Tendencia poblacional de mulas y asnos, entre 1977 y 2006.....	37
Figura 4. 24.	Tendencias de la población de llamas y alpacas, entre 1977 y 2006.....	37

Figura 6. 1. Validación de las proyecciones regionales hechas por la matriz de regionalización del uso del suelo.	44
Figura 6. 2. Distribución regional de frutales caducos	46
Figura 6. 3. Esquema general del modelo AGRI-LU.....	48
Figura 6. 4. Producción de trigo y su disminución según el grado de erosión del suelo.	55
Cuadro 6. 1. Matriz de ingreso de las tasas de crecimiento de la superficie de los rubros agrícolas.	49
Cuadro 6. 2. Matriz de proyección de las superficies (kha) cultivadas.	50
Cuadro 6. 3. Matriz de la distribución espacial de los rubros agrícolas en las regiones de Chile (2006)	52
Cuadro 6. 4. Calificación de las ventajas competitivas de las regiones de Chile.....	53
Cuadro 6. 5. Matriz de la distribución espacial de los rubros agrícolas en las regiones de Chile	54
Cuadro 7. 13. Beneficio de aves de Chile	67
Cuadro 7. 14. Exportaciones de carne de aves	67
Cuadro 7. 20. Tasas de emisión (+) y captura (-) para los diferentes dúos origen-destino (valores en Gg CO ₂ e / kha)	74
Cuadro 8. 1. Escenario Línea de Base (LB-2007) o Crecimiento sin Restricción (CSR).....	77
Cuadro 8. 2. Emisiones de metano por fermentación entérica, expresadas en Gg CO ₂ e.....	80
Cuadro 8. 3. Emisiones directas de CH ₄ , por Manejo del Estiércol, expresadas en Gg CO ₂ e.....	80
Cuadro 8. 4. Emisiones directas de N ₂ O por Manejo del Estiércol, expresadas en Gg CO ₂ e	83
Cuadro 8. 5. Emisiones totales por Manejo del Estiércol (CH ₄ + N ₂ O), expresadas en Gg CO ₂ e.....	83
Cuadro 8. 6. Emisiones de metano, por cultivación del arroz en Gg CO ₂ e	84
Cuadro 8. 7. Emisiones Directas de N ₂ O por N-fertilizantes (Gg CO ₂ e).....	87
Cuadro 8. 8. Emisiones Indirectas de N ₂ O por N-fertilizantes lixiviado (Gg CO ₂ e).....	87
Cuadro 8. 9. Emisiones Indirectas de N ₂ O por N-fertilizantes volatilizado (Gg CO ₂ e)	88
Cuadro 8. 10. Emisiones totales de N ₂ O por uso de fertilizantes comerciales (Gg CO ₂ e)	88
Cuadro 8. 11. Emisiones directas de N ₂ O por la incorporación de Residuos de Cultivos (Gg CO ₂ e). 89	

Cuadro 8. 12. Emisiones indirectas de N ₂ O por la lixiviación del N aportado por Residuos de Cultivos (Gg CO ₂ e)	89
Cuadro 8. 13. Emisiones totales de N ₂ O, por la incorporación de Residuos de Cultivos (Gg CO ₂ e) .	89
Cuadro 8. 14. Emisiones directas de N ₂ O por estiércol aplicado al suelo (Gg CO ₂ e)	92
Cuadro 8. 15. Emisiones indirectas de N ₂ O -por volatilización- por estiércol aplicado al suelo (Gg CO ₂ e)	92
Cuadro 8. 16. Emisiones indirectas de N ₂ O -por lixiviación- por estiércol aplicado al suelo (Gg CO ₂ e)	93
Cuadro 8. 17. Emisiones totales de N ₂ O por estiércol aplicado al suelo (Gg CO ₂ e).....	93
Cuadro 8. 18. Emisiones directas de N ₂ O por animales en pastoreo (Gg CO ₂ e).....	94
Cuadro 8. 19. Emisiones indirectas de N ₂ O -por volatilización- por animales en pastoreo (Gg CO ₂ e)	94
Cuadro 8. 20. Emisiones indirectas de N ₂ O -por lixiviación- por animales en pastoreo (Gg CO ₂ e) .	95
Cuadro 8. 21. Emisiones totales de N ₂ O por animales en pastoreo directo (Gg CO ₂ e).....	95
Cuadro 8. 22. Emisiones por Quema de Residuos de Cultivos (Gg CO ₂ e)	96
Cuadro 8. 23. Emisiones de GEI, por cambio de uso del suelo (en Gg CO ₂ e/año).....	96
Cuadro 9. 1. Escenario con Crecimiento Bajo (asociado a una tasa de crecimiento del PIB del 3%)	99
Cuadro 9. 2. Escenario con Crecimiento Alto (asociado una tasa de crecimiento del PIB del 5%)	100
Figura 9. 1. Emisiones de Fermentación Entérica	101
Figura 9. 2. Emisiones de Manejo del Estiércol.....	102
Figura 9. 3. Emisiones de Suelos Gestionados.	102
Figura 9. 4. Emisiones Directas (Fertilizantes, Estiércol y Residuos Agrícolas).	103
Figura 9. 5. Emisiones de la Cultivación de Arroz.....	103
Figura 9. 6. Emisiones Totales Agrícolas.....	104
Figura 9. 7. Emisiones de Cambio de Uso de Suelo.....	104
Figura 9. 8. Emisiones Totales (Agricultura + Cambio de Uso de Suelo).....	105
Cuadro 10. 1. Emisiones estimadas para el año 2012: (a) año real; (b) año proyectado.	106
Cuadro 10. 2. Datos de actividad asociados al año 2012: (a) Datos Reales; (b) Datos Proyectados.	108
Cuadro 12. 1. Cifras Globales de la Agricultura Proyectadas con el Modelo AGRI	119

Resumen Ejecutivo

El presente documento corresponde al informe final del estudio desarrollado por AGRIMED para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en el contexto de la consultoría “Escenario de línea base de emisiones del Sector Agropecuario y Cambio de Uso de Suelo” en el marco del Proyecto MAPS Chile.

El objetivo del estudio es proyectar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el sector Agropecuario a nivel nacional para el escenario Línea Base o Crecimiento sin restricciones, en el horizonte de evaluación 2007-2050. El estudio busca:

- 1) Disponer de un modelo validado en común acuerdo con la contraparte técnica para representar y simular el sector específico.
- 2) Asegurar la coherencia del modelo propuesto y de los datos básicos utilizados, con aquellos utilizados en los otros sectores de la economía.
- 3) Conocer la información disponible y respaldada, que representen las emisiones del año 2007 y los parámetros requeridos para la proyección del escenario Línea Base o Crecimiento sin Restricciones (CSR).
- 4) Completar los vacíos que deje la información disponible a 2007, con información adicional validada por la contraparte técnica, de manera de proyectar adecuadamente el escenario Línea Base o CSR. Se requiere especificar los supuestos considerados para las principales variables en base a la información adicional.
- 5) Proyectar las emisiones de GEI para el escenario Línea Base o CSR a nivel nacional, con un horizonte de evaluación 2007-2050, detallando los resultados para los años 2020, 2030 y 2050.
- 6) Usando la misma metodología de proyección del punto 5, y con los datos reales de las variables relevantes para la proyección, estimar las emisiones del sector para el periodo 2007-2011. Explicar las diferencias observadas en relación a la proyección del escenario Línea Base o CSR.

Las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al sector agropecuario provienen del uso de fertilizantes (N_2O), de la fermentación entérica de los rumiantes (CH_4), del manejo del estiércol (CH_4) y residuos agrícolas (CH_4 y N_2O), del cultivo de arroz inundado (CH_4), de las quemas de residuos (CH_4 y N_2O) y de los cambios de uso del suelo (CO_2). La evaluación de la magnitud de estas emisiones depende de la tecnología agropecuaria y de la dinámica del uso del suelo agrícola en respuesta al desarrollo económico.

Subsector agrícola: Las emisiones asociadas a **suelos agrícolas** provienen de:

a) uso de fertilizantes nitrogenados: se estiman a partir de la superficie (ha) de cada rubro (arrojada por el modelo AGRILU) multiplicada por la dosis de N requerida por ese rubro (según estándares técnicos de cada cultivo) y por los factores de emisión por defecto (IPCC, 2006) siguiendo la metodología respectiva. Este resultado se multiplica por un coeficiente de incremento de dosis de N, proyección basada en la tendencia histórica construida con datos de FAO-STAT y estimada por juicio de experto. A mediados del período 2007-2050, se introduce una corrección a la baja de la tasa de cambio considerada para los primeros años de la serie temporal, como una forma de reflejar el impacto de eventuales normas de calidad ambiental que impongan restricciones crecientes al uso de este nutriente.

b) incorporación de residuos agrícolas: a partir de la superficie (información que arroja el modelo AGRILU) y productividad anual de cultivos (Censo agropecuario, 2006-2007) se aplica la metodología IPCC 2006 y la información (supuestos de destino final de cada cultivo) contenida en el inventario GEI 1984/2006, para calcular las emisiones asociadas.

c) estiércol aplicado al suelo y

d) aporte de nitrógeno por deyección de animales en pastoreo: se consideran datos de población animal confinada y en pastoreo (Censos agropecuarios) y se aplican las metodologías y factores de emisión IPCC, para calcular las emisiones asociadas.

Las emisiones asociadas a la **quema de residuos agrícolas**, se estiman a partir de la producción anual de cultivos y se aplican metodologías IPCC para estimar la fracción de quema de residuos in-situ por cantidad de residuos incorporados al suelo. Para estimar las emisiones provenientes de **cultivo de arroz**, se utiliza la superficie cultivada la que se multiplica por el factor de emisión (IPCC).

El modelo AGRILU, simula el comportamiento de la agricultura a través de la proyección de los cambios en la estructura de los distintos rubros y sus correspondientes superficies cultivadas. Asimismo, estima la superficie destinada anualmente a los diferentes usos del suelo (frutales caducifolios, frutales perennifolios, vides y viñas, cereales, arroz, maíz, chacras y cultivos industriales, praderas establecidas, praderas naturales y plantaciones forestales). Para esto, trabaja con tasas de crecimiento de las superficies cultivadas, las que se determinan en función de las tendencias históricas de décadas recientes y la evaluación experta apoyada en “drivers” del sector agrícola.

La agricultura es una actividad productiva que no solo responde a factores de orden económico, por cuanto tiene importantes componentes sociales y ambientales. Además la agricultura contempla una gran diversidad de rubros de producción vegetales y animales, cada uno con características diferentes. En consecuencia y debido a la complejidad de la relación entre PIB nacional, PIB agrícola y crecimiento de la superficie de cada cultivo, no es factible en esta etapa incorporar las tasas de crecimiento del PIB como parámetro del modelo.

Con el objetivo de capturar el impacto de distintas tasas de crecimiento del PIB, el consultor realizó sensibilizaciones de los parámetros, intentando relacionar variaciones de las tasas de

crecimiento del PIB con las tasas de crecimiento de la superficie, sin embargo no generó suficiente evidencia. Por esta razón, el ejercicio no se integró al modelo sino que se utilizó como respaldo al juicio de experto.

La superficie de cada rubro en el tiempo t es función de la superficie cultivada en el tiempo anterior, por la tasa de crecimiento para dicho rubro (T_c), elevada al número de años (dt) entre t y $t+1$ y corregida por el inverso del coeficiente de mejoramiento tecnológico esperable para el rubro (T_t),

$$S_{c(t)} = S_{c(t-1)} * ((1+T_c)^{dt}) * 1/T_t$$

El modelo construye escenarios nacionales para cada rubro que posteriormente se regionalizan, utilizando como línea base la distribución regional actual de los rubros productivos (Censo INE 2007). En función de una matriz de drivers (disponibilidad de suelos, disponibilidad de agua, potencialidad climática, cambio climático, infraestructura productiva, ventajas relativas de cada rubro) que determinan las ventajas competitivas de cada región para cada rubro, se distribuye el uso del suelo para cada región del país, haciendo uso de criterio de experto.

El T_t es un valor estimado por juicio de experto en función de la dinámica que han exhibido los rubros en las últimas décadas (cambios en la productividad) y de una estimación de los espacios de mejoramiento tecnológico que existen para cada rubro. De este modo, se establece un coeficiente que representa el cambio en la productividad en el tiempo $t+1$, teniendo como referencia la productividad del mismo rubro en el tiempo t .

Una vez definidas las superficies de cada rubro, se aplica el protocolo de cálculo de emisiones (IPCC, 2006) para cada una de las fuentes de emisiones.

Para estimar emisiones asociadas al cambio de uso de suelo, se consideró las categorías “suelos forestales-plantaciones forestales”, “praderas” y “suelos agrícolas”, y se asignó el uso anterior de las nuevas hectáreas forestales, de praderas o agrícolas, en función de las tasas de cambio. Estas tasas fueron calculadas con los datos de cambio de uso utilizados en la serie 1984/2006 de los inventarios nacionales de GEI, cuyos datos de base corresponden a los disponibles en el “Catastro de los recursos vegetacionales nativos de Chile” de la CONAF, al año 2006. La estimación de expansión de la superficie de plantaciones forestales provino de las estimaciones realizadas por el INFOR al año 2006.

Consideraciones:

- La quema de residuos agrícolas disminuiría hasta hacerse nula (hacia el año 2030) debido a las mayores restricciones sujetas a normativas ambientales y a la valoración de los residuos como aporte orgánico al suelo.
- No se considera la superficie asociada a huertos urbanos por considerar irrelevante el impacto en las emisiones del sector.

Subsector pecuario

Para estimar las emisiones de metano por **fermentación entérica** y por **manejo de estiércol** se multiplica la población animal por el factor de emisión tomado de publicaciones del IPCC (excepto

para los vacunos, ya que el país cuenta con factores de emisión nivel 2, tomados de la serie temporal de inventarios 1984/2006). La proyección de la población animal se estima a partir del número de cabezas al año base (o año anterior) y se proyecta multiplicando por una Tasa de crecimiento (Tc) (basada en tendencias históricas y corregidas en función de algunas consideraciones, como por ejemplo posibles aperturas de nuevos mercados y pronósticos de crecimiento futuro) y por un coeficiente de mejoramiento tecnológico (Tt) definido por evaluación experta.

Supuestos Clave:

Distribución de ganado confinado y en pastoreo:

- vacas lecheras: en regiones XV a IV: 100% confinadas (sistemas líquidos), V a VII: 77% confinadas (sistemas líquidos) y 23% en pastoreo, VIII: 38% confinadas (sistemas líquidos) y 62% en pastoreo, IX a XII: 15% confinadas (sistemas líquidos) y 85% en pastoreo,
- vacunos no-lecheros: 65% confinados (8% con sistemas líquidos; 92% con sistemas de esparcimiento diario) y 35% en pastoreo,
- porcinos: 100% confinados (80% con lagunas anaeróbicas; 15% con sistemas de esparcimiento diario; 5% con sistemas de almacenamiento sólido),
- aves (pollos, patos, gansos, pavos): 100% confinadas (100% con sistemas de almacenamiento sólido),
- ovinos, caprinos, equinos, mulares, asnales y camélidos sudamericanos (llamas y alpacas): 100% en pastoreo.

Proyección de emisiones

Las tasas de variación de cada rubro individual, se determinan de forma experta en función de las expectativas de cada línea de producción, para lo cual se consideran diversos “drivers” que modula la dinámica de uso del suelo (disponibilidad de suelos, disponibilidad de mano de obra, cambio climático, exigencias hídricas, demanda interna/externa). Integrando los efectos esperados que estos drivers tendrán sobre un rubro específico, el experto determina la tasa más probable de crecimiento de cada línea de producción.

En los últimos 10 años (1997-07) el PIB agropecuario creció el 80% del valor en que lo hizo el PIB nacional, por esta razón hemos considerado que, de mantenerse esta tendencia, el PIB agropecuario a futuro podría calcularse con la siguiente relación:

$$\text{PIB agropecuario} = 0,8 * \text{PIB nacional}$$

Para realizar las proyecciones se han considerado escenarios de alto crecimiento del PIB nacional (6% anual), medio (4% anual) y bajo (3% anual)

Los resultados alcanzados, en cuanto a la proyección futura de emisiones de GEI, según las circunstancias del estudio, indican que las emisiones del sector agropecuario crecerían un 30,6% al año 2050, respecto de las emisiones proyectadas al año 2007, pasando de 12.224,77 Gg CO₂e a 15.971,56 Gg CO₂e, hecho debido fundamentalmente a:

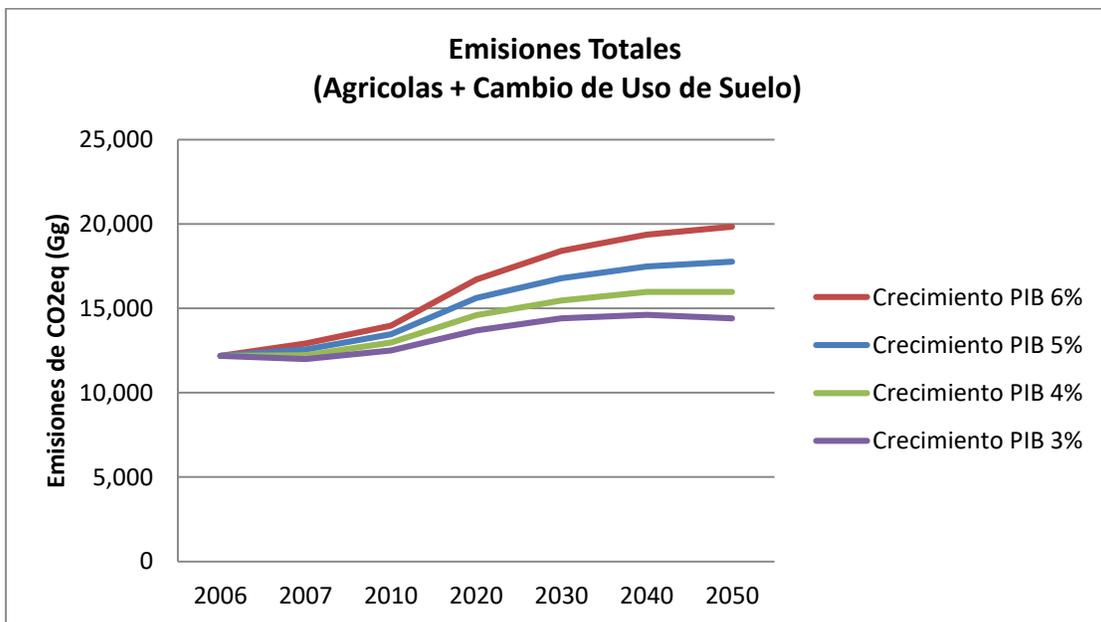
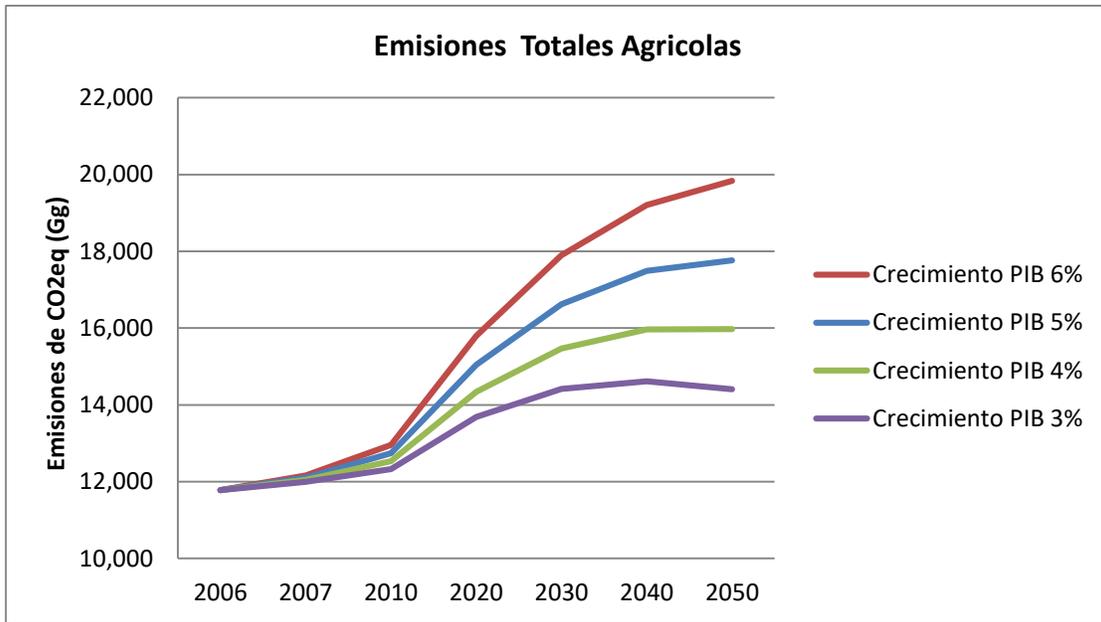
- un aumento 80,6% de las emisiones de óxido nitroso desde la superficie de los suelos, gracias a un significativo incremento proyectado de las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados sintéticos y a también significativos aumentos -aunque en menor magnitud- de la aplicación de estiércol e incorporación de residuos vegetales,
- un aumento 48,4% de las emisiones desde el estiércol y purines generados desde planteles ganaderos; el mayor incremento de las emisiones de óxido nitroso, respecto a las de metano, se debería a una mayor tasa de crecimiento de la población porcina, y
- aumentos menores de las emisiones de metano por fermentación entérica (33,4%) y de óxido nitroso por las excreciones de los animales en pastoreo directo (30,8%).

		2007	2010	2020	2030	2040	2050
Emisiones de GEI (Gg de CO ₂ eq)		AGRILU	AGRILU	AGRILU	AGRILU	AGRILU	AGRILU
Fermentación Entérica		4567,4	4778,7	5362,5	5721,7	5896,7	5960,5
Manejo del Estiércol		1.924,1	2.013,7	2.294,6	2.513,3	2.675,9	2.795,4
	CH ₄	1546,9	1619,3	1844,0	2015,3	2135,3	2219,1
	N ₂ O	394,4	423,4	450,5	498,0	540,6	576,2
Suelos Agrícolas		5425,2	5622,6	6583,3	7129,3	7294,1	7115,0
<i>Emisiones Directas</i>		2130,8	2181,6	2705,0	2978,1	3031,4	2866,0
	Por Fertilizantes	1532,44	1560,41	2010,53	2220,02	2218,05	2004,24
	Por Estiércol	428,95	448,91	512,58	563,92	604,93	636,82
	Por Residuos	169,40	172,25	181,86	194,16	208,39	224,92
<i>Emisiones Directas por Pastoreo Directo</i>		2035,98	2120,81	2357,86	2505,61	2579,76	2609,48
<i>Emisiones Indirectas</i>		731,06	774,60	922,84	1015,19	1035,64	984,69
	Por Fertilizantes	498,04	532,56	651,83	719,44	718,79	649,78
	Por Estiércol	182,30	190,79	217,85	239,67	257,10	270,65
	Por Residuos	50,71	51,25	53,16	56,09	59,75	64,26
<i>Emisiones Indirectas por Pastoreo</i>		527,40	545,67	597,62	630,40	647,32	654,84
Quema de Residuos		30,51	19,03	2,59	0,04	0	0
	CH ₄	29,09	18,32	2,58	0,04	0,00	0,00
	N ₂ O	1,42	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Arroz		99,91	99,97	100,16	100,34	100,51	100,67
Total Emisiones Agrícolas (Gg. CO₂eq)		12047,15	12534,01	14343,13	15464,68	15967,22	15971,56
Total Emisiones Cambio de Uso de Suelo		177,62	441,83	256,27	0,00	0,00	0,00
	Emisiones por Habilitación de Suelos	178	442	256,27	0,00	0,00	0,00
	Sector Forestal						
Total Emisiones (Agrícolas + Cambio de Uso de Suelo)		12224,77	12975,83	14599,40	15464,68	15967,22	15971,56

Para el año 2020, en cuanto a la proyección futura de emisiones de GEI, el sector agropecuario crecería un 19,4% al año 2020, respecto de las emisiones proyectadas al año 2007, pasando de 12.224,24 Gg CO₂e a 14.599,40 Gg CO₂e, esto se debe principalmente:

- a un aumento de un 31,12% de las emisiones directas e indirectas por la aplicación de fertilizantes,
- el aumento de las emisiones desde el manejo del estiércol y purines generados (19,3%) desde planteles ganaderos 19,3%;

Hay que destacar la disminución de un 91,5% en las emisiones por la quema de residuos agrícolas, llegando 2,59 Gg CO₂e el año 2020 y a 0,00 Gg CO₂e el año 2030.



1 Introducción

La agricultura contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero, a la vez que es una de las actividades más afectadas por el cambio climático. A través de la historia, la agricultura y la ganadería han sido una causal de deforestación de importantes superficies en el mundo, en busca de terrenos para cultivo y crianza. La agricultura origina del 10 al 14% de las emisiones de gases de efecto invernadero de los diferentes países del mundo

Esta actividad es fuente de emisiones de metano (crianza de rumiantes, arrozales), de óxido nitroso (degradación de compuestos nitrogenados orgánicos y fertilizantes) y dióxido de carbono (cambios de uso del suelo, degradación de la biomasa).

La ganadería es una de las actividades a las que se le atribuyen mayores emisiones, lo que fue ampliamente analizado en el informe de la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization - FAO), "*Livestock's long shadow*", donde se ponen de relieve las importantes emisiones provenientes de esta actividad.

Por el contrario, la agricultura puede hacer importantes contribuciones en la mitigación del cambio climático. No solo es una actividad generadora de combustibles renovables, sino además puede contribuir a la reducción de emisiones a través de algunos cambios tecnológicos y a la captura de carbono a través de la creación de sumideros de C.

Dado el importante rol social que juega la agricultura, se trata de una actividad que deberá recibir especial atención de los Estados en orden a facilitar un proceso de adaptación a los nuevos escenarios climáticos. En un proceso de adaptación, una posición relevante tienen que ocupar las medidas de mitigación de emisiones, lo que requiere de un conocimiento detallado de la magnitud y origen de las emisiones agrícolas. Este estudio presenta un modelo que permite compilar la información necesaria para evaluar las emisiones agrícolas, además de proyectarlas a la luz de los cambios esperados en el uso del suelo en las próximas décadas.

2 Contribución de la agricultura a las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero¹

2.1 Preámbulo

La condición de nobleza asignada a la agricultura, por tratarse de la principal actividad productora de alimentos para la humanidad, también contribuye al fenómeno del calentamiento global por sus emisiones de GEI, los que son emitidos mayoritariamente por el aporte de nitrógeno a los sistemas productivos y a la actividad ganadera.

De acuerdo a las metodologías del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático², el consumo de combustibles y electricidad, dentro de los sistemas agropecuarios no son contabilizados en el sector “Agricultura” sino que en el sector “Energía”, lo que difiere substancialmente de cómo se conforma la huella de carbono de un producto, al que se deben adjudicar todas las emisiones generadas en su producción, comercialización y consumo.

Aunsiendo así, excluyendo las emisiones por el consumo energético de los tractores y bombas impulsoras de agua, al año 2006 el aporte de la agricultura a las emisiones nacionales alcanzó un 15%, aproximadamente, con una emisión absoluta de 13.401 Gg CO₂e, habiendo subido sus emisiones en un 18,4% desde 1984 y en un 10,1% desde 1990.

Al año 2006, la principal fuente de emisiones agrícolas fue la categoría “Suelos Agrícolas”³, con un 51,4% de contribución a las emisiones sectoriales y con una tendencia sostenida al incremento, ya que su importancia relativa subió en unos 4 puntos desde 1984. La segunda fuente más emisora fue la categoría “Fermentación Entérica”, con una contribución sectorial al año 2006 del 33,9%; la contribución de esta categoría fue 9 puntos mayor en 1984, lo que refleja la reducción relativa de las masas ganaderas en el país. Estos resultados están apuntando claramente a los siguientes puntos relevantes, para el montaje de una estrategia de mitigación de emisiones de GEI:

- que el nitrógeno es el principal factor individual que contribuye a las emisiones sectoriales,
- que los fertilizantes comerciales juegan un rol dominante, en cuanto al aporte de nitrógeno,
- que las emisiones ganaderas, si bien siguen siendo importantes, reflejan el descenso sostenido de la masa ganadera en el país, y
- que, entre los animales, las especies animales rumiantes son las principales contribuyentes de GEI.

¹En adelante, se les mencionará como “GEI”

²En adelante, mencionado por su sigla inglesa de IPCC.

³En la práctica, uso del nitrógeno en la agricultura

2.2 Aclaraciones para la cuantificación de emisiones futuras de la agricultura

Tal como se planteó en la propuesta técnica que AGRIMED postuló en su debida oportunidad, la proyección de las emisiones futuras de la agricultura chilena se basa en las siguientes tres etapas sucesivas, a saber:

- **etapa 1:** estimación de los cambios en los usos del suelo que pueden ocurrir si es que se cumplen los supuestos de cambio definido para una serie de variables conductoras,
- **etapa 2:** estimación de cambios futuros en datos de actividad de variables vinculadas a emisiones de gases invernadero (p.e., población animal domesticada) y que no quedan reconocidas en los escenarios de usos del suelo, y
- **etapa 3:** cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas a cada escenario anual futuro de uso del suelo, aplicando la metodología de cálculo elaborada por el IPCC.

Para la **etapa 1**, se cuenta con el modelo AGRI, desarrollado por el Centro de Agricultura y Medio Ambiente (AGRIMED)¹, el cuál ha sido simplificado para satisfacer la necesidad de que el Proyecto MAPS-Chile cuente con una herramienta interactiva, en lenguaje Excel, que permita hacer análisis de sensibilidad en función de cambios en los supuestos de trabajo. Esta simplificación ha dado origen a la versión AGRI-LU del modelo AGRI, cuyas salidas útiles para proyectar emisiones futuras de GEI son las superficies anuales asignadas a los distintos usos del suelo reconocidos por el modelo.

La **etapa 2**, reconoce la necesidad de contar con una larga serie de datos de actividad –tanto paramétricos como estadísticos- para que, integrados con los valores de uso del suelo, se esté en condiciones de estimar emisiones de GEI, de acuerdo a las metodologías elaboradas por el IPCC para la elaboración de inventarios anuales de estos gases. Para el sector “Agricultura”, se debe contar con la siguiente información:

- categoría “Fermentación entérica”: datos anuales de población animal y factores de emisión de metano específicos,
- categoría “Manejo del estiércol”: datos anuales de población animal, gestión del estiércol asociado a cada población, y factores de emisión de metano y óxido nitroso específicos,
- categoría “Cultivación de arroz”: superficie anual cultivada², factor de emisión de metano y factores de corrección según el estilo de gestión del cultivo,
- categoría “Suelos agrícolas”: superficie anual asociada a los usos del suelo²tasas de aplicación de N-fertilizante por uso del suelo), parámetros propios de cultivos (entre otros, productividad, relación residuo/producto, fracción de los residuos que es incorporada al suelo y fracción de C y N en residuos), fracción de la población animal en pastoreo directo y con sistemas de esparcimiento diario y factores de emisión de óxido nitroso por incorporación al suelo, lixiviación, escorrentía y volatilización, y
- categoría “Quema de residuos de cultivos”: superficie anual de cada uso del suelo¹, parámetros propios de los cultivos (p.e., productividad, relación residuo/producto,

¹Perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile

²Salida del modelo AGRI-LU

fracción de los residuos que es quemada in-situ, fracción de C y N en los residuos) y factores de emisión de metano y óxido nitroso por quema de biomasa vegetal.

La **etapa 3** –equivalente a la etapa de cálculo y proyección futura de emisiones- corresponde a la incorporación de los datos generados en las dos primeras etapas a las ecuaciones de cálculo de emisiones de GEI, tomadas de las metodologías publicadas por el IPCC. Al respecto, corresponde plantear dos puntos relevantes para la interpretación de los resultados alcanzados en este estudio, a saber:

- los resultados de este estudio, no obstante generarse con un procedimiento metodológico creado para elaborar inventarios anuales y nacionales de emisiones y capturas de GEI y reconocer la totalidad de las categorías del sector “Agricultura” que define el IPCC, no pueden considerarse en esencia como un inventario sino que como una aproximación –lo más sólida posible- a un inventario agrícola de GEI, por cuanto en este caso, no se trabaja con información detallada de cultivos sino que con información integrada a nivel de los rubros (usos del suelo, para el modelo AGRI-LU), lo que necesariamente generadiferencias con los inventarios de GEI propiamente tal , y
- los resultados de este estudio no pueden ser comparados libremente con los de los inventarios anuales de GEI construidos en Chile y cuya última versión es la serie temporal 1984/2006, incluida en la Segunda Comunicación Nacional de Chile a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático¹, no solo por lo indicado en el punto anterior sino que, además, por el hecho que el procedimiento metodológico ha sido también modificado.

Respecto de este último punto, debe tenerse en cuenta que la serie 1984/2006 de inventarios nacionales fue construida siguiendo la metodología que el IPCC revisó en 1996 y que complementó con las guías de buenas prácticas publicadas los años 2000² y 2003³. Para el presente estudio, se dio preferencia a la metodología publicada por el IPCC en el año 2006, aunque la metodología originalmente consideraba para el presente estudio era la misma que la aplicada para elaborar los inventarios nacionales de gases invernadero.

Para los sectores “Agricultura” y “Silvicultura, Uso del Suelo y Cambio de Uso del suelo”, un importante cambio conceptual e importantes cambios de procedimientos, a saber:

- la fusión de dos sectores -“Agricultura” y “Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura”- en uno solo –llamado en adelante “AFOLU” (integración de “Agriculture”, “Forestry” y “Land Use”),
- el inventario del nuevo sector “AFOLU” pasa a basarse los flujos entre cinco categorías de carbono (biomasa aérea viva y muerta; biomasa subterránea viva y muerta; carbono orgánico del suelo), y no simplemente en las existencias de carbono orgánico,

¹CMNUCC, aunque mejor conocida por su sigla en inglés “UNFCCC” (United Nations Framework Convention Climate Change)

²Aplicable a los sectores “Energía”, “Procesos Industriales”, “Uso de Solventes y Otros Productos”, “Agricultura” y “Residuos”

³Aplicable al sector “Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura” (CUS), que pasa a denominarse “Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura” (USCUS)

- oficialización del concepto del “uso de suelo”, empleándolo para ser la base para informar las emisiones de GEI, y no como actividades específicas, como ocurría anteriormente, aunque estas sigan siendo contabilizadas,
- creación de la matriz de cambio de usos de suelo, la que debe informarse cada vez que se elabora un inventario nacional de GEI, y
- posibilidad de informar sobre capturas de carbono por los suelos o por cambios vegetacionales, dentro del ámbito agrícola, lo que es un cambio sustancial respecto de las metodologías revisadas el año 1996 y sus códigos de buenas prácticas asociadas (2000, 2003), que definía la agricultura como neutra en términos balance de C orgánico,
- en lo estrictamente agrícolas, hay algunas diferencias metodológicas, como por ejemplo:
 - la metodología IPCC-2006 adiciona las emisiones indirectas de óxido nítrico por manejo del estiércol,
 - la metodología IPCC-2006 establece restricción a la lixiviación de N, en suelos donde la precipitación efectiva es largamente menor a la evapotranspiración de los cultivos y/o donde los cultivos son regados por medios presurizados,
 - la metodología IPCC-2006 cambia algunos factores de emisión y procedimientos, como por ejemplo, para estimar las emisiones de óxido nítrico desde la superficie de los suelos donde se han incorporado nitrógeno bajo diferentes fuentes nitrogenadas y
 - eliminación de los cultivos de leguminosas, como fuente de emisión de óxido nítrico desde los suelos cultivados.

3 Objetivos

3.1 Objetivos generales

Proyectar las emisiones nacionales de GEI del sector “Agropecuario y Cambio de Uso del Suelo”, para el escenario Línea Base (LB) o Crecimiento sin restricciones (CSR), en el horizonte temporal 2007-2050, considerando como inicio el año 2007 y detallando los resultados para los años 2020,2030 y 2050.

3.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos del estudio fueron los siguientes:

- 1) disponer de un modelo validado, en común acuerdo con la contraparte técnica, para representar y simular el sector agropecuario, en cuanto a las emisiones GEI,
- 2) asegurar la coherencia del modelo propuesto y de los datos básicos utilizados, con aquellos utilizados en los otros sectores modelados,
- 3) conocer la información disponible y respaldada, que representen las emisiones del año 2007 y los parámetros requeridos para la proyección del escenario Línea Base o Crecimiento sin Restricciones,
- 4) completar los vacíos que deje la información disponible a 2007, con información adicional validada por la contraparte técnica, de manera de proyectar adecuadamente el escenario Línea Base; para ello, se especificará los supuestos considerados para las principales variables en base a la información adicional,
- 5) proyectar las emisiones de GEI para el escenario Línea Base, a nivel nacional, con un horizonte de evaluación 2007-2050, detallando los resultados para los años 2020, 2030 y 2050, y
- 6) usando la misma metodología de proyección del punto 5, y con los datos reales de las variables relevantes para la proyección, estimar las emisiones del sector Agropecuario para el periodo 2007-2012, explicando las diferencias observadas, en relación a la proyección del escenario Línea Base.

4 Relato de la Agricultura, al año 2006

4.1 Generalidades

La agricultura chilena, hacia el año 2006, se caracterizó por estar instalada en los mercados internacionales, compitiendo con otros países agrícolas más eficientes, dentro de un contexto de una agricultura mundial que acelera su proceso de integración y especialización. Sin embargo, esta posición no está exenta de incertidumbres, a saber:

- por un lado, los mercados mundiales están sufriendo profundas y rápidas mutaciones impulsadas por los consumidores, las cadenas de distribución, la dotación de recursos, los procesos de integración comercial entre bloques y países y la competencia entre empresas agrícolas, forestales o agroindustriales, y
- por otro, dicha instalación es todavía incompleta, pues hay rubros y explotaciones que no se insertan en el proceso exportador.

La visualización del sector, en un horizonte de diez años, pone en evidencia el efecto que tendrá la finalización de los calendarios de desgravación arancelaria de los diferentes TLC suscritos por Chile: en esa época, la apertura comercial habrá alcanzado su plena expresión, vale decir, será completa cuando todos los rubros deberán enfrentar la competencia externa.

La producción agrícola mundial continúa su crecimiento, pero en esta década con un ritmo más lento que en la década pasada. Esta tendencia de desaceleración se inició hacia el año 2000, con un aumento de menos de 2% en ese año, lo cual ha implicado una reducción de la producción en términos per cápita. Se prevé una tasa de crecimiento de la producción agrícola mundial de 1,6% anual para la próxima década.

Como contraparte el consumo mundial de productos agrícolas debería mostrar un crecimiento sostenido de 1,6% anual en la próxima década, como consecuencia del aumento de la población y el incremento de los ingresos.

Junto a este cambio cuantitativo, se espera una modificación de la composición y calidad de la demanda por alimentos. Por un lado, los mayores ingresos per cápita que se están produciendo en los países en desarrollo provocarán un aumento del consumo de productos de mayor valor, tales como productos cárnicos y productos lácteos.

Por otro lado, la preocupación creciente por una alimentación sana y saludable hace prever que se fortalecerá también la tendencia a un mayor consumo de frutas y hortalizas frescas, fibras vegetales, productos naturales y procesados finos y diversificados (vinos, aceites, quesos gourmet, entre otros), alimentos orgánicos, hierbas medicinales.

Por último, la creciente urbanización de la población la población urbana mundial debería crecer por lo menos en un 25% entre 2005 y 2015 se traducirá en una mayor diversificación en la demanda de alimentos y un incremento de alimentos procesados con alto valor agregado.

4.2 Tendencias por rubros

Sector Agrícola

4.2.1.1 Cereales

Los cereales son considerados mundialmente como la base de la alimentación humana; en Chile, por muchos años, se les consideró como la base de la autovalencia alimenticia. Aunque estos conceptos no tienen la validez de hace algunos años, se trata de cultivos de gran importancia estratégica, por lo que es importante analizar su trayectoria en el tiempo, aprovechando la información generada al elaborar los inventarios de gases invernadero, en su serie temporal más reciente (entre los años 1984 y 2006) y cuyos datos han sido tomados de fuentes oficiales.

a. Trigo, avena, cebada, centeno, maíz, triticale

Las **figuras 4.1.y4.2.**, evidencian que el cultivo dominante -en cuanto a superficie ocupada anualmente- es el trigo, con una importancia relativa decreciente ya que bajó del 63,3% de la superficie de los cereales de grano, en 1984, al 48,9%, en el año 2006; la segunda especie en importancia es hoy día el maíz para grano, con una importancia relativa ascendente entre el 16,3%, en 1984, y el 22,3%, en el 2006.

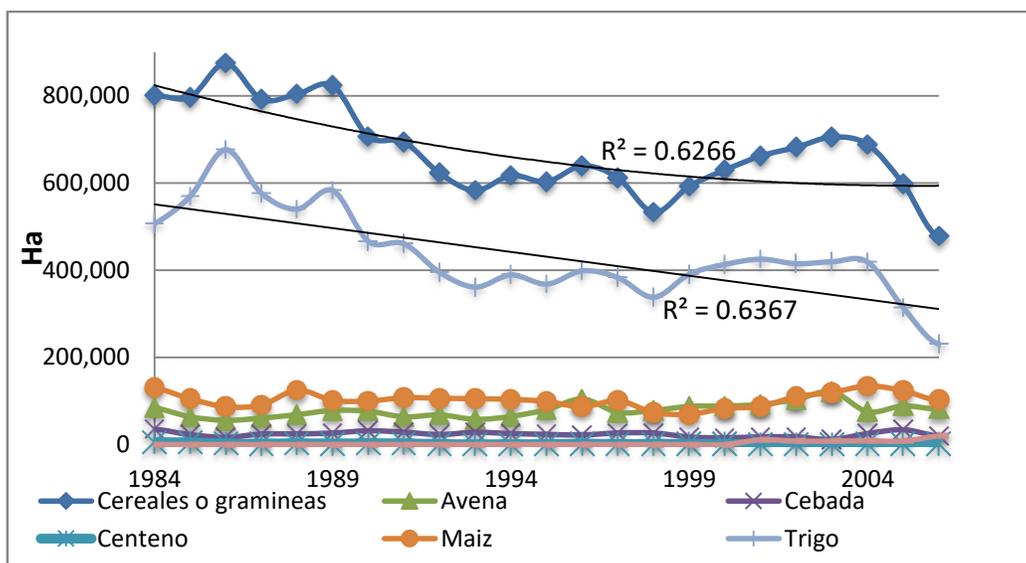


Figura 4. 1. Cereales de grano: superficie ocupada, entre 1984 y 2006

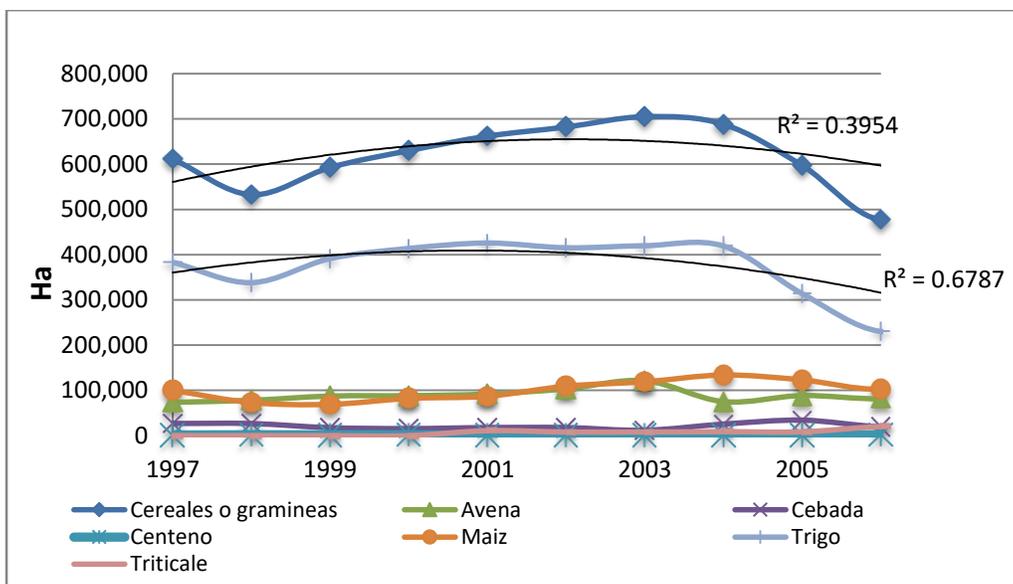


Figura 4. 2. Cereales de grano: superficie ocupada, entre 1997 y 2006. Fuente: “Inventarios de Emisiones de Gases Invernadero, de los sectores “Agricultura”, “Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura” y “Residuos”, serie 1984/2006”, elaborados por INIA (2010) para el MMA, bajo contrato con PNUD.

Estas figuras muestran que la superficie ocupada por estos cultivos sigue, en gran medida, la tendencia registrada por el trigo y que corresponde a un descenso sostenido de la superficie cultivada anualmente. La superficie ocupada por estos cereales bajó de 782,7 kha, en 1984, a 477,8 kha, en 2006, aunque es llamativo el hecho que, al año 2005, se haya registrado un valor substancialmente mayor (597,4 kha). De todas formas, se estima que a futuro se mantendrá esta tendencia a la baja.

Luego de un período en que la superficie se mantuvo más o menos estable, con una leve tendencia a la baja, a contar de 1999, el maíz para grano comenzó a incrementar su superficie a tasas moderadas pero sostenidas, lo que se extendió hasta el año 2004, a partir del cuándo empezó un leve descenso que no es posible definir si se va a mantener o no. Cabe hacer notar que este producto es la base de la dieta de la población porcina, lo que podría justificar incrementos futuros de la superficie ocupada por este cultivo.

La superficie de avena, similar en términos cuantitativos a la del maíz para grano, manifestó una tendencia más bien constante a lo largo de este período de 23 años, sin contarse con bases que permitan asumir cambios futuros importantes de la tendencia asintótica experimentada en la realidad. Las superficies ocupadas por las restantes especies (cebada, centeno, triticale) tienen escasas representaciones geográficas, no habiendo razón alguna –bajo las circunstancias del año 2006- que permita asumir cambios futuros importantes –ya sea a la baja o al aumento- en las tendencias hasta ahora mostradas.

b. Arroz

En Chile, este cultivo tiene unamínima representación espacial con impacto equivalente en los inventarios sectoriales (< 1% de las emisiones sectoriales, al 2006). La **Figura 4.3.**, que presenta la superficie ocupada por el cultivo de arroz, entre 1984 y 2006- permite formarse una idea de la tendencia decreciente de la superficie dedicada a este cultivo que, no obstante su condición de

cereal de grano, se presenta separadamente ya que la metodología para estimación de emisiones lo reconoce como una fuente específica de emisión de GEI. La **Figura 4.4.** muestra que no hay cambios significativos en la superficie ocupada, en los últimos 10 años de la serie temporal analizada.

De acuerdo a estas figuras, el futuro del cultivo de arroz debería enmarcarse en alguno de los dos procesos siguientes:

- mantención de la superficie ocupada, en valores similares a los existentes en el período 1997/2006, o
- reducción progresiva de la superficie ocupada, en función de un mayor porcentaje de la importación de este producto en la satisfacción de la demanda interna.

Es importante hacer notar que la decisión de destinar alguna nueva superficie a este cultivo no depende exclusivamente de variables económicas, sino que también de la disponibilidad de suelos para este cultivo (suelos arcillosos con baja o nula permeabilidad) en zonas donde el clima permita la adaptación del cultivo y la disponibilidad de aguas para satisfacer sus demandas hídricas. También, debe tomarse en cuenta que cultivar arroz no es una decisión que pueda tomarse libremente ya que depende primeramente de suelos con los atributos requeridos (suelos arcillosos, prácticamente sellados impidiendo el movimiento vertical del agua, disponibilidad de agua para riego) y, luego, contar con las condiciones económicas favorables.

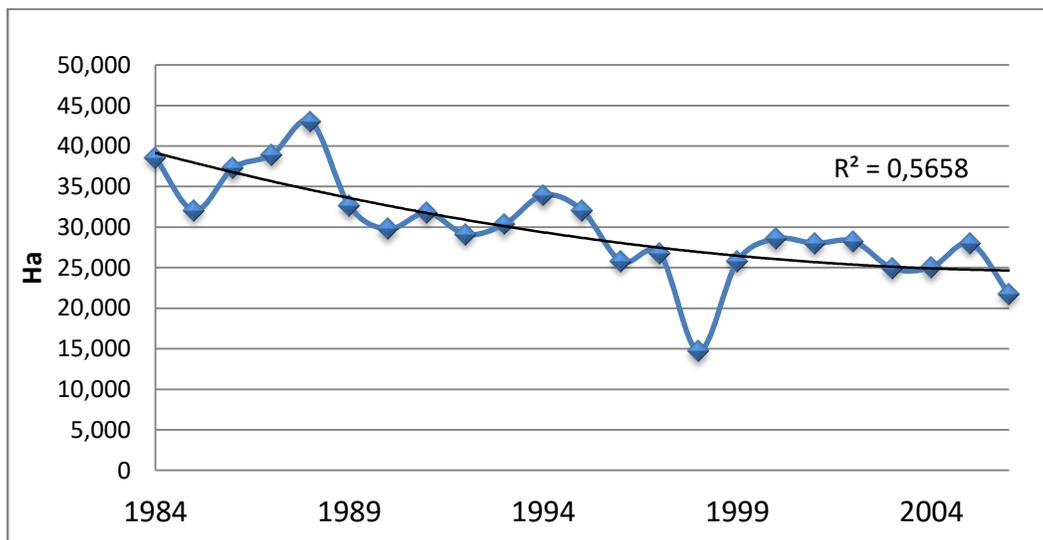


Figura 4. 3. Arroz. Superficie cultivada entre 1984 y 2006

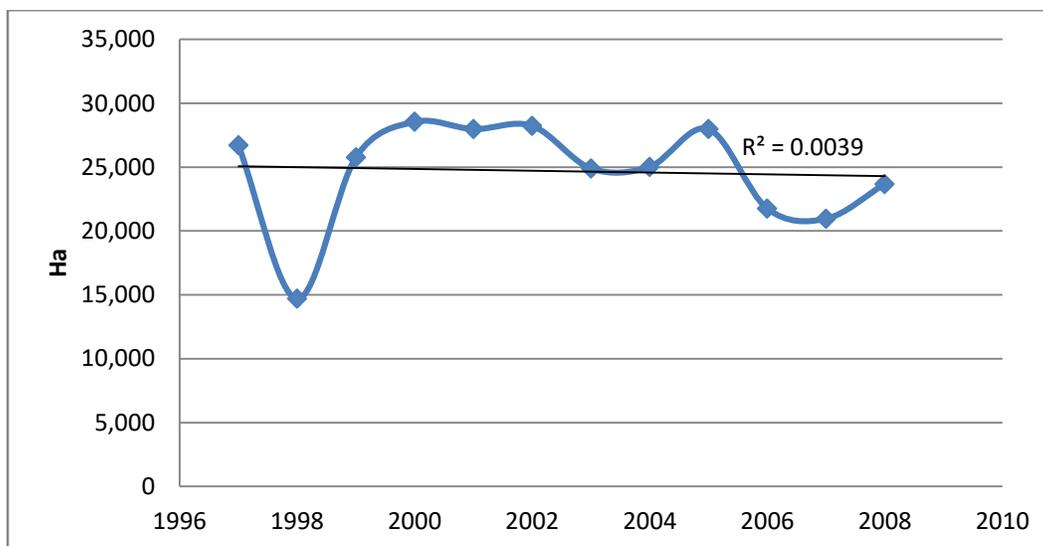


Figura 4. 4. Arroz. Superficie cultivada, entre 1997 y 2006. Fuente: “Inventarios de Emisiones de Gases Invernadero, de los sectores “Agricultura”, “Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura” y “Residuos”, serie 1984/2006”, elaborados por INIA (2010) para el MMA, bajo contrato con PNUD.

4.2.1.2 Leguminosas anuales

Los cultivos anuales de leguminosas para grano han sido tradicionalmente importantes en la agricultura chilena ya que aportan productos que son tradicionales en la cocina chilena tradicional. Sin embargo, como se ve en las **figuras 4.5 y 4.6.**, la superficie ocupada por estos cultivos viene reduciéndose sostenidamente a lo largo del tiempo, lo que va más allá de fluctuaciones interanuales: entre 1984 y 2006, la superficie total de estos cultivos anuales se redujo prácticamente en tres cuartas partes (de 148,4 kha en 1984 a 36,7 kha en 2006).

Algunas especies, como por ejemplo, lentejas, chícharos y garbanzos, prácticamente ya han desaparecido de la agricultura chilena, siendo su consumo interno dependiente de la importación. Sin pretender explicar detalladamente esta tendencia, es evidente que la superficie anteriormente ocupada por estos cultivos debe estar siendo ocupada por otros rubros que se han ido haciendo más rentables.

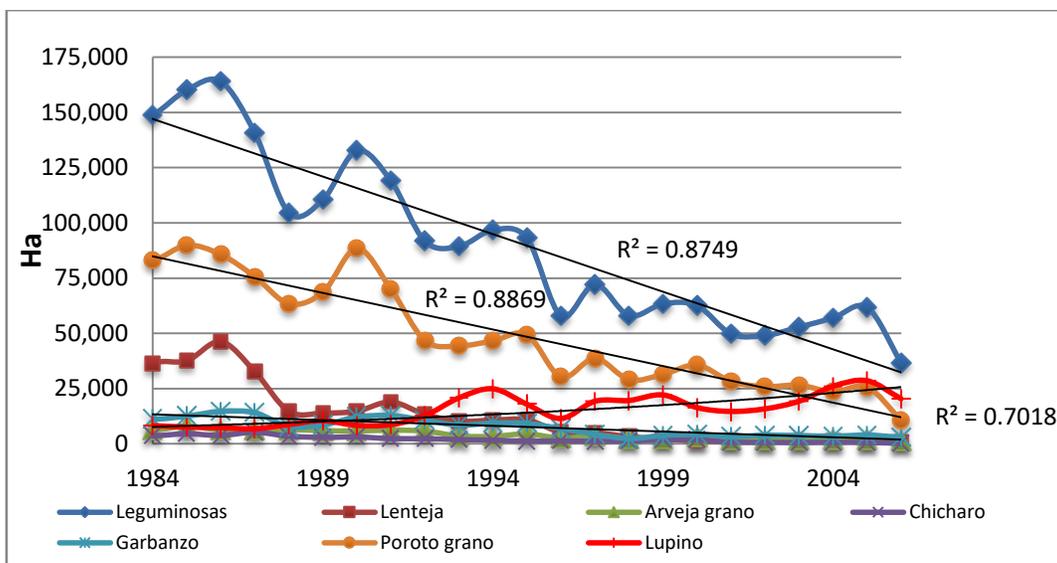


Figura 4. 5. Leguminosas de grano: superficie ocupada entre 1984 y 2006

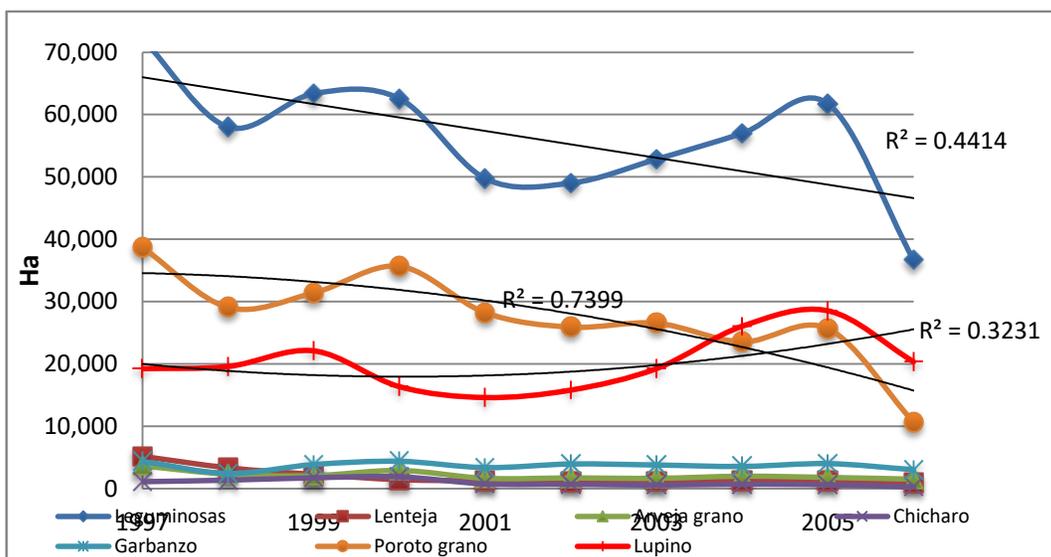


Figura 4. 6. Leguminosas de grano: superficie ocupada entre 1997 y 2006. Fuente: "Inventarios de Emisiones de Gases Invernadero, de los sectores "Agricultura", "Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura" y "Residuos", serie 1984/2006", elaborados por INIA (2010) para el MMA, bajo contrato con PNUD.

Lo mismo que muestran los cereales, la tendencia temporal de las leguminosas de grano está principalmente influida por la especie más cultivada, que es la de porotos de grano. Hacia 1984, esta especie tuvo un peso relativo del 55,8% entre las leguminosas anuales, bajando al 29% en el año 2006. Como se observa en las figuras 4.5. y 4.6., tanto la superficie global como la de casi todas las especies individuales muestran una sostenida tendencia decreciente que no parece revertirse en los últimos años. Sólo el lupino muestra una tendencia al incremento, al pasar de 8,1 kha en 1984 a 20,3 kha en 2006, con un incremento de 150,4% en su superficie. La expansión de la superficie ocupada por esta especie tiene que ver con el incremento de la producción salmonícola.

4.2.1.3 Frutales, vides y viñas

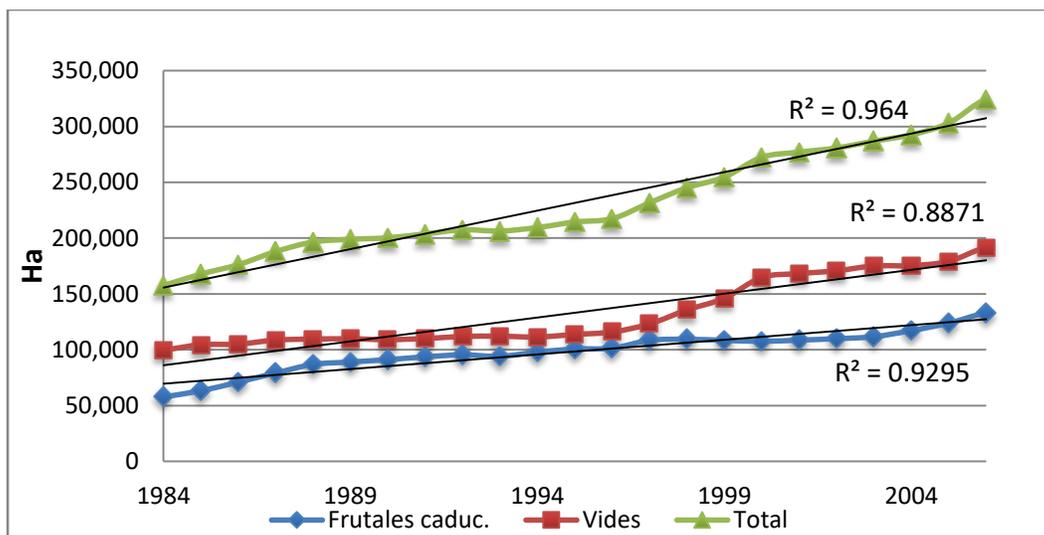


Figura 4. 7. Frutales y Viñas: superficie ocupada entre 1984 y 2006

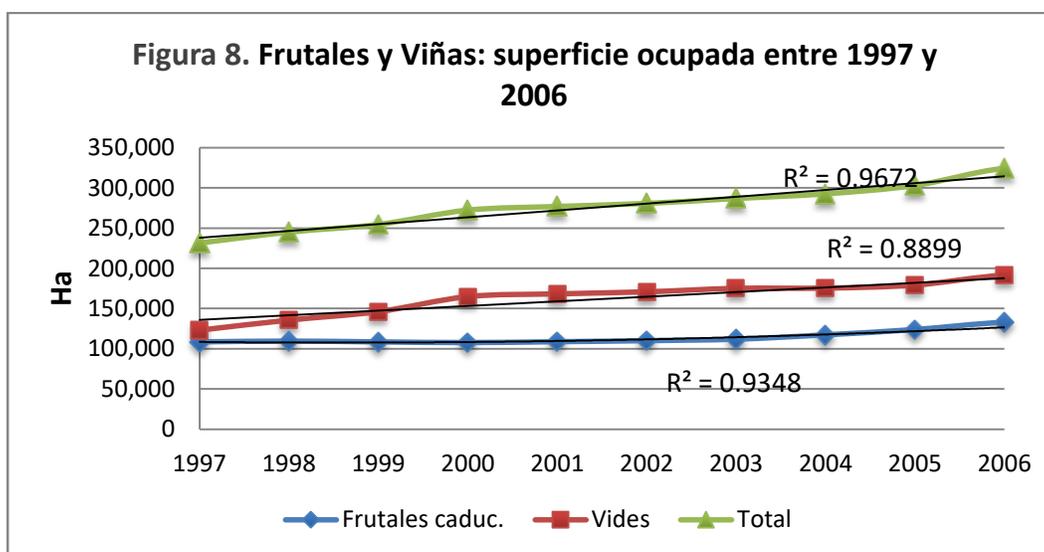


Figura 4. 8. Frutales y Viñas: superficie ocupada entre 1997 y 2006. Fuente: "Inventarios de Emisiones de Gases Invernadero, de los sectores "Agricultura", "Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura" y "Residuos", serie 1984/2006", elaborados por INIA (2010) para el MMA, bajo contrato con PNUD

Las figuras 4.7.y 4.8., evidencian un hecho que es claro: desde del año 1984, la superficie ocupado por los cultivos permanentes viene experimentando un ascenso sostenido, sin mostrar evidencia de que este incremento esté desacelerándose. En estas figuras, tanto la superficie de vides (incluyendo parronales) y la de los frutales caducifolios viene creciendo a distintas tasas entre ellos, siendo más marcado el crecimiento con las vides que con estos frutales.

a. Frutales caducifolios

Las figuras 4.9.y 4.10., señalan que la superficie de los frutales caducifolios (entre otros, almendros, damascos, durazneros, cerezos, kiwis, manzaneros, nogales y perales) ha tenido una

expansión constante a lo largo de la serie histórica de inventarios; la curva de crecimiento es lineal, con un $R^2= 0,93$. En los últimos 10 años, la tendencia se mantiene, presentando un coeficiente de ajuste de $R^2= 0,97.$, pero con una menor tasa anual de incremento, lo que sería una evidencia de una saturación en un futuro mediano.

Dentro de las especies incluidas, los manzanos son los huertos más extendidos y han venido creciendo sostenidamente desde 1984, aunque la superficie parece haberse estabilizado y mostrado un leve descenso en los últimos 10 años; da la impresión que, de mantenerse las circunstancias económicas y ambientales vigentes al año 2006, la superficie de manzanos debería mantenerse o crecer solo moderadamente.

En general, el crecimiento de la superficie de frutales caducos se soporta por la suma de las superficies individuales por especie. Las superficies individuales muestran tendencias opuestas, ya que algunas especies aumentaron sus superficies durante un período para bajar en el próximo, otras crecieron constantemente y otras experimentaron constancia o descensos sostenidos. Hay dos especies que manifestaron quiebres tendenciales netos, terminando con descensos de superficies significativos (kiwis, nectarinos) aunque esta tendencia tiende a revertirse al ascenso en los últimos 10 años de la serie temporal.

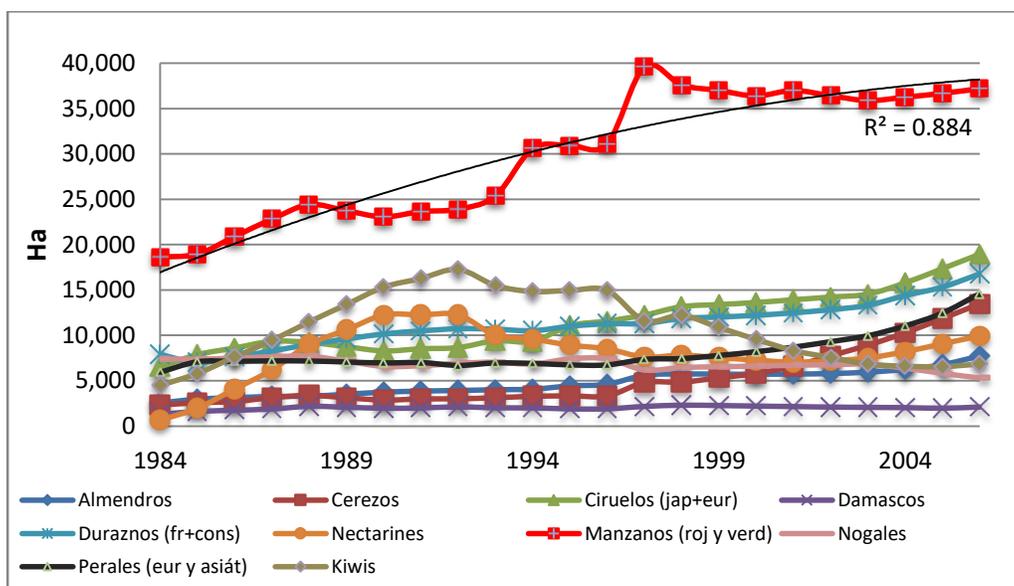


Figura 4. 9. Frutales caducifolios: superficie ocupada entre 1984 y 2007.

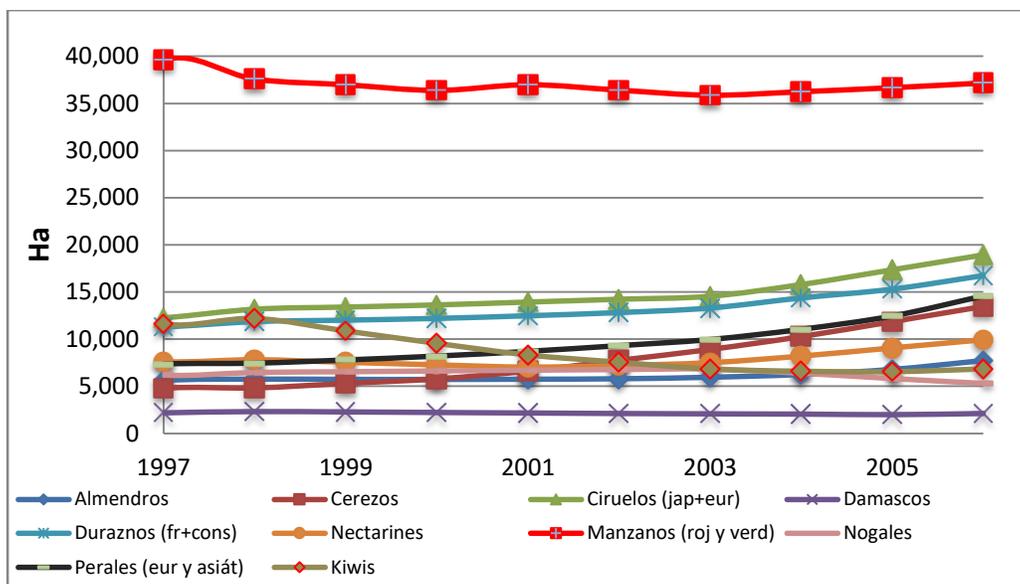


Figura 4. 10. Frutales caducifolios: superficie entre 1997 y 2006. Fuente: “Inventarios de Emisiones de Gases Invernadero, de los sectores “Agricultura”, “Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura” y “Residuos”, serie 1984/2006”, elaborados por INIA (2010) para el MMA, bajo contrato con PNUD.

b. Vides y Viñas

Las **figuras 4.11.y4.12.**, muestran que las viñas para pisco tuvieron una muy lenta tasa de ascenso, que pareciera haberse detenido hacia los últimos años de la serie temporal (10 kha en 1997 versus 10,4 kha en 2006). La vid para consumo en fresco también manifiesta una tendencia general creciente pero con una disminución de la tasa anual de incremento hacia los últimos años de la serie (49,5 kha en 1997 versus 62,4 kha en 2006). Por su parte, la vid para vino presenta una conducta particular ya que, luego de un fuerte descenso entre 1984 y 1995 (70,3 kha en 1984 versus 54,4 kha en 1995), inició un sostenido ascenso de su superficie, para llegar a las 118,5 mil ha, el año 2006; de todas formas, hacia los últimos años de la serie, la tasa de incremento anual tendió a bajar.

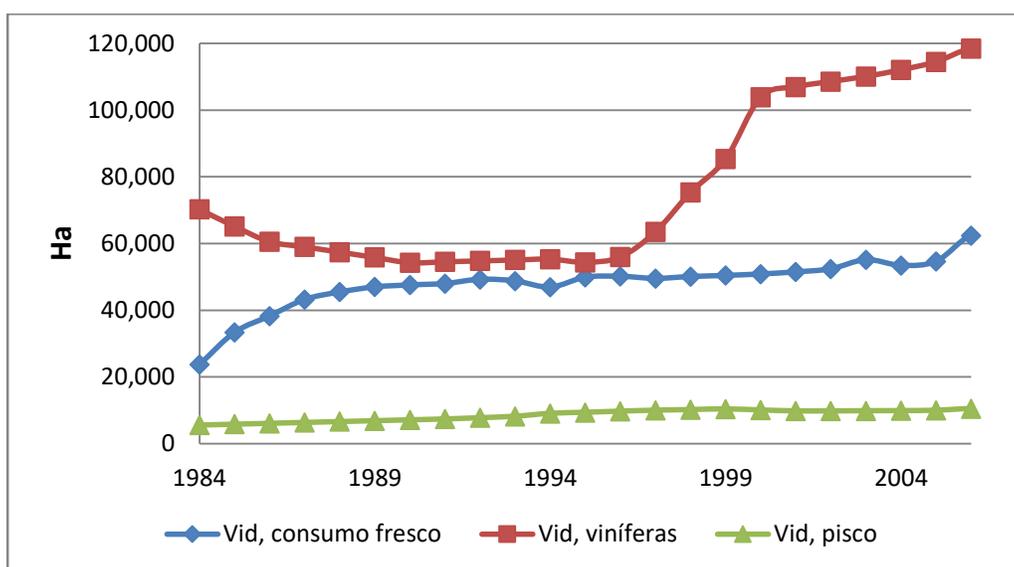


Figura 4. 11. Vides: superficie ocupada entre 1984 y 2006.

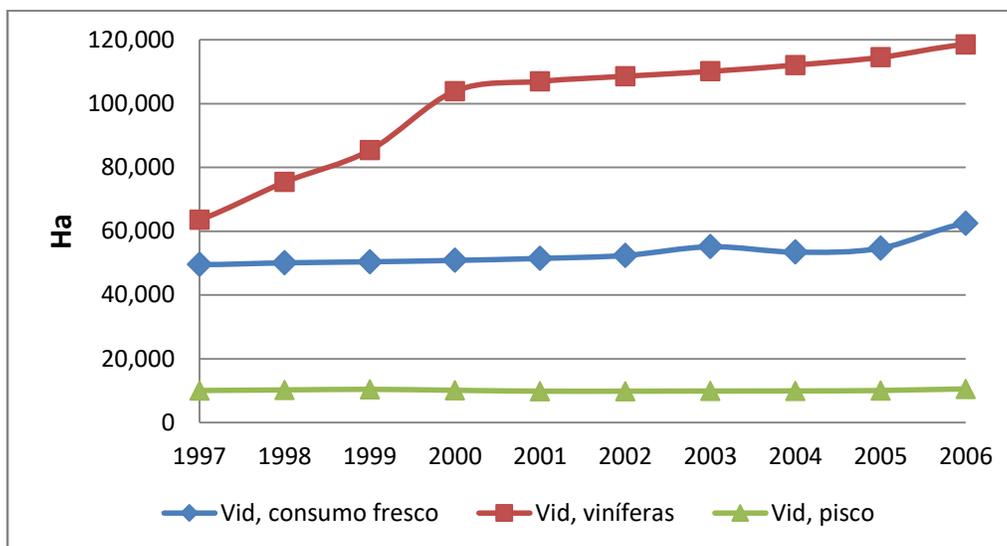


Figura 4. 12. Vides superficie ocupada entre 1997 y 2006. Fuente: "Inventarios de Emisiones de Gases Invernadero, de los sectores "Agricultura", "Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura" y "Residuos", serie 1984/2006", elaborados por INIA (2010) para el MMA, bajo contrato con PNUD.

4.2.1.4 Cultivos industriales y papas

Las **figuras 4.13.** y **4.14.**, muestran que la superficie de cultivos industriales (maravilla, tabaco, raps, remolacha) y de papas experimentó una disminución sostenida en el período temporal analizado, acumulando un descenso global de 40% entre los años extremos.

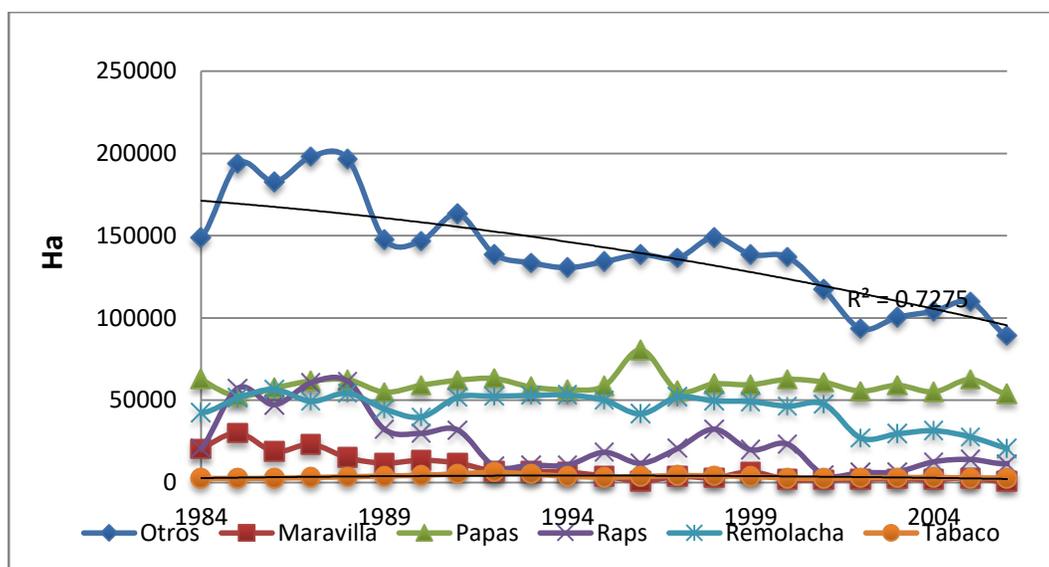


Figura 4. 13. Cultivos industriales y papas: superficie ocupada entre 1984 y 2006

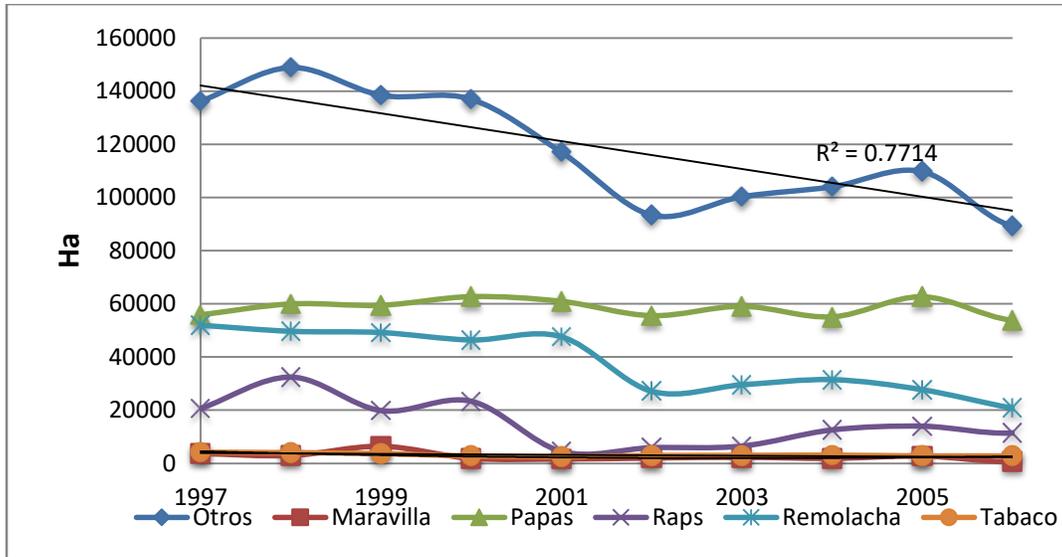


Figura 4. 14. Cultivos industriales y papas: superficie ocupada entre 1997 y 2006. Fuente: “Inventarios de Emisiones de Gases Invernadero, de los sectores “Agricultura”, “Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura” y “Residuos”, serie 1984/2006”, elaborados por INIA (2010) para el MMA, bajo contrato con PNUD.

Básicamente, esta disminución se justifica por la reducción que han venido experimentando las superficies destinadas a remolacha azucarera y raps (hoy, canola), aunque este último muestra alguna recuperación a contar del año 2003. El cultivo de este grupo, las papas, no muestra tendencias de ascenso o descenso, manifestando una gran estabilidad a largo de toda la serie temporal analizada. Las otras dos especies incluidas, tabaco y maravilla, tienen una escasa expresión superficial y no habría elementos de juicio para prever un crecimiento futuro significativo de sus superficies.

4.2.1.5 Aplicación de nitrógeno

Una de las grandes falencias del sistema nacional de colecta, registro, análisis y publicación de datos, se encuentra en el origen-destino-uso de fertilizantes comerciales, sean estos sintéticos o naturales, orgánicos o inorgánicos. El país no cuenta con datos de actividad estadísticas sobre cantidades de fertilizantes nitrogenados aplicados a los diferentes cultivos y/o sistemas de producción, ni a nivel nacional ni menos a nivel regional. El único dato de actividad con que se cuenta es el consumo anual de N –en la forma de fertilizante- que se encuentra en la FAOSTAT¹, correspondiente a la base de datos estadísticos que administra la FAO y que es alimentada con valores recibidos de los propios países. Lo que necesitamos es el consumo total de N – como fertilizante – usado en el país y ese dato fue tomado de la base de datos de la FAO (FAOSTAT). La estimación de consumo por cultivo/rubro permite validar el dato de consumo total.

Así, la desagregación regional del consumo del nitrógeno-fertilizante, que se encuentra en los inventarios nacionales de GEI, obedece a la aplicación de una estrategia top-down, esto es, la estimación de los consumos regionales en función de la importancia relativa de la actividad agrícola regional en la nacional.

¹Acceso a través de faostat.fao.org (http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD)

La **Figura 4.15.**, muestra la tendencia del consumo de nitrógeno, en la forma de fertilizantes nitrogenados, en la agricultura chilena, según datos tomados de la base de datos de la FAO (FAOSTAT). La tendencia que se obtiene es linealmente creciente, con una importante tasa de cambio anual, tendencia que no pareciera cambiar sustancialmente, al menos en el futuro cercano.

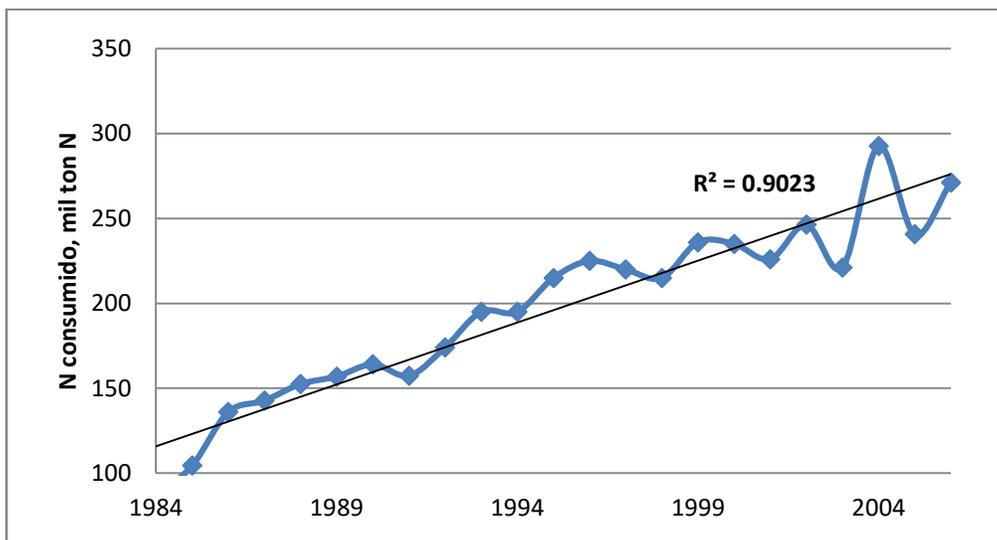


Figura 4. 15. Tendencia del consumo de fertilizantes nitrogenados. Fuente: FAOSTAT (base de datos estadísticas de la FAO, accesible a través de www.fao.org).

Sector Pecuario

Las existencias de animales domésticos, expresadas en cabezas-año, son datos de actividad estadísticos vitales para estimar las emisiones del sector ganadero que, según los inventarios nacionales de GEI, equivalen prácticamente el 50% de las emisiones del sector “Agricultura”. Por ello, es tan importante conocer las tendencias tenidas por las poblaciones de las diferentes especies de animales, en un período temporal significativo.

Las tendencias poblacionales, en el período temporal que se extiende entre 1977 y 2006 y que se presentan a continuación, fueron construidas con los datos de existencias animales entregados por los Censos Nacionales Agropecuarios 1976/77, 1986/87 y 2006/07¹; el dato contenido en un censo fue asignado al año inicial del proceso (debido a que, generalmente, estos datos son colectados dentro de ese año), rellenando los años intermedios con datos interpolados entre dos censos consecutivos. Esto significa que las curvas fueron construidas sobre la base de tres puntos reales.

4.2.1.6 Vacunos

Como indica la **Figura 4.16**, entre 1977 y 1997, la población vacuna subió de 3,46 millones de cabezas a 4,10 millones de cabezas en 1997, año a partir del cual inició un sostenido descenso

¹El Censo de los años 1986/87 no fue publicado

para llegar en el año 2006 a 3,72 millones de cabezas. Esto significa que la población vacuna experimentó un significativo aumento de 0,65 millones de cabezas, entre los años 1977 y 1997, para luego reducirse en 0,38 millones de cabezas al año 2006. Esta tendencia poblacional, tanto de la población global como desagregada en algunos tipos de animales, tiene un alto ajuste polinómico (R^2 entre 0,89 y 0,94), como lo muestran las **figuras 4.16.y4.17**.

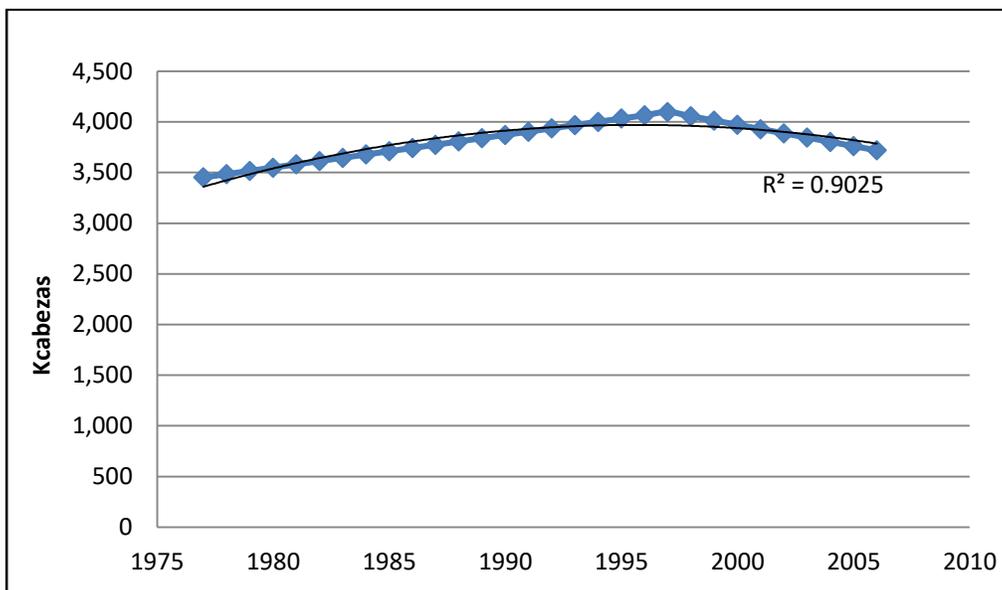


Figura 4. 16. Tendencia poblacional de los bovinos, entre 1977 y 2006

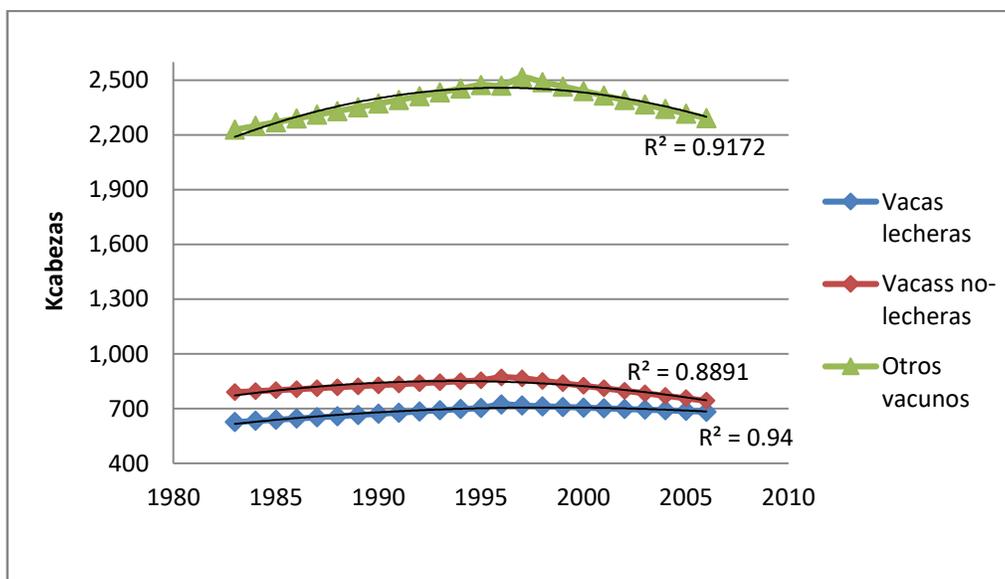


Figura 4. 17. Tendencia poblacional de vacas lecheras, vacas no-lecheras y otros bovinos.

De acuerdo con la **Figura 4.17.**, este descenso fue más pronunciado para los animales vacunos no-lecheros; es evidente que el descenso de la población de vacas lecheras es menos marcado que el de los otros grupos de vacunos.

4.2.1.7 Porcinos

Como lo indica la **Figura 4.18.**, los censos nacionales agropecuarios señalan que la población de cerdos viene creciendo sostenida y significativamente en el período indicado, mostrando además una aceleración de la tasa de crecimiento anual hacia el último decenio, entre 1997 y 2006.

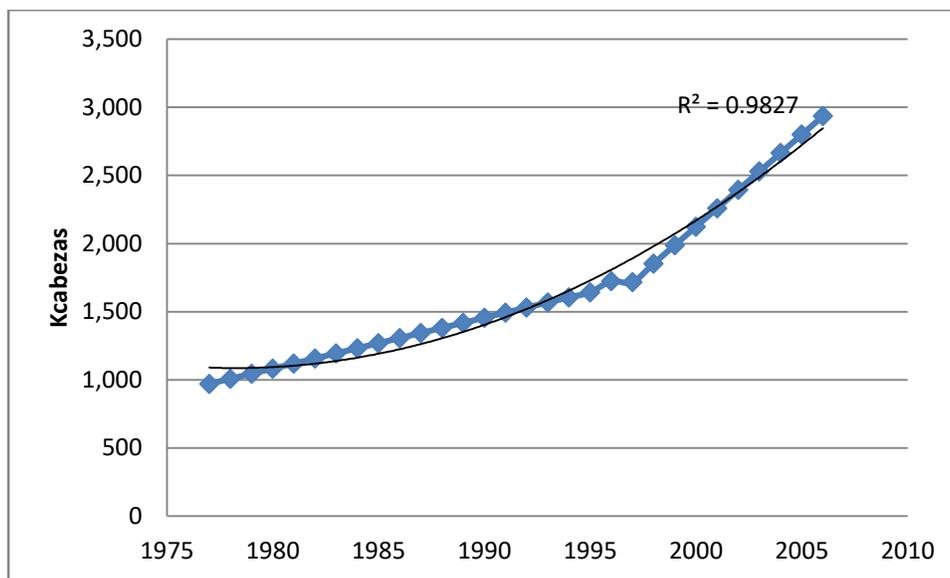


Figura 4. 18. Tendencia poblacional de los porcinos, entre 1977 y 2006.

Esta tendencia viene a reflejar un hecho que se está dando prácticamente en todo el mundo: el consumo de carne de cerdo y sus productos derivados está franco crecimiento, siendo en gran medida substitutiva de las carnes rojas. Por lo mostrado en la **Figura 4.18**, este crecimiento es sólido y no pareciera acercarse a un quiebre, al menos en el futuro cercano y mediano.

4.2.1.8 Aves

La población de aves está conformada principalmente por la familia de las gallináceas (gallos, gallinas, pollos, pollas), correspondiendo al 88% del grupo, seguida por los pavos, que corresponden al 11% del grupo, y de los gansos y patos, correspondiendo al 1% del grupo. Tal como muestra la **Figura 4.19.**, consistente también plenamente con la tendencia de la población porcina, la población avícola tuvo un incremento importante entre los años extremos de la serie temporal indicada, ya que aumentó de 15,4 millones de cabezas a 47,3 millones, generando una tendencia sólida, con un alto ajuste polinómico ($R^2= 0,94$).

Lo mismo que con la población porcina, esta tendencia creciente no presenta visos de detenerse o, al menos, reducir su tasa anual de incremento, reflejando el hecho que la carne de pollo es un producto que cada día se consume más, no sólo en Chile sino que en todo el mundo.

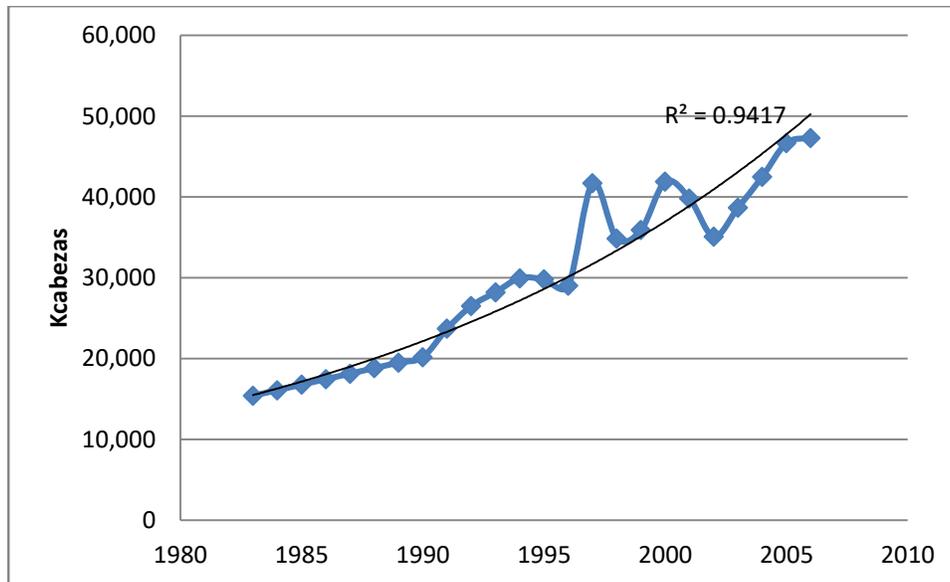


Figura 4. 19. Tendencia poblacional de las aves entre 1983 y 2006. Fuente: Catastro avícola (APA)

4.2.1.9 Ovinos

Los censos nacionales agropecuarios (**Figura 4.20.**) muestran la evolución de la población ovina, entre, los años 1977 y 2006. Puede verse claramente que la población descendió fuertemente hasta el año 1996, bajando de 5,5 a 3,7 millones de cabezas; a partir del año 1996, se produjo un leve repunte de la población para fijarse en 3,9 millones el año 2006. Según ODEPA (2005), este repunte era previsible toda vez que una parte importante –aunque minoritaria- de las causas del descenso poblacional correspondió a episodios catastróficos (como el desierto blanco de 1995 y la erupción del volcán Hudson); de todas formas, las causas que más justificarían el descenso poblacional tiene que ver con una caída de precios y cambios en los regímenes de tenencia de la tierra.

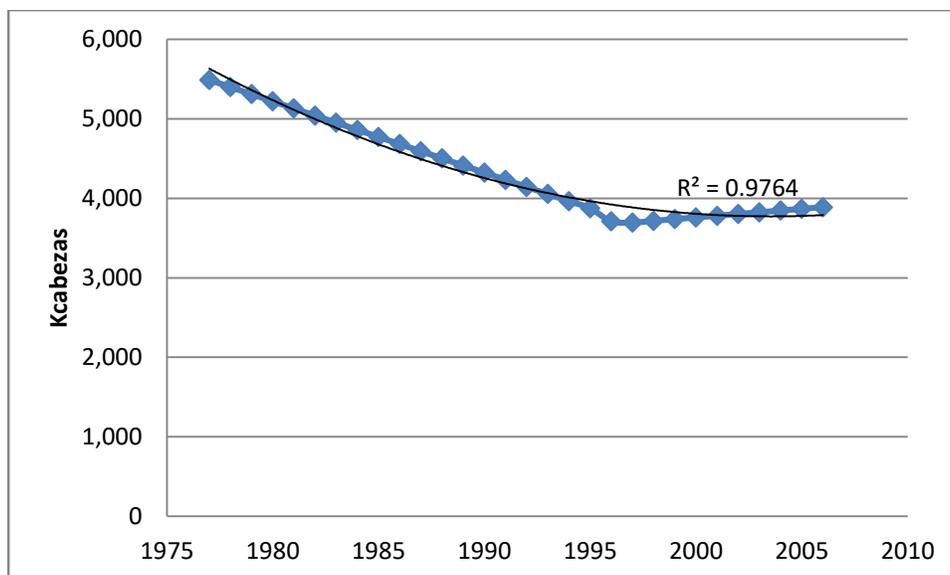


Figura 4. 20. Tendencia poblacional de ovinos entre 1977 y 2006

4.2.1.10 Otras especies

En Chile, concurren otras especies animales, de importancia menor tanto por un menor peso económico como por poblaciones poco numerosas; se trata de los caprinos, los equinos, los mulares y asnos, y los camélidos sudamericanos (llamas y alpacas), que solo son importantes en alguna región específica del país. De acuerdo al inventario nacional de GEI del año 2006, los aportes sumados de estas especies alcanzaron al 4,7% de las emisiones de metano por fermentación entérica.

Como se ve en las **figuras 4.21., 4.22, 4.23.y4.24**, entre 1977 y 2006 las poblaciones mostraron, las siguientes circunstancias:

- la población caprina disminuyó sostenidamente en el período analizado, pasando de 1,1 millones, en 1977, a 0,7 millones, en 2006,
- la población equina también disminuyó sostenidamente aunque menos marcadamente que la de caprinos, pasando de 441 mil cabezas, en 1977, a 377 mil cabezas, en 2006,
- la población de mulas y asnos es la que ha tenido, en este grupo, el mayor descenso luego de bajar de 43,10 mil cabezas, en 1997, a 15,3 mil cabezas, en 2006, y
- la población de llamas y alpacas experimentó un crecimiento hasta el año 1996, cuando llegó a contar con 125,9 mil cabezas (contra 100,2 mil en 1977) para luego iniciar una fase regresiva hasta conformar una población de 78,9 mil cabezas, en 2006.

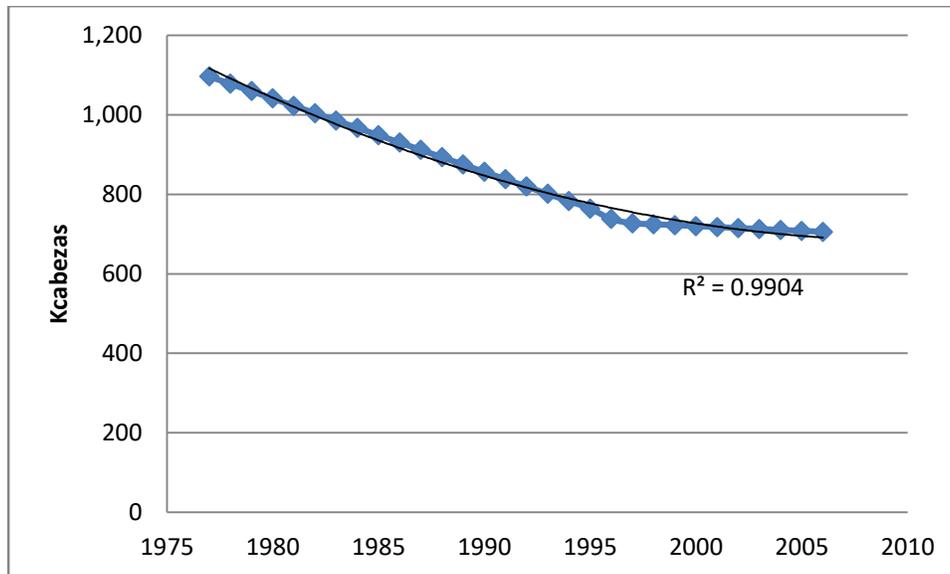


Figura 4. 21. Tendencia de la población caprina, entre 1977 y 2006.

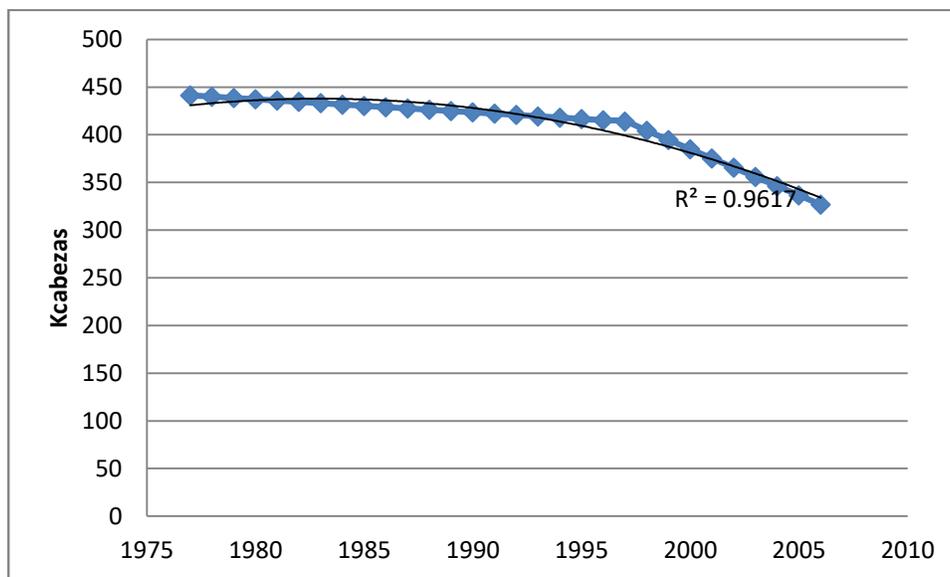


Figura 4. 22. Tendencia de la población equina, entre 1977 y 2006.

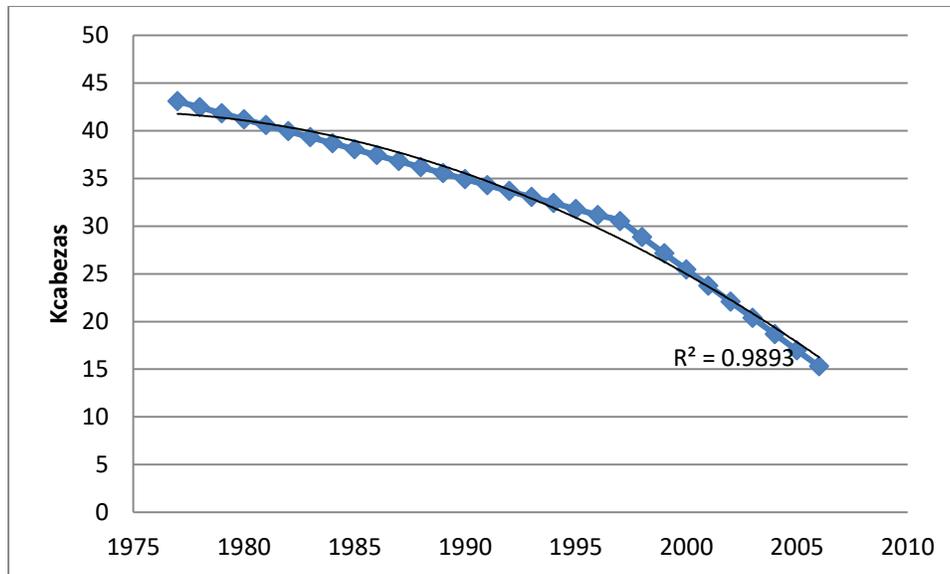


Figura 4. 23. Tendencia poblacional de mulas y asnos, entre 1977 y 2006.

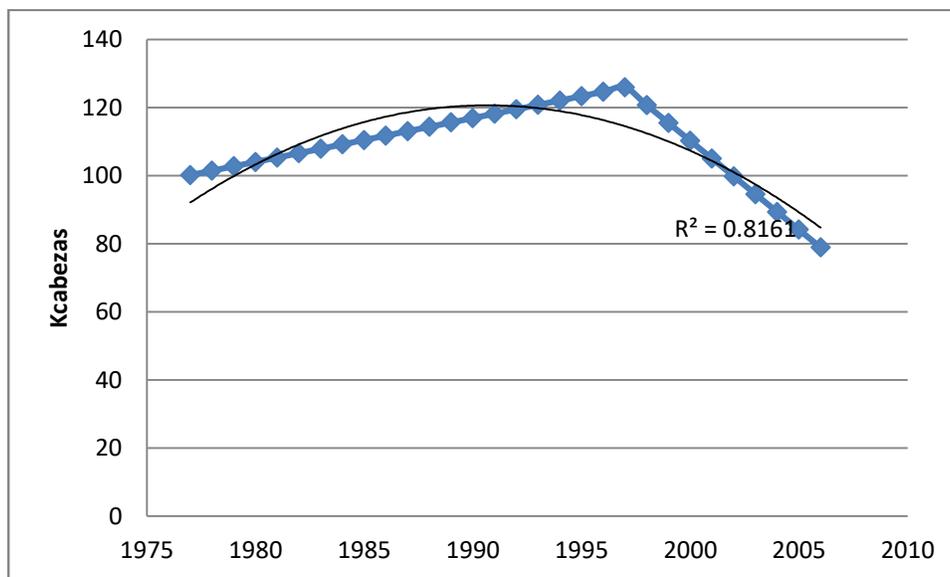


Figura 4. 24. Tendencias de la población de llamas y alpacas, entre 1977 y 2006

5 Metodología IPCC para contabilizar emisiones de GEI

5.1 Aspectos generales

Independientemente de las diferencias entre los desarrollos metodológicos, que siempre estarán evolucionando¹, siempre será posible identificar las actividades que componen lo que antes eran los sectores “Agricultura” y “Usos del Suelo, Cambio de Usos del Suelo y Silvicultura” y que, en su gran medida son aplicables o tienen relación con el ámbito de acción de este estudio.

Dentro del ámbito agrícola, constituido por los cultivos y lo pecuario, las categorías de emisión de GEI que deben contabilizarse (obviamente, siempre que ellas existan dentro del territorio nacional) son las siguientes:

- **fermentación entérica:** contabiliza las emisiones del metano que se produce en el tracto digestivo de los animales ganaderos; en este sentido, los animales rumiantes (poligástricos) son los que presentan las máximas tasas de emisión de metano por individuo y, por tanto, los que más impactan en los inventarios sectoriales de GEI,
- **manejo del estiércol:** contabiliza las emisiones de metano y óxido nitroso que se emiten desde zonas de acumulación del estiércol producido bajo condiciones de confinamiento; en estas circunstancias, es muy frecuente la creación de condiciones de anaerobiosis, que conduce a la emisión de metano, y la incidencia de procesos de nitrificación y denitrificación que hacen al nitrógeno contenido en el estiércol pasar por una fase intermedia de óxido nitroso,
- **cultivación del arroz:** contabiliza las emisiones del metano que se produce en un cultivo que es mantenido bajo anegamiento, propiciando con ello la creación de condiciones de anaerobiosis,
- **suelos agrícolas:** contabiliza las emisiones de óxido nitroso que se producen como consecuencia de las transformaciones microbiológicas (procesos de nitrificación y denitrificación) que sufre el nitrógeno –incorporado al suelo por diferentes vías- dentro del ambiente edáfico,
- **quema de residuos de cultivos:** contabiliza las emisiones de metano y óxido nitroso que se producen por la combustión de los residuos vegetales; si bien también es producido en este proceso, el dióxido de carbono no es contabilizado, producto de haber definido la agricultura como una actividad neutra, en término de los flujos de este gas, y
- **quema periódica de sabanas:** contabiliza las emisiones de metano y óxido nitroso que se producen por la combustión de la vegetación herbácea de las sabanas, proceso repetido prácticamente todos los años y de origen que puede ser natural o antrópico; referente al dióxido de carbono emitido, no debe contabilizarse, vale lo expresado en el párrafo anterior.

Al respecto de este último punto, el IPCC describe en su metodología 2006, tres métodos para representar las superficies asociadas a los distintos usos del suelo, a saber:

¹En la actualidad, el IPCC está trabajando en elaborar una metodología aplicable a los humedales, un ámbito con poco desarrollo en las metodologías del año 2006

- método 1: identifica el cambio total de superficie por cada categoría individual de uso de la tierra dentro de un país, pero no proporciona información sobre la naturaleza y la superficie de las conversiones entre los usos de la tierra,
- método 2: presenta el seguimiento de las conversiones entre las categorías de uso de la tierra pero no es explícito en el espacio, y
- método 3: amplía la información disponible en el método 2 lo que permite que las conversiones del uso de la tierra sean seguidas sobre una base explícita en el espacio.

5.2 Fundamentos del cálculo de emisiones y capturas de GEI y su adaptación para este estudio

Se presenta a continuación una descripción sucinta de cómo son contabilizadas las emisiones y capturas de GEI por cada categoría identificada anteriormente, junto con las adecuaciones efectuadas para este estudio.

Sector “Agropecuario”

A. Fermentación entérica

Para calcular las emisiones de metano por fermentación entérica, por especie animal, solo se requiere contar con datos de la población animal y el factor de emisión (kg CH₄/animal-año), ya que la emisión se calcula por la multiplicación del número de animales por el factor de emisión.

Para este estudio, las poblaciones animales futuras emergieron de la proyección del número de animales, por especie animal, para el período 2007/2050, que se presenta más adelante en este capítulo. Los factores de emisión empleados fueron tomados de la serie 1984/2006 de inventarios nacionales de GEI, ajustados a las condiciones del estudio, como se describe más adelante.

B. Manejo del estiércol

- **Emisión de metano**

Para esta subcategoría, es válida la explicación dada para la fermentación entérica, con la única excepción de que, para esta subcategoría, se contó además con un factor de emisión nivel 2 para los porcinos.

- **Emisión de óxido nitroso**

Para estimar la emisión de óxido nitroso por manejo del estiércol, se requiere contar con la siguiente información, por población animal:

- número total de animales,
- fracción de la población que es criada bajo confinamiento,

- fracción de la población animal que está vinculada a cada SME¹,
- tasa de excreción de nitrógeno por animal,
- factor de emisión directa por cada SME,
- fracciones de nitrógeno que lixivian y volatilizan, y
- factores de emisión indirectas.

Para este estudio, el número de animales provino de las proyecciones poblacionales que se hicieron para este estudio para el período 2007-2050, que se presentan más adelante en este capítulo, en tanto que los restantes datos de actividad paramétricos fueron tomados de la serie temporal 1984/2006 de los inventarios nacionales de GEI y los factores de emisión de las publicaciones de IPCC.

C. Cultivación del Arroz

Para estimar las emisiones de metano de esta categoría, solo se requiere tener información de la superficie cosechada² del cultivo, la que se multiplica por el factor de emisión genérico, tomado del IPCC. No hubo necesidad de aplicar algún factor de corrección del factor de emisión, puesto que en Chile no se aplican enmiendas orgánicas ni hay períodos de sequía durante el desarrollo del cultivo. Para las proyecciones de emisiones futuras, la superficie es una salida del modelo AGRI-LU. Chile, en todo caso, cuenta con estadísticas anuales (INE, ODEPA) y censos nacionales agropecuarios, levantados por INE cada 10 años.

D. Suelos Agrícolas

Esta categoría contabiliza las emisiones -directas e indirectas- generadas por procesos microbiológicos en el suelo de transformación del nitrógeno aportado por diversas vías, a saber:

- fertilizantes nitrogenados comerciales que se aplican al suelo,
- residuos de cultivos incorporados al suelo,
- estiércol de animales confinados aplicado al suelo, y
- deyección de animales que pastorean a campo abierto.

Todos los factores de emisión requeridos fueron tomados de los que el IPCC ofrece por defecto, dando prioridad a la versión metodológica 2006.

Para el tema “fertilizantes comerciales”, se requiere contar con información sobre el aporte total de nitrógeno al suelo, en la forma de fertilizantes comerciales. Este aporte generalmente es estimado en función de los datos oficiales de consumo total a nivel nacional; sin embargo, por carencia de estadísticas de consumo de fertilizantes nitrogenados por región, rubro y/o cultivo, se trabajó sobre la base de una proyección basada en una tendencia histórica construida con datos tomados de la FAOSTAT; paralelamente, se hizo un cálculo interno del consumo nacional de fertilizantes nitrogenados sobre la base de la suma de los aportes por cada uso del suelo, asumiendo tasas específicas de aplicación por cada uso reconocido por el modelo AGRI-LU.

¹Sistema de manejo del estiércol

²En Chile, la superficie cosechada = superficie cultivada, debido a que se produce una cosecha anual

En el caso del aporte de nitrógeno por estiércol aplicado, se requiere contar con la cantidad de nitrógeno excretado por los animales confinados; para ello, se deben tener datos de población animal confinada y la correspondiente tasa de excreción de nitrógeno por cabeza animal. Esta información fue tomada de la serie 1984/2006 de inventarios nacionales; la distribución de la población animal entre sistemas de manejo del estiércol corresponde a juicio de experto, puesto que se trata de un área que carece de datos estadísticos, en tanto que las tasas de excreción de nitrógeno por especie animal fueron los valores por defecto del IPCC.

En cuanto al aporte de nitrógeno por animales en pastoreo, se requiere conocer el nitrógeno aportado por las deyecciones de los animales criados a campo abierto; en este caso, se aplicó la tasa de excreción de nitrógeno mencionada anteriormente y población animal en pastoreo.

En cuanto a los residuos de cultivos que se incorporan al suelo, se requiere contar con la siguiente información:

- superficie y productividad de cultivos cuyos residuos son incorporados al suelo,
- relación residuo/producto por cultivo,
- fracción de los residuos que es incorporada al suelo,
- fracción de materia seca de los residuos,
- contenido de nitrógeno de los residuos, y
- factores de emisión de nitrógeno que es incorporado al suelo.

La superficie de los cultivos correspondió a salidas del modelo AGRILU, a través de los diferentes usos del suelo. Los restantes datos de actividad fueron tomados de la serie 1984/2006 de inventarios nacionales de GEI.

La metodología 2006 del IPCC agregó una restricción para estimar las emisiones indirectas por nitrógeno que lixivia. Esta restricción fue tomada en cuenta en este ejercicio.

E. Quema de Residuos de Cultivos

Para la quema de residuos vegetales, se requiere contar con la misma información identificada bajo “residuos incorporados al suelo”, con la única diferencia que corresponde aplicar la fracción de residuos que es quemada in-situ y los factores de emisión de metano y óxido nitroso por quema de biomasa vegetal. Todos los supuestos fueron tomados de la serie 1984/2006 de inventarios nacionales de GEI.

Sector “Uso y Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura”

Lo relevante para este estudio, es el tema de las emisiones y capturas por el cambio de uso del suelo. Tal como lo plantea el IPCC en su metodología 2006 y la guía de buenas prácticas 2003, para estar en condiciones de estimar emisiones y capturas de GEI, se requiere información sobre lo siguiente:

- cambios anuales de uso del suelo, y
- trazabilidad de los cambios, esto es, identificación del uso anterior del suelo convertido ese año.

En este estudio, los cambios de uso fueron estimados sobre las siguientes bases:

- superficie por usos del suelo, correspondientes a las diferencias entre dos escenarios anuales modelados por el modelo AGRILU, y
- cambios anuales en la superficie de plantaciones forestales, basados en las proyecciones presentadas por el equipo a cargo del sector “Forestal y Cambio de Uso del Suelo”, basadas principalmente es estimaciones hechas por INFOR, al año 2006.

6 Generación de escenarios de uso del suelo: El Modelo AGRI-LU

6.1 Descripción general

El uso del suelo agrícola depende fuertemente del mercado de los productos, el cual actúa básicamente sobre la demanda y el precio de estos. La demanda, a su vez, tiene dos componentes, una interna y otra externa. La primera es relativamente predecible, por cuanto es una consecuencia directa del consumo de las personas y del tamaño de la población. Contrariamente a esto, la demanda externa, en los mercados internacionales es extremadamente difícil de modelar por cuanto depende de numerosos factores externos que escapan por completo al contexto interno nacional. Hay productos como el trigo, el arroz, el azúcar, la leche, la carne, el maíz y la soja, además de la fruta, que tienen un activo mercado internacional, cuyos precios varían en función de las cosechas de los grandes productores mundiales, las que a su vez, dependen del clima (heladas, sequías e inundaciones). Los rubros no vinculados al mercado internacional (papas, hortalizas, forrajeras) igualmente se ven afectados por las oscilaciones de los productos comercializados en el exterior, por la vía del uso competitivo de los recursos de producción (tierra, agua, mano de obra).

La dinámica de las superficies cultivadas de las numerosas especies que conforman el sector agropecuario, responde a una gran diversidad de factores y drivers, los cuales no siempre son de orden económico. En la agricultura hay factores como el clima, la disponibilidad de agua de riego, la disponibilidad de mano de obra, la situación de los mercados internacionales y las regulaciones arancelarias, que son fuertemente determinantes de las decisiones de siembra, todas las cuales se toman anualmente por parte de los agricultores. De esta forma, el precio de los productos es solo una variable que determina la superficie anualmente sembrada de cada especie. La resultante de la interacción de todas estas variables determina una superficie cultivada, la que puede aumentar o disminuir fuertemente de un año a otro, tal como lo demuestra la estadística.

Considerando estas complejidades, se ha preferido trabajar con líneas de tendencias de las superficies cultivadas, las que se determinan en función de las tendencias históricas. En este contexto se han seleccionado los “drivers” (Disponibilidad de suelos, disponibilidad de mano de obra, cambio climático, exigencias hídricas, demanda interna/externa) Demandas de productos agropecuarios, demandas de suelos, mano de obra, exigencias de agua y cambio climático), que determinan las tendencias de modo de apoyar las evaluaciones expertas.

Para crear escenarios de uso del suelo bajo este concepto, se creó el modelo AGRI-LU, una versión simplificada del modelo AGRI¹. Consecuentemente con lo planteado en el párrafo precedente, las tendencias asignadas a cada rubro provinieron de las tendencias mostradas por los rubros en décadas recientes, corregidas por el comportamiento atribuido a los drivers que operan sobre el sector agrícola. A partir del uso actual, el modelo AGRI-LU proyecta el uso del suelo a nivel nacional en diversos horizontes temporales (escenarios nacionales). Esta etapa reposa sobre un análisis cualitativo, tal como se hace a nivel de los organismos oficiales (MINAGRI).

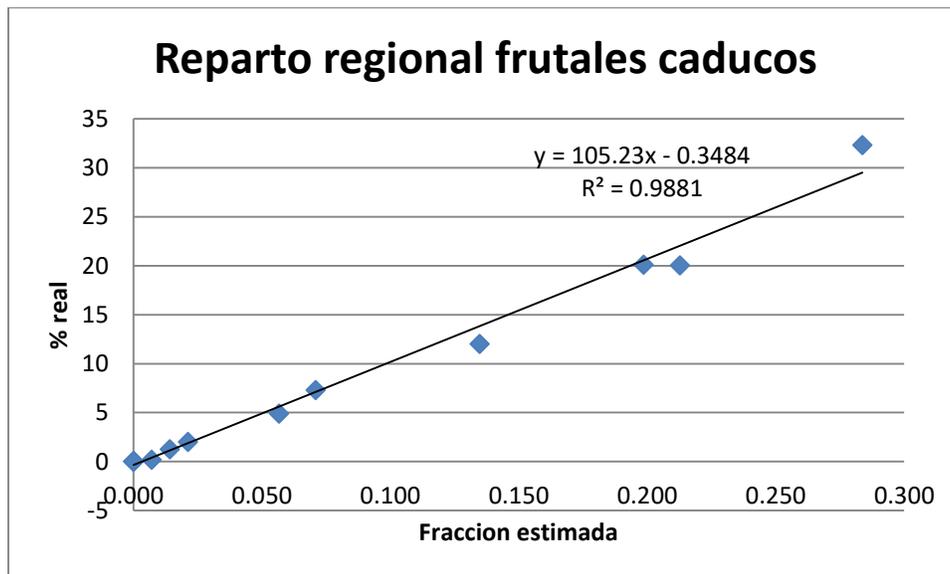
¹ Para conocer mayor detalle del modelo AGRI, ver anexo 12.12

Una vez construidos los escenarios nacionales, el uso del suelo se regionaliza, para lo cual se utiliza como línea base la distribución regional actual de los rubros productivos (Censo INE 2007). Esta distribución migra gradualmente hacia la distribución regional esperada para el horizonte de simulación, construida por el usuario en función de una matriz de drivers que determinan las ventajas competitivas de cada región para cada rubro. Una vez establecidos los escenarios de uso del suelo para cada región del país, se aplica el protocolo de cálculo de emisiones (IPCC, 2006).

La idea es que, mediante un proceso participativo, se establezcan los drivers regionales para cada rubro y para el horizonte final de simulación. La matriz va reajustando permitiendo el ranking de cada región, en la medida que se va llenando, de modo que al final del proceso, ella propone una distribución proyectada del rubro, indicando la fracción de la superficie nacional del rubro que probablemente estará en cada región, coherentemente con su competitividad (Última fila). Esta distribución se traslada a la matriz "cifras repartidoras regionales de los rubros" correspondiente al año horizonte de simulación (2050) en la página "Producción agrícola" del modelo. El modelo interpola automáticamente las cifras repartidoras para los años intermedios

Comparando la distribución proyectada para la línea base, con la distribución regional actual de las superficies sembradas o plantadas de cada rubro, pueden validarse las estimaciones hechas por la matriz. La **figura 6.1.**, muestra un ejemplo de validación para los frutales de hoja caduca.

Figura 6. 1. Validación de las proyecciones regionales hechas por la matriz de regionalización del uso del suelo.



Matrices utilizadas para la creación de escenarios regionales de uso del suelo

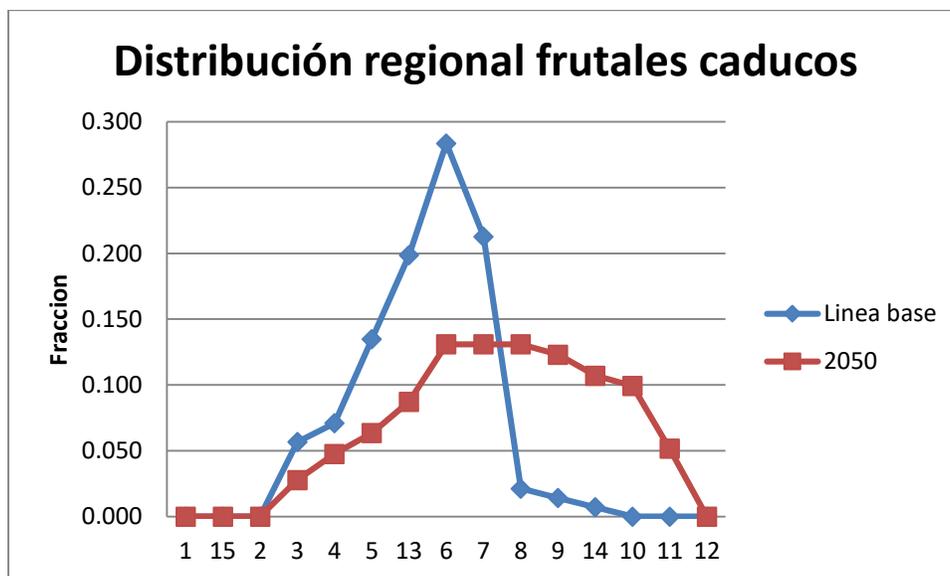
Cada región es evaluada según la situación de los drivers Suelo, agua, clima, infraestructura. Se utiliza un puntaje de 0 (Ninguna competitividad) a 10 (máxima competitividad). Los puntajes de los drivers (Índice de ventajas competitivas regionales) se totalizan a nivel nacional y luego se calcula la fracción del total nacional que corresponde a cada región, esta fracción es la cifra repartidora de cada rubro en cada región. Cuando un rubro no está presente en una región en la línea base, los drivers se evalúan en 0. El ejercicio se repite para el horizonte de simulación, reasignando los valores de los drivers en función de la evolución esperada.

Frutales Caducos		Línea base														
Drivers	Regiones															
	1	15	2	3	4	5	13	6	7	8	9	14	10	11	12	
Disponibilidad de suelos	0	0	0	1	3	3	4	10	9	0	0	0	0	0	0	
Disponibilidad de agua	0	0	0	0	0	3	4	10	7	1	0	0	0	0	0	
Potencialidad climática	0	0	0	2	3	5	10	10	6	2	2	1	0	0	0	
Infraestructura productiva	0	0	0	5	4	8	10	10	8	0	0	0	0	0	0	
Índice ventajas competitivas	0	0	0	8	10	19	28	40	30	3	2	1	0	0	0	141
Distribución proyectada	0,000	0,000	0,000	0,057	0,071	0,135	0,199	0,284	0,213	0,021	0,014	0,007	0,000	0,000	0,000	1,00
	0	0	0	5	7	12	20	32	20	2	1	0	0	0	0	

Frutales Caducos		Horizonte 2050														
Drivers	Regiones															
	1	15	2	3	4	5	13	6	7	8	9	14	10	11	12	
Disponibilidad de suelos	0	0	0	0	3	3	4	9	9	7	6	5	5	2	0	
Disponibilidad de agua	0	0	0	0	0	1	2	6	7	10	9	9	9	5	0	
Potencialidad climática	0	0	0	2	3	4	6	8	7	10	10	7	6	3	0	
Infraestructura productiva	0	0	0	5	6	8	10	10	10	6	6	6	5	3	0	
Índice ventajas competitivas	0	0	0	7	12	16	22	33	33	33	31	27	25	13	0	252
Distribución proyectada	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,06	0,09	0,13	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,05	0,00	1,00

La matriz entrega una visión gráfica de la distribución regional de cada rubro, tanto para la línea base como para el horizonte de simulación. En la **figura 6.2.**, puede apreciarse el desplazamiento hacia el sur que podrían sufrir los frutales de hoja caduca, como consecuencia del deterioro en la disponibilidad de agua en la regiones del centro norte y del mejoramiento de los condiciones climáticas a partir de la región del Maule, como consecuencia del calentamiento global. Esta herramienta se encuentra en la hoja “drivers regionales” del modelo AGRI-LU

Figura 6. 2. Distribución regional de frutales caducos



6.2 El Modelo AGRI-LU

Con el propósito de disponer de una herramienta interactiva amigable para la creación de escenarios de uso del suelo, se ha desarrollado una plataforma de trabajo programada en Excel, que permite proyectar los cambios en la estructura de cultivos de la agricultura y sus correspondientes superficies cultivadas.

Siguiendo las recomendaciones técnicas del Comité MAPS-Chile, hemos extractado los componentes básicos del modelo AGRI, que permiten proyectar las superficies cultivadas de distintos rubros agropecuarios, a partir de las tendencias esperadas. El sistema establece, en base a juicio de experto, las tasas de crecimiento esperadas para cada rubro, así como las tasas de cambio tecnológico, debidas a las mejoras tecnológicas que se pueden esperar en cada rubro.

Se hizo un ejercicio para capturar el impacto de distintas tasas de crecimiento del PIB y parámetros de competitividad, en el crecimiento de las superficies cultivadas, sin embargo no generó suficiente evidencia. Este ejercicio otorga respaldo al criterio de experto.¹

¹Mayor información de este ejercicio en el anexo 12.14

La superficie de cada rubro en el tiempo t es función de la superficie cultivada en el tiempo anterior, por la tasa anual de variación esperada para dicho rubro en el periodo. La tasa de cambio puede ser variable en el tiempo, lo que le permite al usuario simular cambios que podrían ocurrir en horizontes de tiempo, como consecuencia de eventos naturales o económicos internos o externos (firma de acuerdos comerciales, eventos climáticos extremos que muestran cierta periodicidad, aparición de productos sustitutos, etc.), elevada al número de años (dt) entre t y $t+1$ y corregida por el inverso del factor de mejoramiento tecnológico esperable para el rubro.

$$S_{c(t)} = S_{c(t-1)} * ((1+Tc)^{dt}) * 1/Tt$$

Las tasas de cambio tecnológico (Tt) es un valor proyectado que representa los aumentos de productividad debido a la adopción de tecnologías por parte de los agricultores, en función de la dinámica que han exhibido los rubros en las últimas décadas y de una estimación de los espacios de mejoramiento tecnológico que existen para cada rubro, en base a juicio de experto. Para esto se ha hecho un análisis de los cambios en la productividad exhibidos por cada rubro en los últimos años en Chile y se proyectan estas tendencias, se aceleran o desaceleran en función del nivel de producción de tecnología que se espera para cada rubro (mejora genética esencialmente). Luego, se establece un coeficiente que representa el cambio en la productividad en el tiempo $t+1$, teniendo como referencia la productividad del mismo rubro en el tiempo t .

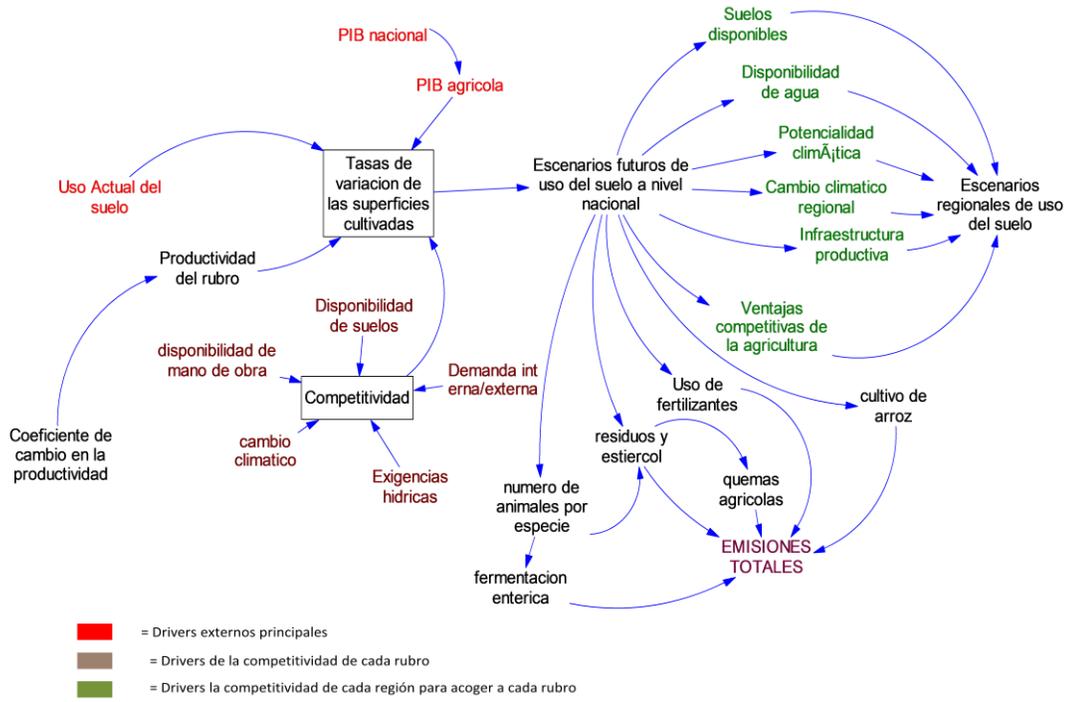
La ventaja de este algoritmo es que no trabaja con valores absolutos de rendimiento de los cultivos, sino con valores relativos, suponiendo un valor unitario para los rendimientos actuales.

Todos los componentes del algoritmo pueden ser modificados interactivamente por el usuario, lo que le permite crear múltiples escenarios agrícolas. La tasa de mejora tecnológica no corresponde en este caso a una tasa de cambio de rendimientos potenciales por hectárea, por cuanto la mayor parte de los rubros agrícolas ya no muestran grandes cambios de rendimiento por adopción de nuevas tecnologías, sino más bien al grado de adopción de paquetes tecnológicos por una proporción creciente de agricultores. Además de la dificultad citada, no existe en el país información suficientemente fina y confiable para simular un cambio continuo de la productividad. Por los argumentos anteriores, hemos preferido establecer un coeficiente que representa el cambio en la productividad en el tiempo $t+1$, teniendo como referencia la productividad del mismo rubro en el tiempo t .

El sistema entonces se compone de tres matrices principales, presentes en el modelo AGRI LU, en las cuales el usuario ingresa la estructura de cultivos en la línea base, es decir, la superficie ocupada por los distintos rubros (cultivos) en el año base, los drivers que determinan el alza o la baja en estas superficies de acuerdo a las tendencias esperadas y los coeficientes de cambio en las tasas de productividad esperables para cada rubro. Este último incluye, además de la aparición de tecnologías más eficientes de producción, el grado de adopción de la tecnología existente por parte de una proporción creciente de agricultores.

Igualmente, el usuario establece los horizontes de tiempo para cada uno de los pasos de la simulación, los cuales no necesitan ser regulares. El esquema de la **figura 6.3.**, muestra la estructura general del modelo AGRU-LU

Figura 6. 3. Esquema general del modelo AGRI-LU



Matriz de ingreso de las tasas de crecimiento de superficie de los rubros agrícolas

Tasas de crecimiento de superficie (Tc)											
	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Frutales caducos	0,016	0,016	0,015	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006
Frutales persistentes	0,038	0,038	0,036	0,034	0,032	0,031	0,029	0,028	0,026	0,025	0,024
Viñas	0,038	0,038	0,032	0,027	0,023	0,020	0,017	0,014	0,012	0,010	0,009
Chacras, Indust. YFrut. Menores	-0,013	-0,013	-0,010	-0,007	-0,006	-0,004	-0,003	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001
Cereales	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Arroz	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pradera	0,016	0,016	0,015	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006
Plantación forestal	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004
Pradera natural	0,005	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Áreas silvestres (NO SNASPE)	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	-0,003	-0,003
Maíz	0,011	0,011	0,011	0,010	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008
Hortalizas	0,014	0,014	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011	0,010

Cuadro 6. 1. Matriz de ingreso de las tasas de crecimiento de la superficie de los rubros agrícolas.

Matriz de proyección de las superficies (Mha.) cultivadas

Superficies Cultivadas Nacionales											
	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Frutales caducos	200	203	211	223	234	244	252	259	264	267	269
Frutales persistentes	84	87	96	112	130	150	170	191	214	236	259
Viñas	127	130	140	156	168	176	181	184	183	180	175
Chacras, Indust. yFrut. Menores	232	225	213	196	180	166	154	143	133	124	116
Cereales	439	435	427	415	399	380	361	341	320	300	279
Arroz	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Pradera	1051	1055	1075	1106	1117	1108	1081	1038	980	912	837
Plantación forestal	2202	2214	2250	2309	2368	2426	2485	2542	2600	2657	2713
Pradera natural	10907	10927	10964	10973	10901	10765	10576	10344	10075	9776	9451
Áreas silvestres (NO SNASPE)	14335	14261	14054	13732	13432	13154	12895	12654	12429	12219	12023
Maíz	123	124	127	133	138	143	148	152	156	159	162
Hortalizas	96	97	100	106	111	117	122	127	131	135	139

Cuadro 6. 2. Matriz de proyección de las superficies (kha) cultivadas.

Superficie de los rubros en el tiempo

Los suelos arables son la base principal de la dinámica de la agricultura y la ley establece un claro límite que separa ambos mundos (agricultura y forestal). Por lo anterior la competencia solo queda reducida al sector pecuario con el sector forestal y ocurre en suelos de clase VI y VII.

La competencia entre ambos sectores será modelada por una matriz de reemplazos, donde se establecerá a priori, que todo nuevo crecimiento de un rubro, implicará un cambio de uso del suelo que en cada región estará preestablecido en función de lo que conocemos de la dinámica. Para respaldar la construcción de esta matriz, existe información histórica de la dinámica de uso del suelo a partir de los catastros de la vegetación nativa del MMA-CONAF

La siguiente figura muestra la matriz de distribución hacia el año 2006:

Matriz de la distribución espacial de los rubros agrícolas en las Regiones de Chile (2006)

Línea de Base

Cifras repartidoras regionales de los rubros

Rubros	Arica	Tarapacá	Antofagasta	Atacama	Coquimbo	Valparaíso	Santiago	O'Higgins	Maule	Biobío	Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Aysén	Magallanes
Frutales caducos	1	1	0	2	10	15	10	20	17	10	5	3	5	1	0
Frutales persistentes	3	2	1	1	8	25	18	25	12	5	0	0	0	0	0
Viñas	0	0	0	0	5	7	25	20	25	12	5	0	1	0	0
Chacras, Indust. Y Frut. Menores	1	0	1	2	3	7	5	15	20	20	15	3	5	2	1
Cereales	0	0	0	0	1	3	5	8	12	15	30	6	12	5	3
Arroz	0	0	0	0	0	0	0	0	40	60	0	0	0	0	0
Pradera	1	0	1	2	3	5	5	10	20	20	20	5	5	3	0
Plantación forestal	0	0	0	0	0	3	0	15	20	30	12	10	8	2	0
Pradera natural	0	0	0	0	5	5	5	5	10	10	10	15	15	10	10
Áreas silvestres (NO SNASPE)	0	0	0	0	2	5	5	10	15	15	8	12	8	10	10
Maíz	0	0	0	0	1	2	11	59	23	4	0	0	0	0	0
Hortalizas	4	0	0	2	14	13	32	15	13	7	0	0	0	0	0

Cuadro 6. 3. Matriz de la distribución espacial de los rubros agrícolas en las regiones de Chile (2006)

Esta matriz es usada por el sistema para regionalizar las cifras nacionales. Cada rubro productivo se reparte en los porcentajes indicados en cada región administrativa. Esta cifra puede ir cambiando en el futuro en función de los "Drivers" del uso del suelo agrícola.

Los drivers que se tendrán en cuenta para establecer los cambios más probables de uso del suelo en cada región del país, serán los siguientes:

- Disponibilidad de suelos,
- disponibilidad de agua,
- potencialidad climática (efecto del cambio climático),
- infraestructura productiva,

Estos drivers fueron calificados en una escala de 0 (ninguna aptitud) hasta 10 (máximas ventajas competitivas). Entre diferentes rubros hay pequeños cambios en función de los requerimientos de cada grupo, particularmente en lo referente a las potencialidades climáticas.

Calificación de las ventajas competitivas de las regiones de Chile

Drivers	Regiones												
	1	2	3	4	5	13	6	7	8	9	10	11	12
Disponibilidad de suelos	0	0	3	3	4	3	7	8	9	10	10	4	3
Disponibilidad de agua	0	0	0	2	3	4	5	7	8	9	9	8	4
Potencialidad climática (efecto del cambio climático)	4	3	4	4	5	6	7	8	9	10	8	3	2
Infraestructura productiva	0	0	5	6	8	8	10	9	7	6	6	1	2
Índice total	5	5	15	19	25	34	35	39	41	44	43	27	23
Índice ventajas competitivas	0,01	0,01	0,04	0,05	0,07	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12	0,08	0,06

Cuadro 6. 4. Calificación de las ventajas competitivas de las regiones de Chile

El índice de ventajas competitivas corresponde al puntaje que alcanza cada región en relación con el puntaje nacional alcanzado por cada rubro productivo

$$\text{Índice de ventajas competitivas} = \frac{\sum \text{puntaje regional}}{\sum \text{puntaje nacional del rubro}}$$

El puntaje nacional es la sumatoria de las sumatorias de los puntajes regionales.

En función de estos drivers se irán variando las cifras de la matriz de distribución espacial en función del grado de potencialidad que cada región alcance a partir de estos. Cada rubro ira variando en la medida que las nuevas plantaciones se desplacen hacia las regiones con más altos índices de ventajas productivas. El input del modelo AGRI-LU es la distribución esperada de los rubros de producción en el horizonte de tiempo simulado, el cual puede diferir de la distribución actual en función de los cambios inducidos por los “drivers”. El modelo hace una transición gradual, interpolando la presencia de cada rubro en cada región, entre la línea base y el horizonte de simulación. En base a la matriz de drivers descrita, hemos establecido la siguiente distribución probable hacia el escenario 2050. Se aprecia un claro desplazamiento de ciertos rubros agrícolas hacia las regiones más húmedas del país y menos afectadas por el cambio climático y los usos competitivos de los recursos naturales con otras actividades económicas (suelo, agua, mano de obra).

	Ari	Tar	Ant	Ata	Coq	Val	O'Hi	Mau	Bio	Arau	LRios	Llag	Ays	Maga	Met
Frutales	0	0	0	0	3	5	10	20	25	15	10	8	2	0	2
Viñas	0	0	0	0	1	3	10	20	25	20	10	7	1	0	3
Hortalizas	1	1	2	1	2	3	20	15	10	10	10	4	3	3	15
Chacras e Ind.	1	1	1	1	3	3	12	15	15	15	12	10	5	1	5
Cereales	0	0	0	0	0	0	5	10	10	20	20	20	10	5	0
Praderas rot	0	0	0	0	0	0	3	8	8	10	17	25	25	3	1
Forestal	0	0	0	0	0	0	2	5	15	15	15	15	15	15	3
Prad. nat															
Area silvestre															
	2	2	3	2	9	14	62	93	108	105	94	89	61	27	29

Cuadro 6. 5. Matriz de la distribución espacial de los rubros agrícolas en las regiones de Chile

En el caso de las cabezas de ganado, el modelo simplemente proyecta los cambios del stock de cada especie en función de una tasa de crecimiento estimada por juicio de experto, la cual es un input del modelo, determinado por el usuario en función de criterio de experto.

6.3 Consideraciones

Huertos urbanos

Los huertos urbanos son iniciativas individuales de ONG's y algunas municipalidades que consiguen fondos ocasionales para proyectos que se extinguen una vez terminados el financiamiento. Por lo general se hacen en sitios urbanos de superficie inferior a 1000 m² de modo que en total, ellos no deben cubrir más que una pocas hectáreas en todo el país, calculamos unas 10 ha a lo sumo. Hay unos 39 huertos urbanos en Santiago. Adicionalmente no existen estadísticas oficiales de estas experiencias, lo que hace imposible su consideración. Por lo demás, los huertos urbanos tendría como casi única emisión, el consumo de nitrógeno vía fertilización, lo cual ya está considerado en la tasa de consumo nacional.

El efecto de la degradación de los suelos

Un elemento que surgió durante el desarrollo del estudio fue la consideración de la degradación de suelos como una variable que podría afectar a la agricultura en el futuro, particularmente en materia del balance de carbono, aptitud de uso y productividad.

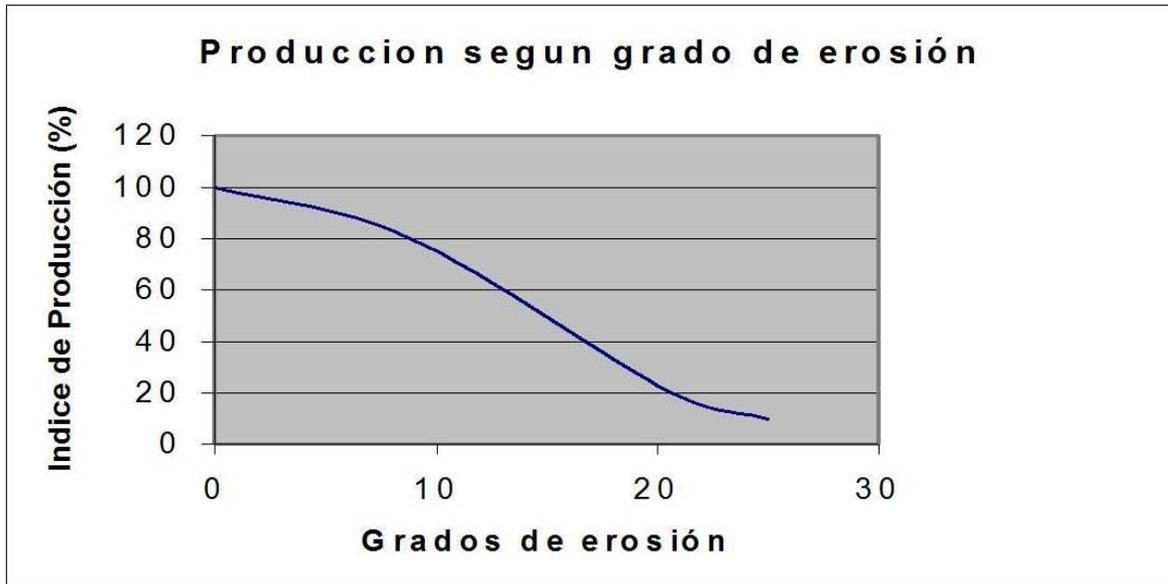
Trabajos previos realizados por el centro AGRIMED ¹² permitieron establecer una relación erosión productividad (ver figura). Este tipo de funciones podría, en versiones mejoradas del modelo, ser incorporadas al análisis de las tendencias. Ello requeriría compilar detallada información sobre erosión real de los suelos en cada región del país, información que está disponible en los trabajos previos de CIREN. A pesar de eso, no existe un catastro de la localización de los cultivos con la

¹Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario y de los recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático. CONAMA

²Impacto, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector silvoagropecuario de Chile. FIA/CONAMA/ODEPA

debida identificación de la especie, lo que hace muy difícil vincular el grado de erosión del suelo con las condiciones de producción de cada especie. Estas complejidades no son insalvables, pero requieren de un trabajo muy extenso, apoyado con alguna tecnología satelital.

Figura 6. 4. Producción de trigo y su disminución según el grado de erosión del suelo.



El término “degradación” de suelos integra una multiplicidad de factores como: erosión, compactación, contaminación, pérdida de fertilidad, salinización y elevación del nivel freático, por nombrar las principales. Si bien la erosión es la causa más relevante de la degradación de suelos, todas las variables están presentes en los suelos cultivados en mayor o menor grado. El país no dispone de evaluaciones de estas variables, así como tampoco del establecimiento de funciones de producción para cada una de ellas, razones que no permite, en la actualidad, incorporarlas a un modelo. A partir de estimaciones indirectas podría considerarse la más importante de ellas, cual es la erosión, pero para ello necesariamente hay que aceptar trabajar con variable “proxi” en un enfoque conceptual “soft”, idea desechada durante la reuniones técnicas. Debido a la inexistencia de información sobre los impactos productivos de la degradación, no se consideró incorporar esta variable (drivers) en el presente estudio.

Seguridad alimentaria

Debido a los objetivos y alcance del presente estudio, el tema de la seguridad alimentaria no fue considerado en esta etapa.

7 Generación de información complementaria de la actividad agropecuaria

Si bien el modelo AGRI-LU proporciona una base sólida para la estimación de emisiones de GEI, a través de las estimaciones de superficie destinada anualmente a los diferentes usos del suelo (frutales caducifolios, frutales perennifolios, vides y viñas, cereales, arroz, maíz, chacras y cultivos industriales, praderas establecidas, praderas naturales y plantaciones forestales), es también evidente la necesidad de contar con otra información, para llegar a estimar emisiones de GEI, ceñidas a las metodologías publicadas por el IPCC.

Los datos de actividad requeridos y que son complementarios a los datos de superficie anual por uso del suelo, están vinculados a los siguientes ítems:

- residuos de cultivos (para estimar cantidades de N incorporado al suelo y cantidades de C y N quemados in-situ),
- fertilizantes nitrogenados (para estimar N aplicado al suelo), y
- poblaciones de especies animales domesticadas (para estimar emisiones por fermentación entérica, cantidades de estiércol gestionado en sistemas de manejo del estiércol [SME], cantidades de N por estiércol incorporado al suelo, y cantidades de N en deposiciones directas de animales en pastoreo directo).

7.1 Residuos agrícolas

Para este estudio, se trabajó con los supuestos empleados al elaborar la serie 1984/2006 de inventarios nacionales de GEI; cuyas fuentes de información fueron las siguientes:

- productividad de cereales: censos nacionales agropecuarios,
- cantidad por ha de sarmientos de poda: juicio de experto¹,
- constantes vinculadas a los cultivos (relación residuo/producto, fracción de C y N en residuos, fracción de materia seca en residuos), tomadas de Rodríguez. 1994; Acevedo. E. 2003; Avendaño, A.2003.
- fracción de residuo que es quemado in-situ: juicio de expertos²
- eficiencia de combustión y factores de emisión de metano y óxido nitroso: valores por defecto del IPCC.

Con estos datos, fue posible estimar las emisiones de GEI de los escenarios anuales, para el período 2007/2050. Dado que, en este estudio, solo se contó con valores anuales de superficie ocupada por cereales y no por especies individuales, se debió generar valores representativos del rubro para cada una de las variables reconocidas en las ecuaciones de cálculo, basados en la o las especies de mayor importancia; en el caso de los cereales, esta especie correspondió al trigo.

Por otra parte, es evidente en el ámbito agrícola que el uso del fuego como herramienta para eliminar rápida, eficiente y fácilmente los residuos biomásicos de los cultivos, se encontraba al año

¹Ricardo Adonis (FDF)

²Francisco Tapia y Pablo Gamboa (INIA-La Platina)

2006 en franco retroceso al menos para los sarmientos de poda; de hecho, la elaboración de los inventarios consideró que la eliminación de estos residuos por vía del fuego descendió del 95% al 5% entre los años 1984 y 2006, debido a:

- una normativa ambiental (representada por los decretos exentos 100 [1990], 89 [1997], 584 [2006] y 464 [2001], todos ellos del MINAGRI), que está restringiendo progresivamente las quemas agrícolas en la Región Metropolitana y la Provincia de Cachapoal, durante otoño e invierno,
- una presión de los mercados externos para que la producción de fruta chilena se ciña a códigos de buenas prácticas, como el ceñirse a códigos de buenas prácticas (ejemplo, EUREPGAP Y HACCCP) lo que ha ido obligando a los productores nacionales a reemplazar la quema de sarmientos de poda por suma incorporación al suelo¹, y
- una creciente valoración de los residuos orgánicos, como fuentes de energía (biogás, alimento de animales) y nutrientes para las plantas, lo que está conduciendo a reducir los volúmenes de residuos que son quemados in-situ.

Estos antecedentes permiten visualizar objetivamente que la quema in-situ de sarmientos de poda es una actividad que cesará dentro de un futuro cercano; como efecto espejo, esto debería repercutir en una progresiva menor quema a futuro de residuos de cultivos anuales agrícolas, aunque el término de esta práctica no sería tan cercano como el de los huertos frutales.

7.2 Consumo futuro de fertilizantes nitrogenados

Una de las variables con mayor impacto en las emisiones de GEI de la agricultura es el consumo de nitrógeno, en la forma de fertilizantes comerciales. Para el presente estudio, la cantidad total de N, en la forma de fertilizante sintético, anualmente consumido en el país, fue estimada asumiendo al inicio una tasa de cambio anual consistente con la tendencia histórica de cambio entre 1984 y 2006. Se estima que una tendencia construida con valores reales es la mejor instancia integradora de todas las variables conductoras del consumo de fertilizantes por la agricultura.

A contar de mediados del período 2007-2050, se introdujo una corrección a la baja de la tasa de cambio considerada para los primeros años de la serie temporal, como una forma de reflejar el impacto de la promulgación –hecho más que probable– de normas de calidad ambiental que impongan restricciones crecientes al uso de este nutriente vegetal. El **Cuadro 7.1.**, y la **Figura 7.1.**, muestran los valores anuales futuros de consumo de nitrógeno proveniente de fertilizantes nitrogenados.

Cuadro 7. 1. Consumo anual de N, en la forma de fertilizantes comerciales, en el período 1984-2050

Año	kton N/año	Año	kton N/año	Año	kton N/año
1984	99,230	2006	306,814	2028	504,961
1985	108,666	2007	316,249	2029	509,679

¹Específicamente en el ámbito de los huertos frutales, hoy día prácticamente todos los productores cuentan con máquinas chipeadoras de los sarmientos de poda, lo que le permite luego incorporarlos al suelo

1986	118,102	2008	325,685	2030	514,397
1987	127,537	2009	335,120	2031	519,115
1988	136,973	2010	344,556	2032	522,653
1989	146,408	2011	353,992	2033	526,191
1990	155,844	2012	363,427	2034	529,730
1991	165,280	2013	372,863	2035	533,268
1992	174,715	2014	382,298	2036	536,806
1993	184,151	2015	391,734	2037	539,460
1994	193,586	2016	401,170	2038	542,114
1995	203,022	2017	410,605	2039	544,768
1996	212,458	2018	420,041	2040	547,421
1997	221,893	2019	429,476	2041	550,075
1998	231,329	2020	438,912	2042	552,729
1999	240,764	2021	448,348	2043	555,383
2000	250,200	2022	457,783	2044	558,036
2001	259,636	2023	467,219	2045	560,690
2002	269,071	2024	476,654	2046	563,344
2003	278,507	2025	486,090	2047	565,998
2004	287,942	2026	495,526	2048	568,652
2005	297,378	2027	500,243	2049	571,305
				2050	573,959

* Entre 1984 y 2006, datos reales tomados de FAOESTAR. Entre 2007 y 2050, datos proyectados

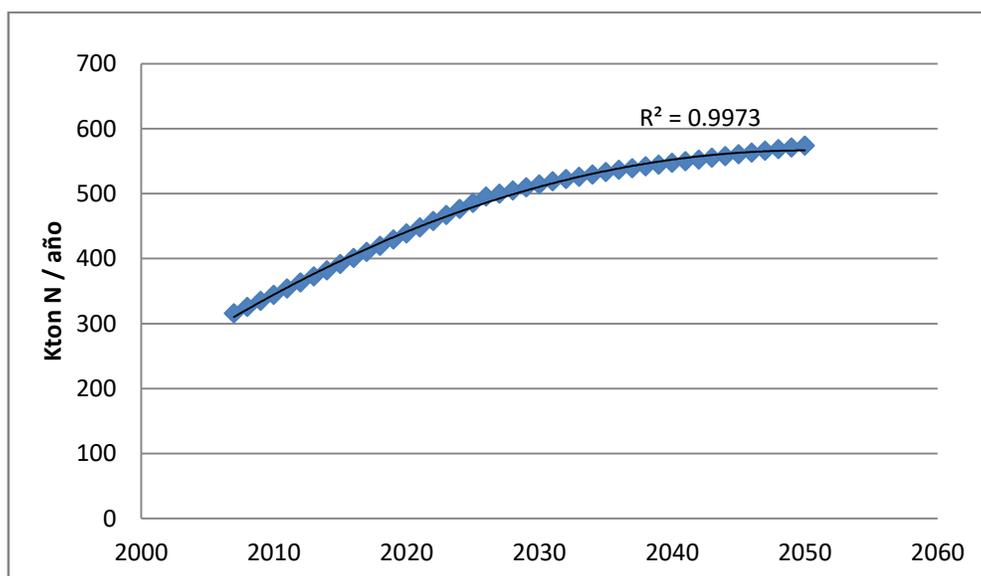


Figura 7. 1. Protección del consumo de N-fertilizantes, entre 1007 y 2050

Estos valores anuales nacionales proporcionan el marco referencial al consumo futuro de nitrógeno, contenido en fertilizantes sintético, en la agricultura nacional. Estos valores

permitirán validar y/o incorporar factores de corrección a los consumos emergentes de la sumatoria de los usos del suelo, según la superficie asignada a cada uno por el modelo AGRI-LU. La proyección futura de consumo de nitrógeno emergente de la suma de los consumos por uso del suelo debe igualar el consumo nacional proyectado sobre la base de la tendencia mostrada en la **Figura 7.1**.

Las estimaciones de emisiones directas e indirectas de óxido nítrico, emergentes de la aplicación de nitrógeno al suelo, requieren una serie de parámetros y factores de emisión (para emisiones directas, e indirectas por lixiviación y volatilización). Las dosis de nitrógeno, asignadas a cada uso del suelo y los factores de emisión que son requeridos, se presentan en el **anexo 12.1**.

7.3 Poblaciones de especies animales domésticas

Las poblaciones de animales domésticos son importantes datos de actividad, que condicionaban casi el 50% de las emisiones agropecuarias de GEI.

En el caso de Chile y de acuerdo al inventario nacional 2006 de GEI, las especies ganaderas de mayor impacto en las emisiones nacionales son los vacunos, porcinos y aves, seguidas a distancia considerable por las restantes especies animales, que corresponden a:

- ovinos,
- caprinos,
- equinos,
- mulares y asnos, y
- llamas y alpacas (camélidos sudamericanos domesticados).

Dado que los datos de actividad futuros de las poblaciones animales futuras no son salidas del modelo AGRI-LU, estos valores debieron ser estimados fuera del sistema e integrados posteriormente al modelo AGRI-LU, para calcular las emisiones de GEI. En lo fundamental, los valores de futuros de la población por especie animal fueron estimados extrapolando las tendencias reales experimentadas por las poblaciones entre los años 1977 y 2006, y posteriormente corregidos en función de algunas consideraciones, como por ejemplo posibles aperturas de nuevos mercados y pronósticos de crecimiento futuro, conforme a juicio de experto.

Las tendencias históricas fueron construidas con los datos poblacionales obtenidos de los censos nacionales agropecuarios de los años 1976/77, 1996/97 y 2006/07, con interpolación de valores intermedios entre dos censos consecutivos; cabe recordar que los datos del censo 1986/87 no fueron publicados, por lo que la serie histórica entre 1977 y 2006 fue construida con tres puntos y no cuatro, como debió haber ocurrido. Estos datos difieren ligeramente de los empleados en la elaboración de la serie 1984/2006 de inventarios nacionales de GEI, donde se usó como valor anual el promedio de tres valores anuales consecutivos.

Debe tomarse en cuenta que la demanda y oferta de productos de origen animal así como la de cualquier otro producto agrícola, determina en gran medida -aunque no en su totalidad- la oferta que el país debiera tener para satisfacer la demanda. Sin embargo, hay una serie de circunstancias que hacen difícil de modelar la demanda y la oferta de un producto agrícola en particular, a saber:

- en primer lugar, en una agricultura como la chilena, caracterizada por estar abierta al mundo, factor que involucra un importante flujo exportador junto a uno importador de menor cuantía aunque no por ello menos importante, la demanda es determinada no solo por la preferencia de la población nacional sino que muy fundamentalmente por el mundo (al menos, los principales mercados abiertos a los productos nacionales),
- en segundo lugar, la oferta que el país puede hacer de un producto podrá satisfacer la demanda hasta el punto en que las condiciones edafoclimáticas lo permitan; esto significa que, en muchos casos, la oferta potencial será menor a la demanda existente,
- en tercer lugar, el establecimiento de un sistema productivo en un territorio entra en competencia con los otros usos para los cuales ese territorio tenga aptitudes, ganando en la mayoría de los casos, aquél uso con la mayor rentabilidad¹, y
- en cuarto lugar, siendo la agricultura un sistema biológico gestionado por entes biológicos (los seres humanos), las respuestas posibles de obtener ante un estímulo determinado (p.e., mayor demanda y mejores precios de productos cárnicos) no necesariamente sigue la lógica económica ya que la respuesta puede estar condicionada por los gustos y preferencias de los agricultores².

En consecuencia, tomando en cuenta estas consideraciones, muchas de las cuales no han sido estudiadas ni menos evaluadas, la mejor estrategia asumida por los consultores para estimar el tamaño futuro de las poblaciones animales fue basarse en las tendencias experimentadas por las poblaciones en los últimos 30 años, esto es entre los años 1977 y 2006, por corresponder la integración de todas las variables que influyen o condicionan cambios en las poblaciones animales. Las poblaciones proyectadas de las diferentes especies animales son presentadas en el **Cuadro 7.2.**

¹*Esto explica justamente el desplazamiento que hoy día los sistemas ganaderos sufren por sistemas de cultivos permanentes. Esto puede significar que, por alta que sea la demanda, es muy posible que el país no la pueda satisfacer debido a la concurrencia de otros sistemas más rentables*

²*A este respecto, la tradición familiar tiene mucho peso en la toma de decisiones productivas*

Cuadro 7. 2. Población de especies animales (cabezas por año), proyectada para el período 2007-2050

	2006*	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	3.049.330	3.128.392	3.294.185	3.541.308	3.745.233	3.909.281	4.017.924	4.094.914	4.145.281	4.173.623	4.183.991
Bovinos leche	684.406	702.151	739.362	794.828	840.598	877.417	901.802	919.082	930.386	936.748	939.075
Porcinos	2.889.308	2.947.445	3.079.696	3.305.924	3.520.405	3.721.783	3.889.856	4.041.706	4.177.315	4.296.935	4.401.035
Aviaries	48.708.242	49.688.330	51.917.816	55.731.593	59.347.344	62.742.185	65.900.205	69.154.102	72.185.576	74.991.492	77.649.810
Caprinos	706.597	706.561	704.745	702.942	701.167	699.407	697.657	695.915	694.178	692.446	690.719
Equinos	307.793	307.780	307.750	307.710	307.678	307.652	307.631	307.615	307.601	307.591	307.582
Mulares	22.329	22.327	22.323	22.317	22.312	22.309	22.306	22.303	22.301	22.300	22.298
Llamas y Alpacas	80.681	80.681	80.681	80.681	80.681	80.681	80.681	80.681	80.681	80.681	80.681
Ovinos	3.882.124	3.903.425	3.928.744	3.997.740	4.067.947	4.139.388	4.191.333	4.243.931	4.297.189	4.351.115	4.405.718

*Valor de 2006 es real (Fuente: INE, APA, ODEPA, FAOESTAT); restantes valores son proyecciones

Vacunos

El año 2005, la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura (MINAGRI) entregó a conocimiento público el libro “Agricultura Chilena 2014: una perspectiva de mediano plazo” en el cuál hace un análisis de lo que podría ocurrir con los vacunos, porcinos, cerdos y aves, en el horizonte temporal 2004-2014.

Según esta publicación, entre los años 1972 y 2004, la producción nacional de leche aumentó 2,5 veces, pasando de 880 a 2.250 millones de litros, con una tasa de crecimiento promedio anual del 3% en el período, lo que alrededor del doble del crecimiento de la población. Las exportaciones de productos lácteos se iniciaron a mediados de la década de los 80, representando hasta el año 2000, sólo entre 1% y 3% de la producción nacional; a contar de 2001, las exportaciones comenzaron a presentar un sostenido crecimiento, alcanzando en 2004, un volumen equivalente a 288 millones de litros, lo que representó cerca del 13% de la producción nacional.

El pronóstico de ODEPA fue que, en el período 2004-2014, el consumo per cápita de leche continuará creciendo a un ritmo levemente superior al observado en la década pasada, como resultado del incremento de ingresos y de intensas campañas de promoción del consumo: una tasa de crecimiento promedio anual de 2,7%, lo que implicaría un incremento desde los actuales 117 litros per cápita a 134 litros en 2009 y a 153 litros en 2014. El consumo interno global crecería de los 2.250 millones de litros, de 2004, a 4.029 millones de litros al año 2014 (**Cuadro 7.3.**).

Según ODEPA, el comportamiento dinámico de las exportaciones de productos lácteos en los últimos años, permite proyectar a corto plazo intensos ritmos de crecimiento, que debieran ir frenándose. Por ello, se plantea un crecimiento medio del 20% anual entre 2004 y 2007, de 15% entre 2007 y 2010, y de 10% entre 2010 y 2014, lo que permitiría llegar en 2014 un volumen de exportación de casi 1.110 millones de litros de leche equivalente (27% de la producción nacional).

Sobre estas bases, ODEPA planteó una tasa de crecimiento de la producción nacional de leche de un 6%, como promedio anual, entre 2004 y 2014, respaldada en las tendencias históricas y los procesos de modernización tecnológica del sector, con un volumen de importaciones en decrecimiento. Esta posición se veía reforzada por la presión ejercida por China, en función a las crecientes demandas de alimentos, lo que permitió prever un impacto positivo sobre las exportaciones nacionales de productos lácteos, aunque difícil de caracterizar y de cuantificar (**Cuadro 7.4.**).

Cuadro 7. 3. Proyecciones de la producción de leche

Años	Tasa de crecimiento anual de la producción	Producción nacional (millones de litros)	Oferta nacional para consumo humano (*)
2004		2.250,0	2.029,5
2009	6%	3.011,0	2.779,2
2014	6%	4.029,4	3.767,5

Fuente: ODEPA (2005) (*) La diferencia entre la producción nacional y la oferta nacional para consumo humano corresponde a consumo animal (alimentación de terneros) y mermas en predio.

Cuadro 7. 4. Proyección de importación de productos lácteos

Años	Volumen millones de litros
2004	147,0
2009	149,0
2014	53,7

Fuente: ODEPA (2005)

Partiendo de la base de un consumo nacional e internacional creciente de productos lácteos, gracias al incremento de la poblacional, mayor consumo per-cápita, la ventaja competitiva de Chile por ser un país libre de fiebre aftosa y las expectativas de expansión postuladas por ODEPA, es que se consideró que la población de vacas lecheras entraría en un crecimiento sostenido hasta acumular un 37,5% de incremento al año 2050, respecto del año 2006. Los valores poblacionales proyectados para el período 2007-2050 son presentados en el **Cuadro 7.2**.

En cuanto a la carne bovina, es sabido que la producción nacional no es suficiente para satisfacer la demanda nacional, requiriéndose de un aporte creciente de las importaciones, las que al año 2004, alcanzaron a un 50% de la demanda interna, lo que contrasta con el 30% del año 1997(ODEPA 2005).

La producción nacional ha estado orientada básicamente a satisfacer una demanda interna creciente. En el período 1990-2004, la tasa de crecimiento del consumo de carne bovina por persona en Chile fue de sólo 1,9% anual, lo que se ubicó por debajo de la tasa de crecimiento del conjunto de todas las carnes, que alcanzó un 5% en el mismo período. Sin embargo, desde el 2002, hubo un repunte con crecimientos que se ubicaron por el 4% anual. De esta forma, al año 2004, el consumo anual por habitante alcanzó los 24 kilos, cifra que se ubica entre las más altas en los últimos 30 años (ODEPA 2005).

La exportación de carne bovina ha sido un tema de menor cuantía, aunque se prevé que podría expandirse notablemente por el hecho de ser Chile un país libre de fiebre aftosa y facilitado por la firma de acuerdos comerciales con la Unión Europea, México y Estados Unidos de América, y el apoyo dado por MINAGRI a la homologación de un sistema nacional de inspección y certificación de carnes que facilitará el acceso de las carnes a los diferentes mercados de destino. Desde 2002, se verificó un fuerte incremento de las exportaciones, las que pasaron de 3.524 toneladas a algo más de 9.000 toneladas, entre 2002 y 2004, con una tasa de incremento anual del orden de 60%. Cabe señalar que al año 2000, las exportaciones no superaron las 110 toneladas.

Sobre estos antecedentes, ODEPA proyectó para el período 2004-2014, un incremento del 37% del consumo interno de carne bovina y un incremento del 556% de la carne exportada (**cuadros 7.5. y 7.6.**). Con ello, ODEPA concluyó que, al año 2014, habría una mayor oferta del 62,3% de carne bovina, comparada con el año 2004; por cierto, esta mayor oferta provendría de un incremento de la masa animal, generando con ello un quiebre en la tendencia decreciente mostrada por la población de estos animales en el último decenio.

Cuadro 7. 5. Proyección del consumo interno de carne bovina

Años	Tasa de crecimiento anual aproximada en cada período	Volumen total (toneladas) (*)
2004	-	388.573
2009	3,20%	455.730
2014	3,10%	531.591

Fuente: ODEPA (*) Las importaciones de carne deshuesada están reducidas a carne en vara

Cuadro 7. 6. Proyección de las exportaciones de carne bovina

Años	Tasa de crecimiento anual aproximada en cada período	Volumen total (toneladas) (*)
2004	-	22.949
2009	30,00%	86.700
2014	11,00%	150.450

Fuente: ODEPA (*) Las importaciones de carne deshuesada están reducidas a carne en vara

Cuadro 7. 7. Proyecciones de la oferta nacional de carne bovina

Años	Tasa de crecimiento anual	Miles de cabezas	Volumen de carne en vara (toneladas) (*)
2004	-	821	208.258
2009	5,00%	1.048	265.000
2014	5,00%	1.338	338.000

Fuente: ODEPA (*) 253 kg por cabeza

Tomando en cuenta estos antecedentes, en este estudio se asumió una tendencia futura creciente de la población bovina para producción de carne, con un incremento acumulado del 3,75% al año 2050. Esta cifra responde a los cambios en las demandas y a las mejoras tecnológicas del sector. Los valores anuales proyectados para el período 2006-2050 son mostrados en el **Cuadro 7.2.**

Porcinos

La tendencia poblacional construida con los datos poblaciones tomados de la serie 1994/2006 de los inventarios de GEI, es consistente con el análisis hecho por ODEPA (2005), sobre la conducta que posiblemente tendría la población porcina en el período 2004/2014. Según esta entidad, la oferta de carne de porcino del país experimentó entre 1984 y 2004 un sostenido aumento, el que acumuló al año 2004 un aumento del 393,9% de aumento, respecto de 1986, como se deduce del

Cuadro 7.8. Esto obedece tanto a una mayor demanda interna del producto como a un mercado internacional también fuertemente demandante de este, como se muestra en el **Cuadro 7.9.**

Cuadro 7. 8. Faenamiento de porcinos en Chile (período 1986-2004)

Años	Cabezas miles	Carne toneladas	kg / animal
1986	1.063,80	75.495,00	71
1988	1.383,60	100.112,50	72,4
1990	1.666,70	123.170,50	73,9
1992	1.754,80	137.570,90	78,4
1994	1.992,50	160.814,20	80,7
1996	2.330,50	184.698,10	79,3
1998	2.839,30	235.014,10	82,8
2000	3.050,80	261.477,10	85,7
2001	3.376,30	303.005,70	89,7
2002	3.827,30	350.721,10	91,6
2003	3.900,50	365.343,30	93,7
2004	3.974,70	372.844,90	96,8

Fuente: ODEPA 2005

Cuadro 7. 9. Exportaciones de carne de cerdo

Años	Volumen toneladas	Valor miles de US\$
1994	4.113	10.197
1995	2.119	4.957
1996	2.161	5.396
1997	10.098	22.727
1998	12.852	29.841
1999	7.525	23.741
2000	12.982	44.851
2001	24.555	69.041
2002	45.592	105.564
2003	61.604	150.204
2004	78.797	234.599

Fuente: ODEPA 2005.

Con estos antecedentes, ODEPA asumió que los incrementos en el consumo interno y las exportaciones se mantendrían durante el decenio siguiente, hasta llegar a los valores que se indican en los **cuadros 7.10.y 7.11.**

Cuadro 7. 10. Proyección del consumo interno de carne de cerdo

Años	Tasa de crecimiento anual del consumo total	Consumo Total Toneladas	Consumo per cápita kg / habitante
2004	--	294.000	18,2
2009	6%	393.000	23,2
2014	6%	526.000	29,6

Fuente: ODEPA 2005.

Cuadro 7. 11. Proyección de las exportaciones de carne de cerdo

Años	Hipótesis baja			Hipótesis alta		
	Tasa de crecimiento anual del volumen de exportaciones	Volumen ton	Valor miles US\$	Tasa de crecimiento anual del volumen de exportaciones	Volumen ton	Valor miles US\$
2004	--	79.000	235.000	--	79.000	235.000
2009	7%	110.000	327.000	16%	166.000	495.000
2014	7%	155.000	460.000	16%	350.000	1.041.000

Fuente: ODEPA 2005.

La satisfacción de estas metas pasa necesariamente por un incremento substancial en la producción de carne de cerdo hasta alcanzar los niveles indicados en el **Cuadro 7.12.**, lo que solo se puede obtener con un incremento importante y sostenido de la población porcina del país.

Cuadro 7. 12. Proyección de la producción de carne de porcinos

Años	Hipótesis baja	Hipótesis alta
	Producción (toneladas)	
2004	373.000	373.000
2009	503.000	559.000
2014	681.000	876.000

Fuente: ODEPA 2005.

Tomando en cuenta la tendencia de crecimiento experimentada por la población porcina entre los censos agropecuarios 1976/77 y 2006/07 y el análisis hecho por ODEPA (2005), es que este estudio consideró que la población porcina seguirá incrementándose sostenida y significativamente, con alguna restricción futura producto de un creciente rechazo de las comunidades establecidas en la vecindades de los planteles porcinos.

Al año 2006, se contaba con una serie de evidencias de que las comunidades empezaban a sentirse incomodadas por la contaminación proveniente de los planteles porcinos (malos olores, incidencia de vectores de enfermedades, gestión inadecuada de purines). De hecho, en el período 1999/2004, INIA-La Platina desarrolló una serie de estudios tanto para la CONAMA como para el

Servicio Agrícola y Ganadero, conducentes a evaluar el impacto contaminante de los planteles porcinos en su entorno.

Con todo ello en cuenta, este estudio configuró una tendencia futura de crecimiento de la población porcina que conlleva un crecimiento del 59,4% al año 2050 y que incluye una reducción de la tasa de incremento anual, a contar del año 2025, para reflejar el impacto de posibles nuevas regulaciones ambientales para el emplazamiento y funcionamiento de planteles porcinos.

Aves

De acuerdo a ODEPA (2005), la expansión poblacional es consistente con los datos de beneficio de aves en el período 1992-2004, que se presentan en el **Cuadro 7.13.**; este cuadro señala un incremento del 78,6% en el beneficio de aves y del 143,5% en la carne producida.

Cuadro 7. 6. Beneficio de aves de Chile

Años	Miles de aves	Toneladas
1992	114.576	219.683
1993	131.358	262.994
1994	147.420	304.827
1995	155.672	320.919
1996	158.960	344.372
1997	163.705	351.475
1998	176.191	382.289
1999	178.276	392.203
2000	191.778	438.165
2001	202.892	485.140
2002	184.381	452.162
2003	185.658	464.405
2004	204.626	535.002

Fuente: ODEPA 2005.

Consistente con el aumento de producción, también ha crecido fuertemente la exportación de carne de ave, llegando a acumular un incremento del 393% en el período 1992/2004 (**Cuadro 7.14.**).

Cuadro 7. 7. Exportaciones de carne de aves

Años	Volumen (toneladas)	Valor (miles de US\$)	Precio medio (miles US\$ / ton)
1994	10.477,3	15.063,9	1,4
1995	8.717,3	12.461,0	1,4

1996	10.271,0	13.107,5	1,3
1997	14.073,5	17.594,2	1,3
1998	14.186,6	15.217,0	1,1
1999	14.499,2	16.083,9	1,1
2000	17.929,7	23.342,8	1,3
2001	27.600,7	38.177,5	1,4
2002	17.651,6	22.409,9	1,3
2003	25.210,5	40.405,3	1,6
2004	51.550,4	93.603,4	1,8

Fuente: ODEPA 2005.

Sumando el incremento sostenido del consumo interno de carne de pollo y el de la exportación, ODEPA (2005) asumió una proyección de crecimiento futuro de la producción de este producto, que se muestra en el **Cuadro 7.15.** y que indica un crecimiento de 62,9% en la producción, la que deberá ser sostenida por un aumento consistente de la población de aves.

Cuadro 7. 15. Proyección de la producción interna de carne de pollo

Años	Tasa de crecimiento anual de la producción	Toneladas
2004	--	446.200
2009	5%	569.500
2014	5%	726.800

Fuente: ODEPA 2005.

Para este estudio, se consideró como altamente probable una fuerte expansión futura de la población de aves; por ello, se proyectó una población que acumularía un incremento del 86,8% al año 2050, no obstante incluir una restricción a la expansión hacia el 2025 por la promulgación futura de normas de calidad ambiental que impongan nuevas restricciones al establecimiento y funcionamiento de plantas avícolas.

Ovinos

De acuerdo a ODEPA (2005), el beneficio de animales en el país se redujo sostenidamente entre los años 1986 y 2004, acumulando una reducción global del 16,6% en el número de cabezas sacrificadas y del 27,3% en las toneladas de carne producidas (**Cuadro 7.16.**). El **Cuadro 7.17.**, (También tomado de ODEPA, 2005) indica que las exportaciones subieron en un 36,9% en el mismo período aunque en un nivel de toneladas que representa menos del 1% de la producción nacional.

Cuadro 7. 16. Beneficio de ovinos a nivel nacional

Años	Beneficio (cabezas)	Beneficio (toneladas)	Peso medio canal (kg / animal)
------	---------------------	-----------------------	--------------------------------

1986	796.363	13.123,5	16,5
1988	873.217	14.063,2	16,1
1990	955.345	14.879,7	15,6
1992	774.395	12.783,9	16,5
1994	802.289	12.179,7	15,2
1996	563.336	8.788,5	15,6
1998	745.268	11.335,3	15,2
2000	786.915	11.141,3	14,2
2001	740.648	10.883,8	14,7
2002	729.850	9.857,1	13,5
2003	675.738	9.624,5	14,2
2004	663.838	9538,8	14,4

Fuente: ODEPA 2005.

Cuadro 7. 17. Exportaciones nacionales de carne ovina

Años	Volumen (toneladas)	FOB (millones de US\$)	Precio medio (US\$ / kg)
1994	3.927	6,4	1,6
1995	2.742	5,1	1,9
1996	2.046	4,3	2,1
1997	3.304	7,6	2,3
1998	3.709	6,9	1,9
1999	4.596	8,3	1,8
2000	3.828	7,4	1,9
2001	4.785	10,5	2,2
2002	4.296	11,3	2,6
2003	5.105	16,3	3,2
2004	5.375	20,0	3,7

Fuente: ODEPA 2005.

Con estos antecedentes y teniendo presente que hay un fuerte condicionamiento geográfico del emplazamiento ovino, en este estudio se consideró que la población ovina tendría una expansión ligera que la llevaría a acumular un 11,1% de crecimiento al año 2050.

Otras especies

Sobre la base de las tendencias históricas, descritas precedentemente, en este estudio se asumió que las poblaciones de las especies menores tendrían las siguientes proyecciones futuras:

- caprinos: un descenso del 21,6% al año 2050, respecto de la población existente al año 2007,
- equinos: un descenso del 4,3% al año 2050, respecto de la población existente al año 2007,
- mulares y ásnidos: un descenso del 19,8% al año 2050, respecto de la población existente al año 2007, y

- llamas y alpacas: un descenso del 4,3% al año 2050, respecto de la población existente al año 2007.

7.4 Otros datos de actividad requeridos: emisiones de base ganadera.

Los factores de emisión aplicados en este estudio, han sido incluidos en anexos 12.2 y 12.3. La gran mayoría de estos valores corresponden a factores por defecto del IPCC, excepto para los vacunos. Para estos animales, el país cuenta con factores de emisión nivel 2. Dado que, para este estudio, se trabajó con datos poblacionales únicos, se debió calcular un factor de emisión ponderado, para lo cual se tomó en cuenta los factores de emisión por tipo animal y tipo de gestión, y la desagregación de la población en tipos de animales tenida al elaborar la serie 1984/2006 de inventarios nacionales de GEI.

Las emisiones de óxido nítrico por gestión del estiércol requieren traducir el número anual de animales en confinamiento en nitrógeno excretado; esta última variable se multiplica por los factores de emisión propios de los sistemas de manejo del estiércol (SME) a los que estén afectos los animales que son mantenidos bajo confinamiento.

Tanto los valores de factores de emisión aplicados en este estudio y la distribución de las poblaciones animales por sistema de gestión del estiércol, han sido incluidos en el anexo 11.1.4.

Cabe recordar que se trabajó con los supuestos tenidos al elaborar la serie 1984/2006 de inventarios nacionales de GEI¹ y que cubren una serie de datos de actividad paramétricos (como la distribución de las poblaciones nacionales por SME y pastoreo directo), que no están cubiertos por las estadísticas nacionales ni por estudios específicos.

En cuanto al confinamiento animal y su distribución (la cual se mantuvo a lo largo de la proyección 2007 – 2050) en los diferentes SME, el juicio de experto² indicó en dicha oportunidad que los animales se distribuían de la siguiente forma:

- vacas lecheras:
 - en regiones XV a IV: 100% confinadas (sistemas líquidos),
 - en regiones V a VII: 77% confinadas (sistemas líquidos) y 23% en pastoreo,
 - en la región VIII: 38% confinadas (sistemas líquidos) y 62% en pastoreo,
 - en regiones IX a XII: 15% confinadas (sistemas líquidos) y 85% en pastoreo,
- vacunos no-lecheros: 65% confinados (8% con sistemas líquidos; 92% con sistemas de esparcimiento diario) y 35% en pastoreo,
- porcinos: 100% confinados (80% con lagunas anaeróbicas; 15% con sistemas de esparcimiento diario; 5% con sistemas de almacenamiento sólido),
- aves (pollos, patos, gansos, pavos): 100% confinadas (100% con sistemas de almacenamiento sólido), y
- ovinos, caprinos, equinos, mulares, asnales y camélidos sudamericanos (llamas y alpacas): 100% en pastoreo.

¹Inventarios de Emisiones de Gases Invernadero, de los sectores "Agricultura", "Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura" y "Residuos", serie 1984/2006", elaborados por INIA (2010) para el MMA, bajo contrato con PNUD

²Dr. Francisco Salazar S., especialista en Producción Animal, actualmente Director Regional INIA-Remehue

Estos supuestos fueron mantenidos para toda la serie 2007/2050, por las siguientes razones:

- los datos de base (distribución de los animales entre SME) tienen una alta incertidumbre, por lo que cambios porcentuales entre los diferentes SME estarían cayendo dentro del rango de la incertidumbre, y
- los cambios porcentuales entre sistemas de manejo del estiércol no tendrían grandes impactos sobre las emisiones de óxido nitroso.

Las emisiones de óxido nitroso por animales en pastoreo directo son estimadas en forma similar a las de la gestión del estiércol con la diferencia que, en este caso, se requiere contar con la fracción de las poblaciones animales que son mantenidos en pastoreo a campo abierto, lo que significa excluir la fracción animal que es mantenida bajo confinamiento, con la excepción de los animales cuyo estiércol es esparcido diariamente sobre el suelo; para efectos prácticos, estos animales son considerados como animales en pastoreo.

7.5 Cambio de uso del suelo

En esta oportunidad, no fue posible contar con la información suficiente para establecer los cambios anuales de uso del suelo ni siquiera totales, para hacerlas compatibles con el método 1 para estimar la representación del uso del suelo del IPCC-2006. Este método se encuentra descrito por el IPCC en sus manuales metodológicos y corresponde a una estimación simple de las emisiones según la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones} = \text{Dato de actividad} * \text{factor de emisión.}$$

Los problemas que debieron enfrentarse fueron los siguientes:

- no contarse con un territorio cerrado, esto es, que la suma de la superficie asignada a los distintos usos del suelo en diferentes escenarios anuales sea la misma; en este caso, la suma de los usos del suelo del modelo AGRILU no totaliza la superficie total del país, con lo que no es posible –solo por la observación de los datos- asignar origen-destino a la superficie que cambió de uso, y
- falta total de trazabilidad de los cambios de uso del suelo, que permita establecer el dúo origen-destino necesario que permita asignar el algoritmo adecuado de cálculo de las emisiones y/o capturas de GEI emergentes del proceso de cambio de uso.

En función de las posibilidades del estudio, no fue posible establecer los cambios de uso en todas las categorías de uso del suelo, que reconoce el IPCC; solo fue posible estimar cambios de uso en las categorías “suelos forestales-plantaciones forestales”, “praderas” y “suelos agrícolas”, aunque la estimación de expansión de la superficie de plantaciones forestales provino de las estimaciones tenidas por el INFOR al año 2006. El **Cuadro 7.18.**, presenta las superficies anuales asignadas a cada uso del suelo por el modelo AGRILU.

Cuadro 7. 18. Superficie anual (en kha) proyectada para cada uso del suelo, que reconoce el modelo AGRILU

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Frutales caducos	200	203	211	223	234	244	252	259	264	267	269
Frutales persistentes	84	87	96	112	130	150	170	191	214	236	259
Viñas	127	130	140	156	168	176	181	184	183	180	175
Chacras, Indust., y Frut. Menores	232	225	213	196	180	166	154	143	133	124	116
Cereales	439	435	427	415	399	380	361	341	320	300	279
Arroz	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Maíz	123	124	127	133	138	143	148	152	156	159	162
Hortalizas	96	97	100	106	111	117	122	127	131	135	139
Pradera	1051	1055	1075	1106	1117	1108	1081	1038	980	912	837
Plantación forestal	2202	2214	2250	2309	2368	2426	2485	2542	2600	2657	2713
Pradera natural	10907	10927	10964	10973	10901	10765	10576	10344	10075	9776	9451
Áreas silvestres (NO SNASPE)	14335	14261	14054	13732	13432	13154	12895	12654	12429	12219	12023
Suelo Arable	2379	2383	2416	2474	2506	2512	2497	2462	2409	2342	2263
Total Gestionada	15488	15524	15630	15756	15775	15703	15558	15348	15084	14774	14426
Nueva área agrícola	10	4	33	58	31	7	-15	-35	-53	-67	-79
Nuevas plantación forestal		12	36	59	59	59	58	58	57	57	56

Cuadro 7. 19. Asignación de origen-destino para los cambios de uso del suelo (en %) Se entiende por “origen” al uso que reemplaza a otro anterior, llamado “destino”

		DESTINO (uso actual)				
		Suelos Agrícolas	Praderas y Matorrales	Urbano	Bosque Nativo	Plantación Forestal
ORIGEN (uso previo)	Bosque Nativo	5	50	10		25
	Plantación Forestal	10	25	0	2	
	Suelos Agrícolas		25	60	8	30
	Praderas y Matorrales	85		30	90	45

Fuente: Inventarios Nacionales de GEI 1984/2006, basados en información proporcionada por CONAF

Bajo las circunstancias del estudio y en la necesidad de estimar los flujos de GEI originados por los cambios de uso anuales, se recurrió a la única opción metodológicamente abierta que fue asignar el origen (léase, uso anterior) de las nuevas hectáreas forestales, de praderas o agrícolas, en función de las tasas de cambio que pueden ser calculados con los datos de cambio de uso tenidos al elaborar la serie 1984/2006 de los inventarios nacionales de GEI, cuyos datos de base corresponden a los disponibles del Catastro Vegetacional de la CONAF, al año 2006.

Con esta asignación de uso de origen, según el nuevo uso, fue posible seguidamente aplicar los algoritmos de cálculo desarrollados para la elaboración de los inventarios nacionales y que se ciñeron a las pautas metodológicas del IPCC. El **Cuadro 7.19.**, presenta los valores de asignación de origen destino.

El **Cuadro 7.20** presenta las tasas de emisión (valores positivos) y los de captura (valores negativos) aplicables a cada par origen-destino de los cambios de uso del suelo.

Cuadro 7. 8. Tasas de emisión (+) y captura (-) para los diferentes dúos origen-destino (valores en Gg CO₂e / kha)

		DESTINO				
		Uso agrícola	Praderas y Matorrales	Urbano	Bosque nativo	Plantación forestal
ORIGEN	Bosque nativo	192,99	192,99	NE		NE
	Plantación forestal	41,71	41,71	NE	NE	
	Uso agrícola		-5,5	NE	NE	NE
	Praderas y Matorrales	31,65		NE	NE	NE

El cálculo de estas tasas de emisión/captura de GEI por los diferentes dúos de cambio de uso fue hecho aplicando exactamente los mismos algoritmos de cálculo y usando los mismos supuestos de trabajo empleados para elaborar la última serie de inventarios nacionales de GEI. Hay dos temas importantes, a saber:

- en el caso de la sustitución de bosque nativo por plantaciones forestales y de habilitación de bosque nativo para usos ganaderos (praderas) o agrícolas, el supuesto de trabajo es que estas conversiones ocurrirían en sitios donde el bosque nativo estaba degradado, con una biomasa aérea correspondiente al 50% de la condición climática del bosque nativo. La mayor parte de estos casos, aun cumple con la definición oficial de bosque, adoptada por la CONAF, la cual considera bosque a cualquier formación vegetal de altura superior a 2 metros, con al menos 20% de cobertura de copa.
- en el caso de las praderas, debe tenerse en cuenta que la definición en Chile abarca los matorrales, esto es vegetación predominantemente arbustiva con presencia arbórea importante que no cumple con los requisitos para ser clasificada como bosque; esto significa que un cambio pradera-cultivo tiende a asemejarse a la habilitación del bosque nativo por tener que eliminar una vegetación que no únicamente es herbácea, y

- las estimaciones solo incluyen cambios en la biomasa aérea viva, uno de los cinco bancos de carbono que, según el IPCC, debieran ser informados; esto ocurre por carencia de datos nacionales que cubran los otros 4 bancos de carbono (biomasa aérea muerta; biomasa subterránea viva y muerta; carbono incorporada al suelo).

8 Proyección de emisiones de GEI, en función de los escenarios anuales futuros

Los resultados de la proyección de emisiones están agrupados en el Escenario base (CSR), que supone que se cumplen tanto las tasas esperadas con los incrementos de la productividad proyectados al 2006. En este caso, las tasas de crecimiento futuras son similares a las tasas observadas por los rubros en los últimos 10 años. Este escenario está proyectado considerando una tasa de crecimiento del PIB del 4%. Adicionalmente se crearon los escenarios asociados al un PIB de 3, 5 y 6%, basado en juicio experto apoyado en una matriz de drivers que intenta traducirla tasa de crecimiento del PIB en tasas de crecimiento de cada rubro. (La matriz se incorporó como una herramienta auxiliar en la última página del AGRILU)

El abatimiento de emisiones por cambios en los factores específicos de emisión, no se ha considerado, por cuanto las investigaciones en esta materia en las últimas décadas, han tenido mínimos o ningún resultado (cambio en la fermentación ruminal, cambios en los tipos de fertilizantes, cambios en los sistemas de pastoreo y confinamiento). Respecto de las emisiones por cambio de uso del suelo, tampoco es esperable cambio significativos, si se considera que la masa de plantaciones forestales está llegando a un punto estático y que la agricultura aún posee un margen de disponibilidad de suelos importantes (5 millones de ha cultivables de las que se ocupan alrededor del 50%. No se esperan a futuro grandes traspasos de tierras desde agricultura a forestal y viceversa.

8.1 Resultados de la proyección de emisiones/capturas de GEI.

El **Cuadro 8.1.**, presenta los resultados del ejercicio de proyección de las emisiones de GEI futuras del sector “Agropecuario y Cambio de Uso del Suelo”, alcanzados con la aplicación del modelo AGRI_LU en lenguaje Excel la que fue complementada con los algoritmos de cálculo de las emisiones de GEI, ceñidas a las metodologías IPCC revisada en 1996 y las guías de buenas prácticas 2000 y 2003, además de algunos elementos tomados de la metodología IPCC 2006.

Cuadro 8. 1. Escenario Línea de Base (LB-2007) o Crecimiento sin Restricción (CSR)

		2006	2006	2007	2010	2020	2030	2040	2050
Emisiones de GEI (Gg de CO2eq)		Inventario	AGRILU						
Fermentación Entérica		4513,4	4465,8	4567,4	4778,7	5362,5	5721,7	5896,7	5960,5
Manejo del Estiércol		1821,21	1883,5	1924,1	2013,7	2294,6	2513,3	2675,9	2795,4
	CH4	1455,6	1514,1	1546,9	1619,3	1844,0	2015,3	2135,3	2219,1
	N2O	365,61	369,4	394,4	423,4	450,5	498,0	540,6	576,2
Suelos Agrícolas		6232,2	5292,2	5425,2	5622,6	6583,3	7129,3	7294,1	7115,0
	Emisiones Directas	1788,9	2068,7	2130,8	2181,6	2705,0	2978,1	3031,4	2866,0
	Por Fertilizantes	1330,29	1480,53	1532,44	1560,41	2010,53	2220,02	2218,05	2004,24
	Por Estiércol	290,46	420,00	428,95	448,91	512,58	563,92	604,93	636,82
	Por Residuos	168,17	168,17	169,40	172,25	181,86	194,16	208,39	224,92
	Emisiones Directas por Pastoreo Directo	1981,25	1994,95	2035,98	2120,81	2357,86	2505,61	2579,76	2609,48
	Emisiones Indirectas	1320,75	710,12	731,06	774,60	922,84	1015,19	1035,64	984,69
	Por Fertilizantes	1028,00	481,17	498,04	532,56	651,83	719,44	718,79	649,78
	Por Estiércol	275,93	178,50	182,30	190,79	217,85	239,67	257,10	270,65
	Por Residuos	16,82	50,45	50,71	51,25	53,16	56,09	59,75	64,26
	Emisiones Indirectas por Pastoreo	1141,31	518,42	527,40	545,67	597,62	630,40	647,32	654,84
Quema de Residuos		33,78	35,59	30,51	19,03	2,59	0,04	0	0
	CH4	32,4	33,94	29,09	18,32	2,58	0,04	0,00	0,00
	N2O	1,38	1,65	1,42	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Arroz		99	98,99	99,91	99,97	100,16	100,34	100,51	100,67
Total Emisiones Agrícolas (Gg. CO2eq)		12699,62	11776,05	12047,15	12534,01	14343,13	15464,68	15967,22	15971,56
Total Emisiones Cambio de Uso de Suelo			407,20	177,62	441,83	256,27	0,00	0,00	0,00
	Emisiones por Habilitación de Suelos		407	178	442	256,27	0,00	0,00	0,00
	Sector Forestal								
Total Emisiones (Agrícolas + Cambio de Uso de Suelo)		12699,62	12183,24	12224,77	12975,83	14599,40	15464,68	15967,22	15971,56

Lo primero que conviene señalar es el alto ajuste que se logró, entre las emisiones de GEI del año 2006 calculadas siguiendo el procedimiento para el calcular un inventario de GEI y las emisiones calculadas con el método simplificado basado en salidas del modelo AGRILU y otros ingresos manuales, desarrollado para este estudio, no obstante las diferencias en el nivel de agregación de algunos datos de actividad, como poblaciones animales y agrupaciones de cultivos.

Las emisiones globales de la agricultura, en el año 2006, fueron un 4,2% más altas calculadas con el concurso del modelo AGRILU que las calculadas durante la elaboración de los inventarios, básicamente por el hecho que en esta oportunidad se restó del cálculo de nitrógeno lixiviado, aquella fracción de nitrógeno que es aplicado en forma de fertilizantes nitrogenados a suelos donde la evapotranspiración de los cultivos es superior a la precipitación efectiva y, también, donde se aplica riego presurizado.

De acuerdo a los valores asumidos por las variables conductoras incorporadas al sistema y las proyecciones de crecimiento de las poblaciones ganaderas, bajo el esquema de un crecimiento sin restricción, la agricultura podría estar subiendo sus emisiones en un 26% al año 2050, respecto del nivel de emisiones del año 2006.

Esto significa pasar de 12.183,24 Gg CO₂e/año, en el año 2006, a 15971,56 Gg CO₂e/año, en el año 2050. Este incremento dentro de un período de 45 años, es consistente con lo medido por los inventarios nacionales (serie 1984/2006), que calculó un crecimiento del 18,4% al cabo de este período de 23 años, período que comprende una primera etapa en que se estaba consolidando la estructura productiva para sostener una estrategia exportadora, como la que hoy está plenamente armada.

En el caso de los cambios de uso del suelo, la diferencia entre el año base y el 2050 iría entre 407,2 Gg CO₂e y 0,00 Gg CO₂e. Sin embargo, a partir del año 2020, se estima que la habilitación de terrenos para cultivos y la expansión de las plantaciones forestales decrecerá significativamente, llegando a constituir actividades más bien marginales; este supuesto de trabajo está basado en el hecho que Chile tiene copado el espacio para actividades agropecuarias lo que no deja espacio para una habilitación masiva de nueva superficie agrícola.

8.2 Emisiones por fuentes.

Emisión de Metano por Fermentación Entérica

En el **Cuadro 8.1.**, puede verse que las emisiones de metano por fermentación entérica, expresadas como Gg CO₂e/año, estarían subiendo al año 2050 en un 33,4%, respecto de su valor en el año 2006, aumentando sus emisiones en 1494,7 Gg CO₂e, entre los años 2006 y 2050. Este menor porcentaje de crecimiento, si se le compara con el crecimiento global de la agricultura en este período (53.6%), podría deberse principalmente a lo siguiente:

- no se espera crecimiento de la población de todas las especies animales ganaderas existentes en el país; el cálculo de las emisiones se hizo sobre la base de aumentos en la masa animal vacuna (ciertamente, la que más influye en estas emisiones, +37,5%), la porcina (+52%), la avícola (+59%) y la ovina (+13%), y

- cambios en las masas ganaderas tienen una lenta velocidad de respuesta ante estímulos directos, especialmente cuando son favorables a una expansión, por tanto no parece lógico suponer cambios de mayor magnitud en las poblaciones, no obstante que las expectativas económicas estén apuntando hacia rentabilidades mejoradas.

El **Cuadro 8.2.**, presenta las emisiones por fermentación entérica, desagregadas por especie animal.

Cuadro 8. 2. Emisiones de metano por fermentación entérica, expresadas en Gg CO₂e

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	2.732,16	2.803,00	2.951,54	3.172,96	3.355,68	3.502,66	3.600,00	3.668,99	3.714,11	3.739,51	3.748,80
Bovinos leche	1.056,52	1.083,92	1.141,36	1.226,98	1.297,64	1.354,48	1.392,12	1.418,80	1.436,25	1.446,07	1.449,66
Porcinos	60,68	61,90	64,67	69,42	73,93	78,16	81,69	84,88	87,72	90,24	92,42
Aviaries											
Caprinos	74,19	74,19	74,00	73,81	73,62	73,44	73,25	73,07	72,89	72,71	72,53
Equinos	116,35	116,34	116,33	116,31	116,30	116,29	116,28	116,28	116,27	116,27	116,27
Mulares	4,69	4,69	4,69	4,69	4,69	4,68	4,68	4,68	4,68	4,68	4,68
Llamas y Alpacas	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55	13,55
Ovinos	407,62	409,86	412,52	419,76	427,13	434,64	440,09	445,61	451,20	456,87	462,60
Total Emisiones	4.465,76	4.567,44	4.778,67	5.097,50	5.362,54	5.577,90	5.721,68	5.825,86	5.896,69	5.939,89	5.960,51

Cuadro 8. 3. Emisiones directas de CH₄, por Manejo del Estiércol, expresadas en Gg CO₂e

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	117,19	120,22	126,60	136,09	143,93	150,23	154,41	157,37	159,30	160,39	160,79
Bovinos leche	380,73	390,60	411,30	442,15	467,62	488,10	501,66	511,28	517,56	521,10	522,40
Porcinos	967,17	986,63	1.030,90	1.106,62	1.178,42	1.245,83	1.302,09	1.352,92	1.398,31	1.438,36	1.473,20
Aviaries	20,46	20,87	21,81	23,41	24,93	26,35	27,68	29,04	30,32	31,50	32,61
Caprinos	2,52	2,52	2,52	2,51	2,50	2,50	2,49	2,48	2,48	2,47	2,47
Equinos	10,60	10,60	10,60	10,60	10,60	10,60	10,59	10,59	10,59	10,59	10,59
Mulares	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Llamas y Alpacas	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78
Ovinos	12,23	12,30	12,38	12,59	12,81	13,04	13,20	13,37	13,54	13,71	13,88
Total Emisiones	1.514,1	1.546,9	1.619,3	1.737,2	1.844,0	1.939,8	2.015,3	2.080,3	2.135,3	2.181,3	2.219,1

En función del algoritmo de cálculo, las diferencias entre especies son asignables a diferencias en los factores de emisión (valores en anexos 12.3.) y al número de animales, mientras que las diferencias entre años para una especie lo son al número de cabezas-año. Analizando los datos del **Cuadro 8.2.**, se puede ver que, con largueza, esta fuente está dominada por los vacunos, cuyo aporte a estas emisiones fluctúa entre un 85,1% (2007) y 87,2% (2050). La otra especie que tendría una emisión relativamente importante es la ovina, con una participación entre 9% (2007) y 7,8% (2050). Las restantes especies aportarían emisiones no mayores al 2% de las emisiones de la fuente. La contribución de las aves no fue contabilizada por carecerse de factor de emisión.

Emisiones de Metano y Óxido Nítrico por Manejo del Estiércol

- **Metano**

Dado que el cálculo de estas emisiones obedece al mismo criterio de las por fermentación entérica, aunque cambian los valores de los factores de emisión (valores en anexo 12.3.), puede concluirse directamente que las diferencias entre especies son asignables a diferencias en los factores de emisión (valores en anexos) y en el número de animales, mientras que las diferencias entre años para una especie lo son al número de cabezas-año.

Las emisiones desagregadas por especie animal, son mostradas en el **Cuadro 8.3.** En este caso, la importancia de los vacunos desciende significativamente, respecto de la fermentación entérica, ya que el aporte de esta especie se sitúa en alrededor de un 30%, con una tendencia ligeramente decreciente. La especie más relevante, para esta fuente, sería la porcina con una contribución a la fuente fluctuante y ascendente entre 64% y 67%. La otra especie que tendría una participación relevante aunque lejos por debajo de la porcina y vacuna es la avícola, con una contribución ligeramente superior al 1%. El aporte de las otras especies caería substancialmente por debajo del 1% de las emisiones de esta fuente.

- **Óxido nítrico**

Para una adecuada interpretación de los resultados, además de las diferencias en factores de emisión (valores en anexos) y en número de cabezas entre las especies, debe también tomarse en cuenta el porcentaje de animales estabulados o simplemente confinados, excluyendo aquellos animales confinados cuyas deyecciones son diariamente distribuidas en el campo. Estos últimos, para efectos prácticos, fueron considerados al elaborar los inventarios de GEI como animales que pastorean en el campo.

Todos los valores que posibilitan el cálculo de estas emisiones (tasa de excreción de nitrógeno, fracción de la población asignada a cada SME, factores de emisión por SME). Como se deduce de los datos presentados en el **Cuadro 8.4.**, la principal contribución a esta fuente proviene de las aves (mayoritariamente, de la familia de las Gallináceas) las que son manejadas bajo confinamiento el 100% del tiempo y asociadas en su totalidad a un SME que puede clasificarse como de “almacenamiento sólido y parcelas secas”.

La contribución de este grupo subiría del 77% al 78%, en el período de proyección de emisiones, seguida a distancia por los vacunos y los porcinos, con aportes en valores alrededor del 10%. Aquellas especies que son criadas a campo abierta –los caprinos, los ovinos, los equinos, los

mulares, los asnales y los camélidos sudamericanos- tienen una nula participación en las emisiones.

Es evidente, entonces, que esta fuente de emisiones está vinculada muy estrechamente al confinamiento animal y crecerá directamente en función del aumento del grado de confinamiento en que sean gestionados los animales. Debe tenerse presente, en todo caso, que los animales en pastoreo también contabilizan emisiones de óxido nitroso por sus deyecciones pero estas son registradas bajo otro ítem: emisiones de animales en pastoreo, bajo la categoría de “Suelos Agrícolas”.

- **Emisiones totales (CH₄ + N₂O)**

La suma de las emisiones de ambos gases, mostrada en el **Cuadro 8.5.**, indica que, para la categoría “Manejo del Estiércol”, la principal especie contribuyente continuará siendo la porcina, con una importancia relativa fluctuante entre 53,4 y 54,9%. La segunda especie contribuyente es y continuaría siendo la vacuna, con un peso relativo entre 28,8 y 26,6% pero se pronostica descendente en el tiempo. Las aves hacen un aporte del 16,2% para subir hasta el 17,4%, al año 2050.

El aporte de las restantes especies (léase, ovinos, caprinos, equinos, mulares, asnales y camélidos sudamericanos) es menor y solo circunscrito a emisiones de metano de mínima expresión cuantitativa. Con ello, el aporte conjunto de estas especies fluctuaría entre 1,4 y 1%, reduciéndose paulatinamente con el tiempo.

Cuadro 8. 4. Emisiones directas de N₂O por Manejo del Estiércol, expresadas en Gg CO₂e

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	38,62	39,62	41,72	44,85	47,44	49,51	50,89	51,87	52,50	52,86	52,99
Bovinos leche	5,53	5,67	5,98	6,42	6,79	7,09	7,29	7,43	7,52	7,57	7,59
Porcinos	40,54	41,35	43,21	46,38	49,39	52,22	54,57	56,70	58,61	60,28	61,75
Aviaries	284,73	290,46	303,50	325,79	346,93	366,77	385,23	404,26	421,98	438,38	453,92
Caprinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mulares	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Llamas y Alpacas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ovinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Emisiones	369,42	377,11	394,40	423,45	450,55	475,59	497,99	520,25	540,60	559,10	576,25

Cuadro 8. 5. Emisiones totales por Manejo del Estiércol (CH₄ + N₂O), expresadas en Gg CO₂e

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	155,81	159,85	168,32	180,95	191,37	199,75	205,30	209,23	211,81	213,25	213,78
Bovinos leche	386,26	396,27	417,28	448,58	474,41	495,19	508,95	518,70	525,08	528,67	529,99
Porcinos	1.007,70	1.027,98	1.074,10	1.153,01	1.227,81	1.298,05	1.356,66	1.409,62	1.456,92	1.498,64	1.534,95
Aviaries	305,19	311,33	325,30	349,20	371,85	393,12	412,91	433,30	452,29	469,88	486,53
Caprinos	2,52	2,52	2,52	2,51	2,50	2,50	2,49	2,48	2,48	2,47	2,47
Equinos	10,60	10,60	10,60	10,60	10,60	10,60	10,59	10,59	10,59	10,59	10,59
Mulares	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Llamas y Alpacas	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78
Ovinos	12,23	12,30	12,38	12,59	12,81	13,04	13,20	13,37	13,54	13,71	13,88
Total Emisiones	1.883,51	1.924,05	2.013,69	2.160,63	2.294,55	2.415,44	2.513,31	2.600,51	2.675,91	2.740,42	2.795,39

Cuadro 8. 6. Emisiones de metano, por cultivación del arroz en Gg CO₂e

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Arroz	99,9	99,9	100,0	100,1	100,2	100,3	100,3	100,4	100,5	100,6	100,7

Emisión de Metano por Cultivación del Arroz

Las emisiones de metano desde los suelos dedicados al cultivo del arroz son obtenidas en forma directa, luego de multiplicar la superficie (en ha) por el factor de emisión genérico (valor incluido en anexos); dado que este cultivo en Chile ocurre con un 100% de anegamiento y no se incluye abonos orgánicos, no corresponde aplicar un factor de corrección del factor de emisión.

Dado que el pronóstico es un estático aumento de la superficie sembrada, producto de una escasa disponibilidad de áreas con condiciones edafoclimáticas adecuadas, su condición de cultivo de baja rentabilidad y el alto porcentaje de arroz importado disponible en el país, las emisiones de metano solo aumentarían en un 0,08% al año 2050 si se le compara con la emisión asignada al año 2007 (**Cuadro 8.6.**).

Emisión de Óxido Nitroso desde la superficie de Suelos Agrícolas

Las emisiones de óxido nitroso desde los suelos cultivados son debidas a la incorporación de nitrógeno al suelo; de acuerdo a las metodologías del IPCC, corresponde contabilizar emisiones por el nitrógeno aportado por las siguientes formas:

- fertilizantes comerciales,
- residuos de cultivos,
- estiércol, y
- deyecciones directas de animales en pastoreo.

En cada uno de estos casos, se debe contabilizar emisiones directas e indirectas, emergentes estas últimas del nitrógeno que difunde en el medio ambiente más allá del lugar de aplicación, por vía de la escorrentía, lixiviación y volatilización. La metodología IPCC 2006 eliminó la cultivación de especies leguminosas, debido a que no existen evidencias objetivas sobre emisión de óxido nitroso desde el nitrógeno fijado por estas plantas.

Otro tema agregado por esta nueva metodología es que debe excluirse de los cálculos pertinentes, el nitrógeno aplicado en suelos donde no hay lixiviación, ya sea por balance climático como por técnicas especiales de riego.

- **Fertilizantes comerciales**

De acuerdo al **Cuadro 8.1.**, los fertilizantes comerciales son la principal fuente individual de emisiones de óxido nitroso desde suelos cultivados, representando entre el 37,06% (2006) y 37,2% (2050) de las emisiones de esta categoría.

La proyección de las emisiones -directas, indirectas y totales- es presentada en los **cuadros 8.7., 8.8., 8.9., y 8.10.** La interpretación de los resultados exige tener presentes las superficies asignadas por el modelo AGRILU a los diferentes usos del suelo y la dosis unitaria de nitrógeno asignada a cada uso agrícola del suelo; los datos de superficie han sido presentados en el capítulo correspondiente y los otros datos de actividad requeridos (dosis por uso del suelo, factores de emisión para emisiones directas) se presentan en los anexos 12.1.

La proyección de emisiones directas por uso de fertilizantes nitrogenados señala que cada uso del suelo hace sus aportes a las emisiones directas de óxido nitroso, aunque el uso más contribuyente a estas emisiones sería el de los cereales, con un aporte relativo que se inicia como 41% y termina como 18,6 % debido a la reducción de la superficie dedicada estos cultivos; si a los cereales, se suma el aporte del maíz, la contribución de los cereales subiría al 62 % en 2007 y al 45,7% en 2050.

Otros usos con aportes relevantes son los de “chacras, cultivos industriales y frutales menores” y “frutales caducifolios”, aunque sus contribuciones irían evolucionando por caminos contrapuestos: un ascenso marcado para este último y un descenso también marcado para el primero, debido a los cambios en las superficies asignadas.

Dado que las emisiones indirectas son dependientes de las aplicaciones de nitrógeno, el balance de las contribuciones de los diferentes usos del suelo a las emisiones de óxido nitroso por uso de nitrógeno, en la forma de fertilizantes comerciales, se mantiene en los mismos valores determinados para las emisiones directas.

- **Residuos de cultivos**

Las emisiones por la incorporación de los residuos de los cultivos hacen un aporte menor a las emisiones de la categoría, empezando en un 4,12% en el año 2007 para llegar a 4,14% en el año 2050. Este incremento con el tiempo es debido al supuesto que la quema de residuos agrícolas estaría terminando de aplicarse para el año 2030. Los **cuadros 8.11., 8.12., y 8.13.**, presentan las proyecciones de emisiones de óxido nitroso por la incorporación al suelo de residuos de cultivos.

Debe tenerse presente que el crecimiento de las emisiones de óxido nitroso por la incorporación de los residuos vegetales al suelo, como práctica habitual de eliminación de estos residuos, se basa en el supuesto que el uso del fuego, como herramienta de eliminación de residuos, se verá cada vez más restringida hasta desaparecer dentro del período temporal bajo estudio, así como también, que los residuos serán progresivamente más valorizados como fuente de materia orgánica que permite restituir la fertilidad del suelo y mantener una condición física favorable.

Para los residuos vegetales incorporados al suelo, no corresponde estimar emisiones por volatilización por lo que las emisiones directas de este subcategoría de emisiones se concentra en el nitrógeno que podría lixiviar si es que se dan las condiciones para que ello ocurra.

Cuadro 8. 7. Emisiones Directas de N₂O por N-fertilizantes (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Frutales caducos	162,17	170,31	188,54	218,20	251,55	287,10	296,65	304,32	310,10	299,98	288,37
Frutales persistentes	63,38	67,95	80,01	102,48	130,52	164,26	186,74	210,29	234,64	247,93	259,64
Viñas	61,73	65,70	75,40	91,41	108,16	124,41	128,08	129,63	129,22	121,40	112,61
Chacras e Indust y F. Men.	188,09	189,47	190,22	191,61	193,04	195,32	181,07	168,35	156,85	139,78	124,60
Cereales	593,79	609,22	556,06	601,50	714,18	746,20	707,92	668,42	628,15	561,30	499,01
Arroz	16,64	17,25	18,38	20,10	22,09	24,23	24,26	24,28	24,30	23,23	22,20
Maíz	332,74	347,61	380,23	433,79	495,43	562,64	580,69	597,01	611,47	596,08	578,68
Hortalizas	61,99	64,93	71,57	82,67	95,56	109,80	114,61	119,14	123,33	121,48	119,12
Total Emisiones	1480,53	1532,44	1560,41	1741,76	2010,53	2213,97	2220,02	2221,44	2218,05	2111,18	2004,24

Cuadro 8. 8. Emisiones Indirectas de N₂O por N-fertilizantes lixiviado (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Frutales caducos	36,49	38,32	42,42	49,09	56,60	64,60	66,75	68,47	69,77	67,50	64,88
Frutales persistentes	14,26	15,29	18,00	23,06	29,37	36,96	42,02	47,32	52,79	55,78	58,42
Viñas	13,89	14,78	16,96	20,57	24,34	27,99	28,82	29,17	29,07	27,31	25,34
Chacras e Indust y F. Men.	42,32	42,63	42,80	43,11	43,43	43,95	40,74	37,88	35,29	31,45	28,04
Cereales	133,60	137,07	143,24	152,06	160,69	167,90	159,28	150,39	141,33	126,29	112,28
Arroz	3,74	3,88	3,38	3,38	3,38	3,39	3,39	3,39	3,39	3,40	3,40
Maíz	74,87	78,21	85,55	97,60	111,47	126,59	130,65	134,33	137,58	134,12	130,20
Hortalizas	13,95	14,61	16,10	18,60	21,50	24,71	25,79	26,81	27,75	27,33	26,80
Total Emisiones	333,12	344,80	368,46	407,48	450,78	496,08	497,44	497,75	496,99	473,18	449,36

Cuadro 8. 9. Emisiones Indirectas de N₂O por N-fertilizantes volatilizado (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Frutales caducos	16,22	17,03	18,85	21,82	25,15	28,71	29,67	30,43	31,01	30,00	28,84
Frutales persistentes	6,34	6,80	8,00	10,25	13,05	16,43	18,67	21,03	23,46	24,79	25,96
Viñas	6,17	6,57	7,54	9,14	10,82	12,44	12,81	12,96	12,92	12,14	11,26
Chacras e Indust y F. Men.	18,81	18,95	19,02	19,16	19,30	19,53	18,11	16,84	15,68	13,98	12,46
Cereales	59,38	60,92	63,66	67,58	71,42	74,62	70,79	66,84	62,81	56,13	49,90
Arroz	1,66	1,72	1,84	2,01	2,21	2,42	2,43	2,43	2,43	2,32	2,22
Maíz	33,27	34,76	38,02	43,38	49,54	56,26	58,07	59,70	61,15	59,61	57,87
Hortalizas	6,20	6,49	7,16	8,27	9,56	10,98	11,46	11,91	12,33	12,15	11,91
Total Emisiones	148,05	153,24	164,10	181,61	201,05	221,40	222,00	222,14	221,80	211,12	200,42

Cuadro 8. 10. Emisiones totales de N₂O por uso de fertilizantes comerciales (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Frutales caducos	214,88	225,66	249,81	289,11	333,30	380,41	393,06	403,23	410,88	397,48	382,09
Frutales persistentes	83,97	90,04	106,02	135,78	172,94	217,65	247,44	278,63	310,90	328,51	344,02
Viñas	81,80	87,06	99,90	121,12	143,31	164,84	169,70	171,75	171,21	160,85	149,21
Chacras e Indust y F. Men.	249,22	251,04	252,04	253,89	255,78	258,79	239,91	223,07	207,82	185,21	165,10
Cereales	786,77	807,22	762,96	821,15	946,29	988,72	938,00	885,66	832,29	743,72	661,19
Arroz	22,05	22,85	23,60	25,49	27,68	30,04	30,07	30,10	30,12	28,95	27,82
Maíz	440,88	460,58	503,80	574,77	656,44	745,50	769,41	791,04	810,20	789,81	766,75
Hortalizas	82,14	86,03	94,83	109,54	126,62	145,49	151,86	157,86	163,41	160,96	157,84
Total Emisiones	1961,70	2030,48	2092,96	2330,85	2662,37	2931,44	2939,46	2941,34	2936,84	2795,48	2654,02

Cuadro 8. 11. Emisiones directas de N₂O por la incorporación de Residuos de Cultivos (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Cereales	139,61	140,33	141,82	144,09	147,11	150,92	155,21	160,00	165,34	171,26	177,82
Frutales	28,57	29,07	30,43	32,61	34,75	36,87	38,95	41,02	43,06	45,08	47,10
Total Emisiones	168,17	169,40	172,25	176,69	181,86	187,79	194,16	201,02	208,39	216,34	224,92

Cuadro 8. 12. Emisiones indirectas de N₂O por la lixiviación del N aportado por Residuos de Cultivos (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Cereales	41,88	42,10	42,55	43,23	44,13	45,28	46,56	48,00	49,60	51,38	53,35
Frutales	8,57	8,61	8,71	8,85	9,03	9,26	9,53	9,82	10,15	10,51	10,92
Total Emisiones	50,45	50,71	51,25	52,07	53,16	54,54	56,09	57,82	59,75	61,89	64,26

Cuadro 8. 13. Emisiones totales de N₂O, por la incorporación de Residuos de Cultivos (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Cereales	181,49	182,43	184,37	187,31	191,24	196,20	201,77	208,00	214,94	222,64	231,17
Frutales	37,14	37,68	39,14	41,45	43,78	46,13	48,48	50,84	53,21	55,59	58,01
Total Emisiones	218,63	220,11	223,51	228,76	235,02	242,33	250,25	258,84	268,14	278,23	289,18

- **Emisiones generadas por la aplicación de estiércol al suelo**

Las proyecciones de emisiones por aplicación de estiércol al suelo están presentadas en los cuadros **8.14, 8.15., 8.16.,y 8.17.** Esta subfuente de emisiones de óxido nitroso desde los suelos representó, al año 2006, un 11,29% de las emisiones de este gas desde la superficie de los suelos. Dado que para este estudio, se supuso que tanto la fracción de animales confinados dentro de la población nacional así como el tipo de sistemas de manejo del estiércol se mantendrían inalterados a lo largo del período temporal bajo estudio, los cambios proyectados de las emisiones con el tiempo obedecen exclusivamente al cambio numérico de la población de cada especie animal.

De acuerdo a estas proyecciones, el aumento de las fracciones poblacionales que sean mantenidas bajo confinamiento así como también cambios en los sistemas de manejo del estiércol, tendrían impactos tanto positivos como negativos en las emisiones de óxido nitroso por el estiércol aplicado a los suelos.

- **Emisiones por sistemas animales en pastoreo a campo abierto**

Como se planteó precedentemente, se trabajó con el supuesto que la fracción de animales que son criados a campo abierto así como la de animales confinados asociados a sistemas de manejo del estiércol con esparcimiento diario, no cambiaría a lo largo del período temporal bajo estudio.

Los resultados de las proyecciones de óxido nitroso emitido por la deyección directa de los animales sobre el suelo, están presentados en los cuadros **8.18, 8.19., 8.20.,y 8.21.** En términos numéricos, el balance entre incrementos de algunas poblaciones animales (vacunos, porcinos, ovinos) y descenso en otras poblaciones animales (caprinos, equinos, mulares, ásnidos, camélidos sudamericanos) se traduce en que este grupo de emisiones subiría un 23,5% al año 2050, si se comparan los niveles con el año 2006.

Emisiones por quema de residuos de cultivos

En Chile, el juicio de experto¹, aplicado al elaborar la serie 1984/2006 de inventarios nacionales de GEI, indica que solo la quema de residuos se aplica en dos ámbitos, a saber:

- los cultivos de cereales, debido al alto contenido lignínico de sus residuos, que los hace degradarse muy lentamente en condiciones naturales, y
- los frutales caducifolios, que generan grandes masas de residuos luego de la poda anual.

La proyección de emisiones de metano y óxido nitroso, expresadas ambas como Gg de CO₂e, se presenta en el **Cuadro 8.22.** Los supuestos de trabajo simplemente pretendieron reflejar u hecho que es evidente, aunque no hay registros oficiales sobre ello: que el uso del fuego, como herramienta de eliminación rápida de residuos vegetales, viene reduciéndose tanto por razones ambientales como por revalorización de los residuos, por lo que se proyectó un término de la quema de sarmientos de poda para el año 2020, en tanto que la quema de residuos de cultivos

¹Francisco Tapia F, Investigador de INIA-La Platina, y Pablo Gamboa, Ayudante de Investigación de INIA-La Platina

anuales (básicamente, los cereales) fue proyectada para terminar al año 2030. Por esto, las emisiones por quema de residuos llegan a cero, a contar de este año.

Cuadro 8. 14. Emisiones directas de N₂O por estiércol aplicado al suelo (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	30,90	31,70	33,38	35,88	37,95	39,61	40,71	41,49	42,00	42,29	42,39
Bovinos leche	55,31	56,75	59,75	64,24	67,93	70,91	72,88	74,28	75,19	75,71	75,89
Porcinos	191,42	195,27	204,03	219,02	233,23	246,57	257,71	267,77	276,75	284,68	291,57
Aviaries	142,37	145,23	151,75	162,90	173,46	183,39	192,62	202,13	210,99	219,19	226,96
Caprinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mulares	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Camélidos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ovinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Emisiones	420,00	428,95	448,91	482,04	512,58	540,48	563,92	585,67	604,93	621,86	636,82

Cuadro 8. 15. Emisiones indirectas de N₂O -por volatilización- por estiércol aplicado al suelo (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	6,18	6,34	6,68	7,18	7,59	7,92	8,14	8,30	8,40	8,46	8,48
Bovinos leche	11,06	11,35	11,95	12,85	13,59	14,18	14,58	14,86	15,04	15,14	15,18
Porcinos	38,28	39,05	40,81	43,80	46,65	49,31	51,54	53,55	55,35	56,94	58,31
Aviaries	28,47	29,05	30,35	32,58	34,69	36,68	38,52	40,43	42,20	43,84	45,39
Caprinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mulares	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Camélidos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ovinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Emisiones	84,00	85,79	89,78	96,41	102,52	108,10	112,78	117,13	120,99	124,37	127,36

Cuadro 8. 16. Emisiones indirectas de N₂O -por lixiviación- por estiércol aplicado al suelo (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	6,95	7,13	7,51	8,07	8,54	8,91	9,16	9,34	9,45	9,52	9,54
Bovinos leche	12,45	12,77	13,44	14,45	15,29	15,95	16,40	16,71	16,92	17,03	17,08
Porcinos	43,07	43,94	45,91	49,28	52,48	55,48	57,98	60,25	62,27	64,05	65,60
Aviaries	32,03	32,68	34,14	36,65	39,03	41,26	43,34	45,48	47,47	49,32	51,07
Caprinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mulares	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Camélidos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ovinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Emisiones	94,50	96,51	101,01	108,46	115,33	121,61	126,88	131,77	136,11	139,92	143,28

Cuadro 8. 17. Emisiones totales de N₂O por estiércol aplicado al suelo (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	44,03	45,17	47,56	51,13	54,08	56,45	58,01	59,13	59,85	60,26	60,41
Bovinos leche	78,82	80,86	85,15	91,54	96,81	101,05	103,86	105,85	107,15	107,88	108,15
Porcinos	272,77	278,26	290,75	312,11	332,36	351,37	367,23	381,57	394,37	405,67	415,49
Aviaries	202,87	206,96	216,24	232,13	247,19	261,33	274,48	288,03	300,66	312,34	323,42
Caprinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mulares	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Camélidos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ovinos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Emisiones	598,50	611,25	639,70	686,90	730,43	770,19	803,58	834,57	862,03	886,15	907,47

Cuadro 8. 18. Emisiones directas de N₂O por animales en pastoreo (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	1126,57	1155,78	1217,03	1308,33	1383,67	1444,28	1484,42	1512,86	1531,47	1541,94	1545,77
Bovinos leche	356,14	365,38	384,74	413,60	437,42	456,58	469,27	478,26	484,14	487,45	488,66
Porcinos	67,56	68,92	72,01	77,30	82,32	87,03	90,96	94,51	97,68	100,47	102,91
Aviaries	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caprinos	137,69	137,68	137,32	136,97	136,63	136,28	135,94	135,60	135,27	134,93	134,59
Equinos	59,98	59,97	59,97	59,96	59,95	59,95	59,94	59,94	59,94	59,94	59,93
Mulares	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35
Camélidos	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72	15,72
Ovinos	226,94	228,18	229,66	233,70	237,80	241,98	245,01	248,09	251,20	254,35	257,55
Total Emisiones	1994,95	2035,98	2120,81	2249,94	2357,86	2446,16	2505,61	2549,33	2579,76	2599,15	2609,48

Cuadro 8. 19. Emisiones indirectas de N₂O -por volatilización- por animales en pastoreo (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	112,66	115,58	121,70	130,83	138,37	144,43	148,44	151,29	153,15	154,19	154,58
Bovinos leche	35,61	36,54	38,47	41,36	43,74	45,66	46,93	47,83	48,41	48,75	48,87
Porcinos	6,76	6,89	7,20	7,73	8,23	8,70	9,10	9,45	9,77	10,05	10,29
Aviaries	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caprinos	27,54	27,54	27,46	27,39	27,33	27,26	27,19	27,12	27,05	26,99	26,92
Equinos	12,00	11,99	11,99	11,99	11,99	11,99	11,99	11,99	11,99	11,99	11,99
Mulares	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
Camélidos	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14
Ovinos	45,39	45,64	45,93	46,74	47,56	48,40	49,00	49,62	50,24	50,87	51,51
Total Emisiones	243,96	248,19	256,78	270,06	281,23	290,44	296,66	301,30	304,62	306,84	308,16

Cuadro 8. 20. Emisiones indirectas de N₂O -por lixiviación- por animales en pastoreo (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	126,74	130,03	136,92	147,19	155,66	162,48	167,00	170,20	172,29	173,47	173,90
Bovinos leche	40,07	41,10	43,28	46,53	49,21	51,37	52,79	53,80	54,47	54,84	54,97
Porcinos	7,60	7,75	8,10	8,70	9,26	9,79	10,23	10,63	10,99	11,30	11,58
Aviaries	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caprinos	30,98	30,98	30,90	30,82	30,74	30,66	30,59	30,51	30,43	30,36	30,28
Equinos	13,49	13,49	13,49	13,49	13,49	13,49	13,49	13,49	13,49	13,49	13,49
Mulares	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Camélidos	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54
Ovinos	51,06	51,34	51,67	52,58	53,51	54,44	55,13	55,82	56,52	57,23	57,95
Total Emisiones	274,46	279,21	288,88	303,82	316,38	326,75	333,74	338,97	342,70	345,20	346,68

Cuadro 8. 21. Emisiones totales de N₂O por animales en pastoreo directo (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bovinos carne	1365,97	1401,39	1475,65	1586,35	1677,70	1751,19	1799,86	1834,35	1856,91	1869,60	1874,25
Bovinos leche	431,82	443,02	466,50	501,49	530,37	553,60	568,99	579,89	587,02	591,04	592,50
Porcinos	81,92	83,57	87,31	93,73	99,81	105,52	110,28	114,59	118,43	121,83	124,78
Aviaries	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caprinos	196,20	196,19	195,69	195,19	194,69	194,21	193,72	193,24	192,75	192,27	191,79
Equinos	85,47	85,46	85,45	85,44	85,43	85,43	85,42	85,42	85,41	85,41	85,41
Mulares	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19	6,19
Camélidos	22,40	22,40	22,40	22,40	22,40	22,40	22,40	22,40	22,40	22,40	22,40
Ovinos	323,39	325,16	327,27	333,02	338,87	344,82	349,14	353,53	357,96	362,45	367,00
Total Emisiones	2513,36	2563,39	2666,48	2823,82	2955,47	3063,36	3136,01	3189,60	3227,09	3251,20	3264,33

Cuadro 8. 22. Emisiones por Quema de Residuos de Cultivos (Gg CO₂e)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CH ₄	33,94	29,09	18,32	7,57	2,58	0,65	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₂ O	1,65	1,42	0,71	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Emisiones	35,59	30,51	19,03	7,60	2,59	0,65	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00

Cuadro 8. 23. Emisiones de GEI, por cambio de uso del suelo (en Gg CO₂e/año)

	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bosque nativo	96	42	314	562	304	63	-146	-340	-510	-651	-761
Plantación Forestal	42	18	136	243	131	27	-63	-147	-220	-281	-329
Uso Agrícola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Praderas y Matorrales	269	117	876	1567	846	176	-407	-948	-1422	-1815	-2120
Total Emisiones	407	177,6	441,8	474,3	256,3	53,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Emisiones por cambio de uso del suelo

Las emisiones estimadas por la habilitación de suelos agrícolas están presentadas en el **Cuadro 8.23**. Estas proyecciones futuras indican que:

- el cambio de uso de suelos conduciría consistentemente a emisiones de GEI,
- las emisiones por cambio de uso desde un uso forestal (vegetación natural) a uso agrícola serían a futuro entre dos y tres veces más importantes que las conversiones de uso forestal con plantaciones forestales a uso agrícola,
- la principal fuente de emisiones de GEI serían a futuro los cambios de praderas y matorrales a uso agrícola, las que siempre excederían la suma de la habilitación de suelos forestales.

9 Análisis de sensibilidad

Las figuras que se presentan a continuación muestran los resultados del análisis de sensibilidad, que fue basado en expectativas de crecimiento del sector agrícola (tasas de crecimiento de superficie) y tasas de cambio de tecnológico.

Se realizaron dos sensibilidades:

1. Escenario de bajo crecimiento, supone una ralentización de 20% en las tasas de crecimiento de las superficies cultivadas y una similar tendencia en el progreso de la productividad (factor tecnológico), lo que supone que crecimiento y progreso tecnológico van asociados. Como cada rubro tiene dinámicas distintas, incluso algunos presentan tasas negativas de crecimiento, se tomaron para este escenario tasas 20% por debajo de las que se producirían con un PIB nacional de 4%. Esta condición está próxima a lo que ocurriría con una tasa de crecimiento del PIB nacional de 3% anual.
2. Escenario de alto crecimiento, supone un crecimiento del PIB nacional de un 6%, lo que provoca una aceleración aproximadamente de 20% tanto en las tasas de crecimiento de las superficies cultivadas, como en el aumento de la productividad.

Cuadro 9. 24. Escenario con Crecimiento Bajo (asociado a una tasa de crecimiento del PIB del 3%)

		2006	2006	2007	2010	2020	2030	2040	2050
Emisiones de GEI (Gg de CO2eq)		Inventario	AGRILU						
Fermentación Entérica		4513,4	4465,8	4541,8	4686,8	5083,4	5302,8	5384,0	5388,3
Manejo del Estiércol		1821,21	1.883,5	1.913,7	1.974,7	2.165,3	2.302,9	2.396,2	2.458,3
	CH4	1455,6	1514,1	1538,5	1587,9	1740,4	1847,6	1914,1	1954,6
	N2O	365,61	369,4	386,9	406,8	424,9	455,3	482,1	503,7
Suelos Agrícolas		6232,2	5292,2	5405,9	5549,6	6331,5	6707,9	6732,8	6458,6
	<i>Emisiones Directas</i>	1788,9	2068,7	2125,9	2161,3	2621,4	2821,2	2806,7	2594,7
	Por Fertilizantes	1330,29	1480,53	1529,94	1549,29	1957,89	2114,11	2062,25	1817,24
	Por Estiércol	290,46	420,00	426,65	440,23	483,42	515,90	540,30	558,00
	Por Residuos	168,17	168,17	169,27	171,75	180,12	191,17	204,17	219,47
	<i>Emisiones Directas por Pastoreo Directo</i>	1981,25	1994,95	2025,62	2083,62	2244,24	2334,21	2368,72	2372,43
	<i>Emisiones Indirectas</i>	1320,75	710,12	729,27	767,27	893,28	960,26	957,38	890,21
	Por Fertilizantes	1028,00	481,17	497,23	528,94	634,73	685,02	668,16	589,01
	Por Estiércol	275,93	178,50	181,33	187,10	205,45	219,26	229,63	237,15
	Por Residuos	16,82	50,45	50,71	51,23	53,10	55,98	59,59	64,05
	<i>Emisiones Indirectas por Pastoreo</i>	1141,31	518,42	525,13	537,49	572,50	592,27	600,02	601,22
Quema de Residuos		33,78	35,59	30,51	19,03	2,59	0,04	0	0
	CH4	32,4	33,94	29,09	18,32	2,58	0,04	0,00	0,00
	N2O	1,38	1,65	1,42	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Arroz		99	98,99	99,90	99,94	100,04	100,14	100,24	100,33
Total Emisiones Agrícolas (Gg. CO2eq)		12699,62	11776,05	11991,71	12330,15	13682,84	14413,79	14613,33	14405,50
Total Emisiones Cambio de Uso de Suelo			407,20	0,00	164,82	0,00	0,00	0,00	0,00
	Emisiones por Habilitación de Suelos		407	0,00	165	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sector Forestal								
Total Emisiones (Agrícolas + Cambio de Uso de Suelo)		12699,62	12183,24	11991,71	12494,97	13682,84	14413,79	14613,33	14405,50

Cuadro 9. 25. Escenario con Crecimiento Alto (asociado una tasa de crecimiento del PIB del 6%)

		2006	2006	2007	2010	2020	2030	2040	2050
Emisiones de GEI (Gg de CO2eq)		Inventario	AGRILU						
Fermentación Entérica		4513,4	4465,8	4619,3	4968,7	5973,9	6673,6	7090,0	7313,6
Manejo del Estiércol		1821,21	1.883,5	1.945,4	2.095,4	2.582,7	3.005,3	3.354,9	3.639,1
	CH4	1455,6	1514,1	1564,2	1685,2	2074,8	2406,9	2671,1	2879,5
	N2O	365,61	369,4	410,3	459,6	507,9	598,4	683,8	759,7
Suelos Agrícolas		6232,2	5292,2	5464,6	5774,6	7141,9	8112,4	8662,6	8779,5
	Emisiones Directas	1788,9	2068,7	2140,9	2224,3	2893,2	3353,7	3600,4	3590,7
	Por Fertilizantes	1330,29	1480,53	1537,56	1583,76	2129,73	2476,15	2619,47	2517,42
	Por Estiércol	290,46	420,00	433,68	467,17	577,74	676,53	762,54	835,19
	Por Residuos	168,17	168,17	169,67	173,32	185,72	201,04	218,40	238,12
	Emisiones Directas por Pastoreo Directo	1981,25	1994,95	2056,93	2197,79	2606,75	2895,27	3071,43	3170,98
	Emisiones Indirectas	1320,75	710,12	734,75	790,03	989,45	1146,60	1233,53	1236,40
	Por Fertilizantes	1028,00	481,17	499,71	540,17	690,57	802,67	849,24	816,55
	Por Estiércol	275,93	178,50	184,31	198,55	245,54	287,53	324,08	354,96
	Por Residuos	16,82	50,45	50,73	51,30	53,34	56,41	60,21	64,89
	Emisiones Indirectas por Pastoreo	1141,31	518,42	531,99	562,57	652,54	716,85	757,19	781,42
Quema de Residuos		33,78	35,59	30,51	19,03	2,59	0,04	0	0
	CH4	32,4	33,94	29,09	18,32	2,58	0,04	0,00	0,00
	N2O	1,38	1,65	1,42	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Arroz		99	98,99	99,94	100,07	100,50	100,91	101,29	101,65
Total Emisiones Agrícolas (Gg. CO2eq)		12699,62	11776,05	12159,68	12957,89	15801,63	17892,24	19208,77	19833,92
Total Emisiones Cambio de Uso de Suelo			407,20	754,68	1021,37	904,15	515,64	152,01	0,00
	Emisiones por Habilitación de Suelos		407	755	1021	904,15	515,64	152,01	0,00
	Sector Forestal								
Total Emisiones (Agrícolas + Cambio de Uso de Suelo)		12699,62	12183,24	12914,36	13979,26	16705,78	18407,87	19360,78	19833,92

En las siguientes figuras se observa de las distintas fuentes de emisión en relación con los escenarios agrícolas. Al año 2050, el escenario asociado a un crecimiento alto queda vinculado a mayores emisiones que las del escenario medio y, ciertamente, mayores que las del escenario del crecimiento bajo. Entre alto y bajo, las tasas de incremento por categoría, al año 2050, fueron:

- fermentación entérica: 16,8%,
- manejo del estiércol: 24,9%,
- cultivación del arroz: 19,5%, y
- suelos agrícolas: 24,2%

Las emisiones por quema de residuos de cultivos son nulas al año 2050, por lo que esta categoría queda fuera de este análisis. En términos generales, la agricultura, bajo un escenario alto, tendría un 21,9% de más emisiones de GEI que bajo un escenario bajo y un 9,4 de más emisiones que bajo un escenario medio (base).

Figura 9. 1. Emisiones de Fermentación Entérica

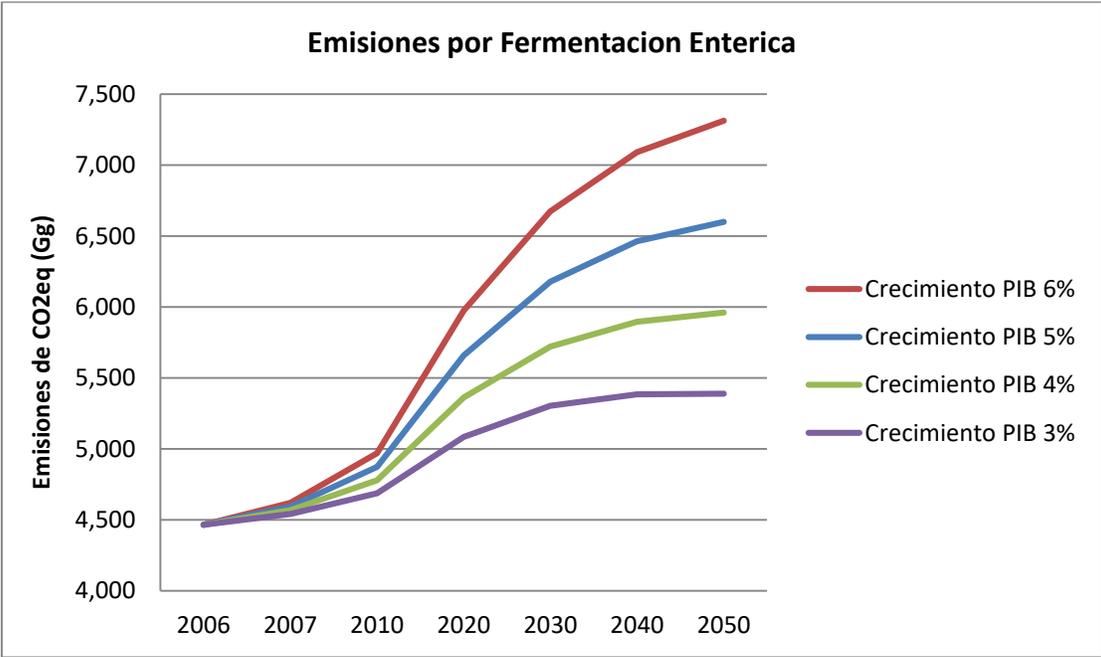


Figura 9. 2. Emisiones de Manejo del Estiércol

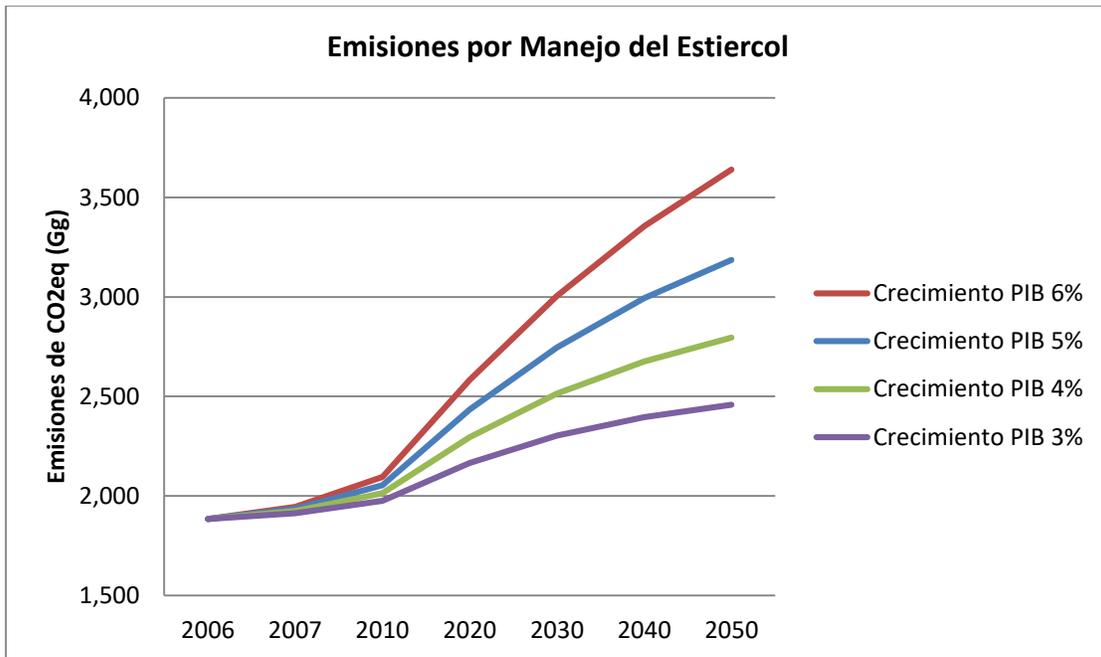


Figura 9. 3. Emisiones de Suelos Gestionados.

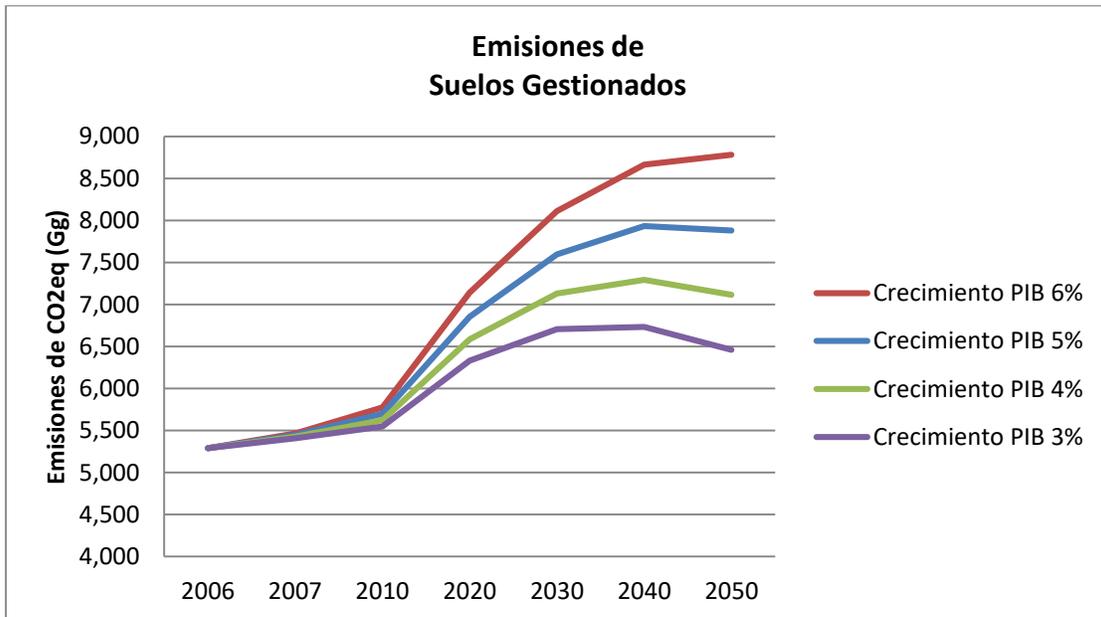


Figura 9. 4. Emisiones Directas (Fertilizantes, Estiércol y Residuos Agrícolas).

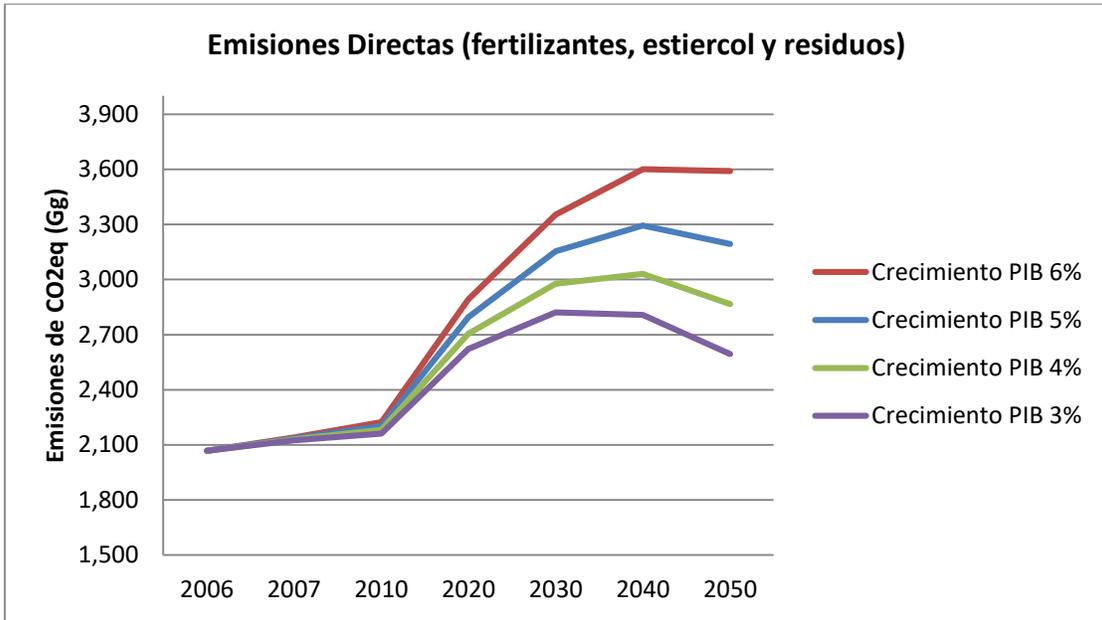


Figura 9. 5. Emisiones de la Cultivación de Arroz

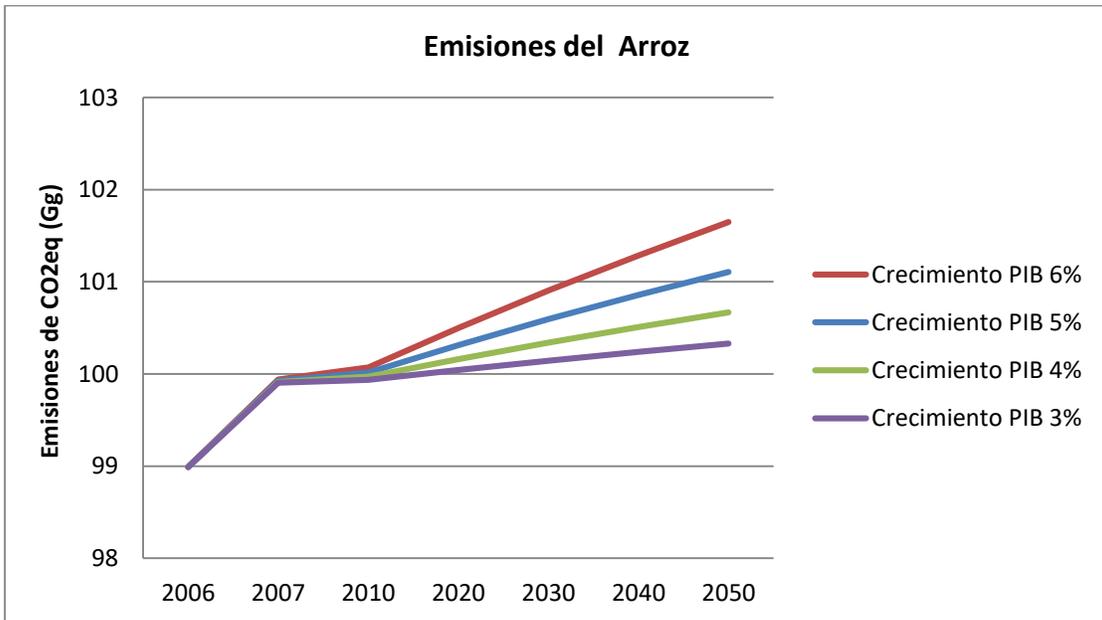


Figura 9. 6. Emisiones Totales Agrícolas.

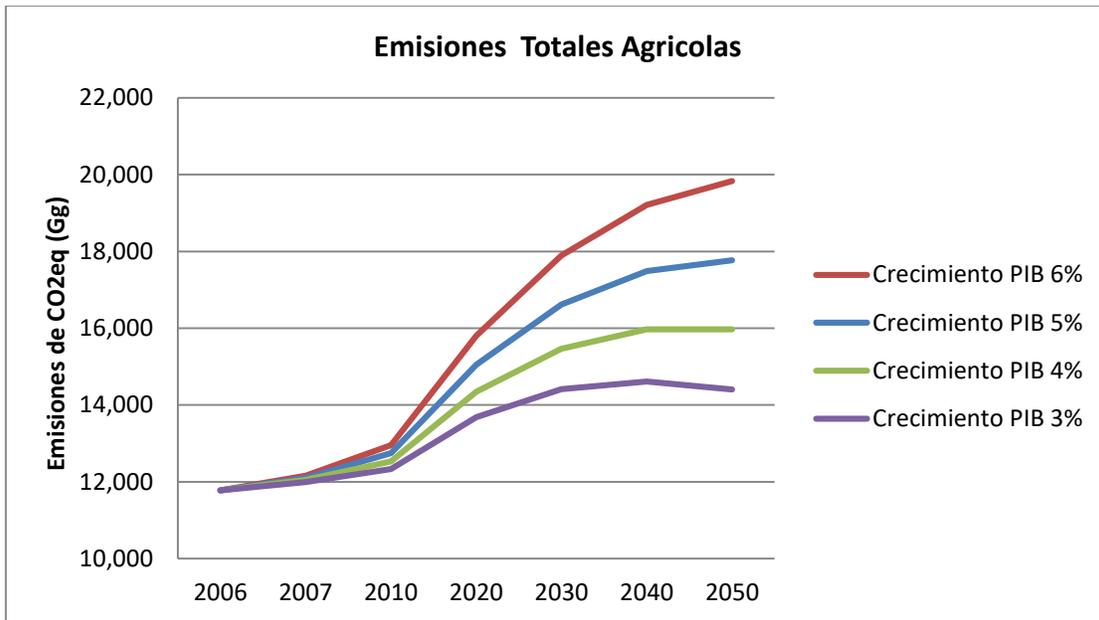


Figura 9. 7. Emisiones de Cambio de Uso de Suelo

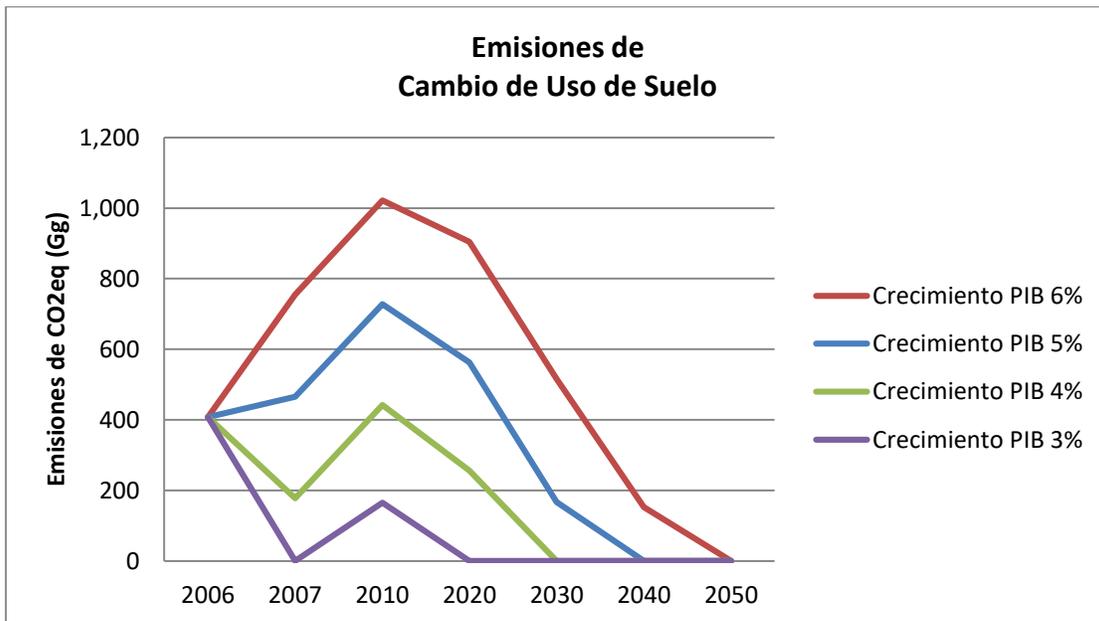
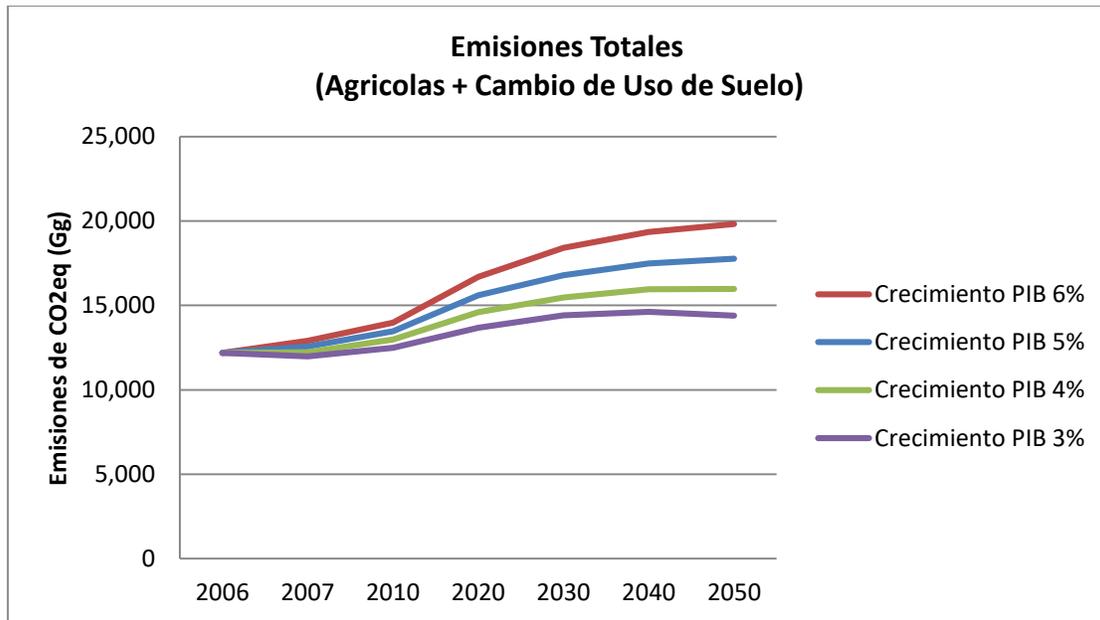


Figura 9. 8. Emisiones Totales (Agricultura + Cambio de Uso de Suelo)



Para interpretar los gráficos, debe recordarse que los valores de emisión del año 2006 fueron tomados de la serie 1984/2006 de inventarios nacionales de GEI, construida con datos de actividad reales y calculadas aplicando en detalle la metodología del IPCC, en su versión 1996 revisada más los códigos de buenas prácticas 2000 y 2003, en tanto que las emisiones del año 2007 son el resultado de una simulación, respecto a lo que habría sido el país en función de los supuestos asumidos de condiciones futuras, y aplicando una versión simplificada de la metodología del IPCC.

10 Comparación de las emisiones de GEI del año 2012: real y proyectado

El Cuadro 10.1., presenta las estimaciones de emisiones GEI para el año 2012, alcanzadas sobre las siguientes dos bases:

- escenario proyectado por el modelo AGRI-LU, según las tendencias de cambio determinadas según las circunstancias del año 2006, y
- escenario real, construido con los datos de actividad reales para el año 2012.

Cuadro 10. 1. Emisiones estimadas para el año 2012: (a) año real; (b) año proyectado.

Emisiones estimadas para el año 2012: (a) año real; (b) año proyectado			
Emisiones GEI (Gg CO ₂ e)		2012 Proyectado	2012 Real
Fermentación Entérica		4934,5	4904,7
Manejo del Estiércol		2.115,50	2.251,6
	CH ₄	1693,7	1894,4
	N ₂ O	468,7	360,8
Suelos Agrícolas		5819,8	5117,5
	Emisiones Directas	2272,3	1837,3
	Por Fertilizantes	1623,98	1119,43
	Por Estiércol	474,55	469,65
	Por Residuos	173,73	168,17
	Emisiones Directas por Pastoreo	2181,3	2100,69
	Emisiones Indirectas	808,36	639,87
	Por Fertilizantes	555,33	389,82
	Por Estiércol	201,68	199,60
	Por Residuos	51,35	50,45
	Emisiones Indirectas por Pastoreo	557,93	539,68
Quema de Residuos Vegetales		19,03	19,03
	CH ₄	18,32	18,32
	N ₂ O	0,71	0,71
Cultivo del Arroz		99,27	98,99
Total Agricultura (Gg CO ₂ e)		12988,13	12391,81
Emisiones Cambio de Uso de Suelo		943,04	968,68
	Emisiones por Habilitación de Suelos	943	969
Total Emisiones (Agricultura + Cambio Uso Suelo)		13931,17	13360,49

De acuerdo a los resultados que aquí se exponen, puede verse que las emisiones GEI del año 2012 proyectado según las circunstancias del año 2006, son superiores a las del año 2012 construido con datos reales, en 596,32 Gg CO₂e, si se considera solo la Agricultura, y en 570,77 Gg CO₂e, si se incluye la habilitación de suelos forestales.

Entrando en un mayor detalle, esta reducción de las emisiones agrícolas entre el escenario proyectado y el real, de 12,988,13 a 12.391,81 Gg CO₂e, es debida a una menor emisión de N₂O desde la superficie de los suelos cultivados, categoría que sufre una reducción global del 11,4%; dentro de esta categoría, la subcategoría que muestra la mayor reducción es la de las aplicaciones de nitrógeno, como fertilizante sintético, con una merma del 26,1% en las emisiones directas y del 29,8% en las emisiones indirectas.

Sin embargo, en el ámbito de las emisiones de origen animal, el **Cuadro 10.1.**, muestra que las emisiones sumadas de fermentación entérica, manejo del estiércol, aplicación del estiércol y animales en pastoreo directo, para el escenario real, son levemente superiores (0,9%) a las del año proyectado.

Vistas las emisiones de estas categorías y subcategorías, en forma independiente, se puede ver que para el año real, las emisiones de la fermentación entérica disminuyen en un 0,6%, las del manejo del estiércol aumentan en un 9,0%, las por aplicación del estiércol aumentan en un 4,3% y las por animales en pastoreo disminuyen en un 3,5%.

Estas diferencias quedan justificadas por las diferencias en los datos de actividad empleados para estimar las emisiones de ambos escenarios. Estos valores se presentan en el **Cuadro 10.2.**

Cuadro 10. 2. Datos de actividad asociados al año 2012: (a) Datos Reales; (b) Datos Proyectados.

Datos de actividad asociados al año 2012: (a) datos reales; (b) datos proyectados.	Datos Reales (ODEPA, INE)	Datos Proyectados (AGRILU, Tendencias)
Superficies Cultivadas Nacionales	(ha)	(ha)
Frutales Caducos	187.688	219.000
Frutales Persistentes	70.129	110.000
Viñas	133.409	149.000
Chacras, Indust., y Frutales Menores	171.187	212.000
Caréales	380.597	428.000
Arroz	23.991	28.000
Maíz	138.831	135.000
Hortalizas	83.149	107.000
Plantación Forestal	2.394.865	2.430.000
Existencias animales	N° de cabezas	N° de cabezas
Bovinos Carne	2.376.498	3.146.707
Bovinos Leche	1.373.501	766.862
Porcinos	2.950.000	3.237.406
Aviaries (pollos, pavos)	47.479.000	55.927.354
Caprinos	760.000	683.952
Equinos	309.700	305.951
Mulares	22.500	21.667
Llamas y Alpacas	80.681	80.198
Ovinos	3.600.000	3.960.449

Este cuadro muestra que los datos reales, tomados de ODEPA, INE y FAOSTAT, son similares a los proyectados para las existencias animales, mientras que hay diferencias substanciales para la superficie ocupada por los diferentes rubros de cultivos.

En el caso de los cultivos, hay una evidente reorganización de las superficies plantadas/sembradas, con una evidente reducción de los valores asociados al año 2012 real; esto trae, como principal consecuencia, una reducción en el uso de fertilizantes sintéticos, lo que se refleja claramente en los resultados.

En el caso de las existencias animales, los valores poblacionales son similares aunque se presentaron cambios relativamente menores para los porcinos, ovinos y caprinos. Obviamente, la diferencia más importante no está en los valores poblacionales sino que en el mayor peso relativo de la población de vacas lecheras en el escenario real, respecto del proyectado; este cambio tiene importancia en las emisiones dado que las vacas lecheras son los animales domésticos con mayores tasas de emisión por cabeza.

11 Referencias bibliográficas

- **ACEVEDO, E. y Silva, P.** 2003. Agronomía de la cero labranza. Universidad de Chile.
- **ANDERSON, K., Martin, W. & van der Mensbrugge, D.** 2006. Chapter 12 in: Anderson, K., W. Martin, eds. 2006. *Agricultural Trade Reform and the Doha Development Agenda*. Palgrave Macmillan and the World Bank.
- **AVENDAÑO, A.** 2003. El proceso de compostaje. Pontificia Universidad Católica de Chile, ajustados por Francisco Tapia y Pablo Gamboa (INIA-La Platina).
- **BANCO MUNDIAL 2007**, Informe sobre el Desarrollo Mundial 2008: Agricultura para el Desarrollo. Washington DC, 33pp
- **SCHLAMADINGER, B., N. Bird, T. Johns, S. Brown, J. Canadell, 2007.** A synopsis of land use, land-use change and forestry (LULUCF) under the Kyoto Protocol and Marrakech Accords, *Environmental Science & Policy* 10:271-282. Convención de Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC):
<http://unfccc.int/home/items/6078.php?searchbutton.x=0&searchbutton.y=0&q=lulucf&cx=009772925632828311246%3Agjvsnghto1u&ie=UTF-8&sa>.
- **DEPARTMENT ON CLIMATE CHANGE AND EFFICIENCY**, Australia. Australia's emissions projections 2010. Technical papers for each sectoral projection. Diciembre 2010.
<http://www.climatechange.gov.au/publications/projections/australias-emissionsprojections.aspx>
- **WINKLER, H.** Taking Action on Climate Change. Long term mitigation scenarios for South Africa. Diciembre 2009.
- **INE. 2009**, Informe Anual 2007, Santiago de Chile, 237 pp.
- **INE-CELADE. 2005**, CHILE: Proyecciones y Estimaciones de Población. Total País 1950-2050
- **INE. 2009.** Cambios Estructurales en la Agricultura Chilena – Análisis Intercensal 1976 – 1997 – 2007. Disponible en www.ine.cl.
- **INIA. 2010.** Inventarios Anuales de Gases de Efecto Invernadero de los Sectores “Agricultura”, “Uso y Cambio de Uso de los Suelos y Silvicultura” y “Residuos”, serie temporal 1984-2006”.
- **ODEPA. 1990 - 2005.** “Precios de Productos e Insumos Agropecuarios”. Disponibles en www.odepa.cl.
- **ODEPA. 1990 - 2005.** Comercio Exterior Silvoagropecuario. Disponibles en www.odepa.cl.
- **ODEPA. 2005.** Agricultura Chilena 2014: Una Perspectiva de Mediano Plazo. Disponible en www.odepa.cl. Proyecciones al 2007. Sobre estas cifras. Biodiesel, Lupino, Canola.

- **ODEPA. 2012.** Cambios Territoriales y Tecnológicos en el Riego Agrícola en Chile entre los años 1997 y 2007. Disponible en www.odepa.cl
- **SANTIBAÑEZ, F, A. de la Fuente, E. Acevedo, 1996,** Escenarios de crecimiento del sector agrario y posibles cambios de uso del suelo. En: Osvaldo Sunkel (ed.): *Sustentabilidad ambiental del crecimiento económico chileno*, Programa de Desarrollo Sustentable-Centro de Análisis de Políticas Públicas-Universidad de Chile, Santiago, pp. 227-228.
- **SANTIBAÑEZ F., 2009.**Desafíos y oportunidades para el sector agroalimentario, forestal y rural de Chile hacia el año 2030: Aspectos ambientales. Ministerio de Agricultura. Fundación para la Innovación Agraria.
- **RODRIGUEZ, J. 1994.** Manual de Fertilización. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

12 ANEXOS

12.1 Dosis de nitrógeno y los factores de emisión que son requeridos para la estimación de emisiones directas e indirectas de óxido nitroso.

Cultivo	Dosis de N (Kg N/ha)
Frutales Caducos	150
Frutales Persistentes	140
Viñas	90
Chacras, Indust y F. Men.	150
Cereales	184
Arroz	200
Maíz	435
Hortalizas	120

Factor de Emisión (FE ₁)	0,0100
Factor de Conversión N-N ₂ O (FC _{N-N₂O})	1,5714
Fracción de Lixiviación (Frac _{Lix})	0,3000
Factor de Emisión (FE ₂)	0,0075
Fracción de Gasificación (Frac _{Gas})	0,1000
Factor de Volatilización (FE _{Vol})	0,0100
Potencial de Calentamiento Global N ₂ O (PCG _{N₂O})	310
1/10 ⁶	1000000

12.2 Factores de emisión por pastoreo directo y esparcimiento diario

Factor de Emisión (EF _{3 PRP, CPP})	0,0200
Factor de Emisión (EF _{3 PRP, SO})	0,0100
Factor de Emisión (EF ₄)	0,0100
Factor de Emisión (EF ₅)	0,0075
Fracción de Gasificación (FRAC _{GASF})	0,1000
Fracción de Gasificación (FRAC _{GASM})	0,2000
Fracción de Lixiviación (FRAC _{LIXIVIACIÓN})	0,3000

Anexo N°1: Factores de Emisión Directa e Indirecta y Fracciones, considerados para el cálculo de emisiones de Nitrógeno por Pastoreo Directo. Fuente. IPCC 2006

12.3 Factores de emisión de metano por fermentación entérica y gestión del estiércol

Grupo Animal	Factor de Emisión Kg CH ₄ /Cabeza-año
Vacas lecheras	73,51
Vacas carne	42,67
Ovinos	5,00
Caprino	5,00
Llamas y Alpacas	8,00
Equino	18,00
Mulas y Asnos	10,00
Porcinos	1,00

Anexo N°2: Factores de emisión para cada especie animal de metano por Fermentación Entérica

Grupo animal	Factor de Emisión Kg CH ₄ /Cabeza-año
Bovinos Carne	1,83
Bovinos Leche	26,49
Porcinos	15,94
Ovinos	0,15
Caprinos	0,17
Equinos	1,64
Mulas y asnos	0,90
Camélidos	1,64
Aves de Corral	0,02

Anexo N°3: Factores de emisión para cada especie animal de metano por Gestión del Estiércol

Gestión del Ganado y Estiércol.

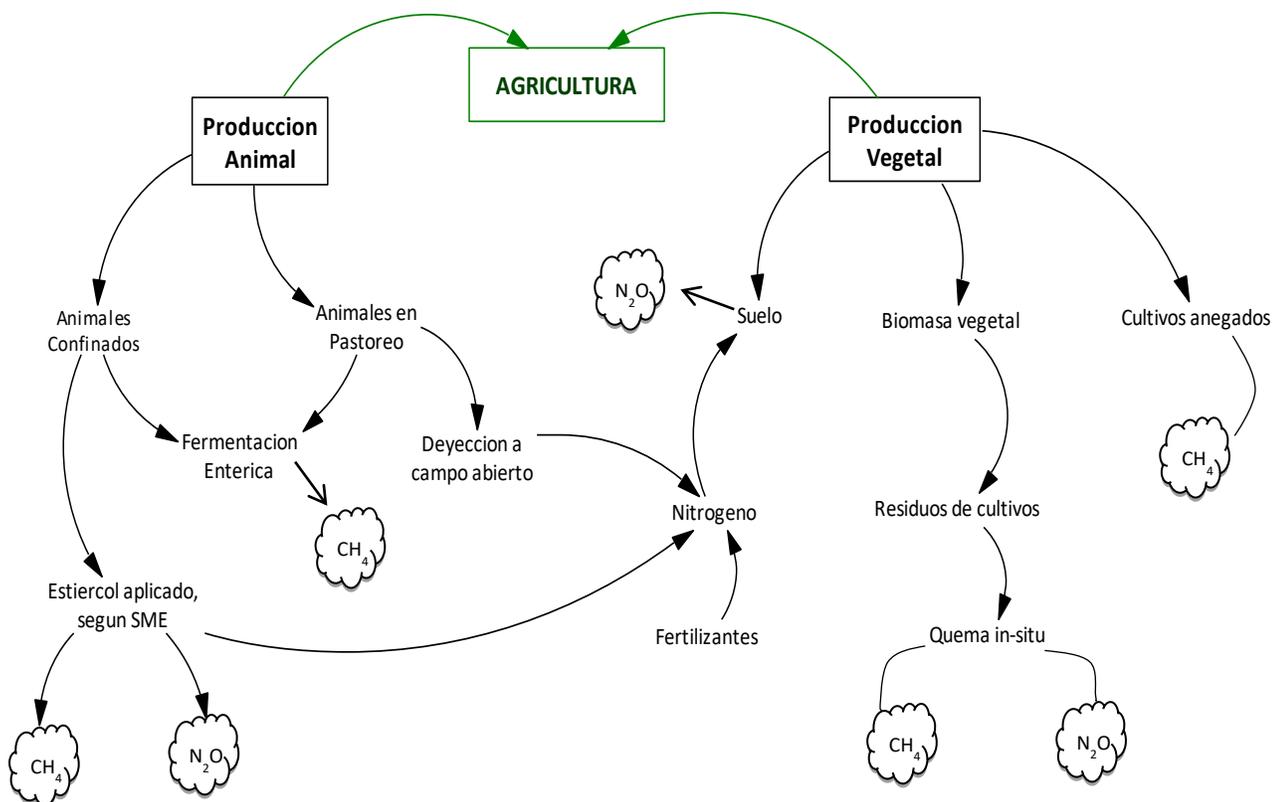
SME	Factor de Emisión
Laguna anaeróbica	0,001
Sistema de tipo líquido	0,001
Abono diario	0
Almacenamiento sólido y parcelas secas	0,02
Praderas y pastizales (pastoreo directo)	0,02
Otros sistemas	0,005

Anexo N°4: Factores de emisión por Sistema de Manejo del Estiércol. Fuente: IPCC 2006

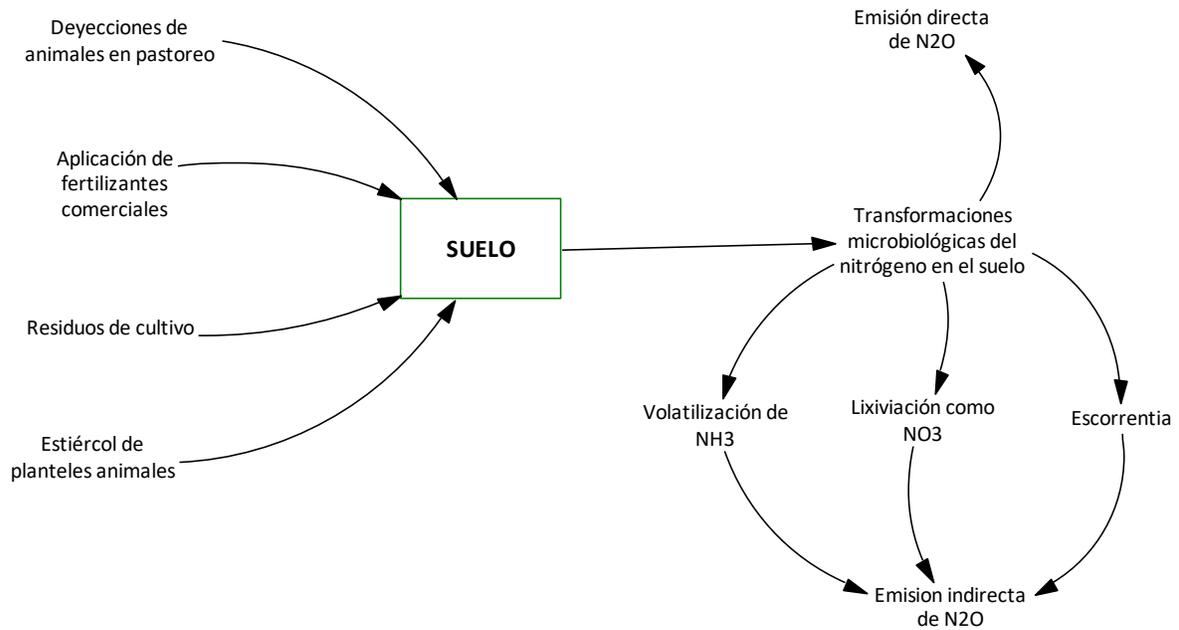
Promedio anual de Excreción de N por cabeza (Kg N/animal año)	
Bovinos Carne	40,0
Bovinos Leche	70,0
Porcinos	16,0
Ovinos	12,0
Caprinos	40,0
Equinos	40,0
Mulas y asnos	40,0
Llamas y Alpacas	40,0
Aves de Corral	0,6

Anexo N°5: Taza de excreción de Nitrógeno por especie animal

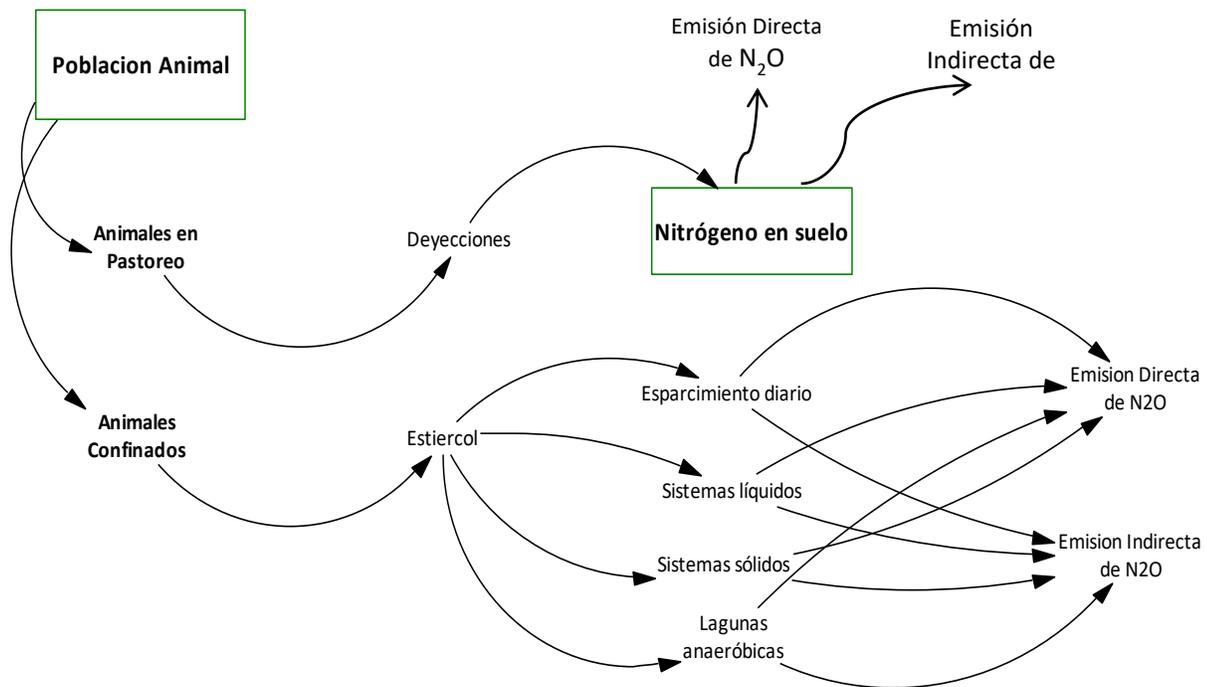
12.4 Esquema general de las emisiones agrícolas de GEI



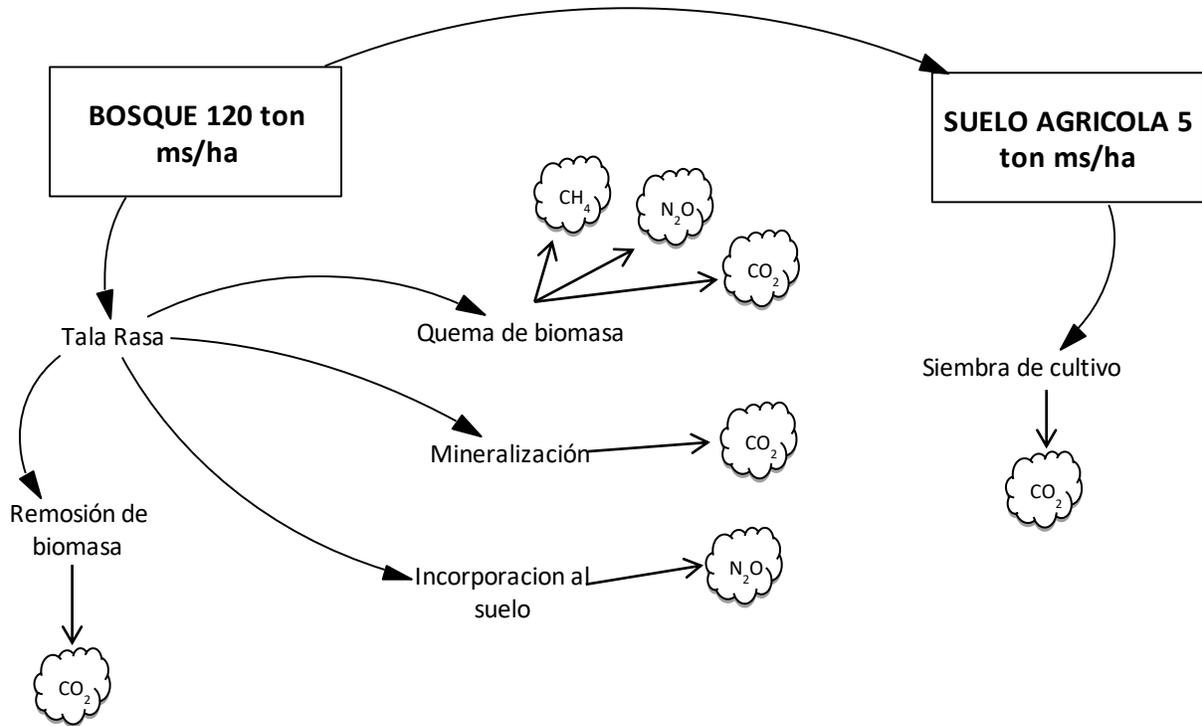
12.5 Esquema de N₂O desde los suelos cultivados



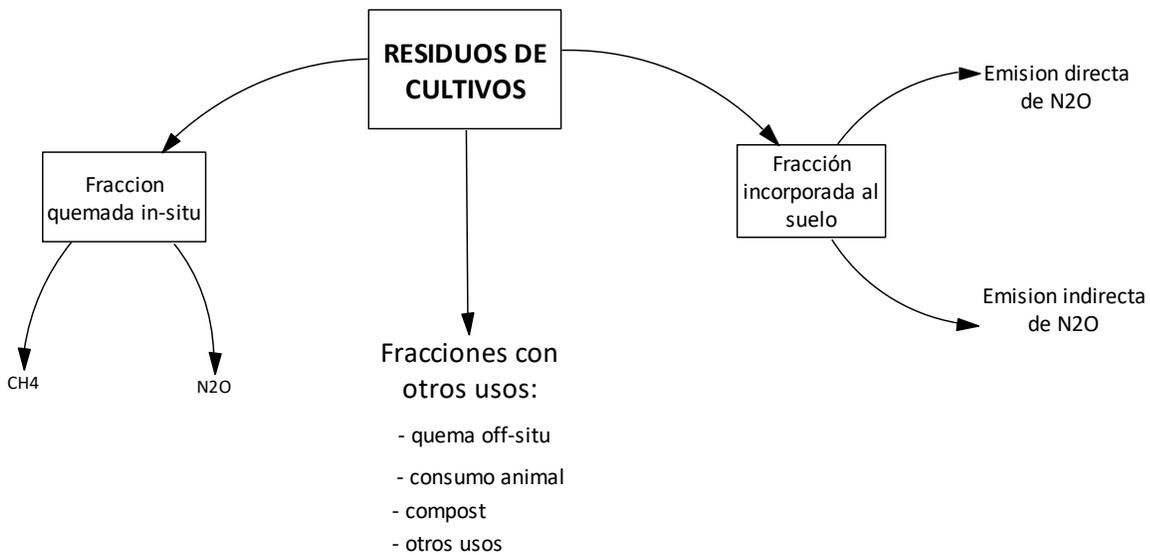
12.6 Esquema de emisiones GEI de origen animal



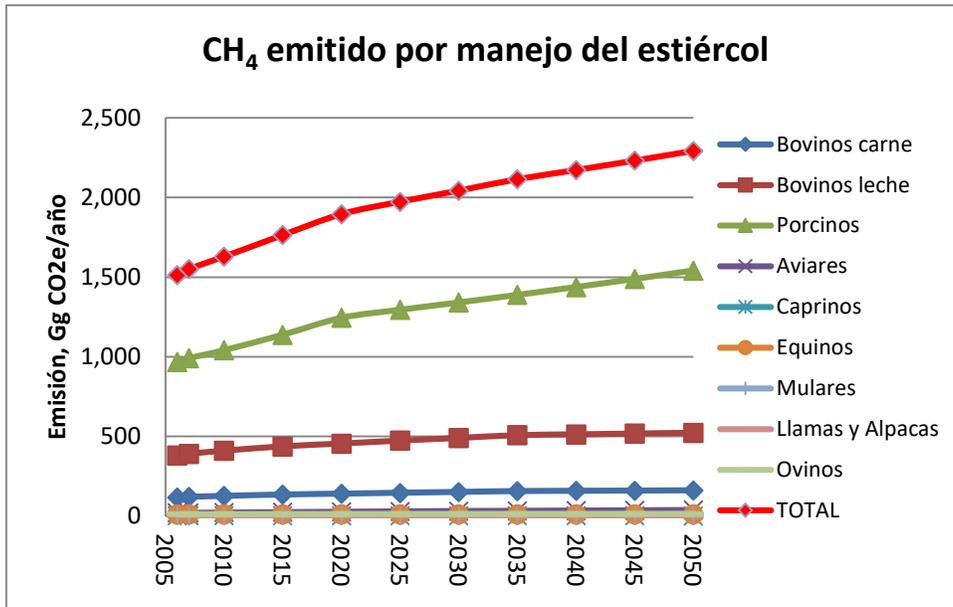
12.7 Esquema de flujos de GEI por habilitación de suelos forestal



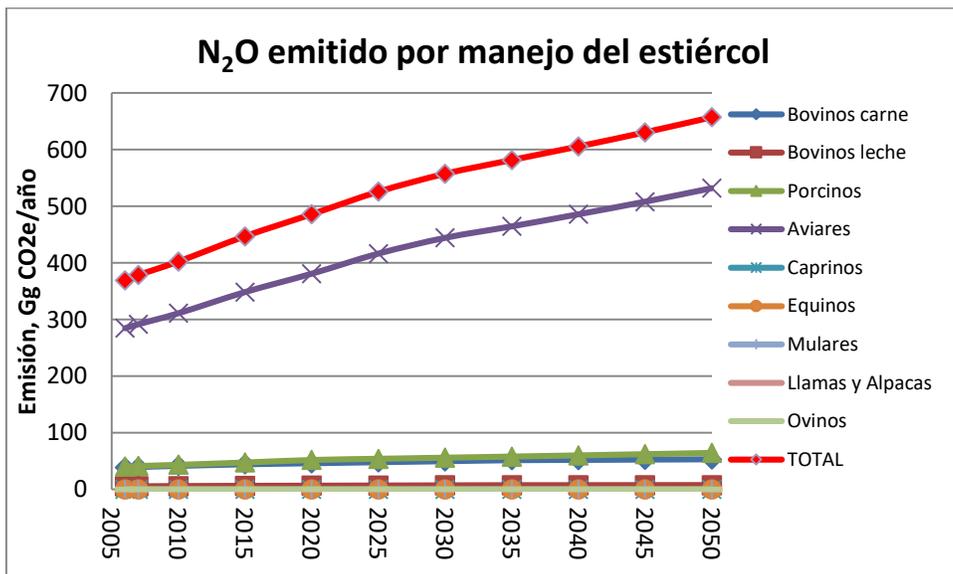
12.8 Esquema del aporte de los residuos de cultivos a las emisiones GEI



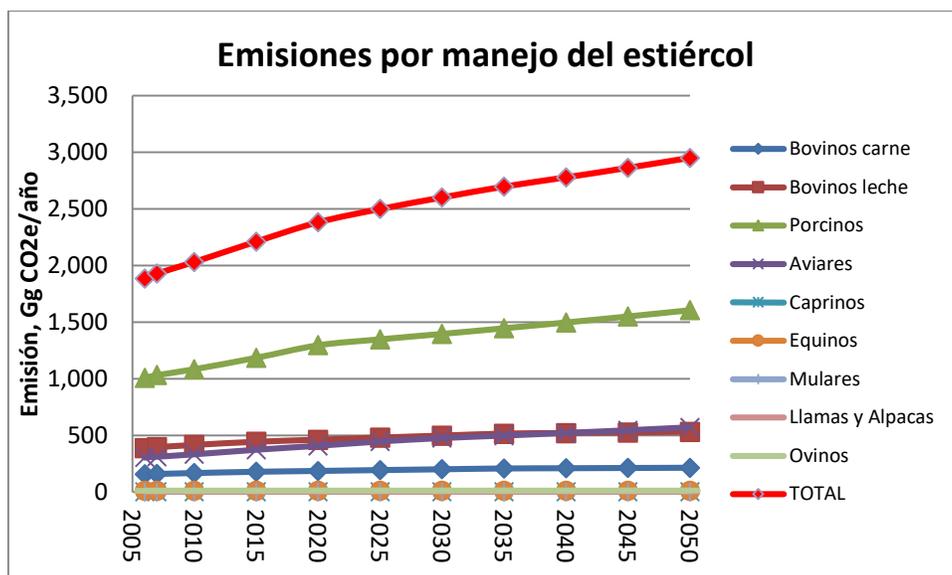
12.9 CH₄ emitido por manejo del estiércol



12.10 N₂O Emitido por manejo del estiércol



12.11 Emisiones por manejo del estiércol



12.12 Modelo AGRI

El modelo AGRI simula el comportamiento de la agricultura, tomando como base el patrimonio de suelos en sus distintas clases de capacidad de uso, las potencialidades climáticas, recursos hídricos, uso del suelo, tecnología agraria, demografía e ingreso. Las necesidades futuras de productos agrícolas son proyectadas principalmente sobre la base del crecimiento vegetativo de la población y del crecimiento del ingreso per cápita (ver anexo con el tipo de resultados citados). La superficie sembrada de cada rubro depende, además, del aumento de la productividad debido a mejoramientos tecnológicos. La estructura de uso del suelo cambia en función de la demanda por distintas producciones, la que se origina en lo principal por el crecimiento poblacional y los aumentos de ingreso por habitante, además de las expectativas de crecimiento de las exportaciones de cada rubro, variables que actúan como drivers de la dinámica de uso del suelo en el país. (Figura 12.1.).

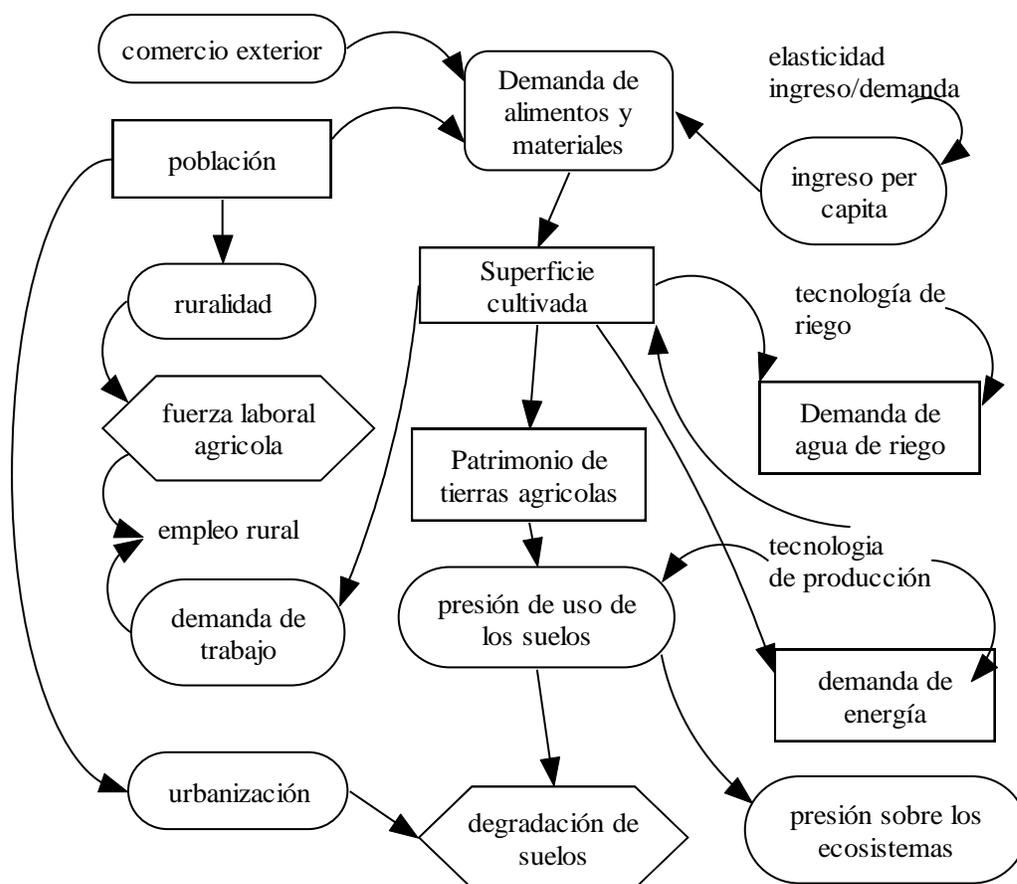


Figura 12. 1. Diagrama modelo AGRI

Las entradas del modelo son la población actual, tasas de crecimiento del PIB, ingreso per cápita, ruralidad, insumos agrícolas, disponibilidad de suelos, tasas de riesgo, rendimientos agrícolas, estándares técnicos de los cultivos, áreas de bosques y áreas silvestres. Las salidas del modelo son uso actual del suelo para diversos horizontes, requerimientos de agua, de suelos, de mano de obra, de energía, volúmenes de producción, ampliación de fronteras agropecuarias, oferta y demanda de mano de obra rural, ingreso (en anexo se entregan algunos resultados obtenidos con el modelo AGRI).

Este modelo solo se ha usado como referencia por cuanto trabaja con cifras nacionales y no regionales. A partir de este, hemos creado una versión simplificada llamada AGRI-LU (AGRI Land Use), construida específicamente apuntando a lo requerido por este proyecto. El modelo crea escenarios nacionales de uso del suelo, luego los regionaliza y finalmente calcula las emisiones por los distintos conceptos atribuidos a la agricultura.

12.13 Proyecciones realizadas con el Modelo AGRI

Cuestiones estratégicas del crecimiento de la agricultura chilena

En la medida en que los cambios climáticos vayan siendo más evidentes, irá aumentando el tipo y número de exigencias ambientales a los productos agrícolas, especialmente a los rubros de exportación.

Consideraciones finales sobre la sustentabilidad ambiental del crecimiento del sector agrícola en relación con las tendencias modeladas por el AGRI

Es necesario enfatizar los profundos cambios en el uso del suelo que están ocurriendo al presente y que se visualizan a futuro con mayor intensidad. Uno de los fenómenos relevantes es la transferencia de tierras desde el sector agropecuario al sector forestal. Esto conlleva profundas transformaciones en los ecosistemas, así como en la población rural de extensas áreas del territorio.

		1994	2000	2010	2015	2025	2030	2035
Población estimada	(mill. de hab.)	14.03	14.83	16.45	17.24	18.79	19.54	20.25
Ingreso	(miles de US\$)	3.72	7.31	14.05	19.07	24.03	28.70	29.13
Ruralidad		0.16	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08
Población rural	(mill. de hab.)	2.24	2.22	2.14	2.07	1.88	1.76	1.62
Fuerza de trabajo agrícola	(miles de personas)	808	801	770	745	677	633	583
Demanda de mano de obra	(miles de jornadas)	499	550	676	754	947	1038	1094
Migración a ciudades	(Miles de hab.)	0	148	493	690	1128	1367	1620
Superficie arable	(miles de ha)	5273	5266	5254	5248	5236	5230	5224
Superficie arable per cápita		0.38	0.36	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26
Superficie regada	(miles de ha)	1249	1281	1344	1375	1438	1469	1500
Demanda de agua	(Km3)	16.02	17.30	19.80	20.50	21.20	21.20	21.40
Presión uso del suelo	(miles de ha)	2.47	2.76	3.49	3.98	6.18	7.08	7.36
Erosión de suelo	(miles de ha)	0.00	1.01	3.04	4.05	6.08	7.09	8.10
Urbanización suelo agrícola	(miles de ha)	0.00	6.00	18.00	24.00	36.00	42.00	48.00
Total pérdida de suelo	(miles de ha)	0.00	7.01	21.04	28.05	42.08	49.09	56.10

Cuadro 12. 1.Cifras Globales de la Agricultura Proyectadas con el Modelo AGRI

Las proyecciones para las próximas décadas respecto a la transferencia de tierras desde el sector agropecuario al sector forestal indican que la tendencia irá en aumento, especialmente desde la VII Región al sur, donde habrá una clara ganancia de potencial productivo para este rubro. Desde

esta perspectiva, los rubros que estarían siendo desplazados serían en primer término las praderas naturales utilizadas para producción de ovinos, luego aquellas destinadas a producción de carne bovina, en tercer lugar aquellas tierras destinadas a cultivos de tipo tradicional.

En términos generales, la demanda de trabajo responde a los niveles de actividad sectorial y de productividad de la fuerza de trabajo, a los cambios en la tecnología de los procesos productivos y al costo relativo de la mano de obra comparado con el capital, por ejemplo, la mecanización o utilización de agroquímicos.

De continuar el descenso de la fuerza de trabajo agrícola, podría frenar la expansión de los rubros más intensivos en el uso de la mano de obra, como es el caso de frutales y hortalizas. El proceso se vería reforzado ante el esperado incremento en el nivel de los salarios, estimulando la sustitución de la fuerza de trabajo y su reemplazo por fuerza mecánica.

a. Población y ruralidad

Las tendencias demográficas actuales muestran una acelerado desruralización de la sociedad chilena (CELADE, 2008). Esto pone una nota de inquietud sobre las disponibilidades futuras de fuerza de trabajo en el campo. Esto irá creando un desequilibrio que se ajustará vía precios de la mano de obra o vía una aceleración en la mecanización y tecnificación de la agricultura chilena. En un contexto macroeconómico es necesario definir el equilibrio demográfico territorial que resulte más conveniente a los objetivos del desarrollo nacional. Este tema es de vital importancia en la preservación o incremento de la competitividad de la agricultura chilena, más aún en el presente, en que el país deberá enfrentar difíciles escenarios comerciales, con restricciones ambientales adicionales. Es fundamental crear las condiciones de desarrollo que hagan atractivo el doblamiento de zonas rurales (Banco Mundial, 2008). Esto se logra con infraestructura, institucionalidad, incentivos y sistemas de comunicación modernos y eficientes. Los problemas sociales que varias metrópolis han comenzado a observar (contaminación, congestión, delincuencia) debieran reponer el interés de implementar políticas de protección de la ruralidad en Chile, como existen en varios países europeos.

b. Conservación de los suelos

Uno de los aspectos que pone más en cuestión el desarrollo sustentable de la agricultura de Chile es la relativa fragilidad de su recurso suelo. En la actualidad ya se encuentran con grado de erosión grave y muy grave unos 11,5 millones de hectáreas. Alrededor de un 45 por ciento del territorio muestra algún grado de erosión de sus suelos. Importantes zonas agrícolas muestran grados de salinización, contaminación o deterioro de las propiedades de los suelos (Peralta, 1976; Kerrigan, 1994).

Estos procesos degradativos deberán aumentar a futuro, para lo que es necesario mejorar las tecnologías de manejo de éstos. La forestación de sectores degradados contribuirá en buena medida a recuperar parcialmente el patrimonio actualmente en riesgo. El cambio climático vendrá a exacerbar los riesgos de erosión considerando que el régimen de lluvias podría tender a hacer aumentar la intensidad de estas.

c. Urbanización

La urbanización de los terrenos agrícolas ha sido una de las causas principales de pérdida de tierras. Los planos reguladores intercomunales y de límites urbanos de varias ciudades importantes consignan una superficie de 139.000 hectáreas aptas para la urbanización. La mayor parte de esta superficie está en la Región Metropolitana y corresponde a suelos altamente productivos. ¿Serán sustentables estos niveles de depredación urbana en un país con pocos y frágiles recursos de tierra arable?. Considerando que es más fácil urbanizar terrenos planos, es altamente probable que este proceso continúe reduciendo el patrimonio de tierras disponibles para la agricultura durante las décadas que vienen.

d. Contaminación

Son varias las fuentes de contaminación del suelo. Algunas de ellas son la minería, los residuos de pesticidas por el uso inadecuado de éstos, el mal uso de los fertilizantes y el riego. En el futuro deberán aumentar las regulaciones, hoy inexistentes, que permitan controlar esta fuente de deterioro del patrimonio nacional, especialmente en las situaciones en que los contaminantes ingresen a las cadenas tróficas poniendo en riesgo la salud humana.

e. Agricultura sustentable

La conservación de los diversos recursos que participan en la producción agrícola sólo es posible si la tecnología de producción incorpora intrínsecamente el concepto de conservación. Un concepto asociado a esta idea es la necesidad de generalizar la noción de bien común en armonía con el bien individual. En la actualidad disponemos de varias tecnologías que pueden constituir la base para diseñar un sistema de producción agrícola sustentable. Entre éstas están la agricultura de bajos insumos con alto nivel de reciclaje, las técnicas de conservación de suelos y aguas, control integrado de plagas y enfermedades, uso de la diversidad de rubros productivos y rotaciones de cultivo, recursos genéticos apropiados a los ecosistemas nacionales. La combinación óptima de estos elementos depende de cada situación agroecológica y económica, no existiendo recetas de orden general. En el futuro será necesario generar paquetes tecnológicos adecuados a cada realidad local, dentro de un marco de realismo económico y social.

Las herramientas biotecnológicas prometen nuevas oportunidades para la producción agrícola sustentable. Aspectos como la prevención de enfermedades sin la aplicación de pesticidas, mejoramiento genético, incremento en la calidad de los derivados agrícolas, es decir disminuyendo los procedimientos que afectan la mantención cuantitativa y cualitativa de los recursos en el tiempo, son innovaciones tecnológicas que el país debe promover en la modernización de la agricultura en un rango que va desde el cultivo de tejidos hasta la ingeniería genética.

f. Tendencias de la disponibilidad de Recursos hídricos

La noción de que los recursos hídricos son finitos no parece estar presente en la conciencia nacional. Un simple dimensionamiento de estos recursos pone de relieve su precariedad, especialmente en las cuencas situadas al norte de Santiago (DGA-MOP, 1996). El mayor consumidor de agua es la agricultura y, a pesar de esto, el uso agrícola de este recurso es extremadamente ineficiente (30 a 40%). Esto no sólo representa un derroche de agua, sino además ocasiona graves pérdidas de suelos, de infraestructura de riego y contaminación de agua. Una preocupación especial deberá tenerse a futuro por la tecnificación del regadío y por la

racionalización en el uso de ella a nivel de cuencas hidrográficas. Las tendencias climáticas indican que la escorrentía anual podría caer entre 15 y 25% en la mayor parte de las cuencas. Se suma a esto un posible aumento en la intensidad de las lluvias, las cuales podrían ser menos frecuentes pero más intensas, lo que, junto a la elevación de la isoterma 0°C, tendera a aumentar la escorrentía invernal en perjuicio de la estival.

g. La amenaza del cambio climático

Los impactos de los cambios climáticos sobre el territorio chileno variarán con la región y los tipos de agricultura. En general los modelos tienden a coincidir en que se produciría una cierta aridización de la zona central a la vez un aumento de la pluviometría de Chiloé al sur (*IPCC, 2007*). Este hecho, junto al aumento de unos 2°C de la temperatura media en la primera mitad de este siglo, podría desplazar las actuales zonas climáticas unos 200 a 300 Km hacia el sur. La isoterma de 0°C podría subir 300 a 400 metros en la Cordillera de los Andes, lo que reduciría la precipitación sólida en las cuencas, favoreciendo el escurrimiento invernal en perjuicio del estival (*CONAMA-DGF UCHILE, 2006*).

La mayor parte de los cultivos anuales podrían cambiar sus fechas de siembra lo que compensaría una situación climática adversa. La atenuación del régimen de heladas permitiría adelantar en varios meses la fecha de siembra, lo que permitiría aprovechar parcialmente las precipitaciones invernales. Los frutales podrían extender su área de cultivo hacia las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Las especies subtropicales podrían mejorar sensiblemente su potencial en casi todas las regiones. El bosque plantado de Pino observará un importante deterioro en su potencial productivo en las regiones de O'Higgins y del Maule. Contrariamente su potencial podría aumentar de La Araucanía al Sur lo que estimulará un desplazamiento de las inversiones forestales hacia esas regiones.

Las praderas en general tendrían una menor producción, especialmente en la zona central y centro norte. La principal causa de caída en la producción de ellas se deberá a la prolongación de la estación seca estival, provocando un déficit de forraje para el ganado.

El bosque nativo podría hincar una etapa regresiva en varias zonas del territorio, esto, como consecuencia del aumento de la aridez (hasta el Biobío) o al aumento de la temperatura que podría restarle ventajas competitivas a algunas especies nativas, permitiendo el crecimiento de especies invasivas.

Las cuencas nivales de la zona central podrían registrar una disminución de la escorrentía, del orden de 10 a 25%, como consecuencia de la menor pluviometría. No obstante esto, en el corto plazo, un aumento de la temperatura podría generar aumentos de la escorrentía por el mayor aporte de las reservas de hielo. La escorrentía de las cuencas pluviales de las regiones de La Araucanía a Los Lagos, generarían respuestas proporcionales a los cambios en la pluviometría. Igual situación es esperable para cuencas de las regiones de Aysén y Magallanes donde la escorrentía podría aumentar en respuesta a una mayor pluviometría.

Los escenarios climáticos sugieren que los cambios para la agricultura, dependiendo de la región, pueden ser negativos y positivos, con un balance global más bien positivo en la medida que el país sepa implementar una correcta política de adaptación. La mayor interrogante surge de los cambios negativos de la hidrología de la Cordillera de los Andes, lo que podría amenazar a la

agricultura regada, si no se realizan importantes mejoramientos en la infraestructura de regulación hidrológica de las mayores cuencas.

h. Productividad agrícola

Si bien la productividad de los cultivos ha aumentado en las últimas décadas como consecuencia de los mejoramientos tecnológicos, en la actualidad ella pareciera haber entrado en una fase de incrementos marginales. Pareciera que en muchos los rendimientos se han acercado a las posibilidades potenciales ofrecidas por el germoplasma disponible, lo que hará muy difícil que en el futuro continúe el alza en los rendimientos de los cultivos mayores. La mantención de los rendimientos se ve amenazada por los cambios climáticos que traerán mayores niveles de estrés hídrico y térmico en toda la zona norte, centro y centro sur del país. Adecuando la tecnología de producción y el uso de la tierra podrían atenuarse estos impactos. Estas adecuaciones podrían incluir el doble cultivo, el sombreado para reducir el estrés térmico, manejo de alta eficiencia del agua de riego, cambios en las fechas de siembra, manejo integrado de plagas, uso de variedades genéticamente modificadas más resistentes y estables a las variaciones ambientales. A futuro será tan importante como el aumento de los rendimientos la necesidad de una mayor eficiencia en el uso de los insumos de producción. Se requerirá una gestión de los procesos cada vez más tecnificada y adaptada a cada condición local. Esto último es igualmente un requisito en las cadenas productivas bajas en carbono (Birdsall, N, 2008; De la Torre et al, 2009).

La investigación biotecnológica hará posible vencer algunas de las barreras biológicas que limitan ya sea al potencial productivo o la eficiencia del proceso productivo respecto de los insumos. Una contribución adicional de las técnicas biotecnológicas será la incorporación de áreas marginales a la producción agrícola, mediante especies rústicas resistentes a estrés, sin esto implicar un mayor riesgo para el medio ambiente.

i. Biodiversidad

Para hacer agricultura ha sido necesario modificar los ecosistemas, destruyendo la biodiversidad genética, tanto específica como ecosistémica.

Chile es un reservorio de especies silvestres con un alto endemismo. Hay además taxas, relictos y ecosistemas únicos, clasificados como frágiles, los que asociados a la presencia de fenómenos recurrentes con potencial de efecto global, como son el enrarecimiento de la capa de ozono y el fenómeno de la corriente del Niño, colaboran en determinar una mayor susceptibilidad de éstos a la acción antropogénica.

La extracción acelerada de la flora y fauna, la fragmentación de hábitats, la contaminación asociada a procesos industriales, y la falta de conocimiento sobre los efectos que estos procesos productivos generan, no aseguran la conservación en el futuro de los recursos genéticos actuales del país. En el futuro será de vital importancia poner en marcha un plan de preservación de la biodiversidad que vengán a reforzar el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) que cubre 58 ambientes naturales, de un total de 83 en que se ha dividido el país.

12.14 Protocolo de cálculo de las tasas de cambio de las superficies cultivadas

El PIB agropecuario ha demostrado, en las últimas décadas, una menor dinámica de crecimiento que el PIB nacional, lo que ha tenido como consecuencia una caída en la participación del sector en el PIB nacional.

A diferencia de otras actividades económicas, la agricultura se ve influenciada fuertemente por las eventualidades climáticas, las que afectan en forma diferenciada a los distintos rubros de producción. Es decir, una eventualidad negativa puede afectar a unos rubros y no a otros. Incluso ocurre que un mismo fenómeno climático es favorable para un rubro y desfavorable para otro. Esto hace que no haya una estricta relación entre la superficie sembrada por una especie y el precio del producto final. Adicionalmente, la agricultura responde a variables sociales, culturales, mano de obra, precios internacionales, apertura de mercados, precio del dólar, usos competitivos de los recursos naturales, particularmente del agua, todo lo cual requeriría de modelos extraordinariamente complejos para ser abordado en un estudio como este. Para estimar las tasas de cambio en las superficies cultivadas, proponemos un protocolo que permita mantener una permanente actualización de los cambios que todos estos factores van teniendo en el tiempo, afectando las decisiones de siembra o plantación.

A diferencia de otros sectores de la economía, el PIB agrícola sufre de bruscas variaciones interanuales. Ello obedece a que este es un sector fuertemente dependiente del clima y de los mercados internacionales de productos. Durante años de sequía, el PIB agrícola tiende a decrecer. La abundancia de dólares provenientes de las exportaciones no agrícolas igualmente tiende a deprimir a la agricultura, lo que explica por qué el PIB agrícola tiene periodos de desacople respecto del PIB nacional. Como la agricultura es un conjunto de 25 o 30 especies mayores (vegetales y animales), cada especie tiene una dinámica propia, mercados propios, factores de competitividad propios. Esto hace que la relación entre la superficie sembrada de cada rubro con respecto al PIB agrícola no guarda una relación estadísticamente válida que permita usar al PIB agrícola como variable para proyectar a superficie sembrada o plantada. Baste imaginar que los cereales dependen del clima mundial. Si las sequías diezman la producción en Canadá, Australia, USA, Ucrania y Argentina, entonces sube el precio internacional, ergo en Chile, y al año siguiente aumenta las siembras por un par de años, para luego desplomarse una vez repuestos los stocks mundiales de cereales. La vitivinicultura igualmente sigue ondas de alta y baja en función de los mercados del vino

Un análisis del mercado de productos agropecuarios está completamente fuera de las posibilidades de un estudio como este. No podemos perder la dimensión de lo que se está hablando pues las demandas "externas" representan a las demandas mundiales de productos agropecuarios, tanto de productos frescos como agroindustriales. Además la demanda de productos agropecuarios que generan los 7000 millones de habitantes no es en sí lo que determina las expectativas de cada rubro, sino la relación "oferta/demanda", que es la que produce escasez o abundancia de productos en los mercados. Esta relación varía de año en año y de producto en producto debido a que la agricultura mundial está sujeta a los vaivenes climáticos y políticos.

Aunque la agricultura tenga una dinámica propia, ella es parte de la economía, razón por la que hemos establecido una relación entre el PIB nacional y el PIB agrícola (**figura 6.2**).

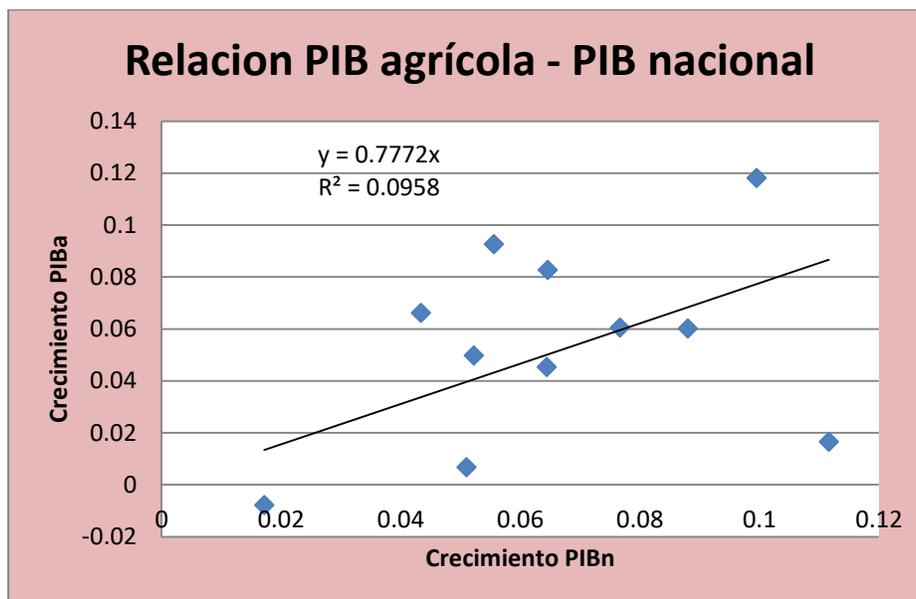


Figura 12. 2. Relación entre el PIB agrícola y el PIB nacional

$$PIB_{agrícola} = 0.77 * PIB_{nacional}$$

Considerando la débil relación entre ambas variables, se recomienda mantener una permanente actualización de esta relación.

Luego se calcula la competitividad de cada rubro en base a la integración del efecto de los drivers que la determinan. Para esto se utiliza una matriz, donde cada driver se evalúa a partir de criterio experto por separado según la escala +3 a -3 descrita en la sección anterior. La competitividad resultante es el promedio del puntaje asignado a cada driver.

$$Competitividad_{rubro\ x} = \sum drivers / n$$

N es el número de drivers considerados para cada rubro.

A parte de los factores que incentivan o desincentivan la siembra de cada rubro, la dinámica global de la agricultura actúa igualmente como un driver adicional. Esto permite recoger el efecto tanto en el consumo como en los flujos de capital que se producen en momentos de activo crecimiento de la agricultura, lo que tiende a estimular a todos los rubros de producción y, en sentido inverso, en los momentos críticos, dejan de fluir los capitales lo que tiende a deprimir incluso a los rubros para los cuales los drivers sean relativamente positivos. Lo anterior se ha considerado en lo que hemos llamada "factor de competitividad"

$$Factor_{competitividad} = Competitividad + 0.2 * PIB_{agrícola}$$

El coeficiente 0.2 fue obtenido por ajuste empírico en base a los datos históricos de PIB agrícola y de tasas de siembra de los distintos rubros.

La tasa de siembra o cultivo de cada rubro es la resultante del producto entre el PIBa y el factor de competitividad

$$Tc = \text{Factor de competitividad}_{rubro} \times \text{Tasa de crecimiento promedio (proyectada) PIB}_{agrícola}$$

Tc es la tasa de variación superficie sembrada o plantada de cada rubro de producción |

3 a -3 Matriz de competitividad para los diferentes rubros
Las variables oscilan en una escala de +3 a -3
+3= altamente compe -3=muy desfavorable

	frutales Caducos	frutales persistente	Viñas	Ch e Indus	Cereales	Arroz	Pradera	Forestal	Pradera natural	Áreas silvestres	Maiz	Hortalizas
Disponibilidad de suelos	3	3	3	-2,5	1	0	1	1	1	-2	1	-1
Mano obra	-2	0	0	-1	2	1	3	3	3	2	0,5	0,5
Cambio clima	-1	1	2	2	-1	3	-1	-2	-2	-1	1	2
Exigencias hídricas	-1	-1	-1	-1	-2	-3	0	-1	-1	0	0	-1
Rentabilidad	3	3	2	-2	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-2	-1
Demanda interna/externa	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1,5	3
Competitividad	0,50	1,17	1,17	-0,42	0,00	0,00	0,50	0,17	0,17	-0,17	0,33	0,42

Cuadro 12. 2. Tasas de competitividad de cada rubro

Las tasas de variación de las superficies de cada rubro, así calculadas, se validaron con información de los últimos 10 años sobre las superficies sembradas de cada rubro.

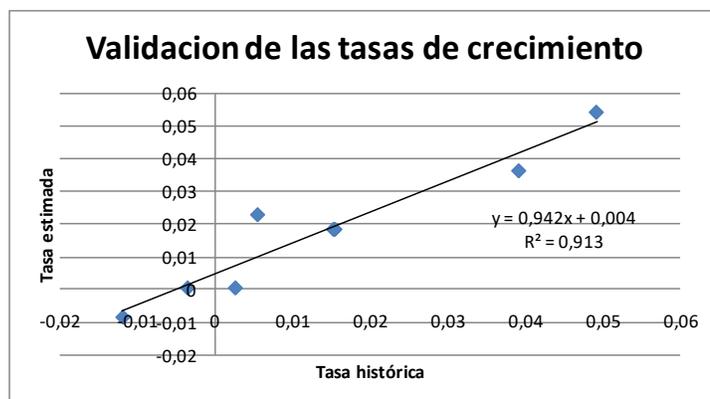


Figura 12. 13. Validación del cálculo de las tasas de variación de las superficies ocupadas por cada rubro.

El alto coeficiente de determinación confirma que el protocolo recoge bien el efecto de los drivers y del PIB sobre las decisiones de siembra o plantación de los distintos rubros agrícolas.

Las proyecciones se hacen a partir de la línea base, que establece la estructura de uso del suelo a un año de referencia, en este caso 2006.

En los últimos años se ha observado una disminución sistemática de la superficie sembrada de cultivos anuales, lo que no se condice con el aumento del observado por el PIB agrícola. De hecho, el PIB agrícola registra un crecimiento claramente más lento que el PIB nacional, lo que hace que la participación de la agricultura en el PIB nacional ha ido en franca disminución.

La superficie de los rubros agrícolas más tradicionales (cereales, chacras, cultivos industriales) muestran un claro desacople (tasas de crecimiento con signo distinto) con respecto al PIB agrícola, mientras que los cultivos permanentes (Frutales y viñas) presentan tasas de igual signo a las de la variación del PIB del sector. Esto señala que se estaría produciendo, en las dos últimas décadas, una transferencia de recursos de producción desde los cultivos anuales a las especies permanentes. Una transferencia de tal tipo responde a las mayores expectativas de rentabilidad o estabilidad de precios de las especies permanentes con respecto a los cultivos anuales. Adicionalmente, esto es una consecuencia de la gran apertura del mercado chileno a los mercados internacionales, lo que, junto con la firma de varios tratados comerciales con países claramente productores de alimentos, ha generado un desincentivo de los rubros menos competitivos, los que son sustituidos por importaciones (caso de los cereales y cultivos industriales).

A pesar de esto, los factores climáticos adversos en los países productores (sequías, heladas, inundaciones), genera un alza temporal de precios que tiende a incentivar la siembra de las especies afectadas. Cuando los precios vuelven a la normalidad, las siembras vuelven a caer. Esto explica los abruptos cambios de signo que se observan en las tasas de siembra en cereales y cultivos industriales.

Por las razones anteriores, hemos modelado las tasas de crecimiento de las diversas especies, en función de los drivers mayores, como son:

1. Ventajas competitivas naturales
2. Disponibilidad de mano de obra
3. Tendencias de cambio climático
4. Disponibilidad de agua
5. Rentabilidad
6. Expectativas de Demanda interna /externa

Cada uno de estos drivers puede operar positiva o negativamente sobre la tasa de crecimiento de las siembras y plantaciones. Por esta razón, hemos propuesto una escala que va de +3 a -3, según la tabla siguiente:

Cuadro 12. 3. Evaluación cualitativa de la competitividad de cada rubro

Acción ejercida por el driver	Índice
Fuerte efecto positivo	+3
Incentiva a un fuerte crecimiento del rubro	
Efecto positivo medio	+2
Incentiva a un crecimiento medio del rubro	

Efecto positivo leve	+1
Incentiva a un crecimiento ligeramente positivo del rubro	
Neutro	0
No ejerce mayor efecto sobre el crecimiento del rubro	
Efecto negativo leve	-1
Incentiva a un ligero decrecimiento del rubro	
Efecto negativo medio	-2
Incentiva a un decrecimiento medio del rubro	
Fuerte efecto negativo	-3
Incentiva a un fuerte decrecimiento del rubro	

Adicionalmente a estos drivers, se incluye el efecto del crecimiento del PIB agrícola que globalmente crea un contexto favorable a las inversiones agrícolas mientras mayor sea el crecimiento global del sector. Contrariamente, un PIB agrícola negativo, crea un contexto desfavorable que desincentiva las inversiones agrícolas (explicación en página 122).

La competitividad resultante se calcula como el promedio del valor de todos los drivers. El sistema permitiría usar ponderadores diferentes para cada driver.