



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

División de ingenierías civil y geomática

Diagnóstico del manejo de residuos de actividades
agropecuarias y su gestión en México

Tesis Profesional
para obtener el título de
Ingeniero Civil

Área

Departamento de ingeniería sanitaria y ambiental

Presenta:

Antonio Jacintos Nieves

Director de tesis:

Dr. Enrique César Valdez



Ciudad Universitaria, México, Mayo 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mi soporte eterno, mi familia

A mis camaradas incondicionales, mis amigos

A la luz de mi vida, mi amor

Al impulso en mi existencia, nuestro mundo

“Con algo de suerte nos daremos cuenta de que no es la producción de residuos el problema que debemos resolver. Si un ser vivo no genera residuos, lo más probable es que no esté vivo, o al menos que esté muy enfermo. El problema que tenemos, aquel que debemos abordar, es que malgastamos los residuos que generamos. Consideremos que la conversión de desechos en nutrientes requiere energía y al mismo tiempo la genera. Mientras que nosotros siempre estamos buscando fuentes de energía para aplicaciones comerciales y domésticas, los ecosistemas nunca necesitan tendidos eléctricos. No hay ningún miembro de un ecosistema que necesite combustibles fósiles o una conexión a la red eléctrica para funcionar; y en los sistemas naturales, los desechos tampoco son un mero resultado. En la naturaleza, el desecho de un proceso siempre es un nutriente, un material o una fuente de energía para otro. Todo permanece en el flujo de nutrientes. Así pues, la respuesta no sólo al desafío medioambiental de la contaminación, sino también al desafío económico de la escasez, puede encontrarse en la aplicación de los modelos que podemos observar en un ecosistema natural. Quizá podamos convertir el dilema en solución si ampliamos nuestra perspectiva y abandonamos el concepto de desecho.”

Pauli, Gunter

La economía azul

Índice de contenido

I.	El ciclo de los residuos y el manejo integral de los residuos	I.1
	Características de los residuos sólidos	I.1
	Ciclo del manejo integral de los residuos	I.12
II.	Estado del arte a nivel global de la gestión de residuos agropecuarios	II.1
	Residuos agropecuarios	II.1
	Aragón	II.2
	Cataluña	II.5
	Canarias	II.8
	Segovia	II.10
	Costa Rica	II.11
	España	II.12
	Unión Europea	II.13
	Estados Unidos	II.15
III.	Diagnóstico del manejo de los residuos de actividades agropecuarias en México	III.1
	Generación	III.1
	Acopio y traslado	III.7
	Aprovechamiento	III.7
	Disposición	III.8
IV.	Caso de estudio: diseño del apartado del sector primario del “Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos sólidos de Aguascalientes”	IV.1
	Proceso de elaboración	IV.1
	Pilares del Programa GIRA	IV.2
	Políticas públicas	IV.3
	Metodología general para el análisis de generación	IV.5
	Estrategias sectorizadas	IV.10
	Indicadores sectorizados	IV.14
V.	Impacto ambiental y a la salud del manejo inadecuado de los residuos agropecuarios	V. 1
	Contaminación atmosférica y cambio climático	V.2
	Contaminación y agotamiento del agua	V.10
	Contaminación bio-química y salud humana	V.16
VI.	Conclusiones: Oportunidades y riesgos para el País en materia de residuos agropecuarios	VI.1

Introducción

El presente trabajo es una primera referencia con relación al análisis de la gestión de residuos agropecuarios en México, identificando oportunidades y riesgos con relación a experiencias internacionales destacadas, asimismo, presentar los resultados del proceso desarrollado al incorporar estrategias y proyectos para el manejo de residuos agropecuarios en el “Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos del estado de Aguascalientes”, como un planteamiento novedoso y factible hacia grupos de interés sociales, gubernamentales y empresariales.

El desarrollo de los capítulos está estructurado con relación al i) ciclo de los residuos y el manejo integral de los residuos sólidos, posteriormente se ha hecho una investigación de casos internacionales con relación al tema para conocer el ii) estado del arte a nivel global de la gestión de residuos agropecuarios.

Una vez explorado el entorno teórico y aplicado, se realizó el iii) diagnóstico del manejo de los residuos de actividades agropecuarios en México, para este análisis se tomó como referencia la metodología propia desarrollada en el iv) caso de estudio: diseño del apartado del sector primario del “Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos del estado de Aguascalientes”.

Conociendo los resultados numéricos calculados, se hizo una investigación en fuentes internacionales son relación al v) impacto ambiental y a la salud humana del manejo inadecuado de los residuos agropecuarios, con ésta base se elaboró a manera de conclusión una matriz de oportunidades y riesgos que enfrenta el País en el manejo de residuos agropecuarios.

El Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral del Residuos 2009-2012, expone con respecto a los residuos agropecuarios que, actualmente se carece de la información de su generación a nivel nacional. Asimismo es importante determinar la clasificación de estos tipos de residuos, por lo que es importante que se diseñen en el corto plazo las metodologías para los muestreos de generación o en su caso formular índices de generación la información existente, previa investigación y clasificación de este tipo de residuos.

Esperando que la investigación iniciada con este trabajo sirva de base para continuar tan importantes estudios que sirvan al País en aprovechar las oportunidades que el manejo adecuado de los residuos agropecuarios representan en al menos dos temas de relevancia global: a) mitigación de la generación de gases de efecto invernadero –evitando que residuos agropecuarios se descompongan en condiciones aerobias no controladas y liberen metano a la atmósfera- y b) producción de energía alternativa/renovable a partir de residuos agropecuarios –mediante su acopio y procesamiento en tanques biodigestores, utilizando el biogás en la cogeneración eléctrica-.

I. El ciclo de los residuos y el manejo integral de los residuos

Los residuos son complicados de especificar/acotar de una manera permanente por estar directamente relacionados con las actividades de la sociedad en que se producen, es por ello que su definición varía en el tiempo/espacio/cultura considerando principalmente: composición, fuente de generación e impacto hacia el ambiente y la salud humana. Ante esta diversidad y del análisis realizado en el presente documento y en particular en éste primer capítulo, se propone la siguiente definición:

Residuo: materia/energía cuyo valor de uso para el usuario, propietario y/o generador se transformó en inexistente en el actual contexto, social, económico y tecnológico, es por ello que decide desprenderse de ella transfiriendo su posesión a otro actor, asumiendo las potenciales externalidades que implique el manejo de esa materia/energía.

En un contexto de desarrollo sustentable, es decir, aquel que equilibra los aspectos **ambientales**, **sociales** y **económicos**, se propone en este trabajo el manejo integral de los residuos con un enfoque de seis “R” (6R’s): **Reducción**, **Reciclado**, **Responsabilidad**, **Relevancia**, **Rentabilidad** y **Reúso** (6R’s). Se tomaron como características fundamentales: cantidad de generación, composición, densidad y contenido de energía de los materiales.

Este capítulo integra varias visiones con relación a los residuos/residuos sólidos, características y ciclo de manejo; la discusión sobre estos temas y el desarrollo de una Teoría de los residuos son temas que al momento de finalizar este trabajo continúan abiertos.

Características de los residuos sólidos

En un sentido más amplio, el término *residuos sólidos* incluye todos los materiales sólidos desechados de actividades municipales, industriales o agrícolas. (J. Glynn y Gary W. 1999, 567)

En términos generales, los *residuos sólidos* se definen como aquellos desperdicios que no son transportados por agua y que han sido rechazados porque ya no se van a utilizar. En el caso de los residuos sólidos municipales se aplican términos más específicos a los residuos de alimentos putrescibles (biodegradables), llamados basura, y a los residuos sólidos no putrescibles, los cuales se designan simplemente como desechos. Los desechos incluyen diversos materiales, que pueden ser combustibles (papel, plástico, textiles, etc.) o no combustibles (vidrio, metal, mampostería, etc.). Existen residuos, en ocasiones llamados especiales, como el cascajo de las construcciones, las hojas de los árboles y la basura callejera, los automóviles abandonados y también los aparatos viejos, que se recolectan a intervalos esporádicos en diferentes lugares.[...]

Los residuos sólidos son aquellos materiales, sin incluir líquidos o gases, que, a juicio de las personas que los generan, no presentan ningún tipo de valor y deben desecharse. Dichos residuos

se generan casi en cualquier tipo de actividad, y su cantidad varía según el tipo de fuente, estación climatológica, zona geográfica, y tiempo de duración de la actividad. (A. Corbit 2003, 8.1)

Los residuos sólidos pueden generarse a partir de la actividad de desecho de cualquier individuo particular o colectivo de personas (generador de residuos). El concepto de desecho o desperdicio viene determinado por la generación de materiales que no poseen un valor determinado para las personas que los generan, ya que dichos residuos pueden representar una fuente de ingresos para otras personas, a través de procesos de reciclado o reutilización. (A. Corbit 2003, 8.2)

Sin embargo, en el intento por concretar una Teoría de los residuos sólidos, Pongrácz pone el cuestionamiento sobre estas definiciones, haciendo el siguiente planteamiento “La implicación de que los residuos es algo inútil ha sido problemático.” (Pongrácz 2002, 17) La tesis doctoral de esta autora replantea las definiciones/descripciones de los residuos ordenándolos con base en las “razones por las que se convirtió en residuo”, iniciando la estructuración teórica de los residuos, su manejo y gestión con una propuesta taxonómica inspirada en la metodología Purpose, Structure, State and Performance (PSSP) y con un enfoque similar a los planteados por la Ecología industrial y el Ciclo de vida.

Los residuos son un concepto de valor, cultural y subjetiva interpretación de la persona, ya sea el observador o el generador. El concepto de residuos se relaciona con dos aspectos principales. En primer lugar, algo se convierte en residuos cuando pierde su función primordial para el usuario, por lo tanto, muchas veces el residuos de alguien es materia prima de alguien más. En segundo lugar, el concepto de residuo está relacionado con el estado actual de las tecnologías y técnicas y la ubicación de su generación. Por lo tanto, los residuos son un concepto dinámico, ver tabla I.1. (Pongrácz 2002, 69,70)

Tabla I.1. Definición de clases de residuos y ejemplos

Definición por clase	Ejemplos
1. Objetos no requeridos, creados sin intención, no evitados, sin propósito definido.	En esta clase se encuentran productos con valor de mercado negativo, subproductos inútiles, emisiones, residuos industriales y de procesos, residuos de limpieza y sanitarios, entre otros.
2. Objetos que se les dio un propósito limitado, por lo tanto, se vuelven inútiles después de cumplirlo.	En esta clase se encuentran productos de un solo uso: la mayoría de envases, empaques, embalaje y envolturas, cámaras de un uso, pañales desechables y en general productos “desechables”, entre otros.
3. Objetos con un propósito bien definido, pero su desempeño dejó de ser aceptable.	En esta clase se encuentran productos obsoletos, muebles viejos, electrodomésticos, computadoras, celulares inservibles, baterías no recargables, equipo y maquinaria cuya vida útil terminó, residuos de demoliciones, entre otros.
4. Objetos con un propósito bien definido, un buen desempeño, pero que sus usuarios ya no los utilizan para los fines previstos.	En esta clase se encuentran productos en mal estado, productos que se utilizan en exceso, los que van más allá de su objetivo, o simplemente productos que los propietarios no desean tener más. Podrían ser perfectamente útiles, residuos que se deben exclusivamente al “des-uso” que el propietario les confiere, con frecuencia no son recuperables. Ésta clase representa la esencia del despilfarro.

Fuente: adaptación de (Pongrácz 2002, 82)

En este mismo sentido, propone un diagrama de flujo para identificar un residuo de algo que no lo es, se muestra en la figura I.1.

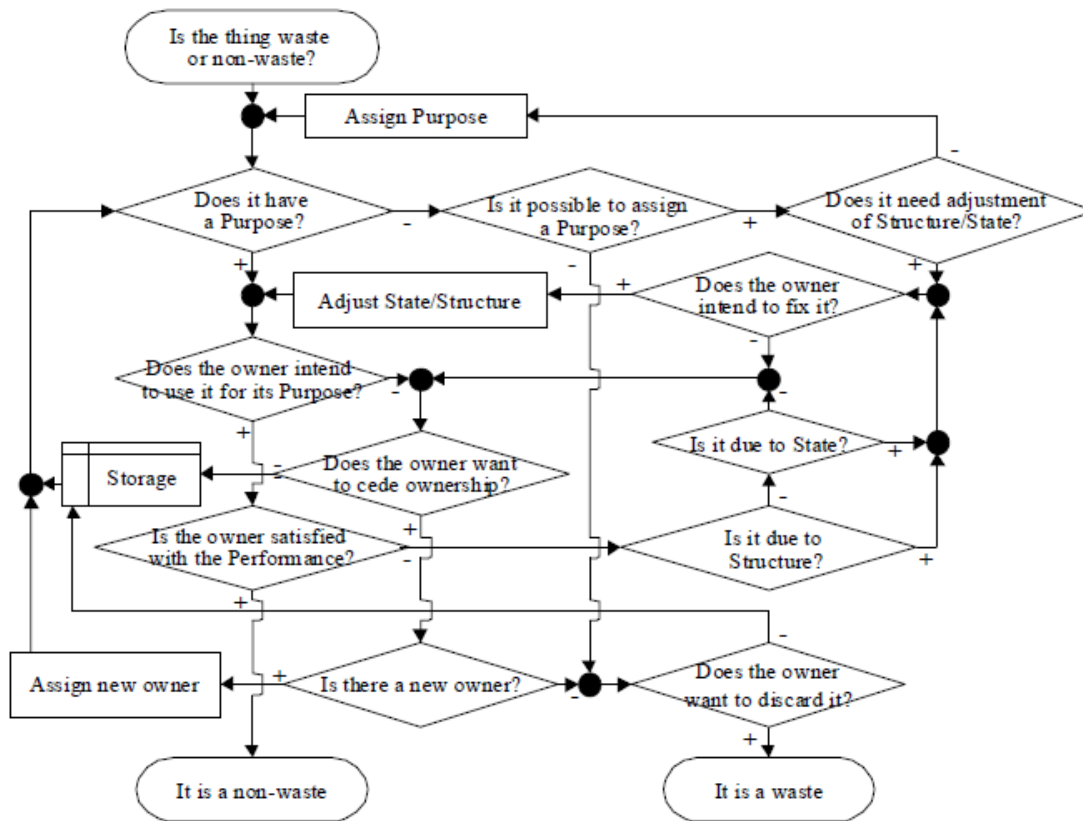


Figura I.1. Diagrama de flujo para clasificar un residuo

Fuente: (Pongrácz 2002, 84)

La legislación mexicana en la materia es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), que en su artículo 5, define:

XXIX. Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley [LGPGIR] y demás ordenamientos que de ella deriven;

XXX. Residuos de Manejo Especial: Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos;

XXXII. Residuos Peligrosos: Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido

contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley [LGPGIR].

XXXIII. Residuos Sólidos Urbanos: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimiento o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley [LGPGIR] como residuos de otra índole. (Cámara de Diputados 2007)

Según Tchobanoglous, la porción municipal de los residuos sólidos totales generados representa sólo el 5%, pero es objeto de la máxima atención en virtud del efecto que su eliminación incorrecta puede tener en la salud pública y en el abasto de aguas tanto superficiales como subterráneas. (J. Glynn y Gary W. 1999, 568)

Hasta finales de la década de 1940, el grueso de los residuos sólidos municipales consistía en cenizas de hornos de quemadores de carbón y residuos de alimentos. Los pocos materiales usados, como metales y trapos, que eran recuperables, se recolectaban de manera informal por los pepenadores.[...] Las dos causas radicales de la creciente urgencia de los problemas que plantean los residuos sólidos son la urbanización y la industrialización. La primera (la afluencia de personas a las áreas metropolitanas) afecta los hábitos de vida y en consecuencia las características de los residuos. Además, en virtud del mayor número de personas, las áreas que requieren recolección de residuos sólidos se han expandido y los predios destinados a la eliminación de los residuos están más lejos. La industrialización, debido a que genera productos de bajo costo y que ahorran trabajo, ha creado una sociedad "desechable". Durante los años sesenta y setenta apareció una profusión de productos nuevos. En el caso de latas, botellas, recipientes de plástico, aparatos, neumáticos y muchos otros artículos se consideraba que era más económico tirarlos que reciclarlos. (J. Glynn y Gary W. 1999, 569)

Cantidad. En 1990, la EPA estimaba que la generación de residuos sólidos municipales en Estados Unidos era alrededor de 4.3 lb/persona*día (2 kg/persona*día). Esta estimación se compara favorablemente con la de Tchobanoglous et al, ver tabla I.2, quien informó un valor de 6.1 lb/persona*día (2.8 kg/persona*día) de residuos sólidos, cuando se incluyen cosas como residuos de construcción y demolición y lodos de plantas de tratamiento (estos componentes no se incluyen en los datos de la EPA). (J. Glynn y Gary W. 1999, 572)

Tabla I.2. Estimados de residuos sólidos generados por persona en Estados Unidos, y en particular en California y Florida para 1990

Fuente de residuos sólidos	Estados Unidos		California		Florida	
	kg/persona*día	lb/persona*día	kg/persona*día	lb/persona*día	kg/persona*día	lb/persona*día
Municipal ^a	2.8	6.1	3.1	6.8	2.7	6.0
Industrial	1.0	2.1	1.2	2.7	0.6	1.4
Agrícola	b	b	3.7	8.2	1.2	2.7
Total	3.1-9.6	6.8-21	8.1	17.8	4.4	9.6

^a Incluye residencial a 1.1 kg/día, comercial a 0.9 kg/día, y residuos especiales a 0.8 kg/día

^b Estimados por separado para cada lugar

Fuente: Adaptado de Tchobanoglous et al. (1993)

Para Corbit la generación de residuos sólidos puede subdividirse en doméstica y no doméstica, dependiendo de su fuente de origen. Los residuos sólidos de origen doméstico, generalmente, se consideran como residuos de tipo caseros o familiares; mientras que los residuos de origen no doméstico están constituidos por desechos generados en actividades comerciales, pequeñas industrias y otros residuos sólidos. (A. Corbit 2003, 8.2)

Los residuos sólidos generados en zonas residenciales, normalmente, se estiman en libras (kilogramos) per cápita y por día. Este tipo de unidades de medida es el adecuado para llevar a cabo estimaciones globales del dimensionado de las instalaciones de vertido, de su uso y de la operatividad de los recursos de recuperación. [...] La medida de la cantidad de desperdicios de origen doméstico, considerando las zonas con servicios de recogida de basuras, indica que la generación de residuos sólidos por semana puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$G = a + bP$$

donde:

G = la generación de desperdicios de la finca en masa por semana y por finca

a, b = constantes determinadas por estudio de las medidas de los desechos

P = media de personas por finca en el área de muestreo

(A. Corbit 2003, 8.2,8.3)

Varias agencias han evaluado la generación de residuos sólidos de diferentes fuentes no domésticas, ver tabla I.3.

Tabla I.3. Factor unitario de residuos sólidos para diferentes focos generadores

Categoría o foco generador	Factor unitario de residuos	
Comercial	5.75 lb/empleado/día	2.6 kg/empleado/día
Industrial	10.6 lb/empleado/día	4.8 kg/empleado/día
Equipos de transporte	20.5 lb/empleado/día	9.3 kg/empleado/día
Maquinaria no eléctrica	25.5 lb/empleado/día	11.6 kg/empleado/día
Maquinaria eléctrica	23.5 lb/empleado/día	10.7 kg/empleado/día
Hospitales	2 a 4.5 lb/control/día	0.91 a 1.8 kg/control/día
Cuidado de pacientes	8.6 lb/cama/día	3.9 kg/cama/día
Servicios de comidas	2.7 lb/cama/día	1.2 kg/cama/día
Rehabilitación	6.4 lb/cama/día	2.9 kg/cama/día
Prisiones	4.5 lb/preso/día	2.0 kg/preso/día
Universidades y colegios mayores	1.0 lb/estudiante/día	0.5 kg/estudiante/día
Colegios sin residencia	0.6 lb/estudiante/día	0.3 kg/estudiante/día
Edificios de oficinas	1.5 lb/empleado/día	0.7 kg/empleado/día
Unidades de múltiples viviendas	2.7 lb/residente/día	1.2 kg/residente/día
Industria maderera	151.0 lb/empleado/día	68.6 kg/empleado/día
Escombros de demolición/construcción	1.2 lb/cápita/día	0.5 kg/cápita/día
Servicio de barrenderos de la vía pública	0.3 lb/cápita/día	0.1 kg/cápita/día
Agricultura	13.0 lb/cápita/día	5.9 kg/cápita/día
Campings (zonas de acampada)	1.3 lb/campista/día	0.6 kg/campista/día
Reuniones familiares al aire libre	1.0 lb/persona	0.5 kg/persona
Reuniones de grupos al aire libre	1.16 lb/persona	0.53 kg/persona
Campamentos organizados	1.81 lb/ocupante/día	0.82 kg/ocupante/día
Áreas de servicio		
Alquiler de habitación (con cocina)	1.46 lb/ocupante/día	0.66 kg/ocupante/día
Alquiler de habitación (sin cocina)	0.59 lb/ocupante/día	0.27 kg/ocupante/día
Restaurante	0.71 lb/comida servida	0.32 kg/comida servida
Residencia	2.31 lb/ocupante/día	1.05 kg/ocupante/día
Área de esquí		
Pensión nocturna (acondicionada)	1.87 lb/visitante-día	0.85 kg/visitante-día
Pensión diurna (acondicionada)	2.92 lb/visitante-día	1.33 kg/visitante-día
Zona de descanso de carretera	0.05 lb/eje de vehículo	0.02 kg/eje de vehículo
Centro para visitantes	0.02 lb/visitante	0.01 kg/visitante
Playa	0.04 lb/bañista	0.02 kg/bañista
Puestos concesionarios (stands)	0.14 lb/patrón	0.06 kg/patrón
Residencia administrativa	1.37 lb/ocupante/día	0.62 kg/ocupante/día

Fuente: adaptación de (A. Corbit 2003, 8.5)

Composición. Además de las variaciones en cuanto a cantidad, puede haber también grandes diferencias de composición, ver tabla I.4. y I.5. Los factores que influyen en la composición de los residuos sólidos municipales incluyen algunos como:

- El clima. En áreas húmedas como Sao Paulo, Brasil, el contenido de humedad de los residuos sólidos es comúnmente de 50%.

- La frecuencia de recolección. Las recolecciones más frecuentes tienden a aumentar la cantidad anual. Puesto que la cantidad de materiales orgánicos es relativamente constante, quizá con más recolecciones los residentes tienden a desechar más papel y escombros.
- El uso común de molinos domésticos para basura. Los molinos reducen, pero no eliminan, los residuos de alimentos.
- Las costumbres sociales. Ciertas áreas étnicas consumen pocos alimentos de preparación rápida, por lo cual se producen menos residuos de papel y más de alimentos crudos.
- El ingreso per cápita. Las áreas de bajos ingresos producen menos residuos totales, aunque con un contenido alimenticio mayor.
- La aceptabilidad de alimentos empacados y de preparación rápida. En Estados Unidos y Canadá el uso generalizado de los empaques ha aumentado el contenido de papel de los residuos sólidos.
- El grado de urbanización e industrialización del área. En virtud de la conversión en abono, el reciclaje y la recuperación que son posibles en áreas rurales y en áreas de viviendas unifamiliares, los residuos sólidos de este tipo de fuentes pueden ser inferiores en cuanto a cantidad y tener distintos componentes que los de áreas metropolitanas industrializadas con viviendas multifamiliares, la composición de los residuos es diferente en áreas con mayor urbanización y/o grado de industrialización. (J. Glynn y Gary W. 1999, 572)

Tabla I.4. Composición de los residuos sólidos municipales por país (porcentaje en peso)

Componente	Estados Unidos (1991)	Francia (1987)	Helsinki, Finlandia (1990)	Brisbane, Australia (1990)	Egipto (1986)
Papel	38	28	39	30	13
Plástico	8	5	10	11	2
Alimentos	7	25	25 ^a	18	60
Residuos de jardín (recortes)	18	-	-	24	-
Vidrio	7	8	3	7	2
Metales	8	6	4	6	3
Caucho, cuero, textiles, madera	11	6	7	-	2
Diversos ^b	3	22	12	4	18

^a Residuos de alimentos y de jardín combinados

^b Diversos: ceniza, polvo, materia inorgánica, etcétera

Fuente: (J. Glynn y Gary W. 1999, 573)

Por otra parte, los residuos municipales están constituidos tanto por materiales como por productos; entendiéndose por materiales en residuos municipales, compuestos como papel y cartón,

tejidos, vidrio, metal, plásticos, madera y basuras procedentes de residuos de comida. (A. Corbit 2003, 8.4)

Tabla I.5. Composición de residuos municipales por generación y recuperación

Material	Peso generado millones toneladas	% peso generado	Peso recuperado millones toneladas	% recuperado/ generado
Papel y cartón	81.5	39.2%	32.6	40.0%
Vidrio	12.8	6.2%	3.1	24.2%
Metales				
Metales ferrosos	11.6	5.6%	4.2	36.2%
Aluminio	3	1.4%	1	33.3%
Otros metales no ferrosos	1.3	0.6%	0.9	69.2%
Plásticos	19	9.1%	1	5.3%
Caucho y cuero	6	2.9%	0.5	8.3%
Material textil	7.4	3.6%	0.9	12.2%
Madera	14.9	7.2%	1.4	9.4%
Otros materiales	3.6	1.7%	0.8	22.2%
Otros residuos				
Desperdicios de comida	14	6.7%	0.6	4.3%
Recortes (de césped)	29.8	14.3%	9	30.2%
Inorgánicos varios	3.2	1.5%	a	a
Total de otros residuos	46.9	22.5%	9.6	20.5%
Total de residuos sólidos municipales	208.1		56.0	26.9%

^a Cantidades despreciables

Fuente: (A. Corbit 2003, 8.9)

Densidad. La densidad de los residuos sólidos municipales varía con la composición de los mismos y su grado de compactación, ver tabla I.6. y I.7. Los valores representativos van desde una densidad no compacta de 150 kg/m³ hasta 800 kg/m³ para desechos pulverizados y enterrados. (J. Glynn y Gary W. 1999, 573)

Tabla I.6. Densidades representativas sin compactación para componentes de residuos municipales

Componentes	Densidad ^a	
	kg/m ³	lb/yd ³
Papel, cartón, plásticos	80	135
Residuos de alimentos	300	500
Escombros diversos ^b	160	270
Cenizas, polvo, ladrillo, metal ferroso	480	800
Residuos sólidos municipales	150	250
Las categorías amplias antes indicadas incluyen componentes recolectados en conjunto; cuando éstos se recolectan por separado, los pesos específicos con los siguientes:		
Plásticos	65	110
Aluminio	160	270
Envases de lata	90	150
Residuos de jardín	100	170

^a La densidad real puede variar hasta en un 50% respecto a los valores representativos que se muestran, de acuerdo con la naturaleza de los componentes y su contenido de humedad

^b Los escombros diversos incluyen vidrio, metal no ferroso, madera, caucho, cuero y textiles

Fuente: (J. Glynn y Gary W. 1999, 574)

Tabla I.7. Densidades de los componentes integrantes de los residuos

Componente	Densidad			
	lb/yd ³		kg/m ³	
Residuos dispersos	100	200	60	119
Después de descargar del camión compactador	350	400	208	238
En el camión compactador	500	700	298	417
En el vertedero	500	900	298	536
Residuos cortados	600	900	357	536
Embalados en empaquetadora de papel	800	1200	476	714

Fuente: adaptación de (A. Corbit 2003, 8.31)

Contenido de energía. Los residuos sólidos municipales contienen alrededor del 50% de materia volátil (combustible); el resto consiste en proporciones más o menos iguales de humedad y sólidos inertes, ver tabla I.8. A causa del contenido volátil, los residuos suelen quemarse para deshacerse de ellos y en ocasiones se utilizan como fuente de energía. [...] Al comparar los residuos sólidos con otros combustibles es necesario tomar en cuenta la energía que se requiere para desmenuzar y clasificar los desechos, así como la diferencia en la eficiencia de operación del incinerador y de otros tipos de hornos, ver tabla I.9. (J. Glynn y Gary W. 1999, 576)

Tabla I.8. Contenido de energía típico de materiales combustibles

Material	Contenido típico de energía ^a	
	kJ/kg	Btu/lb
Residuos sólidos municipales		
Por unidad de peso de desechos	10,500	4,500
Por unidad de peso de materia combustible	23,200	10,000
Por unidad de peso de papel	16,300	7,000
Por unidad de peso de materia orgánica	5,800	2,500
Por unidad de peso de plásticos	32,800	14,100
Lodos primarios de aguas negras		
Por unidad de peso de sólidos secos	17,700	7,600
Lodos de aguas negras digeridos		
Por unidad de peso de sólidos secos	9,100	3,900
Combustibles		
Por unidad de peso de combustóleo del núm. 6 ^b	46,500	20,000
Por unidad de peso de antracita	28,000	12,000
Por unidad de peso de metano ^c	49,000	21,000

^a Btu/lb x 2.3241 = kJ/kg

^b Contenido de energía del combustóleo = 37.3×10^6 kJ/m³ (1×10^6 Btu/ft³)

^c Contenido de energía del metano o del gas natural = $37,300$ kJ/m³ ($1,000$ Btu/ft³)

Fuente: (J. Glynn y Gary W. 1999, 576)

Tabla I.9. Análisis aproximado para componentes típicos de combustibles

Componente	Poder calorífico superior			
	Como se recibió		Libre de humedad y ceniza	
	Btu/lb	kJ/kg	Btu/lb	kJ/kg
Papel, mezclado	6.800	2.924	8.055	3.464
Papel de periódico	7.974	3.429	8.600	3.698
Papel de color	7.256	3.120	7.800	3.354
Revistas comerciales	5.254	2.259	7.150	3.075
Cajas corrugadas	7.043	3.028	7.850	3.376
Papel recubierto de plástico	7.341	3.157	7.940	3.414
Cartones de leche encerados	11.327	4.871	11.890	5.113
Papel de envoltura de alimentos	7.258	3.121	8.250	3.548
Desperdicios de correo	6.088	2.618	7.400	3.182
Desperdicios de oficina	6.950	2.989	7.860	3.380
Residuos de alimentos vegetales	1.795	0.772	8.700	3.741

Semillas y desperdicios de cítricos	1.707	0.734	8.300	3.569
Residuos de carne (cocinados)	7.623	3.278	13.110	5.637
Grasas fritas	16.466	7.080	16.466	7.080
Desperdicios de comidas varios	2.370	1.019	10.100	4.343
Maderas de embalajes (palets, cajas)	7.500	3.225	8.520	3.664
Madera verde	2.102	0.904	4.250	1.828
Raíces de plantas	4.710	2.025	6.560	2.821
Madera de demolición	7.300	3.139	7.995	3.438
Residuos de madera	6.430	2.765	7.340	3.156
Muebles de madera	7.350	3.161	7.940	3.414
Recortes de césped	2.708	1.164	8.960	3.853
Ramas y arbustos	2.447	1.052	9.850	4.236
Plantas florales	3.697	1.590	8.460	3.638
Hierbas	2.058	0.885	8.900	3.827
Hojas perennes	7.984	3.433	9.270	3.986
Madera y cortezas	6.900	2.967	8.700	3.741
Virutas	4.745	2.040	8.600	3.698
Vegetación varios	2.690	1.157	8.135	3.498
Tapicerías	6.960	2.993	7.690	3.307
Fibras, todas	13.800	5.934	14.900	6.407
Pieles	7.960	3.423	9.850	4.236
Calzado (piel, cuero)	7.243	3.114	10.150	4.365
Tacones y suelas de calzado	10.899	4.687	15.790	6.790
Caucho	11.200	4.816	12.600	5.418
Plásticos varios	14.100	6.063	16.000	6.880
Plástico flexible	-	-	14.870	6.394
Polietileno	18.687	8.035	20.000	8.600
Poliestireno	16.419	7.060	16.510	7.099
Poliuretano	11.203	4.817	11.730	5.044
PVC	9.754	4.194	10.000	4.300
Linóleo	8.150	3.505	11.450	4.924
Trapos	6.900	2.967	7.844	3.373
Textil	-	-	8.300	3.569
Aceites, pintura	13.400	5.762	16.000	6.880
Suciedad de aspiradora	6.386	2.746	9.960	4.283
Suciedad doméstica	3.670	1.578	13.650	5.870
Barridos de calles	4.800	2.064	8.000	3.440

Fuente: adaptación de (A. Corbit 2003, 8.32)

Ciclo del manejo integral de los residuos

Cada autor y región presentan diferentes procesos y subprocesos en el ciclo de manejo de residuos, la propuesta del presente trabajo ha integrado los diferentes planteamientos consultados y propone el ciclo de la figura I.2. con un enfoque principal hacia los residuos agropecuarios, por ser el tema de análisis, aunque con una visión general para cualquier tipo de residuo. La diferencia principal con respecto a un sistema para la gestión de residuos sólidos urbano y/o de manejo especial, es que en el modelo propuesto para residuos agropecuarios no existe el proceso de separación de residuos, por tratarse principalmente de orgánicos.

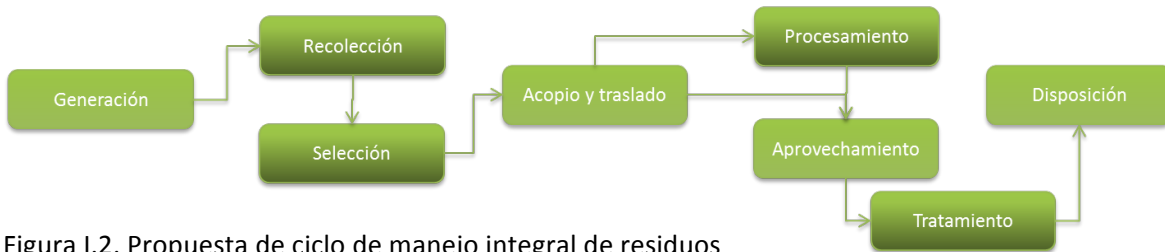


Figura I.2. Propuesta de ciclo de manejo integral de residuos

Fuente: generación propia

En este aspecto los primeros planteamientos desarrollados fueron en 1989 por la Environmental Protection Agency (EPA) de EUA que adoptó una jerarquía de prácticas de administración de residuos. Los cuatro elementos de la jerarquía, en orden de preferencia, son los siguientes:

1. Reducción en la fuente (incluye volver a utilizar los productos y llevar a cabo la formación casera de la conversión en abono –o estercolar la tierra con residuos de traspatio-).
2. Reciclaje de materiales
3. Combustión (de preferencia con recuperación de energía)
4. Rellenos de tierras

El impacto de la jerarquía de administración de residuos de la EPA y de iniciativas similares en los niveles locales se advierte en la reciente tendencia a una mayor recuperación de productos para reciclaje y conversión en abono, y a una reducción en la eliminación de residuos sólidos municipales en rellenos de tierras. (J. Glynn y Gary W. 1999, 567,568)

Históricamente, el desecho o almacenamiento de residuos sólidos ha venido realizándose al aire libre; sin embargo, en la actualidad se lleva a cabo en dos pasos, primero se almacenan los residuos en un vertedero con recubrimiento doble que, cuando se llena, se entierra y, posteriormente, se somete a un control exhaustivo de emisiones de gases y/o lixiviados líquidos. Otros métodos de eliminación incluyen el compostaje y varios procesos de incineración, los cuales también pueden utilizarse como vías complementarias para la gestión de lodos procedentes del tratamiento de efluentes hídricos. Este tipo de tratamientos, generalmente, precisan de un sistema de control para los nuevos contaminantes generados, tales como los lixiviados y los olores producidos por las operaciones, tanto de compostaje como químicas, así como la emisión de partículas sólidas producidas durante la combustión de las incineradoras.

También es frecuente la recuperación y reutilización de los residuos sólidos. Según el tipo de fuente o la facilidad de separación del material aprovechable, existe toda una gama de productos reutilizables, tales como papel, vidrio, plásticos, metales ferrosos y metales no ferrosos. También, pueden emplearse los residuos de combustibles para la producción de energía, así como los residuos sólidos orgánicos, que pueden emplearse como abonos para el acondicionamiento de terrenos. (A. Corbit 2003, 8.1,8.2)

Los aspectos relevantes para Glynn y Gary (1999) en la gestión de residuos sólidos son los siguientes:

- Sistemas de recolección
 - Equipo de recolección
 - Estaciones de transferencia
 - Transporte y selección de rutas
- Separación y procesamiento
 - En fuente
 - Centralizados
- Conversión
 - Incineración
 - Conversión en abono
- Rellenos de tierras (rellenos sanitarios)
 - Control de lixiviados
 - Producción de gas

(J. Glynn y Gary W. 1999, 577-609)

Para los fines perseguidos en la presente tesis, se amplían conceptos relacionados con procesos de *Conversión en abono* y *Producción de gas*.

Conversión en abono. La conversión en abono de los residuos de patios y jardines, en particular las hojas y la hierba cortada, es ahora obligatoria en varios estados de EUA y ha sido adoptada voluntariamente por otros para alcanzar las metas de desviación de residuos fijadas por ley. En países como Holanda, la conversión de residuos sólidos en abono se practicaba en la década de 30's (Ham, 1992). La conversión en abono es la descomposición aerobia de materia orgánica por la acción de microorganismos (principalmente bacterias y hongos) para formar un material estable y rico en nutrientes, similar al humus, conocido como "abono". Este producto principalmente se emplea como acondicionador de suelos y en ocasiones como material de cobertura diaria de rellenos. Durante la descomposición el abono alcanza temperaturas aproximadas de 60°C, las cuales se deben mantener al menos por 3 días para destruir los microorganismos patógenos. El control de la temperatura es decisivo, porque la descomposición óptima ocurre también entre 55 y 60°C, pero si la temperatura rebasa 60°C la descomposición se retarda. Las bacterias termófilas (principalmente Bacillus, Clostridium y Pseudomonas) son los principales agentes de descomposición en las primeras etapas de la conversión en abono, en tanto que los hongos (como

Mucor, Penicillium y Aspergillus) son más activos durante la etapa de curado (Miller, 1991). Para alcanzar las condiciones óptimas se requiere un contenido de humedad alrededor del 55% y aireación regular. La aireación se proporciona ya sea mezclando (como en la conversión en abono en camellones) o insuflando aire a través del material (como en el método de pilas estáticas y los sistemas de conversión en abono en recipientes). Si se permite que se establezcan condiciones anaerobias se generarán olores desagradables.

La conversión en abono se ha aplicado a residuos de jardín (con o sin residuos de alimentos), RSM no procesados y mezclas de la fracción orgánica de los RSM con lodos de aguas residuales. Sin embargo, para producir el abono de mayor calidad (el más fácil de vender), los residuos separados en la fuente son la mejor materia prima. El abono comercial debe (1) ser de tamaño constante; (2) estar libre de vidrio, plástico y metales; y (3) no tener olores desagradables (Tchobanoglous et al., 1993). [...] Ejemplos de países en las que se han aplicado estas técnicas son Europa Occidental, Israel, Japón y otros países desarrollados comprometidos con el rescate de tierras, en donde muchas plantas de conversión de residuos sólidos en abono han estado en operación durante muchos años con éxito. Rotterdam, Holanda, en donde se encuentra uno de los incineradores con recuperación de calor más grandes de Europa, tiene una importante planta de conversión en abono para complementar su programa de administración de residuos. El mismo interés por la conversión en abono existe en los países del Tercer Mundo, pero en estas áreas los sistemas de camellones son el método preferido. (J. Glynn y Gary W. 1999, 595,596)

Producción de gas. El gas que se produce en los rellenos sanitarios por la digestión anaerobia de desechos orgánicos se desahoga a la atmósfera a través de hendeduras o pozos empacados con grava y no causa problemas. En ciertos rellenos sanitarios se instalan quemadores de gas en la parte superior de los respiraderos para quemar el gas que escapa. Si no se proporciona una ventilación adecuada, puede haber un movimiento lateral del gas bajo la cubierta del relleno, en particular cuando la superficie del suelo está congelada. Esto puede ser peligroso si el gas emigra a los edificios cercanos.

El aumento en el precio de los combustibles en la década de 1970 hizo despertar el interés en la posibilidad de recuperar el gas de los rellenos sanitarios. En Estados Unidos en 1983 había más de 20 proyectos en proceso de realización, casi todos en California, para recuperar y purificar el gas de los rellenos sanitarios para uso interno en la generación de calor y energía, o para uso externo como combustible (Weddle et al., 1983). El metano (CH_4), que constituye del 40 al 60% del gas de rellenos sanitarios, tiene un contenido calorífico alrededor de $37,000 \text{ kJ/m}^3$ (991 Btu/ft^3), o $20,000 \text{ kJ/m}^3$ para el gas de relleno que contiene 55% de metano. A causa de la dilución del gas con aire durante su recuperación, $16,800 \text{ kJ/m}^3$ (450 Btu/ft^3) es quizá un valor más realista (Emcon Associates, 1980). En teoría, la cantidad de gas que se produce es de 200 a 270 L de CH_4 por kilogramo de desechos, de acuerdo con las características de los residuos sólidos y la base de la determinación (Vesilind, 1980). De la cantidad generada, se estima que se puede recuperar del 15 al 35%.

La estabilización de los rellenos y por ende la generación de gas toma un tiempo muy largo. Treinta años es un periodo que se menciona, pero esto se podría acortar en condiciones de humedad continua o prolongarse si los residuos permanecen secos. Para un periodo de estabilización de 25 a 30 años, de un tercio a dos tercios del gas se podrían generar dentro de los primeros cinco años (Tchobanoglous et al., 1977). Emcon Associate (1980) ha informado de tasas de producción de metano de 2.5 a 3.7 L por kilogramo de desechos por año, para desechos que han estado enterrados algunos años. (J. Glynn y Gary W. 1999, 608)

Corbitt (2003), le da otro enfoque a los procesos para la gestión de los residuos sólidos municipales, destacando los puntos siguientes:

- Operaciones de recogida y transporte
 - Prácticas de recogida y nivel de servicio
 - Recipientes de almacenamiento y equipo de recogida
 - Planificación de la ruta
 - Separación en el lugar de origen
 - Recogida rural
 - Operaciones de transferencia
- Procesado
 - Fragmentación
 - Tamices centrífugos
 - Separación magnética y clasificación con aire
 - Embalado
- Reciclaje y reutilización
 - Recuperación de energía a partir de residuos
 - Combustibles derivados de residuos
 - Metales, vidrio, papel y plásticos
- Estabilización y vertido
 - Vertederos sanitarios
- Recuperación de suelos
 - Compostaje
 - Incineración
 - Procesos de pirolisis y gasificación
 - Oxidación húmeda (A. Corbit 2003, 8.40-8.214)

Para los fines perseguidos en la presente tesis, se amplían conceptos relacionados con procesos de *Recuperación de energía a partir de residuos* y *Compostaje*.

Recuperación de energía a partir de residuos. Las técnicas más eficaces empleadas para la recuperación de energía procedente de residuos sólidos municipales (RSM), son las que se indican a continuación:

Incineración con generación de vapor: Combustión de residuos sólidos municipales, procesados o sin procesar, en un horno que lleva acoplado un sistema de tubos para generación de vapor.

Incineración modulada: Combustión de RSM en hornos de dos etapas, relativamente pequeños, con efecto del aire y con sistema de recuperación de calor tales como intercambiadores o calderas.

Combustibles derivados de residuos: Existe toda una variedad de tecnologías capaces de producir combustibles sólidos a partir del procesado de RSM, obteniéndose fracciones combustibles y no combustibles. El combustible resultante puede mezclarse con otros combustibles fósiles o alimentarse, sin mezcla alguna, a “calderas especiales”.

Pirólisis: Existe una amplia gama de tecnologías que procesan RSM en atmósfera deficiente de oxígeno, para dar lugar a combustibles gaseosos, líquidos o sólidos.

Digestión anaerobia: Consiste en una técnica desarrollada y adaptada a partir de la digestión anaerobia de los lodos procedentes de residuos hídricos.

Recuperación de gas de relleno sanitario: Consiste en la recogida de los gases producidos durante la descomposición de los RSM depositados en un relleno sanitario. (A. Corbit 2003, 8.102,8.103)

Compostaje. El compost es el material originado en la biodegradación de los compuestos orgánicos presentes en las basuras (residuos sólidos y lodos de tratamiento de aguas residuales). A través de la actividad microbiana, que tiene lugar durante la formación del compost, la materia orgánica se descompone dando lugar a una materia estable, de manera análoga a la formación de humus. Al mismo tiempo, el calor producido puede dar lugar a la destrucción de patógenos. La fabricación de compost es una práctica antiquísima, utilizada por granjeros y agricultores para abonar los terrenos empobrecidos mediante basuras orgánicas. Estos abonos se han empleado para estabilizar los terrenos erosionados, proporcionar nutrientes y recuperar materia orgánica en suelos agotados por el cultivo intenso.

Métodos de obtención de compost. Existen tres métodos principales de obtención de compostaje, a partir de residuos sólidos y lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales. Estos métodos son el método de compost al aire libre, el método de apilamiento estático y sistemas verticales. A continuación se presentan seis métodos incluyendo los tres mencionados.

Método al aire libre. El sistema de obtención al aire libre consiste en mezclar los lodos con un material basto o con lodos previamente secados y proceder a voltear la mezcla periódicamente. Estos sistemas abiertos, a menudo, son adecuados para fabricar compost a partir de lodos previamente sometidos a un proceso de digestión, pero no es conveniente emplear lodos que no hayan sido sometidos a un proceso de digestión por microorganismos (crudos). Cuando se emplean lodos crudos en un proceso de compostaje abierto, los problemas de olor pueden ser muy severos.

Método de apilamiento estático. Éste método se desarrolló mediante investigación en el Departamento de Agricultura de la estación de Beltsville, Maryland, en 1975. Actualmente, este sistema ha tenido una gran aceptación en Estados Unidos. Consiste en mezclar los lodos con un material de carga y someterlos a un sistema de aireación constituido por una tubería perforada, colocada en la base de la pila. La mezcla se aísla entonces cubriéndola con compost tamizado o no. El aire se introduce en la mezcla a través de un sistema de aireadores. Este sistema actúa en sentido negativo (succión) o positivo (soplado), estableciéndose un control de presión y del caudal de la corriente de aire, capaz de mantener en el interior de la mezcla un nivel de oxígeno y de temperatura adecuados. El aire también se emplea para aumentar la eliminación de humedad del sistema. Después de un periodo de 14 a 28 días, el producto obtenido se somete a tamizado para recuperar el material de carga, que puede volver a reutilizarse. En el caso de una necesidad de secado adicional, el material puede trasladarse a un secadero, donde permanecerá durante un periodo de tiempo corto o, de lo contrario, puede someterse a un proceso de curado. Siempre es preferible realizar un proceso de tamizado y secado, antes de someter el producto a curación, ya que se reduce notablemente la cantidad de material manejado y puede hacerse un uso más eficaz del material de carga.

Sistemas verticales. Los sistemas verticales son aquellos que normalmente presentan un flujo libre y que consisten en recipientes cuadrados o cilíndricos, silos o torres. Los materiales entran por la parte superior, permanecen en su interior durante el tiempo de residencia, y por la base de la unidad se obtiene el compost. El material basto, o de alto contenido en carbono, se añade anteriormente a la puesta en marcha de las unidades. Desde la base de la unidad se fuerza la entrada de aire, que atraviesa la mezcla de lodos y material de carga, consiguiendo mantenerse condiciones aerobias en el interior del equipo. La salida de gases y olores puede controlarse facilitando la salida de la unidad o mediante lavado. Valiéndose de los puntos de toma de muestras situados en la pared vertical de la unidad puede llevarse a cabo un control de la temperatura u otros parámetros. El control de humedad es mínimo, ya que el aire se calienta a medida que avanza a través de la mezcla de compost. El aire caliente se condensa en la cabeza de la unidad cuando entra en contacto con la alimentación de material frío. El material, normalmente, se retira de los recipientes o silos después de 14 días. En ese momento se somete a un proceso de curado. Dicho proceso puede tener lugar en una segunda unidad diseñada, básicamente, de manera análoga, o también puede realizarse la operación de curado en un almacén o al aire libre. El tiempo de curación dependerá de los métodos empleados, es decir, de si el compost se cubre o no, o de si se ha aireado suficientemente. Normalmente, este proceso tiene lugar durante varias semanas.

Lecho agitado. Este proceso normalmente emplea una unidad horizontal consistente en un lecho aireado, contenido en un recipiente horizontal. Inicialmente, se introduce en el interior del recipiente la mezcla de lodos y material de carga. Esta mezcla puede someterse a agitación periódicamente, empleando medios mecánicos. Para retirar el material del recipiente de proceso también se emplean medios mecánicos. El proceso de compostaje

tiene lugar en el interior del recipiente durante un periodo de tiempo entre 14 y 21 días. La operación de curado tiene lugar en el exterior del recipiente, situando el material en una zona cubierta o abierta, pudiendo acelerarse con un sistema de aireación.

Sistema de flujo pistón. Este tipo de sistema también presenta una disposición horizontal y consiste en un recipiente provisto de un dispositivo hidráulico capaz de hacer que los materiales se desplacen a través de la unidad.

Tambor rotatorio. El sistema consiste en un tambor giratorio de gran diámetro, dentro del cual se encuentra la mezcla de lodos y material de carga, la cual permanecerá en su interior durante el tiempo de residencia necesario (24 a 48 hrs). Estos sistemas se han usado principalmente para el precompostaje de lodos y residuos sólidos. Una vez transcurrido el tiempo de residencia, se descarga el material, se somete a compostaje y, posteriormente a curación. Estos sistemas pueden emplearse como etapas previas en los procesos al aire libre o de apilamiento estático. (A. Corbit 2003, 8.159-8.165)

Para Pongrácz la jerarquía de los principios de gestión de residuos sigue lo establecido por el Consejo Europeo en 1991: prevención de residuos, recuperación y disposición segura. Sin embargo, en su desarrollo muestra un ciclo con mayor énfasis en la minimización: i) prevención y reducción de residuos desde la fuente de generación, ii) mejora de la calidad de los residuos generados, así como, reducción de peligrosos, y iii) fomentar la reutilización, reciclado y recuperación, tal como la planteaba la vieja escuela, ver figura I.3:

- Minimización
- Reúso
- Reciclado
 - De materia prima
 - De materia prima contra mecánico
- Incineración
- Disposición final (Pongrácz 2002, 27-41)

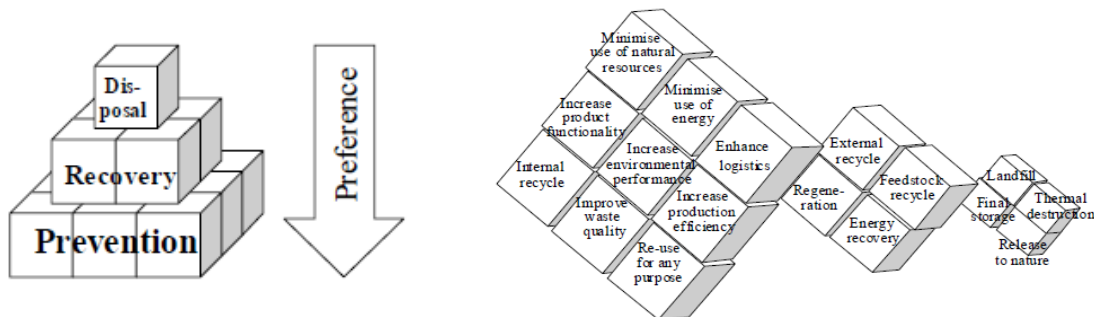


Figura I.3. Pirámide de prioridades en la gestión de residuos

Fuente: (Pongrácz 2002)

II. Estado del arte a nivel global de la gestión de residuos agropecuarios

Los residuos agropecuarios han despertado el interés a partir de los cambios que se han dado en las zonas productivas, principalmente para el sector pecuario. La producción intensiva de especies como bovinos, porcinos y aves, principalmente han incrementado la generación de residuos en las unidades productivas al tener una alta concentración de animales en zonas reducidas.

Los principales avances en el manejo y gestión de residuos agropecuarios, se han tenido en países de la Unión Europea principalmente, en particular en España. También existe amplia documentación en Estados Unidos. Es por ello que se seleccionaron para analizar la situación y las prácticas que se realizan para una adecuada gestión y manejo de residuos agropecuarios a cuatro provincias/estados de Europa: Aragón, Cataluña, Canarias, Segovia; tres países: Costa Rica, España y Estados Unidos y una visión general de la Unión Europea

Inicia el capítulo con aproximaciones de dos autores citados en el Capítulo I, en la definición de los residuos agropecuarios. En este ámbito son de mayor interés los desarrollos prácticos que se exponen en el presente capítulo. Principalmente la provincia/estado de Aragón presenta un mayor desarrollo del tema y estrategias más integrales con relación a los residuos agropecuarios, es por ello que para el Capítulo IV, se ha tomado como referencia, sin embargo, por la situación de madurez del tema en el país, no fue posible llegar a propuestas tan concretas. Pero sin duda es una buena referencia y antecedente para los planteamientos que se desarrollan en el Capítulo VI de este trabajo de tesis, esperando sean retomados en futuras investigaciones y desarrollos.

Residuos agropecuarios

Pongrácz hace un planteamiento muy general y un tanto ambiguo sobre los residuos agropecuarios, poniéndolos en una categoría similar a residuos que la normativa mexicana considera como de manejo especial. El caso de residuos industriales, residuos mineros, residuos de generación eléctrica y, en ocasiones, los residuos agropecuarios, son subproductos de alguna actividad económica, siendo un fenómeno de reciente aparición: ser residuos es actualmente el primer paso en su vida. (Pongrácz 2002, 102)

En el Manual de Ingeniería Ambiental de Glyn y Gary, comentan que en los residuos municipales que describen no incluyen muchos otros sólidos que no constituyen normalmente una responsabilidad municipal. Cosas tales como cenizas de plantas generadoras de electricidad alimentadas por carbón, lodos de plantas para el tratamiento de aguas municipales, residuos de predios de crianza de animales, desechos de minas y otros residuos sólidos industriales pertenecen a esta categoría y requieren arreglos por separado para su eliminación. (J. Glynn y Gary W. 1999, 568)

Aragón

Los residuos ganaderos son aquellos que se generan como resultado de la cría intensiva o extensiva de ganado en cualquiera de sus tipologías, considerando los siguientes subgrupos:

- Estiércoles: son las deyecciones, sean sólidas o fluidas, de los animales.
- Residuos zoonos: son los restos de los productos utilizados en las explotaciones para el tratamiento sanitario de los animales, es decir, restos de medicamentos, envases, jeringuillas, objetos cortantes, etc.
- Cadáveres de los animales.

Aragón tiene tres “razones” para que el problema ambiental sea importante:

1. El rápido incremento de la ganadería intensiva.
2. El abandono de las prácticas tradicionales donde las explotaciones agrarias y ganaderas estaban íntimamente ligadas.
3. La fuerte concentración territorial existente en el sector ganadero.

Datos de generación y situación actual de la gestión

La generación de estiércoles se muestra en la tabla II.1. En la gestión de estiércoles, no existían grandes problemas hasta hace pocos años ya que generalmente, el ganadero era también agricultor, lo que le permitía utilizar los estiércoles como abono para sus propios cultivos. Los principales problemas detectados derivaban de incorrectas dosificaciones (generalmente al alza) o de problemas de malos olores en los municipios cercanos, especialmente en los turísticos.

Tabla II.1. Generación de estiércoles por especie en Aragón

Especie	Nº cabezas (miles)	Estiércol por plaza (kg/año)	Estiércol total generado (Tm/año)	% a fosa	Estiércol total a fosa (Tm/año)
Vaca de leche	14.03	14,600	204,911	100	204,911
Vaca de vientre	19.9	8,395	167,581	0	0
Bovino de engorda	275.2	5,824	1,602,870	100	1,62,870
Porcina reproductora	225.3	6,120	1,379,069	100	1,379,069
Porcino de engorda	4,095.17	2,150	8,805,936	100	8,805,936
Ovejas/cabras	2,219.5	985	2,481,712	30	744,514
Coneja	168.1	16	2,689	100	2,689
Pollo broiler (carne)	14,808.6	58	858,933	100	858,933
Gallina de huevo	2,779	58	161,171	100	161,171
Total			15,664,872		13,760,093

Actualmente esta situación se ha modificado, porque la ganadería se ha intensificado, separándose de la agricultura. Ahora el ganadero debe buscar agricultores de su entorno, y firmar con ellos un “contrato de cesión de tierras”, que le permita utilizar esas tierras de cultivo para aplicar los estiércoles generados.

En el caso de las grandes instalaciones, al estar sometidas a Autorización Ambiental Integrada, las parcelas que se utilizan han sido previamente comprobadas y contrastadas, pero no ocurre lo mismo en las pequeñas instalaciones, donde es necesario mejorar el control para evitar duplicidades o también para impedir que se superen las cantidad máximas de nitrógeno autorizadas, que actualmente son las siguientes:

- Municipios vulnerables: máximo de 170 kg de nitrógeno
- Resto de Aragón: máximo de 210 kg de nitrógeno

En estos momentos se está planteando la modificación de estas dosis máximas, igualando esta a 170 kg de N/Ha para todas las zonas de Aragón, sean o no vulnerables.

La generación de residuos zoonosanitarios se muestra en la tabla II.2. Si bien hace unos años la gestión de este tipo de residuos era prácticamente inexistente, poco a poco comenzaron a gestionarse, primero mediante gestores foráneos y posteriormente mediante la incorporación de gestores aragoneses debidamente autorizados.

Tabla II.2. Generación de residuos zoonosanitarios por especie en Aragón

Especie	Residuos códigos 18 02 01 y 18 02 02* (Tm/año)	Residuos códigos 18 02 05* (Tm/año)
Vaca de leche	1.4	5.6
Vaca de vientre	0.4	5.0
Bovino de engorda	6.9	27.5
Porcina reproductora	9.5	22.5
Porcino de engorda	143.4	61.4
Ovejas/cabras	25.2	75.6
Coneja	0.1	1.3
Pollo broiler (carne)	0.7	25.2
Gallina de huevo	2.1	2.5
Total	189.6	226.6

Los asteriscos (*) indican que son residuos peligrosos según la legislación vigente, y deberán ser gestionados como tales.

Cuando se redactó el Programa de Residuos Ganaderos (2006), los datos de generación eran prácticamente inexistentes (hubo que recurrir a encuestas para su estimación), pero con la recepción de los primeros datos reales se ha demostrado que no será necesario variar sustancialmente la planificación establecida en el Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón 2009 – 2015.

Principios

Responsabilidad del productor. Es el productor el que debe gestionar los residuos y hacerse cargo de los costes económicos que ello suponga, lo que no impide que para determinadas actuaciones, como tratamiento de estiércoles en zonas vulnerables o saturadas, o implantación de puntos intermedios para la gestión de zoosanitarios, puedan existir ayudas económicas.

Jerarquía de gestión. Fomentar la reducción en la generación de estiércoles principalmente en nuevas instalaciones mediante la implantación de mejores técnicas disponibles. Y reutilizar estos estiércoles como fertilizante agrícola, siempre dentro de los límites de aplicación establecidos legalmente.

Proximidad. Los volúmenes generados hacen especialmente importante que su valoración agrícola o su tratamiento se realicen lo más cerca posible del lugar de generación, siempre que ello sea posible.

Reciprocidad. Directamente relacionado con el anterior, la reciprocidad entre Comunidades Autónomas se establecerá en el marco de las aplicaciones agrícolas y de los tratamientos de excedentes.

Coordinación de flujos. La materia orgánica producida en los estiércoles, debe coordinarse con la materia orgánica producida a través de otros flujos, como los lodos EDAR, residuos urbanos orgánicos, residuos de jardinería, podas, etc., de forma que se integren en un mismo sistema de gestión (objetivo horizontal).

Protección de las aguas. Se establecerán todas las medidas necesarias para evitar la contaminación de las aguas, superficiales o subterráneas, debida a los nitratos de origen ganadero.

Correcta gestión de los residuos zoosanitarios. Como consecuencia de las características propias de este tipo de residuos, el programa hace especial hincapié en la correcta separación en origen y su entrega a gestores debidamente autorizados para su gestión y tratamiento final. El programa fija también una frecuencia mínima de recogida semestral.

Modelo de gestión

La valorización del estiércol como fertilizante agrícola, supone un doble beneficio ambiental, ya que aporta materia orgánica a los suelos y además solventa la gestión de un residuos ganadero. Además, implica un beneficio económico, ya que permite ahorrar abonos (generalmente químicos).

Al establecer un modelo de gestión, debemos distinguir entre los municipios saturados y los que no lo están. Se considera que un municipio está saturado cuando el índice de presión de nitrógeno supera los 170 Kg N/Ha y año.

En los Municipios no saturados, se continuará con las aplicaciones tradicionales de estiércol, respetando en todo momento las dosis que hayan sido definidas para los diferentes cultivos, así como las parcelas acreditadas para su aplicación. Para garantizar que las dosis son las correctas, las instalaciones ganaderas deberán presentar “Planes anuales de abonado”, que deberán ser aprobados por la Administración competente.

En los Municipios saturados, el sector público fomentará y promocionará de forma directa, la implantación de tratamiento de depuración de estiércoles de tipo biológico, compostaje o cualquier otro que elimine los excedentes de nitrógeno o permita su concentración en la fracción sólida, de forma que el transporte a otras áreas en las que agrícolamente sea necesario, o su transporte a plantas de compostaje sea factible. Para la gestión de dichas plantas se crearán sociedades mixtas, en las que la participación entre la Comunidad Autónoma de Aragón, los Ganaderos y las Comarcas se realice a partes iguales.

En el caso de los residuos zoonos, la gestión es igual en todo el territorio, independientemente de si se trata de municipios saturados o no. Lo más importante es conseguir una correcta separación en origen, para lo cual los ganaderos deberán depositar los residuos en dos contenedores específicos:

- Uno para los residuos biológicos infecciosos, cortantes y punzantes
- Otro para los residuos de envases de productos químicos

Dichos contenedores se entregarán posteriormente a un gestor autorizado, bien directamente, o bien utilizando una red de puntos de almacenamiento intermedio, que serán de titularidad municipal; estando previsto que exista al menos un punto por comarca. La frecuencia de recogida deberá ser, como mínimo, semestral.

Cataluña

Anualmente, se producen alrededor de 10 millones de m³ de residuos líquidos (purines porcinos), y unos 9 millones de toneladas de residuos sólidos (estiércoles y gallinazas).

Plan de gestión de las deyecciones ganaderas

En el marco del Plan de prevención y corrección de la contaminación por nitratos de la Generalitat de Catalunya (aprobado el 3 de abril de 2000), se contemplan diversas actuaciones específicas en las zonas vulnerables, en relación con la gestión de los residuos pecuarios y el Programa de gestión de los residuos pecuarios en Cataluña, definido por la Agencia de Residuos de Cataluña:

- La elaboración de un programa comarcal de gestión de los residuos pecuarios que cuantifica la producción de purines, la disponibilidad de los campos y el excedente resultante y propone las soluciones viables.

- El establecimiento de un sistema de colaboración entre las partes implicadas para el almacenaje y tratamiento de purines que permita una posterior aplicación agrícola.
- La construcción de instalaciones de tratamiento de los excedentes.

Programa de gestión de residuos pecuarios en Cataluña

Este programa, aprobado el 21 de noviembre de 1996 por la Agencia de Residuos de Cataluña, caracteriza la situación actual y detecta las zonas o comarcas con mayor problemática relacionada con la gestión de productos orgánicos valorizables. También propone actuaciones tanto en el ámbito de la explotación ganadera como a nivel municipal y supramunicipal.

Tiene como objetivos principales:

- La minimización en origen y establecer las líneas básicas para la gestión de los residuos pecuarios.
- Fomentar la aplicación y la valorización agrícola de los purines como fertilizantes.
- Fomentar y dotar de infraestructuras para el almacenamiento, la redistribución y el tratamiento de los purines excedentes.

Plan soporte a la gestión de los residuos porcinos de la Generalitat de Catalunya

Para responder a las necesidades planteadas en el sector porcino, la Generalitat de Catalunya ha desarrollado un conjunto de actividades complementarias estructuradas entorno a un Plan de Soporte que incluye:

1. Actuaciones de soporte técnico destinadas a:
 - Promover la investigación y la transferencia al sector de dietas animales que reduzcan la aportación de nitrógeno.
 - Poner al alcance del sector el conocimiento y la evaluación de las tecnologías de tratamiento.
2. Actuaciones de soporte económico destinadas a:
 - Promover la elaboración y la aplicación de los planes de gestión de residuos pecuarios.
 - Promover las inversiones en acondicionamiento de granjas y la adopción de las tecnologías de tratamiento de los residuos porcinos.
 - Facilitar el abandono de las explotaciones porcinas que no puedan alcanzar una gestión sostenible.
3. Otras actuaciones normativas y de organización destinadas a:
 - Estimular la gestión correcta de los residuos y la creación de las infraestructuras necesarias.
4. Un Plan de Comunicación destinado a:
 - Dinamizar la participación de todos los sectores implicados en el proceso de mejora de la gestión.

- Dar a conocer las medidas de soporte que la Generalitat pone al alcance de los sectores implicados.

Marco normativo

Decreto 220/2001, de 1 de agosto, de gestión de los residuos pecuarios

En agosto de 2001, con la publicación del Decreto autonómico 220/2001 de gestión de los residuos pecuarios, se establece la obligatoriedad de que ganaderos y agricultores planifiquen de forma correcta la gestión de los residuos pecuarios.

Según este Decreto, las explotaciones ganaderas han de disponer y aplicar:

- Un plan de gestión de residuos pecuarios (individual o colectivo). Para tramitar el plan de gestión de los residuos pecuarios es necesario que un técnico elabore el plan de gestión a partir de los datos de la explotación: capacidades de ganado, capacidades de fosas y estercoleros, gestión de los residuos pecuarios y documentación acreditativa. El plan de gestión se debe presentar en las oficinas comarcales del Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca para que lo estudie y lo valide conjuntamente con el Departamento de Medio Ambiente.
- Un libro de gestión de los residuos pecuarios. El libro ha de incluir la producción real de residuos pecuarios y un registro de la gestión real de los residuos pecuarios generadas en la explotación (aplicación agrícola, gestión conjunta, tratamiento individualizado y/o entrega a gestor). En el caso de aplicación agrícola, se deben apuntar los datos de cada aplicación: fecha, cantidad, identificación de la subparcela, cultivo, etc. En el caso de entrega a gestor o gestión colectiva, se deben apuntar los datos de cada entrega: fecha, cantidad, destinación.

Estos dos documentos son una herramienta básica e imprescindible para el ejercicio de la actividad ganadera.

Por su parte, las explotaciones agrícolas situadas en zonas vulnerables han de disponer y aplicar:

- Un plan de gestión de fertilizantes nitrogenados. Este plan debe incluir los datos de la explotación agrícola (superficies, tipo de cultivos y tipo de fertilizantes a aplicar) y una previsión de las cantidades de fertilizantes nitrogenados a aplicar y del mes de aplicación.
- Un libro de gestión de los fertilizantes nitrogenados, que debe incluir un registro de las cantidades de fertilizantes nitrogenados realmente aplicadas.

Normativa sobre el almacenaje de residuos pecuarios

- La capacidad de almacenaje de las explotaciones ganaderas ha de ser la suficiente para poder gestionar los residuos pecuarios de acuerdo con lo que se establece en el plan de gestión.
- En zonas vulnerables, la capacidad de almacenaje, en relación a los residuos pecuarios destinadas a aplicación agrícola, ha de ser la suficiente para cumplir las medidas agronómicas establecidas en el Decreto 205/2000.
- Los depósitos, las fosas, las balsas de purines y los estercoleros han de permitir una autonomía de almacenamiento de los residuos de cómo mínimo 4 meses (Orden 7 de abril de 1994).
- Los depósitos, fosas y balsas de purines han de ser impermeables y contruidos de manera que no permitan vertidos de los residuos pecuarios.

Canarias

Situación actual y problemática

Tradicionalmente, en las explotaciones agropecuarias, los residuos generados por el ganado e integrados por sus heces y por la “cama”, después de sufrir una fermentación se transformaban en estiércol, que constituía la base del abonado de los campos de cultivo. Normalmente la agricultura y la ganadería se encontraban integradas.

Sin embargo, en el momento presente, una gran parte de la ganadería, llevada en régimen intensivo, se comporta de forma similar a cualquier industria. En esta industria, normalmente no ligada a explotaciones agrarias, los residuos deben ser retirados y gestionados con los medios económicamente más favorables, dentro de un marco de sanidad animal. Los sistemas elegidos para la limpieza emplean el agua a presión como desinfectante, lo que normalmente transforma las heces de los animales en un residuo líquido que recibe el nombre de purín.

En consecuencia, actualmente las explotaciones ganaderas en función de su régimen de trabajo pueden generar un residuo pastoso que posteriormente se transforma en estiércol y como tal se gestiona, o un residuo ganadero líquido, el purín, que suele emplearse en el nitrogenado de los campos mediante riego, pero que necesita una gestión adecuada.

Volumen de residuos generados

Para poder realizar los cálculos se ha tomado como base las cifras reflejadas en el Anexo III del borrador de Decreto que el MIMAM se encuentra preparando. A estas cifras hay que aplicarles el criterio de disponibilidad que diferencia las ganaderías estabuladas de las semiestabuladas o de las extensivas, dichos parámetros son los establecidos por la FAO.

Aplicando dichos parámetros sobre el censo ganadero se obtiene, para la totalidad de las islas una producción global próxima a 1 millón de ton/año, (920,261 ton/año, según cálculos). De este volumen, según datos de la Consejería correspondiente, se transforma en estiércol y son objeto de comercialización casi 600,000 ton/año (565,750 ton en 1998). El resto, entre 350 y 400,000 ton/año constituyen los residuos ganaderos que en el momento presente se están eliminando de forma incontrolada.

Situación actual de la gestión

En la actualidad existen dos sistemas básicos de gestión de residuos:

- a) Explotaciones con cama, normalmente constituida por virutas de madera o pinocha. Se emplea en las explotaciones menores de todo tipo de animales y en las grandes de broilers para carne. El producto resultante, el estiércol es empleado como abono.
- b) Explotaciones con foso de purines y otra depuración. Este proceso permite la limpieza continua de las naves mediante el lavado mecánico de los establos y la acumulación de los residuos en fosas, normalmente en forma de “purín”, pero también como “gallinaza” procedente de explotaciones avícolas de ponedoras en jaulas. El método se emplea, fundamentalmente, para el ganado porcino y el bovino de estabulación fija, para leche principalmente. Es el común en las grandes explotaciones. El residuo, cuando se extrae de la nava, es almacenado en fosos con una capacidad variable de donde se extrae para un almacenamiento de mayores dimensiones (lagunas anaerobias), para su eliminación mediante riego del terreno o para su transformación en estiércol.

Los dos sistemas, que coexisten en las islas, presentan diferentes problemas medioambientales siendo los más comunes los siguientes:

- Incorrecto sistema de almacenamiento que puede provocar daños por contaminación de terrenos y acuíferos.
- Estercoleros inadecuados que provocan contaminación y olores.
- Dificultad para eliminar los residuos y empleo sobre el terreno en cantidades inadecuadas.
- Problemas de malos olores y proliferación de insectos en las inmediaciones de las granjas, por mala gestión de los residuos.

Objetivos y líneas de actuación

El objetivo global que se pretende alcanzar es la optimización de la gestión de este tipo de residuos, involucrando en la misma a todos los sectores implicados de forma que se garantice la integridad del medio ambiente y el aprovechamiento del valor agregado asociado a estos residuos.

De acuerdo con este objetivo, las acciones a planificar se orientan, en concordancia con las metas fijadas en el PIRCAN, en las siguientes líneas de actuación:

- Planificación global de las actuaciones, con el objeto de lograr una actuación coordinada y eficaz.

- Fijación de los criterios básicos para la coordinación de acciones en el desarrollo de infraestructuras de tratamiento para los residuos ganaderos. Desarrollo de asociaciones.
- Determinación de prioridades, a nivel de tipología de actuaciones en el ámbito territorial. Integración de los residuos ganaderos en las líneas de tratamiento de residuos orgánicos. Sistemas de eliminación y transformación a desarrollar.

El Plan de Actuación, se ha desarrollado con base en los principios establecidos por la Unión Europea: autosuficiencia, proximidad, “quien contamina, paga” y responsabilidad compartida. También, en cuanto a gestión, se mantiene el orden jerárquico de: minimización, valorización y eliminación segura.

Para poder alcanzar los objetivos señalados, se ha previsto el desarrollo de una serie de programas de acuerdo con las siguientes líneas de actuación:

- Minimización del impacto medioambiental
- Minimización de la producción de residuos
- Aprovechamiento de los residuos como fertilizantes y acondicionadores del suelo
- Valorización energética de un recurso renovable

Segovia

Situación actual

La producción de purín en la provincia de Segovia se estima en unos 3,900,000 m³ al año, lo que supone aproximadamente el 50% de la producción regional. Esto, unido a un uso creciente de abonos químicos en la agricultura, ha provocado que sólo en la provincia de Segovia se encuentren las 5 Zonas Vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos de origen agrícola y ganadero, declaradas en Castilla y León.

Alternativas propuestas

Aplicación del purín a tierras de cultivo

La reutilización de los purines como abono agrícola representa una alternativa realista en provincias como la de Segovia, de climatología árida o semiárida y suelos con bajo contenido de materia orgánica. El sector porcino es el principal producto ganadero en Segovia, es por ello que esta provincia es una excelente candidata para aprovecharse de esta ventaja ya que uno de los principales factores limitantes del crecimiento de este sector lo constituyen los problemas medioambientales derivados de la explotación porcina; y la posibilidad de reutilización de los purines constituirá una alternativa viable a la gestión de éstos.

Comparando el purín con otros residuos, se observa que posee unas características de composición que ofrecen grandes posibilidades para su reutilización. Su aplicación al suelo

presenta varias ventajas: puede mejorar su estructura, la actividad microbiana y la producción de los cultivos, puesto que dispone de una serie de nutrientes fundamentales: nitrógeno, fósforo y potasio.

Instalación de sistemas de tratamiento de residuos pecuarios

Debido a la existencia de determinadas zonas conflictivas por el exceso de producción de purines y por la falta de tierras de cultivo próximas a las explotaciones ganaderas, sería necesario la implantación de sistemas alternativos para la eliminación de estos residuos. Habiendo estudiado los municipios con mayor carga ganadera y menor superficie de cultivo, los más problemáticos son los siguientes: Cuéllar, Fuentepelayo, Navas de Oro y Valledado.

En todos ellos se observa que la producción de purín sobrepasa la cantidad que podría aplicarse a las superficies de cultivo, suponiendo el caso más desfavorable, es decir, que todo el abonado nitrogenado se realizara con este tipo de fertilizante orgánico.

La provincia puede absorber más purín que el producido actualmente, pero tanto la producción como la aplicación del purín se deberá hacer de forma controlada a través de entidades gestoras.

Propuesta de ayudas agroambientales

De alguna manera se debería de incentivar a los agricultores para el uso de abonos naturales frente a los fertilizantes químicos que se usan de forma habitual. Para ello sería necesario, tal vez, el hecho de modificar una línea de ayudas de la PAC para crear los incentivos necesarios por hectárea por el uso de estiércoles frente a los fertilizantes químicos, todo ello bajo la tutela de una empresa gestora que garantice la correcta utilización de los residuos ganaderos.

Con esto, se persigue establecer un régimen de ayudas que contribuyan a la protección del medio ambiente, reduciendo la contaminación por nitratos procedentes de fuentes de origen agrícola y ganadero, así como mejorando las características físico químicas de los suelos.

El agricultor que pone la superficie del cultivo para la aplicación de residuos ganaderos, recibirá una ayuda por parte de la empresa gestora. La ayuda consistiría en fijar una cantidad económica por hectárea, independiente del residuo ganadero que en la misma se aplique, ya que esta cantidad es función del tipo de suelo y cultivo que se fertiliza

Costa Rica

Acción estratégica: Aprovechamiento y transformación de residuos orgánicos

Los residuos orgánicos provenientes de la agricultura, agroindustria, áreas verdes y domicilios tienen, por sus características, un importante valor, debido a su potencial de aprovechamiento energético y transformación en abono. Si no son manejados adecuadamente, como en la actualidad, estos residuos pueden emitir grandes cantidades de gases efecto invernadero. En

consecuencia, se deben fomentar tecnologías apropiadas, con el fin de aportar al ambiente y contribuir significativamente a la meta de Costa Rica de ser un país “C-neutral”.

Objetivo:

Procesos en funcionamiento que conviertan residuos orgánicos en abono, alimentos, aprovechamiento energético y otros.

Indicador:

Aumento del aprovechamiento de los residuos orgánicos.

Puntos clave:

- El estudio técnico-económico de los procesos de tratamiento de residuos orgánicos debe considerar aspectos como: conversión en abono y alimentos, aprovechamiento energético (directo e indirecto), efecto invernadero (sobre todo el gas metano), características de los suelos, aspectos climáticos, soluciones centralizadas o descentralizadas.
- Es necesaria la formación de asociaciones “sombilla” de pequeños generadores, para poder entrar a los mecanismos de MDL.
- Es clave facilitar los procesos administrativos necesarios para conseguir los permisos requeridos para el suministro de energía eléctrica generada por entidades privadas a la red eléctrica pública.
- Para impulsar proyectos específicos, se necesita un mecanismo de agrupación de actores (matchmaking): generadores, potenciales operadores, proveedores de tecnologías y fuentes de financiamiento. Es clave un paquete de apoyo tecnológico (identificación de tecnologías, asesoría), financiero (bancos privados y de desarrollo, fondos de inversión) y organizacional, así como el respaldo del sector público.
- El abono orgánico (compost) sería particularmente atractivo para fomentar la agricultura orgánica.

España

El sector porcino es la actividad ganadera que mayor crecimiento ha tenido en España en los últimos años. Ello ha dado lugar a la generación de 40 millones de toneladas de purines, de los que 33 se eliminan de forma natural esparciéndolos en los campos de labor, mientras es preciso destruir el resto. Con todo, se ha denunciado la presencia de más de 200 zonas vulnerables donde la contaminación de las aguas subterráneas es superior a los 50 mg de nitratos por litro. Ello limita cada vez más la aplicación al campo como sucede en Cataluña, Murcia, Toledo, Segovia y parte de otras comunidades.

Hay actualmente en España alrededor de 12 plantas de gestión de purines. Estas plantas cuentan con digestores anaerobios para tratamiento de efluentes líquidos con muy poco contenido en

sólidos, como es el caso de los purines. Se necesita un porcentaje mínimo de materia orgánica en el reactor para que la generación de biogás pueda devenir una fuente de ingresos. Este es el mayor inconveniente de estas plantas en España, donde el método habitual de limpieza en las explotaciones ganaderas añade mucha agua en las deyecciones, obteniéndose un purín con un 2-6% de materia seca que no asegura la viabilidad económica de las plantas de gestión. Su instalación, pues, obedece más a razones de impacto ambiental y sociológico, ya que un digestor elimina los olores ofensivos casi perfectamente, que a criterios económicos.

En la digestión anaerobia la materia orgánica es metabolizada a biogás (básicamente metano y CO₂) en ausencia de oxígeno. La digestión estabiliza la materia orgánica. Sin embargo, no consigue eliminar parte del material lentamente degradable como las celulosas. El material resultante suele precisar una posterior metabolización, como el compostaje.

Unión Europea

En Centroeuropa, en particular en la zona norte, se ha llegado a la conclusión de que las plantas de biometanización/biodigestores, en particular las destinadas al tratamiento de residuos ganaderos sólo son económicamente sostenibles por encima de una capacidad de 10,000 ton/año y para un líquido que contenga un 20% de materia seca.

En el caso de los purines de cerdo, en el mejor de los casos la máxima concentración de material seco puede alcanzar el 15%, lo normal en España es que sea del 2 al 8%. Además el purín de cerdo presenta el inconveniente de su baja tasa de transformación en metano, lo que implica que este tipo de plantas sólo alcanzarán las rentabilidades si se mezcla el purín con otros residuos más energéticos. En ello se ha trabajado y se han logrado buenos resultados con la denominada co-digestión, esto es, la digestión de los purines con fangos de los mataderos o de otra procedencia que aseguren una gran cantidad de materia orgánica, en especial lípidos.

En el norte de Alemania se han construido plantas de tratamiento de aguas procedentes de los mataderos que son energéticamente sostenibles, es decir, el biogás producido en el digestor cubre todas las necesidades térmicas de la industria y la electricidad generada es suficiente para atender a la demanda eléctrica del matadero. En Dinamarca existen bastantes plantas donde junto a los purines (70% en peso) se añade un 30% de residuos cárnicos ricos en proteínas; estas plantas son energéticamente autónomas y además pueden exportar energía eléctrica.

El otro problema que se plantea es el uso como fertilizante del residuo resultante del digestor. Se trata de una mezcla de líquido y sólido, con composición semejante a la de entrada, de la que por centrifugación se puede separar la fracción sólida para ser usada como fertilizante natural. Existe en la UE una normativa con respecto a la higienización de esta fracción que depende, básicamente, de la caracterización y procedencia del residuo a tratar y del destino que se vaya a dar a la fracción sólida. Para los residuos ganaderos habituales, la higienización se puede conseguir con 70 °C de temperatura mantenida durante 1 hora, o 173 °C durante 20 minutos a 3 bares de

presión. La discusión radica en establecer el umbral de higienización en reactores que difícilmente sobrepasan los 50 °C, con flora microbiana termófila, aunque el tiempo de permanencia del líquido sea de 10 ó 15 días. El otro problema, y más importante desde el punto de vista medioambiental, es la fase líquida. Esta fase, obviamente mayoritaria, tiene un gran contenido de materia orgánica disuelta, inconveniente por el que se están realizando muchas pruebas para tratar en medio ácido estas aguas, neutralizar el efecto del nitrógeno y poderlas usar como agua de riego.

Como se ha comentado, los potenciales de producción de biogás a partir de purines de cerdo son relativamente bajos, debido al bajo contenido en materia orgánica de los mismos, comparados con otros tipos de residuos, y la baja biodegradabilidad de la misma. La co-digestión de residuos pecuarios y residuos orgánicos en sistemas de mezcla completa es una metodología exitosa tanto en régimen termofílico como en el mesofílico. La principal ventaja de la co-digestión está en aprovechar la sinergia de las mezclas, y compensar carencias de cada uno de los substratos por separado.

En Dinamarca funcionan alrededor de 20 plantas centralizadas de producción de biogás desde los años 80, lo que ha posibilitado el tratamiento combinado de residuos ganaderos y residuos orgánicos procedentes de la industria alimentaria, de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas, residuos de mataderos y la fracción orgánica de RU. Los residuos urbanos e industriales suelen contener altas concentraciones de materia orgánica fácilmente degradable (lípidos, carbohidratos y proteínas), por lo que presentan un mayor potencial de producción de biogás que los residuos ganaderos, de 30 a 500 m³/ton, mejorando la viabilidad económica de las plantas. Sin embargo, estos residuos pueden presentar problemas para su digestión, como deficiencia en nutrientes necesarios para el desarrollo de los microorganismos anaerobios, baja alcalinidad, o excesivo contenido en sólidos que provoque problemas mecánicos. Los residuos ganaderos, y en concreto el purín de cerdo, pueden ser una buena base para la co-digestión, porque generalmente presentan un contenido de agua más alto que la mayoría de residuos industriales, una mayor capacidad tampón y aportan una amplia variedad de nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos anaerobios.

Muchas experiencias de co-digestión han sido llevadas a cabo, mezclando diferentes tipos de residuos, desde las experiencias a escala industrial de Dinamarca, hasta muchas otras a escala laboratorio, corroborando casi siempre las expectativas de un mayor potencial de biogás. Los efectos beneficiosos de la introducción de mezclas de residuos ganaderos con residuos industriales se han puesto de manifiesto en las plantas a escala industrial en Dinamarca. La producción media de las plantas que utilizan mezclas fue en el mes de septiembre del año 1999 de 38,5 m³ de gas/m³ de biomasa, con un máximo para la planta de Vegger de 90 m³ de gas/m³ de biomasa introducida en el reactor, mientras que la media de producción para las plantas que trabajan sólo con estiércol fueron siempre menores a los 26.6 m³ de gas/m³ de biomasa, con un valor medio en el mismo período de 14.5 m³ de gas/m³ de biomasa (Danish Energy Agency).

Estados Unidos

El Programa AgSTAR

El control de los olores y la protección de las aguas se han convertido en temas prioritarios en la gestión de los residuos pecuarios, especialmente a partir del momento en que el desarrollo residencial se ha expandido en las áreas rurales. Estas consideraciones han llevado a un número creciente de ganaderos a considerar la instalación de sistemas de digestión anaerobia.

Los ganaderos pueden usar el biogás producido para generar electricidad, calor, agua caliente y refrigeración para su uso en la granja, al mismo tiempo que reducen los olores, las emisiones de metano, y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. También pueden vender la electricidad a empresas eléctricas y los sólidos digeridos (un fertilizante de gran calidad) a otros granjeros, jardineros y otros, creando nuevas fuentes de ingresos. Por ejemplo, Craven Farms de Cloverdale, Oregon, genera anualmente 24,000 USD de electricidad y 30,000 USD de sólidos digeridos con su sistema de biogás.

El Programa Federal AgSTAR estima que aproximadamente 3,000 explotaciones ganaderas en todo Estados Unidos podrían instalar sistemas de recuperación de biogás coste-eficientes, con un potencial de recuperación de 426,000 ton de metano.

El Programa Federal AgSTAR, una iniciativa conjunta de la U.S. Environmental Protection Agency, el U.S. Department of Energy, y el U.S. Department of Agriculture, muestra a los productores de leche y porcino como gestionar los estiércoles de manera rentable al mismo tiempo que se protege el medio ambiente. AgSTAR proporciona soporte técnico, herramientas de software, e información sobre digestores de biogás y ha promovido el desarrollo de estándares nacionales para los sistemas de digestión anaerobia a escala comercial.

Para asegurar que los sistemas de recuperación de metano están correctamente diseñados, instalados, mantenidos y operados, el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales del U.S. Department of Agriculture y la EPA han desarrollado Estándares de Prácticas de Conservación para los sistemas de recuperación de metano. Estos estándares, proporcionan guía técnica a los ganaderos, diseñadores, ingenieros, e instaladores de los sistemas de recuperación de metano para reducir el riesgo de fallos técnicos o sistemas con bajo rendimiento.

El USDA Environmental Quality Incentive Program proporciona costes-compartidos para mejoras agrícolas en regiones target para ayudar a alcanzar estándares de calidad de las aguas y otros estándares medioambientales. La financiación está disponible para instalaciones de gestión de residuos animales. El 50% de los fondos del Programa está dedicado a los problemas de recursos naturales relacionados con la producción ganadera.

Además, el U.S. Department of Energy apoya proyectos de biogás a través del Regional Biomass Energy Program (RBEP) en 5 regiones de los Estados Unidos. El programa proporciona costos-compartidos y soporte para mejorar la capacidad y efectividad del gobierno estatal y local y de la

industria en la producción y el uso de recursos energéticos de la biomasa, incluyendo biogás agrícola. El RBEP también publica un manual de biogás que proporciona información de los diversos usos del biogás, manejo de gas, limpieza, aspectos de seguridad y salud, económicos, y fuentes de equipos y experiencia.

State Experience with Manure Management

Un determinado número de estados apoya sistemas de biogás agrícola a través de subvenciones, costos-compartidos, préstamos a bajo interés, proyectos de demostración, o información y programas de asistencia técnica.

Illinois: Illinois ofrece un 50-50 costo-compartido (hasta 550,000 USD por subvención) a los granjeros que instalan sistemas de electricidad de biogás anaerobios que reúnen los requisitos necesarios. El programa de subvenciones, establecido en el marco de la legislación de reestructuración del sector eléctrico de 1997, está financiado a través de un recargo/sobretasa sobre la electricidad generada por instalaciones eléctricas propiedad de inversores privados. Las subvenciones de biogás están disponibles para sistemas comprados o construidos después del 01/01/98. Los diseños experimentales o sin probar no cumplen los requisitos para ser financiados.

North Carolina: Los granjeros que quieren instalar digestores anaerobios pueden dirigirse a la North Carolina Energy Division para préstamos a bajo interés y otro tipo de asistencia. El programa de préstamo proporciona hasta 500,000 USD por proyecto a un 4% de interés durante siete años. El programa de subvenciones ofrece financiamiento limitado pero ayuda a los granjeros a disponer de financiación externa segura. El Estado también patrocina proyectos piloto individuales.

III. Diagnóstico del manejo de los residuos de actividades agropecuarias en México

El manejo de residuos agropecuarios en México es prácticamente inexistente, así se reconoce en el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral del Residuos 2009-2012: *actualmente se carece de la información de su generación a nivel nacional*. Ninguno de los Programas para la prevención y gestión integral de residuos elaborados por los gobiernos estatales y a la fecha publicados incluye un análisis de los residuos de éste sector, tampoco incorporan estrategias y acciones puntuales para su adecuada gestión y manejo. El único antecedente encontrado es el Programa GIRA del estado de Aguascalientes en proceso de publicación, el detalle sobre éste se expone como caso de estudio en el Capítulo IV.

Los procesos identificados en el manejo son la generación y la disposición dispersa principalmente, en menor escala el acopio y traslado, y de manera incipiente el aprovechamiento para producción de composta y/o generación de biogás, ver figura III.1.

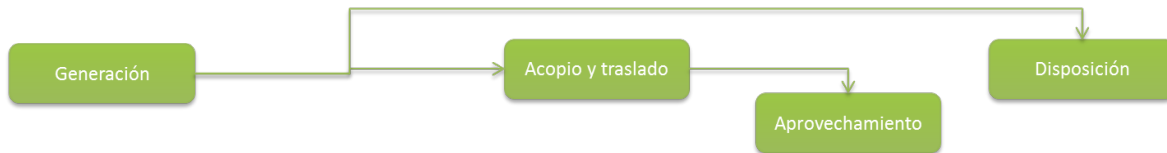


Figura III.1. Manejo actual de residuos agropecuarios en México

Fuente: generación propia

La situación del manejo y gestión de los residuos agropecuarios en el país es una paradoja: residuos con importantes contenidos de materia orgánica y energía para ser aprovechados se gestionan de forma natural convirtiéndose en algunas regiones en fuentes de contaminación dispersa.

Generación

El análisis de generación se realizó con base en la metodología presentada en el Capítulo IV. El cálculo se realizó para los residuos agrícolas, siendo exclusivamente los residuos vegetales originados por la siembra y cosecha del maíz. Los residuos pecuarios son las heces, orina, camas de lavado en seco de cinco especies: bovino (carne y leche), porcino, ovino, caprino y ave (gallináceas). La suma de los residuos mencionados son los agropecuarios.

Los residuos agropecuarios del país en el año 2008 fueron 26,726,780 ton, lo que representa diariamente 73,224 ton. Los residuos pecuarios son los de mayor peso, siendo su participación de 96.6%, y el restante 3.4% es de residuos agrícolas derivados exclusivamente de la producción de maíz.

Cada estado del país muestra un comportamiento particular de generación, relacionado directamente con la actividad productiva agropecuaria. Es por ello que se realizó una clasificación de los estados por la generación de residuos agropecuarios, definiéndose cuatro categorías: A. mayor a 1,500,000 ton/año, B. entre 1,500,000 y 1,000,000 ton/año, C. entre 1,000,000 y 500,000 ton/año, y D. menor a 500,000 ton/año. La figura III.2, muestra el análisis espacial de los resultados de la clasificación por estado, el impacto al ambiente y la salud humana que pueda tener esta generación sin un manejo adecuado se desarrolla en el Capítulo V.

Los estados que mayor cantidad de residuos agropecuarios generan son: Jalisco (3,095,515 ton/año), Veracruz (2,665,638 ton/año) y Chiapas (1,730,116 ton/año), estos estados en conjunto generan 7,491,270 ton/año, lo que representa el 28% del total nacional. Los estados que menos residuos agropecuarios generan suman el 11% del nacional siendo 12: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Campeche, Colima, Distrito Federal, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Querétaro, Quintana Roo, Tlaxcala.

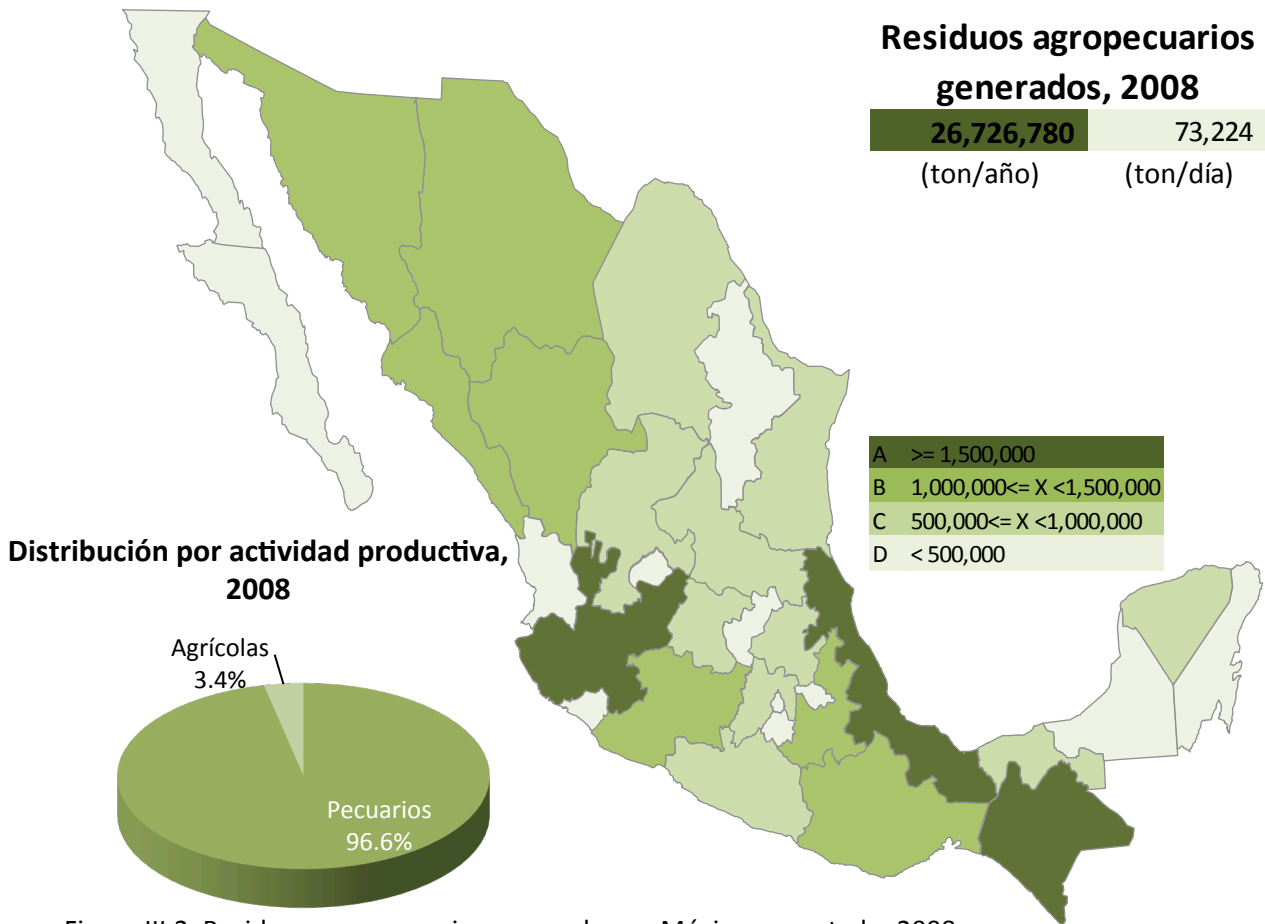


Figura III.2. Residuos agropecuarios generados en México por estado, 2008

Fuente: generación propia

Considerando los datos de generación por estado, se identifican tres grandes regiones generadoras de residuos agropecuarios: noroeste, poniente y sureste, las cuales en conjunto representan 59% de la generación nacional, la sureste es la mayor generadora sumando 25% del nacional, ver tabla III.1.

Tabla III.1. Principales regiones generadoras de residuos agropecuarios, 2008

Región	Estados que la conforman	Generación	
		(ton/año)	(% del nacional)
Noroeste	Chihuahua, Durango, Sinaloa y Sonora	4,790,140	18
	Jalisco y Michoacán	4,366,070	16
Sureste	Chiapas, Oaxaca, Puebla y Veracruz	6,743,795	25
	Total	15,900,005	59

Fuente: generación propia

El análisis de residuos agrícolas fue posible hacerlo con datos del 2009, para el ciclo completo de siembra y cosecha de todos los usos del maíz, considerándose como usos los reportados por el SIAP: grano, forrajero y grano/semilla. Los residuos agrícolas generados en 2009 fueron 864,144 ton/año, lo que es lo mismo que 2,368 ton/día, ver figura III.3, como se ha comentado esto representa el 3.4% de los residuos agropecuarios. En este trabajo solamente se considera el cultivo de maíz, por lo que existe un volumen de generación no determinado para todos los demás cultivos perenes y permanentes que se producen en el país.

La metodología para el análisis de generación se expone en el Capítulo IV, aquí adelantamos que las principales variables que influyen en la generación es la superficie productiva (sembrada y cosechada), el coeficiente de generación por etapa del proceso (siembra y cosecha) y la disponibilidad de los residuos por el uso del maíz (forrajero casi no genera residuos y grano/semilla es el que más genera).

Resultado de la combinación de éstas variables, se obtuvo que el principal uso generador de residuos es el maíz para grano con 97.9% de los residuos agrícolas, esto vinculado directamente a que la mayor superficie sembrada y cosechada en el país es para éste uso, además por utilizarse únicamente la mazorca de la planta de maíz, la disponibilidad de residuos generados es mayor que para el uso forrajero el cual ocupa el segundo lugar en superficie sembrada y cosechada pero la disponibilidad de residuos es muy baja.

Los estados que mayor cantidad de residuos agrícolas generan son: Chiapas (78,398 ton/año), Guerrero (54,821 ton/año), Jalisco (73,239 ton/año), México (64,909 ton/año), Michoacán (51,545 ton/año), Oaxaca (65,856 ton/año), Puebla (61,172 ton/año), Sinaloa (64,000 ton/año) y Veracruz (65,150 ton/año), estos estados en conjunto generan 579,090 ton/año, lo que representa el 67%

del total nacional. Los estados que menos residuos agropecuarios generan suman el 2% del nacional siendo 8: Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Morelos, Nuevo León y Sonora.

La figura III.3, muestra el análisis espacial de clasificación por estado, identificándose un gran corredor generador de residuos agrícolas, conformado por los estados cuya clasificación por generaciones A y coincide con las principales zonas del país productoras de maíz para comercialización y autoconsumo.

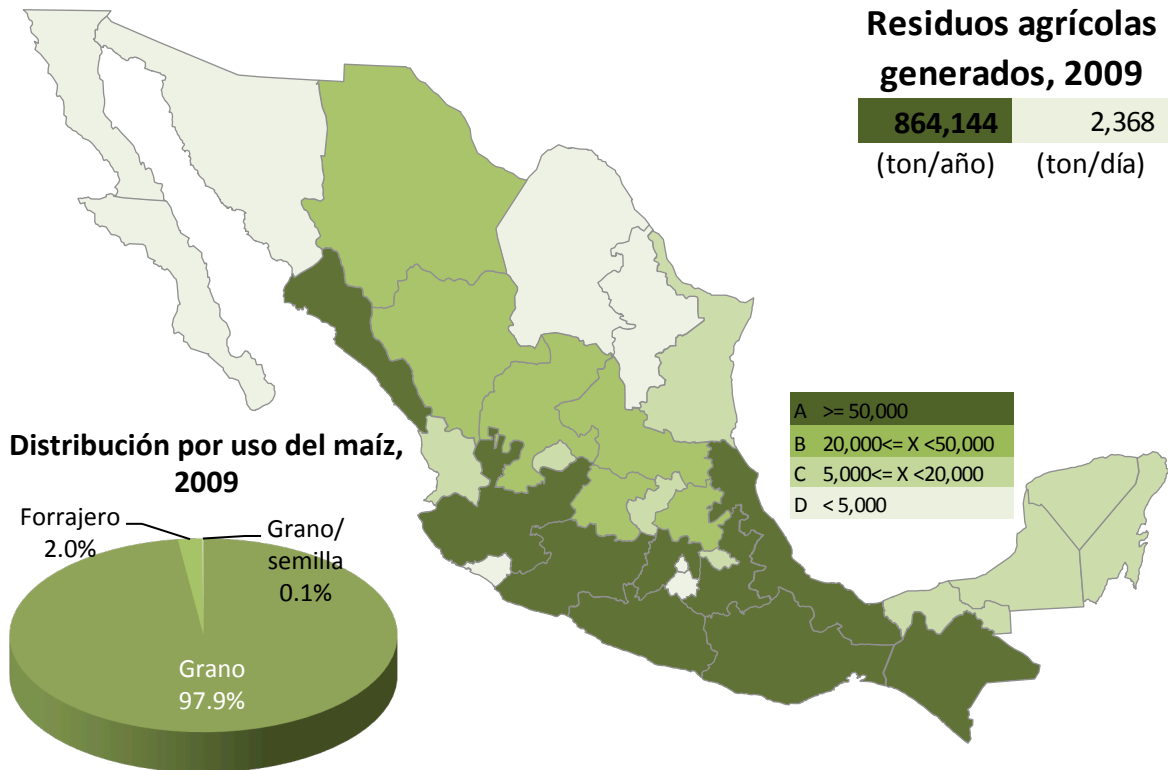


Figura III.3. Residuos agrícolas generados en México por estado, 2009

Fuente: generación propia

Los residuos pecuarios se obtuvieron con datos del 2008 por la dificultad de obtener información actualizada del sector, considera las heces, orina y limpieza de camas en seco por animal al día de las siguientes especies: bovino leche y carne, porcino, ovino, caprino y ave. Estos residuos han tenido un mayor campo de interés para el análisis y manejo en el mundo, como se expuso en el Capítulo II. El desarrollo de la metodología se presenta en el Capítulo IV, siendo uno de los primeros documentos generados al respecto en el país, por lo que el presente trabajo amplía el análisis para todo el país.

Los residuos pecuarios generados en 2008 fueron 25,814,578 ton/año, esto corresponde a 70,725 ton/día, son los más importantes del sector agropecuario (96.6%), esto es una cifra de gran impacto. La vocación productiva y comercial influye en la generación de residuos pecuarios, para

el país la especie que más genera residuos son los bovinos destinados a producción de carne con 66.5% del nacional, le siguen aves con 11.2%, porcinos con 10.3% y bovinos para leche 8.6%, los ovino-caprinos suman 3.3%, ver figura III.4.

Los estados que mayor cantidad de residuos agropecuarios generan son: Jalisco (3,020,761 ton/año) y Veracruz (2,598,561 ton/año), estos estados en conjunto generan 5,619,323 ton/año, lo que representa el 22% del total nacional. Los estados que menos residuos agropecuarios generan suman el 11% del nacional siendo 12: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Campeche, Colima, Distrito Federal, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Querétaro, Quintana Roo, Tlaxcala.

El análisis de residuos pecuarios muestra resultados similares al total de residuos agropecuarios, lo cual es entendible por la participación que tienen, las tendencias mostrarán ligeros cambios, pero en general son las mismas.

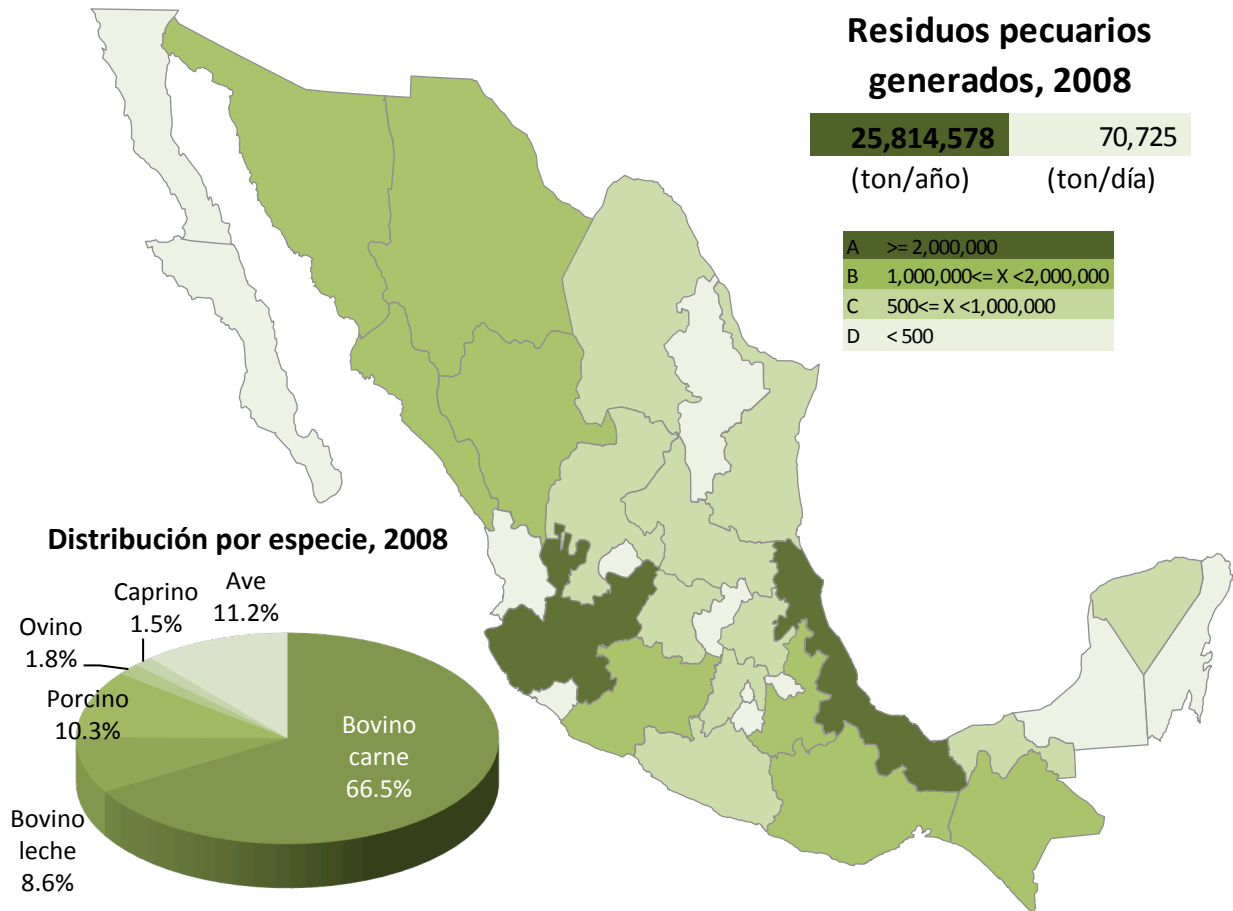


Figura III.4. Residuos agropecuarios generados en México por estado, 2008

Fuente: generación propia

Considerando los datos de generación por estado, se identifican tres grandes regiones generadoras de residuos pecuarios: noroeste, poniente y sureste, las cuales en conjunto representan 59% de la generación nacional, la sureste es la mayor generadora sumando 25% del nacional, ver tabla III.2.

Tabla III.2. Principales regiones generadoras de residuos pecuarios, 2008

Región	Estados que la conforman	Generación	
		(ton/año)	(% del nacional)
Noroeste	Chihuahua, Durango, Sinaloa y Sonora	4,668,490	18
	Jalisco y Michoacán	4,237,950	16
Sureste	Chiapas, Oaxaca, Puebla y Veracruz	6,461,071	25
	Total	15,367,511	60

Las series de datos obtenidas del SIAP con las que se realizó el análisis incluyeron el decenio de 1999-2008 para pecuarios y 2000-2009 para agrícolas. Con ésta información se realizó la proyección a seis años y cinco, respectivamente; para consolidar un periodo de 2008-2013 para la generación de residuos agropecuarios, los resultados deberán actualizarse conforme la información del SIAP.

Los residuos agropecuarios en su conjunto muestran una tendencia creciente que va de 26,726,780 ton/año en 2008 a 27,995,407 ton/año en 2013, lo que significa un incremento de 4.7% en seis años. Esta tendencia es resultado del comportamiento de los residuos pecuarios los cuales para el mismo periodo incrementan 5.1%, siendo 25,814,578 ton/año en 2008 y serían 27,122,389 ton/año en 2013. Comportamiento inverso muestran los residuos agrícolas, ya que la superficie de maíz sembrada y cosecha ha venido disminuyendo en el país, el decrecimiento durante los seis años sería de 5.8%, siendo la generación al 2008 de 912,203 ton/año y disminuiría en 2013 a 833,018 ton/año, ver figura III.5.

Lo anterior tendría una repercusión en el porcentaje de participación de cada tipo de residuos agropecuarios, quedando al 2013 de 96.9% residuos pecuarios y 3.1% residuos agrícolas, recordando que los últimos solamente consideran la producción de maíz. El incremento de los residuos agropecuarios sería lento, en promedio de 0.9% por año, lo que puede significar un reto es la cantidad de residuos pecuarios generados y el manejo que se realice.

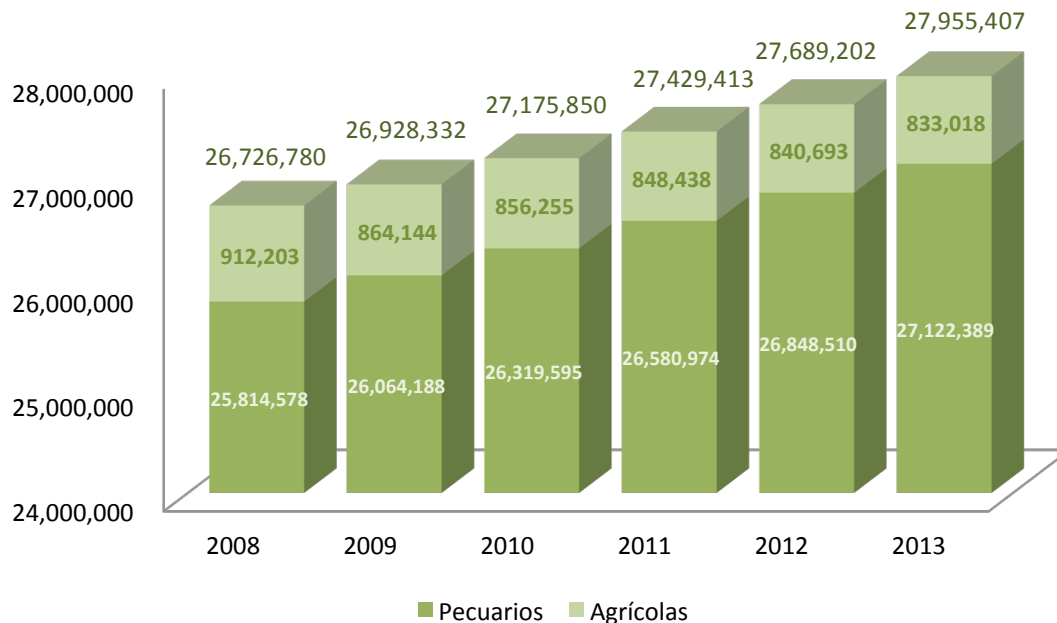


Figura III.5. Proyección de la generación de residuos agropecuarios, 2008-2013 (ton/año)

Acopio y traslado

No existe una práctica generalizada de acopio y traslado de los residuos agropecuarios en el país. Existen acciones aisladas que no están registradas ni documentadas en ninguna fuente oficial.

El acopio y traslado se llega a realizar de forma cultural en función de las prácticas productivas heredadas en las regiones, la influencia de prestadores de servicios profesionales en las zonas agrícolas induce a pensar que éstas se han incrementado, pero no son realizadas como parte de un proceso planeado en el manejo y gestión de los residuos.

Aprovechamiento

La situación del aprovechamiento es similar a la de acopio y traslado. La diferencia es que para este proceso si existen ejemplos de experiencias iniciales impulsadas por instituciones gubernamentales y sociales.

Los estados en los que se encuentran experiencias significativas son Aguascalientes, Guanajuato, Michoacán. En todos ellos existen proyectos de aprovechamiento de residuos principalmente pecuarios para la generación de biogás y composta. El volumen de los mismos no es significativo para las regiones, sin embargo, representan el inicio de una práctica conveniente para el manejo y gestión de los residuos con altos contenido de materia orgánica, principalmente.

Disposición

En general en México la disposición final de los residuos agropecuarios se realiza de forma dispersa, es decir, en el lugar o cercano a las zonas de producción, sin que se identifique un control sobre las fuentes generadoras, ni características de los residuos, ni cantidades dispuestas correctamente.

En algunas regiones, se tienen prácticas de aplicación de los residuos en las zonas de cultivo, lo cual es recomendable. Sin embargo, la falta de estudios sobre los nutrientes en los suelos de las regiones donde se aplican, disminuye la eficiencia y eficacia que podría lograrse. Esto debe ser analizado por profesionales en temas agrícolas y forestales, como se ha hecho en otros países principalmente europeos y se expone en el Capítulo II.

Lo anterior, como se expone en el capítulo V, más allá del potencial riesgo ambiental y de salud que pueda presentarse en algunas regiones del país, implica una ruptura en los procesos de manejo y gestión de estos residuos, existiendo huecos significativos en la normativa nacional y estatal en la materia.

IV. Caso estudio: diseño del apartado del sector primario del “Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos sólidos de Aguascalientes”

El desarrollo de éste capítulo fue tomado en su mayoría del Programa GIRA de Aguascalientes (Programa estatal para la prevención y gestión de los residuos de Aguascalientes), documento que está en proceso de consulta; del cual el autor de esta tesis elaboró el apartado de residuos del sector primario y otros apartados del mencionado documento. Como se menciona en el Capítulo II de esta tesis gran parte del enfoque de análisis y perspectivas de manejo y gestión fueron tomadas de fuentes internacionales, siendo las europeas las mejor documentadas. Los desarrollos de estos temas en México son prácticamente inexistentes, por lo que el Programa Gira y la presente tesis tienen como finalidad contribuir a iniciar la discusión y atención del tema.

Proceso de elaboración

El programa se hizo con un proceso participativo entre actores e instituciones de los sectores social, académico, empresarial y gubernamental. Durante tres talleres de trabajo se intercambiaron ideas y sugerencias de mejora al trabajo desarrollado. Todos los involucrados/instituciones participantes están representados en el Comité Estatal para la Prevención y Gestión de Residuos (Comité estatal de residuos).

En el primer taller, realizado en septiembre del 2010, se revisó la metodología específica del diagnóstico básico para cada subsector, detallando: i) el análisis de fuentes de información, ii) las consideraciones del análisis y iii) los resultados iniciales. Las sugerencias de mejora e información proporcionada por los participantes se incorporaron al análisis.

El segundo taller, realizado en octubre del 2010, consistió en una sesión de planeación estratégica en la que para cada subsector: i) se ordenaron los temas y discusiones, ii) se precisaron opiniones y percepciones, y iii) se priorizaron acciones y planteamientos. Lo anterior para cada proceso de manejo de residuos, valorando las acciones actuales, cuando hubiere, y las iniciativas requeridas de mejora.

Finalmente el tercer taller, realizado en noviembre de 2010, se dio en el marco de la última sesión del Comité estatal de residuos. Los resultados más relevantes y las estrategias por subsector se pusieron a consideración de los participantes, sesión durante la cual se hicieron sugerencias, además de abrir un periodo para recibir sugerencias específicas a través de una consulta pública a través de internet.

Pilares del Programa GIRA

El Programa GIRA considera que las funciones del Gobierno estatal son de: regulador, controlador, promotor y vinculador del actuar cotidiano entre la sociedad, sector empresarial y otras instituciones gubernamentales (municipios y federación) en temas de medio ambiente y en particular en la gestión de residuos sólidos municipales, residuos de manejo especial y residuos peligrosos de su competencia conforme lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y el marco normativo estatal relacionado.

Los pilares sobre los cuales se basa integran de forma inherente el desarrollo sostenible de la entidad y se estructuran en:

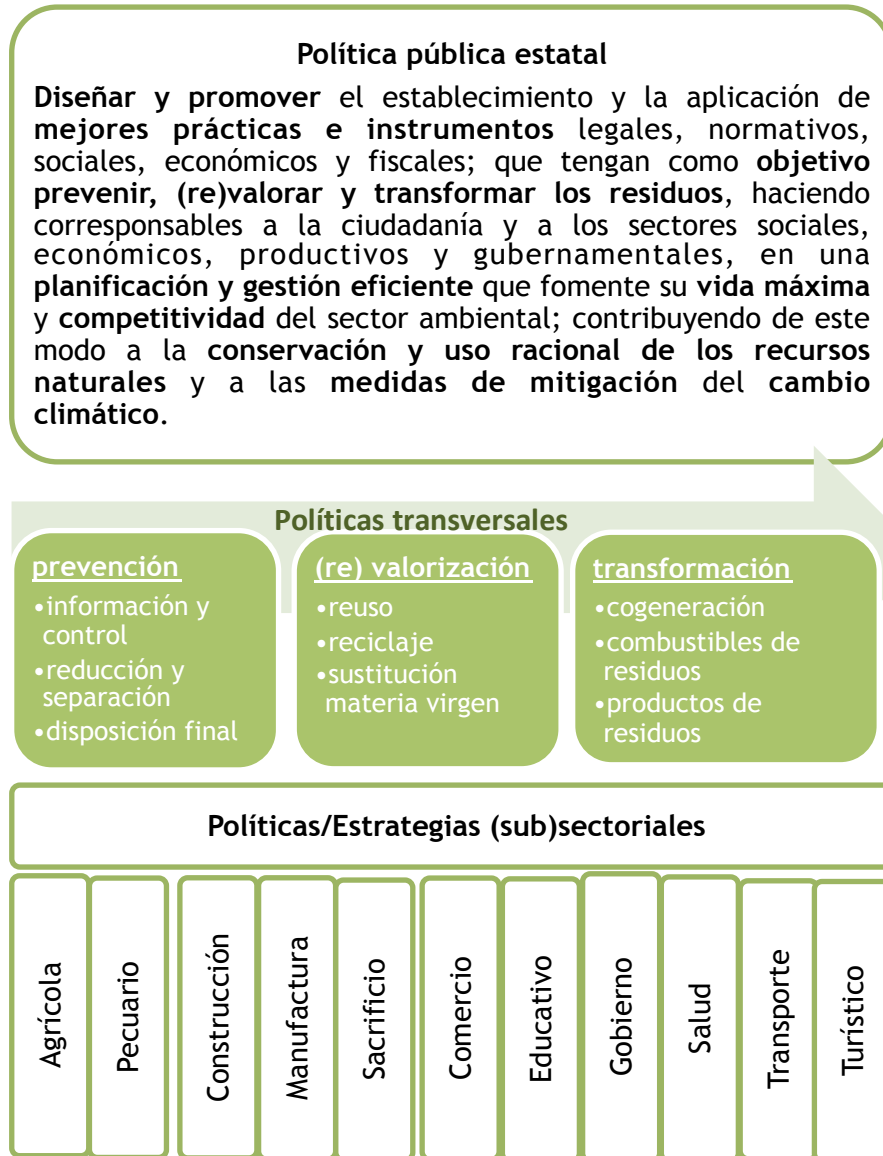
- a) **Infraestructura.** También conocido como capital físico, se refiere a aquellos bienes ya producidos que se utilizan como insumos en el proceso de producción, tales como estructuras residenciales y no residenciales, infraestructuras, equipos, maquinarias e inventarios.
- b) **Financiero.** Relacionado al capital económico, se refiere al flujo de efectivo necesario para realizar las acciones, considerando rubros como inversiones, costos operativos y gastos administrativos, entre otros.
- c) **Organizacional.** Vinculado al capital social, para sensibilizar y formar a grupos organizados de la sociedad y sectores económicos.
- d) **Ciudadano.** Este es el capital humano, el relacionado con el individuo, principalmente el desarrollo de capacidades a través de sensibilización/capacitación formal e informal en los temas de interés, que le permitan estar consciente en su actuar cotidiano.
- e) **Institucional.** Enfocado principalmente en las instituciones gubernamentales que depende directamente, con el objetivo de fortalecer las estructuras de control.

Políticas públicas

Las políticas públicas se fundamentan en tres dimensiones de actuación, para contar con un marco normativo/regulatorio general (política pública estatal) que establezca los aspectos comunes de cumplimiento para la gestión y manejo de residuos (políticas transversales) y contemple políticas públicas diferenciadas (políticas/estrategias (sub)sectoriales) para la inclusión de los diferentes sectores económicos en Aguascalientes.

...en el Programa gira

...significado



Marco general al que deben de atender todos los municipios y sectores sociales, productivos y económicos con relación a la gestión integral de residuos.

Principios rectores comunes para todos los sectores y deberán estar integrados en los Planes de manejo.

Lineamientos específicos para cada subsector, hacia los que deberán estar direccionadas las acciones en los Planes de manejo.

Figura IV.1. Niveles de políticas públicas en residuos

Fuente: Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos del estado de Aguascalientes, en proceso de consulta y publicación.

Los Planes de manejo son el principal instrumento de control y seguimiento de las acciones en materia de gestión de residuos que los integrantes de los subsectores productivos y económicos deberán presentar en lo individual; estableciendo acciones claras para el cumplimiento de tres objetivos, ver tabla IV.1.

Tabla IV.1. Objetivos generales de los Planes de manejo

<p>+ minimización de residuos: reducción, reúso y reciclaje</p> <p>+ aprovechamiento de residuos: generación de energía eléctrica y productos derivados de residuos</p>	<p>- riesgo ambiental: consumo materiales vírgenes, generación de energía fósil, disposición en terrenos y cambio climático</p>
---	--

Fuente:(iSustentable 2010)

Los (sub)sectores presentan diferentes niveles de maduración en la gestión integral de residuos, es por ello que se establecen tres esquemas de presentación/cumplimiento en el Programa GIRA para los Planes de manejo (sub)sectoriales, los cuales se muestran y se describen en la figura IV.2.

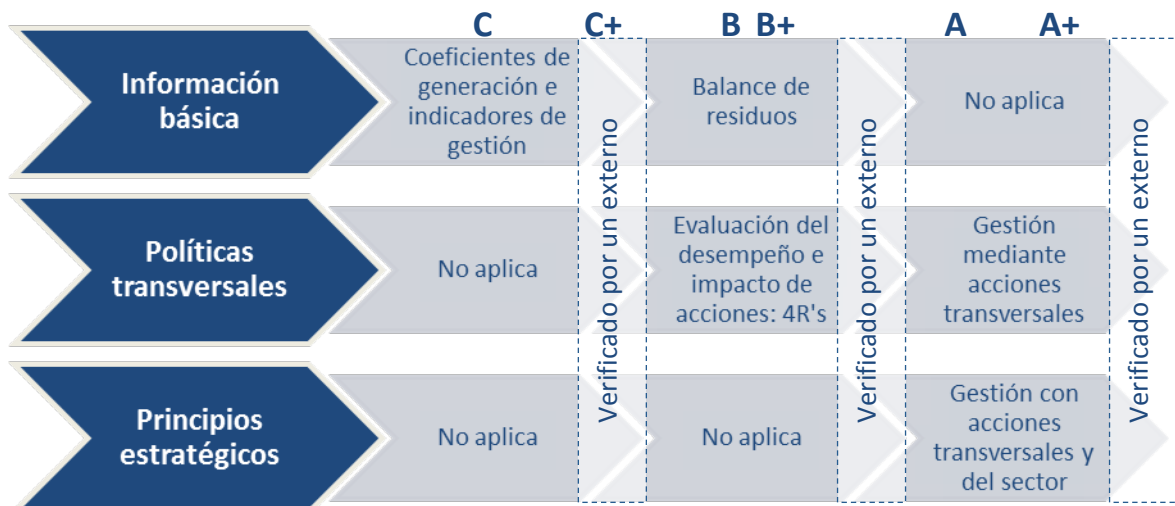


Figura IV.2. Modelo gira: etapas de cumplimiento del Programa GIRA.

Fuente: (iSustentable 2010)

Metodología general para el análisis de generación

La estimación de los volúmenes de residuos generados en Aguascalientes, presenta tres consideraciones, a saber:

- i. Competencias. El estado tiene responsabilidades con los residuos de manejo especial y los microgeneradores de residuos peligrosos. Ambos casos fueron calculados. Los resultados de los sólidos urbanos se obtuvieron de los Programas Municipales publicados y de la información generada hasta el momento de la elaboración del PPGIR.
- ii. Enfoque sectorial: fuentes generadoras. Cada uno de los sectores económicos se aglutinaron de acuerdo a las actividades productivas preponderantes con la finalidad de focalizar las políticas públicas. Así, esta agregación se propone con dos objetivos: a) la posibilidad de presentar Planes de manejo sectoriales (sin que esto implique la renuncia a las responsabilidades como generador) y b) la eficiencia operativa, administrativa y tecnológica, con respecto a la administración de la información contenida en dichos planes. De acuerdo a las bases de datos, son poco más de 40 mil registros de potenciales generadores de residuos de manejo especial. El Gobierno del Estado se consideró como subsector.
- iii. Método. La figura IV.3. establece el marco conceptual para el cálculo de los volúmenes de generación de los residuos de manejo especial.



Figura IV.3. Marco conceptual de cálculo de generación

Fuente: (iSustentable 2010)

La **unidad de observación** representa la característica principal a través de la cual se puede medir una actividad económica. Por ejemplo: en el caso del sector primario, la unidad de observación de las actividades agrícolas se mide en superficie. Lo mismo sucede con pacientes y pasajeros en los subsectores de salud y transporte, respectivamente, en el sector servicios. Esta unidad de observación se precisa en cada subsector.

Así, los **coeficientes** representan la normalización u homogenización de la generación diaria por cada unidad de observación. Los valores de los coeficientes se obtuvieron por tres vías: a) cálculos propios provenientes de la información de los sectores y subsectores, con base en estudios de generación y caracterización de acuerdo a la normatividad vigente; b) información gubernamental y de cooperación técnica especializadas y c) información proporcionada por los sectores analizados. En cada uno de los cálculos se precisan las consideraciones de los coeficientes.

Finalmente, la **estimación** o cálculo de los residuos de manejo especial es el resultado del producto entre el número de unidades observadas y los coeficientes asociados a las actividades analizadas.

Generación de residuos de manejo especial (agropecuarios)

a) Agrícola

Los residuos agrícolas son aquellos derivados de las actividades productivas en las parcelas, huertas, campos de cultivos, invernaderos y otros espacios destinados para ello; principalmente conformados por dos tipos: residuos vegetales e insumos productivos.

La mayor cantidad (70%) de residuos vegetales son reincorporados en las actividades productivas, siendo residuos un 30% de este material, en éstos se incluyen: restos de hojas, tallos y coronas de raíces semidescompuestos y residuos de insumos para la producción que no sean clasificados como peligrosos.

Para el acopio y manejo de residuos procedentes de insumos productivos, tales como plásticos, arropes, manguera, bolsas, entre otros, se creó el “Programa Campo Limpio”, que está en una etapa inicial de implementación.

Los residuos que por sus características son rsu no se incluyen en este análisis, aunque sean generados en las parcelas o zonas de cultivo.

La determinación de los residuos agrícolas se calculó asociada a la superficie sembrada y cosechada (unidad de observación) de los cultivos más representativos en la entidad, considerando la información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) para el ciclo agrícola completo del 2009.

Con base en la información, fueron identificados los cultivos más representativos del estado, siendo: maíz, frijol, guayaba y alfalfa, los cuales en conjunto suman 89% de la superficie sembrada. Para éstos cultivos se investigaron en fuentes internacionales y nacionales coeficientes de generación de residuos que correspondieran con las condiciones productivas y climáticas de las regiones agrícolas del estado.

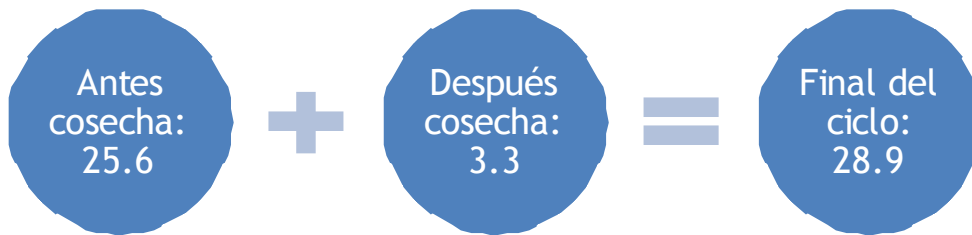
Tabla IV.2. Coeficiente de generación de residuos agrícolas

Coeficiente de generación de residuos agrícolas (por maíz)					
Cultivo	Periodo de		Disponibilidad		
	siembra (kg/ha)	cosecha (kg/ha)	Grano	Forrajero	Grano/ semilla
Maíz	298	83	30%	10%	70%

Fuente: adaptación propia con base en (Velázquez 2002, 171-182)

De la investigación realizada, resultó que el PPGIRS Aguascalientes es el primer documento en el país que incorpora con detalle el análisis de éstos residuos, dificultando la obtención de coeficientes representativos, por lo que únicamente se tuvo para maíz (tabla IV.2). Éste es el único cultivo considerado en el cálculo de generación de residuos agrícolas de éste apartado, siendo una aportación el análisis de éstos residuos, ya que la superficie sembrada y cosechada de maíz representa el 72% del total estatal.

La generación de residuos agrícolas del maíz con la superficie sembrada y cosechada al 2009, fue de 10,554 ton/año (todo el ciclo agrícola), correspondiendo 89% antes de la cosecha y 11% posterior. La figura IV.4. muestra los valores diarios de residuos.



(toneladas)

Figura IV.4. Generación diaria de residuos agrícolas

Fuente: (iSustentable 2010)

Estos residuos representan 1% del total de residuos de manejo especial y 2% con relación a los residuos del sector agropecuario. La mayoría son residuos vegetales, los cuales con buenas prácticas agrícolas al interior de las unidades productivas tendrían un manejo adecuado, sin que representen un riesgo para el ambiente. Existe otra porción pequeña, que no fue posible cuantificar, de residuos procedentes de insumos productivos cuyo manejo se realiza con el Programa de campo limpio.

b) Pecuario

Los residuos pecuarios son aquellos derivados por las actividades de crianza de animales como bovinos, porcinos, aves, ovinos y caprinos; dichos residuos incluyen principalmente materia seca de heces, orina, camas y materiales usados en el aseo de corrales.

El manejo de residuos pecuarios ha tomado una mayor relevancia en el mundo a partir de los cambios en los procesos productivos de animales, al ir transitando de una ganadería extensiva a una intensiva, es decir, con granjas que operan en espacios reducidos y con prácticas industriales de crianza.

Los desechos pecuarios eran utilizados como abonos naturales en las parcelas o las zonas de pastoreo, ahora al estar concentrados y sin adecuados sistemas de manejo pueden ser un foco de contaminación dispersa para suelos, agua, atmósfera y en algunos casos representan un peligro para la salud humana y animal.

Los residuos derivados de insumos productivos, animales muertos, residuos peligrosos (biológico infecciosos y medicamentos) y aquellos que por sus características son rsu no están incluidos en el cálculo de generación. Se requiere profundizar en la información de estos residuos, para conocer su situación y proponer acciones para su gestión y manejo.

Los procesos productivos en granjas, ranchos y zonas de crianza determinan la cantidad de residuos generados y el porcentaje de éstos que es desechado, lo que se denomina disponibilidad, ver tabla 12. El análisis de residuos pecuarios tuvo como unidad de observación la población de animales vivos por especie en la entidad (población ganadera), considerando la información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) al cierre de 2008.

Resultado del análisis de la información pecuaria en el estado, se determinó que la participación de las especies, considerando la población ganadera convertida a bovino equivalente (FAO), es: gallináceas (carne y huevo) 61.2%, bovino (leche y carne) 27.0%, porcino 8.4% y ovino-caprino 3.4%. Por lo que las especies más importantes son las gallináceas, bovinos y porcinos.

Para todas las especies se investigaron coeficientes de generación con fuentes nacionales e internacionales. La bibliografía es extensa y se tomó como referencia aquella que tuvo mayor consistencia y aceptación en su metodología, además los resultados iniciales y la manera de determinar los cálculos fueron puestos a consideración de especialistas del sector pecuario del estado, resultado de este proceso de investigación, análisis y consenso se llegó a los coeficientes aplicables para las especies en Aguascalientes, ver tabla IV.3.

Tabla IV.3. Coeficiente de generación de residuos pecuarios

Coeficiente de generación de residuos pecuarios		
Especie	Coeficiente (kg/animal/día)	Disponibilidad
Bovino carne	3.2	50%
Bovino leche	3.7	70%
Porcino	0.6	80%
Ovino	0.4	40%
Caprino	0.3	40%
Ave	0.02	80%

Fuente: adaptación propia con información de iSustentable basado en (Rodríguez 2002)

Como se puede observar en la tabla anterior, los coeficientes están por especie de animal, y en el caso de bovino por tipo de actividad productiva, es decir para la producción de leche o carne. Cada coeficiente incluye materia seca de heces, orina, camas y materiales usados en el aseo de corrales.

Resultado del cálculo se obtuvo la generación de residuos pecuarios con la población ganadera registrada en el año 2008, la cual fue de 409,726 ton/año en materia seca; en materia húmeda son 4, 097,256 ton/año y los residuos secos disponibles son 245,835 ton/año. La distribución por especies se presenta en la figura IV.5.

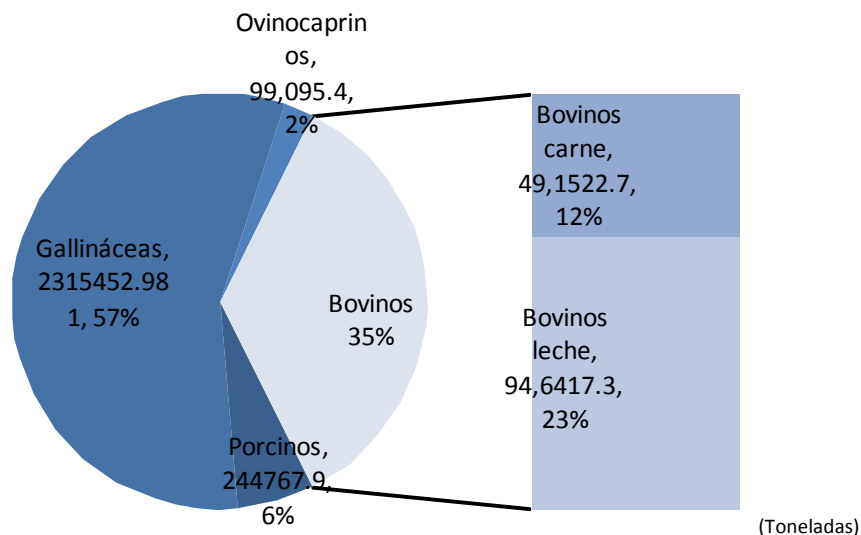


Figura IV.5. Generación diaria de residuos pecuarios

Fuente: (iSustentable 2010)

Los residuos pecuarios representan 42% del total en el estado, 56.8% de los de manejo especial y 98% del sector agropecuario, haciéndolos por volumen de generación los más importantes de Aguascalientes. Además por sus características bio-químicas y energéticas, su gestión y manejo significa una dicotomía: oportunidad de aprovechamiento o riesgo ambiental y/o sanitario.

Estrategias sectorizadas

a) Agrícola

Principios subsectoriales. Prevenir y minimizar los residuos mediante el diseño, difusión e implementación de prácticas productivas que consideren el ciclo de los residuos en la parcela o zonas de cultivo.

Escenario esperado. Manejo del total de los residuos agrícolas de tipo vegetal al interior de la parcela o zonas de cultivo, y acopio de los insumos productivos peligrosos y no peligrosos.

Acciones prioritarias. Desarrollar y difundir el manual de "Recomendaciones de manejo de residuos agrícolas", en conjunto con el fortalecimiento del Programa Campo Limpio.

Estrategia 1. Aplicación de buenas prácticas productivas para manejo de residuos (e.g. labranza cero, ciclo cerrado agropecuario, etc.).

Infraestructura

- Implementar "Recomendaciones prácticas de manejo de residuos agrícolas" considerando las 4R's

Institucional

- Diseñar y elaborar el manual "Recomendaciones prácticas de manejo de residuos agrícolas" considerando las 4R's
- Elaborar diagnósticos básicos de residuos por unidad de producción rural/rancho/granja
- Contar con información/registros de la clasificación de fuentes de generación con base en volumen de generación y tipo de residuo.

Organizaciones / social

- Vincular a las organizaciones agrícolas en el manejo y aprovechamiento de residuos agrícolas.

Ciudadano / humano

- Realizar campaña en zonas rurales del manejo de los residuos agrícolas.

- Difundir el material de "Recomendaciones prácticas de manejo de residuos agrícolas".

Económico / financiero

- Promover un proyecto estatal para MDL a partir del aprovechamiento de parcelas como sumideros de CO₂.

Estrategia 2. Utilización de "pdr" en suelos con vocación agrosilvopastoril y forestal.

Institucional

- Diseñar e implementar esquema de incentivos para utilizar "pdr".
- Desarrollar estrategia comercial para promocionar el uso/venta de pdr.

Económico / financiero

- Crear mercado estatal de pdr que detone cadenas de valor regionales.

Estrategia 3. Manejo de plásticos en parcelas (e.g. arropes, invernaderos, manguera riego, etc.).

Infraestructura

- Habilitar bodegas para el Programa Campo Limpio en lugares estratégicos con personal en horarios establecidos recibiendo materiales (acolchados, envases, etc.).

Institucional

- Solicitar revisión Planes de manejo para grandes generadores de residuos agrícolas.
- Diseñar y aplicar un sistema de calificación y verificación Planes de manejo.
- Realizar actividades de supervisión y vigilancia del cumplimiento de los Planes de manejo.

Organizaciones / social

- Vincular a las organizaciones agrícolas en el manejo y aprovechamiento de residuos de manejo especial (Programa Campo Limpio).

Ciudadano / humano

- Realizar campaña en zonas rurales del manejo de los residuos de manejo especial (Programa Campo Limpio).

b) Subsector Pecuario

Principios subsectoriales. Minimizar y aprovechar los residuos pecuarios, principalmente la materia orgánica y los residuos producto de la crianza de animales en sitios intensivos de producción produciendo combustibles derivados de residuos (cdr).

Escenario esperado. Evitar focos de contaminación dispersa y los contenidos energéticos del total de residuos pecuarios para generar energía eléctrica que sustituya el consumo de la red de Comisión Federal de Electricidad.

Acciones prioritarias. Desarrollar y difundir el manual "Ciclo de manejo de residuos para pequeñas explotaciones", a la par de fortalecer los proyectos de co-generación que están realizando CODAGEA y FIRCO.

Estrategia 1. Ciclos internos de manejo y aprovechamiento energético de materia.

Infraestructura

- Implementar proyectos regionales para aprovechamiento de residuos en la producción de biogás y/o co-generación de energía eléctrica.
- Implementar el "Ciclo de manejo de residuos para pequeñas explotaciones" considerando las 4R's.
- Implementar biorreactores en granjas para producción de biogás y cogeneración eléctrica.

Institucional

- Diseñar y elaborar el manual "Ciclo de manejo de residuos para pequeñas explotaciones" considerando las 4R's.
- Priorizar los municipios en función de su vocación pecuaria, densidad de población ganadera y dispersión para la implementación de los proyectos de infraestructura y manejo.
- Diseñar e implementar esquemas de incentivos (fiscales y sociales) en manejo de residuos.
- Monitorear la implementación y la operación de los proyectos: biorreactores/co-generación y ciclo para pequeñas explotaciones
- Revisar y adecuar el marco normativo existente relacionado al manejo de residuos para todas las especies.
- Coordinar acciones conjuntas con instituciones del sector agropecuario para impulsar el manejo y aprovechamiento de los residuos.

Organizaciones / social

- Vincular a las organizaciones ganaderas en el manejo y aprovechamiento de residuos agropecuarios.
- Realizar campaña con organizaciones/ asociaciones del sector pecuario para sensibilizar y concientizar sobre el manejo y aprovechamiento de residuos.

Ciudadano / humano

- Desarrollar campañas en zonas rurales del manejo de los residuos agropecuarios.
- Difundir el material del "Ciclo de manejo de residuos para pequeñas explotaciones".

Económico / financiero

- Desarrollar proyectos para co-generación de energía que disminuyan el consumo de energía de fuentes fósiles.
- Promover un proyecto estatal para MDL a partir del aprovechamiento de residuos ganaderos.

Estrategia 2. Elaboración de “productos derivados de residuos” (pdr): mejoradores de suelos.

Infraestructura

- Implementar sistema de recolección de residuos agropecuario para procesamiento.
- Realizar centros municipales acopiadores de "productos derivados de residuos".

Institucional

- Diseñar e implementar esquema de incentivos para producir y comercializar "pdr".
- Desarrollar estrategia comercial para promocionar el uso/venta de pdr.
- Revisar y adecuar el marco normativo existente relacionado al manejo de residuos para todas las especies.

Organizaciones / social

- Realizar campaña con organizaciones/ asociaciones del sector pecuario para sensibilizar y concientizar sobre el manejo y aprovechamiento de residuos.

Ciudadano / humano

- Desarrollar campañas en zonas rurales del manejo de los residuos agropecuarios.

Económico / financiero

- Crear mercado estatal de pdr que detone cadenas de valor regionales.

Estrategia 3. Diagnóstico básico por unidad productiva agropecuaria.

Institucional

- Realizar diagnósticos básicos de residuos por unidad de producción rural/rancho/granja.
- Solicitar revisión Planes de manejo para grandes generadores de residuos pecuarios.
- Elaborar en conjunto con las asociaciones ganaderas plan de manejo de residuos ganaderos.
- Diseñar y aplicar un sistema de calificación y verificación Planes de manejo.
- Realizar actividades de supervisión y vigilancia del cumplimiento de los Planes de manejo.
- Clasificar fuentes de generación con base en volumen de generación y tipo de residuo.

Organizaciones / social

- Vincular a las organizaciones ganaderas en el manejo y aprovechamiento de residuos agropecuarios.

Ciudadano / humano

- Desarrollar campañas en zonas rurales del manejo de los residuos agropecuarios.

Indicadores sectorizados

En congruencia con lo desarrollado en el Programa y Modelo GIRA, se muestran en las tablas IV.4. y IV.5. los indicadores subsectoriales que por lo menos deben ser presentados en los Planes de manejo y que serán monitoreados por el IMAE mediante el Sistema de información ambiental de Aguascalientes.

Tabal IV.4. Indicadores subsector agrícola

Nombre del indicador	Objetivo	Fórmula de cálculo
Manejo de residuos agrícolas	Conocer el avance en la implementación de mejores prácticas agrícolas en el manejo de residuos	Volumen de residuos manejados con prácticas establecidas / volumen de residuos de manejo especial agrícolas
Reducción de residuos agrícola	Cuantificar el volumen de residuos vegetales que son reincorporados al ambiente con prácticas agrícolas	Volumen de residuos vegetales reincorporados en actividades agropecuarias en las unidades productivas / volumen de residuos de manejo especial agrícolas
Manejo residuos agrícolas no vegetales	Conocer el avance en el acopio y manejo de residuos agrícolas no vegetales	Volumen recolectado de residuos no vegetales (arropes, invernaderos, manguera, etc.) / volumen de residuos de manejo especial agrícolas
Madurez del mercado de pdr agrícolas	Cuantificar la evolución del mercado de pdr agrícolas	Valor de los residuos agrícolas que se comercializan anualmente como pdr

Tabla IV.5. Indicadores subsector pecuario

Nombre del indicador	Objetivo	Fórmula de cálculo
Manejo de residuos pecuarios	Conocer el avance en la implementación de mejores prácticas pecuarias en el manejo de residuos	Volumen de residuos manejados con prácticas establecidas / volumen de residuos de manejo especial pecuarios
Aprovechamiento de residuos pecuarios	Cuantificar el volumen de residuos pecuarios aprovechados para generar biogás	Volumen de residuos colectados en biorreactores / residuos de manejo especial pecuarios
Capacidad energética de residuos pecuarios	Determinar la capacidad de transformación de los residuos en combustible (biogás)	Volumen de residuos colectados en biorreactores / biogás producido
Eficiencia de conversión energética de residuos pecuarios	Determinar la eficiencia de transformación de los residuos en energía eléctrica	Volumen de residuos colectados en biorreactores / energía eléctrica generada
Madurez del mercado de cdr por biogás	Cuantificar la evolución del mercado de cdr por biogás	Valor del biogás/energía eléctrica comercializada anualmente

V. Impacto ambiental y a la salud del manejo inadecuado de los residuos agropecuarios

Por la magnitud de su impacto, la ganadería es uno de los dos o tres sectores con repercusiones más graves en los principales problemas medioambientales a todos los niveles, desde el ámbito local hasta el mundial. La consideración de este sector es fundamental a la hora de diseñar políticas encaminadas a la solución de los problemas relacionados con la degradación de las tierras, el cambio climático, la contaminación atmosférica, la escasez y contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad. (FAO, 2009, p. xx)

Directa o indirectamente, a través del pastoreo o de la producción de cultivos forrajeros, la producción pecuaria ocupa aproximadamente el 30% de la superficie terrestre libre de hielo. En muchas situaciones constituye la principal fuente de contaminación terrestre al verter nutrientes y materia orgánica, patógenos y residuos farmacológicos a los ríos, lagos y aguas costeras. Los animales y sus desechos emiten gases que inciden en el cambio climático. Otra fuente de emisión de gases es la destrucción de los bosques para su conversión en zonas de pastoreo y tierras de cultivo destinadas a la producción de alimentos para el ganado. La producción pecuaria moldea paisajes enteros y su demanda de tierras para pastizales y cultivos forrajeros modifica y reduce los hábitats naturales. (FAO, 2009, p. 3)

Es obvio que la responsabilidad de las acciones necesarias para afrontar los daños ambientales causados por el sector pecuario trasciende al sector en sí e incluso a la totalidad del sector agrícola (sic). Tanto el sector pecuario como la agricultura en su conjunto han de estar a la altura del desafío de desarrollar soluciones técnicas para lograr un uso más sostenible desde el punto de vista ambiental de los recursos destinados a la producción animal. No obstante, es asimismo evidente que las decisiones relativas a su uso trascienden al sector agrícola, por lo que se hace necesaria una toma de decisiones de carácter multisectorial y multiobjetivo. (FAO, 2009, p. iv)

El pastoreo extensivo aún ocupa y degrada extensas áreas de tierra; sin embargo, hay una creciente tendencia a la intensificación y a la industrialización. Se están transformando los patrones de distribución geográfica de la producción pecuaria, que están trasladándose, en primer lugar, de las áreas rurales a las zonas urbanas y periurbanas con el fin de acercarse a los consumidores y, en segundo lugar, hacia las áreas donde se produce el pienso o hacia zonas situadas en las cercanías de los medios de transporte o de los centros de comercio del mismo en el caso de que éste sea importado. Asimismo, se registra un cambio en las especies utilizadas, con un crecimiento acelerado de la producción de especies monogástricas (cerdos y aves de corral, producidos en su mayoría en unidades industriales) y una desaceleración de la producción de ruminantes (bovinos, ovinos y caprinos, criados con frecuencia en condiciones extensivas). Como consecuencia de estos cambios el sector ganadero comienza a competir de una manera más directa e intensa por tierras, agua y otros recursos naturales escasos. (FAO, 2009, pp. xx, xxi)

Las fuentes no puntuales de contaminación ampliamente dispersas están cediendo el paso a fuentes puntuales que si bien crean mayores daños en el ámbito local, resultan sin embargo más fáciles de controlar. (FAO, 2009, p. xxi)

Contaminación atmosférica y cambio climático

El sector ganadero reviste una importancia fundamental ya que es responsable del 18% de las emisiones de gases de efecto invernadero medidas en equivalentes de CO₂, un porcentaje mayor que el correspondiente a los medios de transporte.

Asimismo, el sector pecuario produce el 9% de las emisiones de CO₂ de origen antrópico, la mayor parte de las cuales se deben a los cambios en el uso de la tierra (principalmente, la deforestación) causados por la expansión de los pastizales y la superficie destinada a la producción de forrajes. La ganadería es también responsable en medida aún más significativa de la emisión de algunos gases que tiene un mayor potencial de calentamiento de la atmósfera. Así, por ejemplo, el sector emite 37% del metano antrópico, el cual proviene en su mayor parte del proceso de fermentación ocurrido en la digestión entérica de los rumiantes y tiene un potencial de calentamiento global (PCG) 23 veces mayor que el del CO₂, y el 65% del óxido nitroso antrópico, cuyo PCG es 296 veces mayor que el del CO₂, en su mayor parte proveniente del estiércol. La ganadería también es responsable de casi las dos terceras partes (64%) de las emisiones antrópicas de amonio, las cuales contribuyen significativamente a la lluvia ácida y a la acidificación de los ecosistemas. (FAO, 2009, p. xxii)

Prácticamente en todas las etapas del proceso de producción animal se emiten y liberan en la atmósfera sustancias que contribuyen al cambio climático o a la contaminación del aire, o se obstaculiza su retención en otros reservorios. (FAO, 2009, p. 87)

Las concentraciones atmosféricas de CH₄ se han incrementado en aproximadamente un 150 por ciento desde la era preindustrial (ver tabla IV.1.), si bien recientemente se ha registrado una desaceleración de las tasas de aumento. Las emisiones de este gas proceden de una variedad de fuentes tanto naturales como asociadas con la actividad humana, entre las que podemos mencionar los rellenos sanitarios, los sistemas de petróleo y gas natural, las actividades agrícolas, la minería del carbón, la combustión de fuentes móviles y fijas, el tratamiento de aguas residuales y ciertos procesos industriales.

Tabla IV.1. Concentraciones anteriores y actuales de los principales gases de efecto invernadero

Gas	Concentraciones preindustriales (1750)	Concentraciones troposféricas actuales	Potencial de calentamiento global*
Dióxido de carbono (CO ₂)	277 ppm	382 ppm	1
Metano (CH ₄)	600 ppm	1,728 ppmm	23
Óxido nitroso (N ₂ O)	270-290 ppmm	318 ppmm	296

Nota: ppm: partes por millón; ppmm: partes por mil millones.

* Potencial de calentamiento global directo (PCG) relativo al CO₂ en un horizonte temporal de 100 años. El PCG es un modo simple de comparar la potencia de diferentes gases de efecto invernadero. El PCG de un gas depende de su capacidad de absorción y reflexión de radiación y del tiempo de duración del efecto. Las moléculas de gas se disocian gradualmente o reaccionan con otros componentes atmosféricos para formar otras moléculas con diferentes propiedades radiactivas.

Fuente: (FAO, 2009, p. 91)

Las actividades pecuarias son responsables de la emisión de cantidades considerables de estos tres gases (CO₂, CH₄, N₂O). Las emisiones directas del ganado provienen de los procesos respiratorios de todas las especies animales en forma de dióxido de carbono. Además los rumiantes, y en menor medida también los monogástricos, emiten metano como parte de su proceso digestivo, que incluye la fermentación microbiana de los alimentos fibrosos. El estiércol animal también es una fuente de emisión de metano, óxido nitroso, amoníaco y dióxido de carbono, en función de su modalidad de producción (sólido, líquido) y su manejo (recolección, almacenamiento, dispersión). (FAO, 2009, p. 91)

El olor penetrante que algunas veces se percibe en las zonas aledañas a las unidades de producción es debido en parte a las emisiones de amoníaco. Existen otras muchas emisiones productoras de olores que se asocian a la producción ganadera, tales como los compuestos orgánicos volátiles y el sulfuro de hidrógeno. De hecho se pueden encontrar más de cien gases en los entornos de las centrales ganaderas (Burton y Turner, 2003; National Research Council, 2003). La volatilización del amoníaco (nitrificado en el suelo después de su deposición) figura entre las causas más importantes de las precipitaciones atmosféricas acidificantes secas y húmedas, y en gran parte tiene su origen en las excretas del ganado. [...] Una serie de trabajos de investigación ponen de relieve que en una proporción de la superficie global de ecosistemas (semi)naturales comprendida entre el 7 y 18 por ciento el depósito de nitrógeno (N) excede considerablemente la carga crítica, presentando riesgos de eutrofización e incrementando la lixiviación. (FAO, 2009, p. 92)

El metano liberado por la fermentación entérica puede ascender a 86 millones de toneladas el año. A escala mundial, el ganado es la fuente antropogénica más importante de emisiones de metano. Entre los animales domésticos, los rumiantes (bovinos, búfalos, ovejas, cabras y camellos) producen cantidades significativas de metano como parte del normal proceso digestivo. El rumen,

el más grande de los preestómagos de estos animales, la fermentación microbiana convierte los alimentos fibrosos en productos que pueden ser digeridos y utilizados por el animal. Este proceso de fermentación microbiana, conocido como fermentación entérica, produce metano como subproducto, el cual viene exhalado por el animal.

Las emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica presentan importantes variaciones espaciales. Así, en el Brasil estas emisiones totalizaron 9.4 millones de toneladas en 1994, lo que representa un 93 por ciento de las emisiones de la agricultura y un 72 por ciento del total de las emisiones nacionales del metano. Más del 80 por ciento de estas emisiones son causadas por el ganado de carne. En los Estados Unidos de América el metano de la fermentación entérica, que ascendió a 5.5 millones de toneladas en 2002, se origina en su gran mayoría en el ganado de leche y carne. Esta cifra equivale al 71 por ciento del total de las emisiones agrícolas y al 19 por ciento de las emisiones totales del país.

Aplicando estos factores de emisión al total de la población de ganado en cada sistema de producción se obtiene una estimación para el total de las emisiones globales de metano procedentes de la fermentación entérica de 86 millones de toneladas de CH₄ anuales. (FAO, 2009, pp. 106-108)

El metano liberado por el estiércol de los animales puede ascender a 18 millones de toneladas al año. La descomposición anaerobia del material orgánico del estiércol del ganado también libera metano. Esto ocurre principalmente cuando el estiércol se maneja en forma líquida, en instalaciones como lagunas o tanques. El sistema de lagunas es típico de la mayoría de las centrales porcícolas a gran escala en casi todos los lugares del mundo (excepto Europa). Este sistema también se usa en las grandes centrales lecheras de América del Norte y algunos países en desarrollo como el Brasil. El estiércol despositado en los campos de cultivo o en los pastizales o que se maneja en forma seca no produce cantidades significativas de metano.

Las emisiones de metano procedentes del estiércol del ganado están influidas por diversos factores que afectan al crecimiento de las bacterias responsables de la formación de metano, entre los que cabe destacar la temperatura ambiental, la humedad y el tiempo de almacenamiento. La cantidad de metano producida también depende del contenido de energía del estiércol, el cual está determinado en gran medida por la dieta del ganado. Mayores cantidades de estiércol generan mayores cantidades de metano, si bien hay que tener también en cuenta que los piensos con contenido energéticos más altos producen un estiércol con más sólidos volátiles, lo que incrementa el sustrato a partir del cual se produce el CH₄. Sin embargo, este impacto queda compensado hasta cierto punto por la posibilidad de lograr piensos más digeribles y, por consiguiente, un menor desperdicio de energía.

A escala mundial, las emisiones de metano de la descomposición anaerobia del estiércol se han estimado en algo más de 10 millones de toneladas, es decir, en 4 por ciento del total de las emisiones antropogénicas de metano. Aunque de magnitud mucho menor que las emisiones procedentes de la fermentación entérica, las emisiones del estiércol son mucho más altas que las originadas por la quema de residuos y similares las estimaciones más bajas de emisiones de los

cultivos de arroz, aun no suficientemente conocidas. Las emisiones provenientes del estiércol más altas corresponden a los Estados Unidos de América (cerca de 1.9 millones de toneladas) seguidos por la UE. Los cerdos son los animales que más contribuyen a estas emisiones, seguidos del ganado de leche. Países en desarrollo como China y la India no estarían muy distantes; en este último en particular se registra un fuerte incremento. Los factores de emisión por defecto que se usan actualmente en las comunicaciones de los países al CMNUCC no reflejan la gran intensidad de estos cambios en el sector pecuario a nivel global. Así, por ejemplo, la comunicación nacional del Brasil al CMNUCC calcula las emisiones del estiércol en 0.38 millones de toneladas en 1994, un nivel de emisiones considerable que según la comunicación se originaría principalmente del ganado de carne y de leche. No obstante, este país tiene un sector porcícola industrial muy fuerte donde aproximadamente el 95 por ciento del estiércol se almacena en tanques abiertos durante varios meses antes de su aplicación.

Aplicando estos nuevos factores de emisión a las cifras de la población animal específicas para cada sistema de producción se obtiene una emisión total global del CH₄ procedente de la descomposición del estiércol de 17.5 millones de toneladas anuales, cifra sustancialmente más alta que las estimaciones existentes.

En la tabla IV.2 se resumen los resultados por especie, región y sistema de producción. A nivel mundial, China es el país con la mayor emisión nacional de metano procedente del estiércol, fundamentalmente de la producción porcina. A escala global las emisiones procedentes del estiércol porcino representan casi la mitad de las emisiones de estiércol de todo el sector pecuario. Algo más de la cuarta parte de las emisiones totales de metano provenientes del manejo de estiércol se originan en los sistemas industriales. (FAO, 2009, pp. 108-110)

Tabla IV.2. Emisiones globales de metano procedentes del manejo del estiércol (2004)

Región/país	Emisiones (millones de toneladas de CH ₄ , por año y fuente)						
	Ganado de leche	Otros ganado	Búfalos	Ovejas y cabras	Cerdos	Aves de corral	Total
África subsahariana	0.10	0.32	0.00	0.08	0.03	0.04	0.57
Asia*	0.31	0.08	0.09	0.03	0.50	0.13	1.14
India	0.20	0.34	0.19	0.04	0.17	0.01	0.95
China	0.08	0.11	0.05	0.05	3.43	0.14	3.84
América Central y América del Sur	0.10	0.36	0.00	0.02	0.74	0.19	1.41
Asia occidental y África del Norte	0.06	0.09	0.01	0.05	0.00	0.11	0.32
América del Norte	0.52	1.05	0.00	0.00	1.65	0.16	3.39
Europa occidental	1.16	1.29	0.00	0.02	1.52	0.09	4.08
Oceanía y Japón	0.08	0.11	0.00	0.03	0.10	0.03	0.35
Europa oriental y CEI	0.46	0.65	0.00	0.01	0.19	0.06	1.38
Otros países desarrollados	0.01	0.03	0.00	0.01	0.04	0.02	0.11
Total	3.08	4.41	0.34	0.34	8.38	0.97	17.52

Sistemas de producción pecuaria							
Pastoreo	0.15	0.50	0.00	0.12	0.00	0.00	0.77
Mixto	2.93	3.89	0.34	0.23	4.58	0.31	12.27
Industrial	0.00	0.02	0.00	0.00	3.80	0.67	4.48

* No incluye China y la India
Fuente: (FAO, 2009, p. 110)

Emisiones de nitrógeno procedentes del estiércol almacenado.

Durante el almacenamiento (incluida la excreción previa en los establos) el nitrógeno ligado orgánicamente en las heces y en la orina comienza la mineralización a $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, suministrando el sustrato para los nitrificadores y los desnitrificadores (y por lo tanto la eventual producción de N_2O). La mayor parte de estos compuestos nitrogenados excretados se mineralizan rápidamente. Generalmente, más del 70 por ciento del nitrógeno contenido en la orina se presenta en forma de urea. El ácido úrico es el compuesto nitrogenado dominante en las excreciones de las aves de corral. La hidrólisis de la urea y del ácido úrico a $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ es muy rápida en la orina.

Tal y como se mencionó anteriormente, la composición de los desechos determina su tasa de mineralización potencial, mientras que la magnitud real de las emisiones de N_2O depende de las condiciones ambientales. Se producen emisiones de N_2O en primer lugar, cuando los desechos se manejan aerobiamente, permitiendo la transformación del amoníaco o el nitrógeno orgánico en nitratos y en nitritos (nitrificación). Deben entonces manejarse en condiciones anaerobias, lo que hace que los nitratos y nitritos puedan reducirse a N_2 , con una producción intermedia de N_2O y óxido nítrico (NO) (desnitrificación). Estas emisiones tienen mayor probabilidad de producirse en sistemas de manejo de los desechos secos, que tienen condiciones anaerobias, y contienen focos de condiciones aerobias debido a la saturación. Así, por ejemplo, los desechos de los establos se depositan en el suelo donde se oxidan a nitritos y nitratos y tienen el potencial de encontrar condiciones saturadas. Hay un antagonismo entre los riesgos de emisión de metano frente a óxido nitroso debido a las diferentes vías de almacenamiento de los desechos: un intento de reducir las emisiones de metano podría aumentar las de N_2O .

La cantidad de N_2O liberada durante el almacenamiento y el tratamiento de los desechos animales depende del sistema y la duración del manejo de los desechos y de la temperatura. Desafortunadamente no se cuenta con datos cuantitativos suficientes para establecer una relación entre el grado de aireación y las emisiones de N_2O del estiércol líquido o semilíquido durante el almacenamiento y el tratamiento. Además, las estimaciones de las pérdidas se sitúan en un intervalo muy amplio. Así, cuando se expresa como N_2O N/kg nitrógeno excretado (es decir, la proporción de nitrógeno en los desechos emitida a la atmósfera en forma de óxido nitroso), las pérdidas procedentes de los desechos animales durante el almacenamiento se sitúan en un intervalo que va desde menos de 0.0001 kg N_2O n/kg N para estiércol semilíquido a más de 0.15 kg N_2O N/kg N para los desechos porcinos provenientes de granjas con el sistema de cama profunda. Toda estimación sobre las emisiones globales del estiércol debe tener en cuentas estas

incertidumbres. El juicio de los expertos, basado en las prácticas de manejo del estiércol presentes en diferentes sistemas y regiones del mundo, junto con los factores de emisión por defecto del IPCC, sugiere emisiones de N_2O del estiércol almacenado equivalentes a 0.7 millones de toneladas N año⁻¹.

Retomando el tema del amoníaco, la degradación rápida de la urea y del ácido úrico en amoníaco produce pérdidas significativas de N a través de la volatilización durante el almacenamiento y el tratamiento del estiércol. Mientras que las emisiones reales están supeditadas a muchos factores, especialmente los sistemas de manejo del estiércol y la temperatura ambiental, la mayor parte del NH_3-N se volatiliza durante el almacenamiento (generalmente un tercio del N inicial vaciado), y antes de la aplicación o la descarga. Smill estimó que a mediados de la década de 1990 se perdieron en la atmósfera unos 10 millones de toneladas globales de NH_3-N procedentes de las operaciones de alimentación de animales confinados. No obstante, sólo una parte del total de estiércol recolectado se origina en los sistemas industriales.

Tomando como base la población animal en sistemas industriales y el cálculo de la respectiva producción de estiércol, la cantidad actual de N atribuible a los desechos animales puede calcularse en 10 millones de toneladas y la correspondiente volatilización de NH_3 del estiércol almacenado en 2 millones de toneladas de N.

De esta manera, las pérdidas por volatilización durante el manejo de los desechos animales no están muy distantes de las pérdidas procedentes del uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos que se registran en la actualidad. Por una parte, esta pérdida de nitrógeno reduce las emisiones del estiércol una vez aplicado al campo. Por otra parte, hace que las emisiones de óxido nitroso se extiendan más abajo en la “cascada de nitrógeno”.

Emisiones de nitrógeno procedentes del estiércol depositado o aplicado. Los excrementos depositados frescos sobre la tierra (bien sea aplicados mediante esparcimiento mecánico o depositados directamente por los animales) tiene una tasa de pérdida de nitrógeno alta, que provoca la volatilización de cantidades importantes de amoníaco. Las amplias variaciones presentes en la calidad de los forrajes consumidos por los rumiantes y en las condiciones ambientales dificultan la cuantificación de las emisiones de N que se producen en los pastizales. En FAO/IFA se estima que, una vez aplicado el estiércol, la pérdida de N vía la volatilización de NH_3 a escala mundial asciende a un 23 por ciento. Smil calcula que esta pérdida es de al menos un 15 o un 20 por ciento.

El IPCC propone un estándar del 20 por ciento para la fracción de pérdida de N a partir de la volatilización del amoníaco, sin hacer una distinción entre el estiércol esparcido y el depositado directamente por los animales. Considerando las pérdidas sustanciales de N por la volatilización durante el almacenamiento, se puede calcular la volatilización total del amoníaco después de la excreción de un 40 por ciento. La aplicación de esta tasa al estiércol depositado directamente resulta plausible (se han documentado valores máximos del 60 por ciento e incluso del 70 por ciento), suponiendo que la proporción más baja de nitrógeno en la orina en los sistemas de producción animal basados en la tierra de los trópicos queda compensada por la temperatura más

alta. Se calcula que, a mediados de los años noventa, los animales de los sistemas más extensivos excretaron directamente en la tierra aproximadamente 30 millones de toneladas de N, lo que produjo unas pérdidas por volatilización de NH_3 de unos 12 millones de toneladas de N^{12} . A lo anterior hay que añadir las pérdidas posteriores a la aplicación del estiércol animal tratado, que según FAO/IFA, fueron de aproximadamente 8 millones de toneladas de N, lo que da como resultado una pérdida total de nitrógeno por volatilización del amoníaco procedente del estiércol animal en la tierra de aproximadamente 20 millones de toneladas de N.

Estas cifras han experimentado un incremento durante la última década. Incluso siguiendo las estimaciones extremadamente prudentes del 20 por ciento para la fracción perdida de N a partir de la volatilización del amoníaco propuestas por el IPCC y sustrayendo el estiércol usado como combustible, el cálculo obtenido para la fracción pérdida por volatilización del amoníaco después de la aplicación o depósito del estiércol fue de aproximadamente 25 millones de toneladas de N en el año 2004.

Volviendo ahora al N_2O , las emisiones del suelo que se originan de los remanentes del nitrógeno aplicado (después de la sustracción de la volatilización del amoníaco) depende de varios factores, entre lo que cabe destacar la retención del agua en los poros del suelo, la disponibilidad de carbono orgánico, el pH, la temperatura del suelo, la tasa de absorción de la planta/cultivo y el régimen de precipitaciones. Sin embargo, debido a la compleja interacción y al alto nivel de incertidumbre del flujo de N_2O , las directrices revisadas del IPCC se basan exclusivamente en los aportes de N, sin tomar en consideración las características de los suelos. A pesar de esta incertidumbre, no cabe duda de que las emisiones procedentes del estiércol del suelo son la mayor fuente de origen animal de N_2O a nivel mundial. Los flujos de emisión procedentes del pastoreo del ganado (desechos sin ningún manejo, emisiones directas) y del uso de los desechos animales como fertilizantes de cultivos son de una magnitud comparable. Las emisiones de N_2O derivadas del pastoreo varían entre 0.002 y 0.098 kg de $\text{N}_2\text{O-N/kg}$ de nitrógeno excretado, mientras que el factor de emisiones por defecto para el uso de fertilizantes se fijó en 0.0125 kg de $\text{N}_2\text{O-N/kg}$ aporte de nitrógeno. Casi todos los datos corresponden a zonas templadas o pastizales manejados intensivamente. En estas condiciones el contenido de nitrógeno del estiércol y, en particular, de la orina, es más alto que el de los pastizales manejados de manera menos intensiva en los trópicos o subtrópicos. No se conoce hasta qué punto esto queda compensado por el aumento de emisiones en los ecosistemas tropicales con mayores limitaciones de fósforo.

Las emisiones procedentes del estiércol aplicado deben calcularse separadamente de las emisiones de los desechos excretados por los animales. El estudio de FAO/IFA calcula una tasa de pérdida de N_2O del estiércol aplicado del 0.6 por ciento, es decir, más baja que la de la mayoría de los fertilizantes minerales nitrogenados, lo que equivale a unas pérdidas de N_2O procedentes del estiércol en el suelo que, a mediados de la década de los noventa, ascendieron a 0.2 millones de toneladas de N. Según la metodología del IPCC, la cifra se incrementaría a 0.3 millones de toneladas de N.

Con respecto a los desechos depositados directamente por los animales en los pastos, se calcula que, a mediados de los años noventa, un volumen de estiércol con aproximadamente 30 millones de toneladas de N fue depositado en los suelos de los sistemas más extensivos. Aplicado a esta cifra total el “factor razonable de emisión promedio global” del IPCC (0.02 kg de N₂O-N/kg de nitrógeno excretado), se obtendrá como resultado una pérdida procedente del N₂O del estiércol en el suelo de 0.6 millones de toneladas de N, con un total de emisiones de N₂O cercano a 0.9 millones de toneladas de N a mediados de la década de 1990.

Aplicando la metodología del IPCC a las estimaciones actuales de los sistemas de producción ganadera y el número de animales se obtiene una pérdida global “directa” de N₂O procedentes del estiércol depositado en el suelo que asciende a 1.7 millones de toneladas de N anuales. De estos, 0.6 millones de toneladas proceden de los sistemas de pastoreo, 1.0 millones de toneladas de los sistemas de producción industriales, ver tabla IV.3.

Tabla IV.3. Cálculo de emisiones totales de N₂O procedentes de los excrementos animales (2004)

Región/país	Emisiones de N ₂ O procedentes del manejo del estiércol, después de su aplicación/depósito en el suelo y emisiones directas (millones de toneladas al año)						
	Ganado de leche	Otros ganado	Búfalos	Ovejas y cabras	Cerdos	Aves de corral	Total
África subsahariana	0.06	0.21	0.00	0.13	0.01	0.02	0.43
Asia*	0.02	0.14	0.06	0.05	0.03	0.05	0.36
India	0.03	0.15	0.06	0.05	0.01	0.01	0.32
China	0.01	0.14	0.03	0.10	0.19	0.10	0.58
América Central y América del Sur	0.08	0.41	0.00	0.04	0.04	0.05	0.61
Asia occidental y África del Norte	0.02	0.03	0.00	0.09	0.00	0.03	0.17
América del Norte	0.03	0.20	0.00	0.00	0.04	0.04	0.30
Europa occidental	0.06	0.14	0.00	0.07	0.07	0.03	0.36
Oceanía y Japón	0.02	0.08	0.00	0.09	0.01	0.01	0.21
Europa oriental y CEI	0.08	0.10	0.00	0.03	0.04	0.02	0.28
Otros países desarrollados	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.06
Total	0.41	1.64	0.17	0.68	0.44	0.36	3.69
Sistemas de producción pecuaria							
Pastoreo	0.11	0.54	0.00	0.25	0.00	0.00	0.90
Mixto	0.30	1.02	0.17	0.43	0.33	0.27	2.52
Industrial	0.00	0.08	0.00	0.00	0.11	0.09	0.27

* No incluye China y la India

Fuente: (FAO, 2009, p. 124)

Emisiones procedentes de la pérdida de nitrógeno del estiércol después de su aplicación y deposición directa. A mediados de la década de 1990, la disponibilidad de nitrógeno proveniente del estiércol animal para el consumo de las plantas en tierras de cultivos y pastizales manejados intensivamente, una vez deducidas las liberaciones a la atmósfera durante el almacenamiento, aplicación y deposición directa, ascendió a aproximadamente 25 millones de toneladas anuales a nivel mundial. El consumo depende de la cobertura del suelo: las mezclas de leguminosas /gramíneas pueden absorber grandes cantidades de N aplicado, mientras que las pérdidas de los cultivos que se siembran en hileras son generalmente grandes y las de los suelos desnudos/arados aún mayores.

Si suponemos que las pérdidas de N en los pastizales, causadas por lixiviación y erosión, son insignificantes y aplicamos una eficiencia de uso del N del cultivo del 40 por ciento al remanente de nitrógeno en el estiércol esparcido en las tierras de cultivo se obtiene un resultado de 9 o 10 millones de toneladas de N que entraron en la cascada del nitrógeno a través del agua a mediados de los noventa. Aplicando al tasa de pérdida de N_2O a las emisiones posteriores de N_2O se obtiene un cálculo de emisiones adicionales de unos 0.2 millones de toneladas de N_2O-N por esta vía. Emisiones de N_2O de la misma magnitud pueden esperarse de la fracción depositada proveniente del NH_3 volatilizados proveniente del estiércol que alcanzó los reservorios acuáticos a mediados de los noventa. De ahí que las emisiones totales de N_2O procedentes de las pérdidas de nitrógeno en este período puedan cifrarse entre 0.3 y 0.4 millones de toneladas anuales de N_2O-N .

Estas cifras han sido actualizadas de conformidad con las estimaciones actuales de los sistemas de producción pecuario, usando la metodología del IPCC para emisiones indirectas. Actualmente, la cifra global de las emisiones "indirectas" de N_2O del estiércol causadas por la volatilización y la lixiviación se aproximaría a los 1.3 millones de toneladas anuales de N. Sin embargo, esta metodología presenta un alto nivel de incertidumbre y puede conducir además a una sobreestimación ya que considera el estiércol producido en el pastoreo. La mayor parte de las emisiones de N_2O , es decir, unos 0.9 millones de toneladas de N, se originarían en los sistemas agropecuarios mixtos. (FAO, 2009, pp. 120-126)

Contaminación y agotamiento del agua

La disponibilidad de agua se está convirtiendo en un grave factor limitante para la expansión de la agricultura y para la satisfacción de otras necesidades humanas. La agricultura es la actividad que demanda mayores cantidades de agua, con un consumo del 70% del agua dulce utilizada. (FAO, 2009, p. 3)

El sector pecuario es un factor clave en el incremento del uso del agua ya que es responsable del 8% del consumo mundial de este recurso, principalmente para la irrigación de los cultivos forrajeros. La ganadería es probablemente la mayor fuente de contaminación del agua y

contribuye a la eutrofización, a las zonas “muertas” en áreas costeras, a la degradación de los arrecifes de coral, a la aparición de problemas de salud en los seres humanos, a la resistencia a los antibióticos y a muchos otros problemas. Las principales fuentes de contaminación provienen de desechos de los animales, antibióticos y hormonas, productos químicos usados en las curtiembres, fertilizantes y plaguicidas usados en los cultivos forrajeros y sedimentos de pastizales erosionados. Aunque no se dispone de cifras mundiales, se estima que en los Estados Unidos de América, la cuarta superficie más grande del planeta, la producción pecuaria es responsable del 55% del uso de antibióticos y un tercio de las descargas de nitrógeno y fósforo en los recursos de agua dulce.

La ganadería también afecta la recarga de los acuíferos en tanto que influye en los procesos de compactación del suelo, reducción de la infiltración, degradación de los márgenes de los cursos de agua, desecamiento de llanuras inundadas y disminución de los niveles freáticos. La ganadería incrementa la deforestación, incrementa también las escorrentías y reduce los cursos de agua durante la estación seca.

La mayor parte del agua usada por el gando vuelve al ambiente. Una parte puede volver a utilizarse en la misma cuenca, mientras que otra se agota, bien por la contaminación, bien por la evapotranspiración. El agua contaminada por la producción pecuaria, la producción de piensos y la elaboración de productos de origen animal provoca una pérdida del valor del agua para el suministro y contribuye al agotamiento del recurso.

Los mecanismos de contaminación pueden dividirse en fuentes puntuales y fuentes no puntuales. La contaminación procedente de fuentes puntuales consiste en una descarga de contaminantes observable, específica y localizada en una masa de agua. Aplicada a los sistemas de producción ganadera, la contaminación de fuentes puntuales está relacionada con los corrales de engorda, las plantas de elaboración de alimentos y las plantas de elaboración de agroquímicos. La contaminación de fuentes no puntuales se caracteriza por una descarga difusa de contaminantes, generalmente en áreas extensas como los pastizales.

Las excretas del ganado contienen cantidades considerables de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio), residuos de medicamentos, metales pesados y patógenos. Si estos llegan al agua o se acumulan en el suelo pueden constituir una grave amenaza para el medio ambiente. En la contaminación del agua dulce con estiércol y aguas residuales pueden estar implicados diversos mecanismos. Así, la contaminación del agua puede originarse de manera directa por el escurrimiento proveniente de los establos, por pérdidas originadas en filtraciones de las instalaciones de almacenamiento, por la deposición de material fecal en las fuentes de agua dulce y por percolación profunda y transporte a través de las cargas del suelo mediante las aguas de drenaje. La contaminación también puede ser indirecta, a través de la contaminación de fuentes no puntuales de las escorrentías y flujos superficiales procedentes de zonas de pastoreo y tierras de cultivo.

Los contaminantes principales.

El exceso de nutrientes estimula la eutrofización y puede representar un peligro para la salud. Los animales pueden tener una ingestión de nutrientes extremadamente alta. Por ejemplo, una vaca lechera en producción puede llegar a consumir hasta 163.7 kg de N y 22.6 kg de P al año. Algunos de los nutrientes ingeridos son retenidos en el animal, pero la gran mayoría es devuelta al ambiente y puede representar una amenaza para la calidad del agua. En la tabla IV.4 se presentan los datos sobre la excreción anual de nutrientes de diferentes animales. En el caso de una vaca lechera en producción la excreción anual es de 129.6 kg de N (79 por ciento del total ingerido) y 16.7 kg de P (73 por ciento) (de Wit et al., 1997). La carga de fósforo excretada por una vaca es equivalente a la de 18-20 seres humanos. La concentración de nitrógeno es más alta en el estiércol de cerdo (76.2 g/N/kg de peso seco), seguida de pavos (59.6 g/kg), gallinas ponedoras (49.0), ovejas (44.4), pollos de asar (40.0), ganado lechero (39.6) y ganado vacuno de carne (32.5). El contenido de fósforo es más alto en las gallinas ponedoras (20.8 g/P/kg peso seco), seguido de cerdos (17.6), pavos (16.5), pollos de asar (16.9), ovejas (10.3), bovinos de carne (9.6) y ganado lechero (6.7). En áreas de producción intensiva estas cifras dan como resultado una excesiva concentración de nutrientes que puede superar la capacidad de absorción de los ecosistemas locales y degradar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

Tabla IV.4. Ingesta y excreciones de nutrientes por especie animal

Animal	Ingesta (kg/año)		Retención (kg/año)		Excreción (kg/año)		Porcentaje de N excretado en forma mineral ¹
	N	P	N	P	N	P	
Vaca de leche ²	163.7	22.6	34.1	5.9	129.6	16.7	69
Vaca de leche ³	39.1	6.7	3.2	0.6	35.8	6.1	50
Cerda ²	46.0	11.0	14.0	3.0	32.0	8.0	73
Cerda ³	18.3	5.4	3.2	0.7	15.1	4.7	64
Cerdos en crecimiento ²	20.0	3.9	6.0	1.3	14.0	2.5	78
Cerdos en crecimiento ³	9.8	2.9	2.7	0.6	7.1	2.3	59
Gallina ponedora ²	1.2	0.3	0.4	0.0	0.9	0.2	82
Gallina ponedora ³	0.6	0.2	0.1	0.0	0.5	0.1	70
Pollo de asar ²	1.1	0.2	0.5	0.1	0.6	0.1	83
Pollo de asar ³	0.4	0.1	0.1	0.0	0.3	0.1	60

¹ Equivalente asumido como excreción de nitrógeno en la orina. Puesto que el N mineral puede volatilizarse, con frecuencia el porcentaje es más bajo en el estiércol aplicado en la tierra.

² Situaciones de alta productividad.

³ Situaciones menos productivas.

Nota: debido a las variaciones en la ingesta y el contenido de nutrientes de los piensos, estos valores representan ejemplos, no promedios, en situaciones de alta y baja productividad.

Fuente: (FAO 2009, 154)

El cálculo a nivel global de la excreta del ganado en el año 2004 contenía 135 millones de toneladas de N y 58 millones de toneladas de P. En el año 2004 el ganado bovino fue el principal responsable de la excreción de nutrientes, con un 58 por ciento de N; el porcentaje correspondiente a los cerdos fue del 12 por ciento y el de las aves de corral del 7 por ciento.

Los sistemas de producción mixtos contribuyen con la mayor carga de nutrientes, con un porcentaje del 70.5 por ciento de la excreción de N y P, seguidos de los sistemas de pastoreo, con un 22.5 por ciento de la excreción anual de N y P. Desde el punto de vista geográfico, la región con mayores contribuciones es Asia, que representa el 35.5 por ciento de la excreción anual de N y P a nivel global.

Las altas concentraciones de nutrientes en los recursos hídricos pueden dar lugar a una hiperestimulación del crecimiento de las plantas acuáticas y las algas, lo que produce eutrofización, mal sabor y olor del agua, y excesivo crecimiento bacteriano en los sistemas de distribución. Pueden también proteger los microorganismos de los efectos de la temperatura y la salinidad y pueden constituir un riesgo para la salud pública. La eutrofización es un proceso natural en los lagos que envejecen y en los estuarios, pero la ganadería y otras actividades relacionadas con la agricultura pueden acelerar en gran medida la eutrofización incrementando la tasa de entrada de nutrientes y sustancias orgánicas a los ecosistemas acuáticos que son arrastrados por las cuencas circundantes. Globalmente, la deposición de nutrientes (especialmente N) excede la carga crítica de eutrofización de un 7-18 por ciento del área de ecosistemas naturales y seminaturales.

Si el crecimiento de las plantas estimulado por la eutrofización es moderado, el resultado puede ser una base alimenticia para las comunidades acuáticas. Sin embargo, si es excesivo, la proliferación de algas y de la actividad microbiana puede causar un aumento en el consumo del oxígeno disuelto y alterar el normal funcionamiento de los ecosistemas. Otros efectos adversos de la eutrofización son:

- Transformaciones de las características del hábitat debido a un cambio en la composición de las comunidades de plantas acuáticas;
- Reemplazo de las especies de peces deseables por otras menos deseables, con las consiguientes pérdidas económicas;
- Producción de toxinas por ciertas algas;
- Aumento de los gastos de operación del suministro público de agua;
- Invasión y taponamiento de los canales de irrigación con malezas acuáticas;
- Pérdida de oportunidades de uso recreativo;
- Impedimentos a la navegación debido al crecimiento denso de malezas.

Estos impactos se presentan tanto en ecosistemas de agua dulce como marítimos, donde la proliferación de algas es causa de problemas de amplia difusión al liberar toxinas y causar anoxia ("zonas muertas"), con impactos negativos sobre la acuicultura y la pesca.

El fósforo se considera a menudo el principal nutriente limitante en la mayor parte de los ecosistemas acuáticos. En los ecosistemas en condiciones normales de funcionamiento, la capacidad de retención de P de los humedales y arroyos es crucial para la calidad del agua aguas abajo. Sin embargo, cada vez un mayor número de estudios ha identificado el N como el principal nutriente limitante. En términos generales, el P suele ser más un problema relacionado con la calidad de las aguas superficiales, mientras que el N tiende a ser una amenaza para la calidad de las aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través de las capas del suelo.

Nitrógeno. El nitrógeno está presente en el ambiente en diferentes formas, algunas inocuas, otras extremadamente nocivas. Dependiendo de su forma, el N puede ser almacenado e inmovilizado dentro del suelo, o puede lixiviar a las aguas subterráneas o volatilizarse. En comparación con el N orgánico, el N inorgánico tiene una gran movilidad a través de las capas del suelo.

El nitrógeno viene excretado por el ganado tanto en forma de compuestos orgánicos como inorgánicos. La fracción inorgánica es equivalente al N emitido en la orina y generalmente es mayor que la orgánica. Las pérdidas directas de N procedentes de las deyecciones y el estiércol tienen cuatro formas principales: amoníaco (NH_3), dinitrógeno (N_2), óxido nitroso (N_2O) o nitrato (NO_3^-). Una parte del N orgánico se volatiliza y se libera en forma de amoníaco desde los establos, durante la deposición y almacenamiento del estiércol, después de la aplicación del estiércol o en los pastos.

Las condiciones de almacenamiento y aplicación del estiércol influyen en gran medida en la transformación biológica de los compuestos nitrogenados y los compuestos resultantes constituyen amenazas diferentes para el medio ambiente. En condiciones anaerobias los nitratos se transforman en N_2 inocuo (desnitrificación). Sin embargo, cuando el carbono orgánico es deficiente con relación al nitrato, la producción del subproducto N_2O nocivo se incrementa. Esta nitrificación por debajo del óptimo se presenta cuando el amoníaco viene lavado directamente del suelo hacia los recursos hídricos.

La lixiviación es otro mecanismo a través del cual se producen pérdidas de N en el agua. En su forma de nitrato (NO_3^- -N inorgánico), el nitrógeno tiene una gran movilidad en la solución del suelo y su lixiviación se produce fácilmente por debajo de la zona radicular al agua subterránea o puede entrar en el flujo subsuperficial. El nitrógeno también puede llegar al agua por medio de la escorrentía (especialmente las formas orgánicas). Los altos niveles de nitrato observados en los cursos de agua próximos a las áreas de pastoreo son fundamentalmente el resultado de descargas procedentes de las aguas subterráneas y de los flujos subsuperficiales. Cuando se usa el estiércol como fertilizante orgánico, una parte significativa de las pérdidas de nitrógeno después de su aplicación está relacionada con la mineralización de la materia orgánica del suelo en un momento en el que no hay cultivo de cobertura.

Un nivel elevado de nitratos en los recursos hídricos puede ser un peligro para la salud. Niveles excesivos en el agua potable pueden causar metahemoglobinemia (“síndrome del bebé azul”) y la intoxicación de los bebés. Entre los adultos, la toxicidad del nitrato puede causar abortos y cáncer de estómago. El valor de referencia de la OMS para la concentración de nitrato en el agua potable

es de 45 mg/litro (10 mg/litro para N-NO₃). El nitrito (NO₂-) es tan susceptible a la lixiviación como el nitrato y es mucho más tóxico.

El grave riesgo de contaminación de las aguas que comportan los sistemas industriales de producción pecuaria ha sido ampliamente estudiado. A título de ejemplo, puede citarse el caso de los Estados Unidos de América, donde Ritter y Chirnside analizaron la concentración de N-NO₃ en 200 pozos subterráneos de Delaware. Los resultados mostraron el alto riesgo que generan a nivel local los sistemas de producción de aves de corral, la tasa de concentración media fue de 21.9 mg/litro frente a una tasa de 6.2 en las áreas de producción de maíz y 0.58 en las áreas forestales. En un estudio realizado en Southwest Wales, (Reino Unido), Schofield, Seager y Merriman señalaron que un río que drenaba áreas exclusivamente dedicadas a la producción ganadera tenía una fuerte contaminación con unos niveles de fondo de 3-5 mg/litro. Los picos altos pueden producirse después de las lluvias, cuando se presenta un escurrimiento de los desperdicios de los corrales y de los campos donde se ha aplicado estiércol.

De manera similar, en Asia sudoriental la iniciativa LEAD analizó las fuentes de contaminación terrestre del Mar de China meridional, prestando una particular atención a la contribución de la industria porcina en expansión en China, Tailandia, Viet Nam y la provincia china de Guangdong. Se considera que en los tres países los desechos porcinos contribuyen a la contaminación en mayor medida que las descargas domésticas humanas. El porcentaje de emisión de nutrientes proveniente de los desechos porcinos varía desde un 14 por ciento para el N y un 61 por ciento para el P en Tailandia a un 72 por ciento para el N y un 94 por ciento para el P en la provincia china de Guangdong.

Fósforo. El fósforo en el agua no se considera directamente tóxico ni para los humanos ni para los animales y, por esta razón, no se han fijado sus estándares en el agua potable. El fósforo contamina los recursos hídricos cuando se vierte o se descarga directamente en las corrientes o cuando se aplica en dosis excesivas en el suelo. A diferencia del nitrógeno, el fósforo es retenido por las partículas del suelo y es menos propenso a la lixiviación, a menos que su concentración sea excesiva, de hecho la principal vía de pérdida de fósforo es la erosión. La escorrentía superficial arrastra el fósforo en forma de partículas o en forma soluble. En áreas con alta densidad de ganado los niveles de fósforo pueden acumularse en el suelo y alcanzar los cursos de agua con la escorrentía. En los sistemas en pastoreo la acción de pisoteo del ganado sobre el suelo tiene efectos sobre la infiltración y la macroporosidad y causa pérdidas de sedimento y de fósforo a través del flujo superficial procedente de los suelos cultivados y los pastos.

Carbono orgánico total. Los desechos orgánicos generalmente contienen una gran proporción de sólidos con compuestos orgánicos que pueden poner en peligro la calidad del agua. La contaminación orgánica puede estimular la proliferación de algas, lo que aumenta su demanda de oxígeno y disminuye la disponibilidad de oxígeno para otras especies. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es el indicador que suele utilizarse para medir la contaminación del agua por materia orgánica. En una revisión de fuentes bibliográficas realizada por Khaleel y Shearer, se encontró una correlación muy estrecha entre la DBO y una elevada cantidad de animales o las

descargas directas de los efluentes de las fincas. La lluvia tiene un papel fundamental en la variación de los niveles de la DBO en las corrientes de agua que drenan las áreas destinadas a la cría de ganado, a menos que los efluentes de las fincas no descarguen directamente en las corrientes. La tabla IV.5 muestra los niveles de la DBO para varios tipos de desechos en Inglaterra. Los desechos provenientes de las explotaciones pecuarias aparecen entre aquellos que tienen una DBO más alta. Los impactos del carbono orgánico total y de los correspondientes niveles de la DBO en la calidad del agua han sido evaluados a nivel local pero no hay datos que permitan su extrapolación a mayor escala. (FAO 2009, 153-158)

Tabla IV.5. Variaciones de la concentración de la DBO para diferentes desechos y productos animales

Fuente	DBO (mg/litro)
Leche	140000
Efluentes de ensilaje	30000-80000
Estiércol líquido de cerdo	20000-30000
Estiércol líquido de bovino	10000-20000
Efluentes líquidos drenados desde el almacenamiento de estiércol líquido	1000-12000
Lavado de las salas de ordeño (agua sucia)	1000-5000
Aguas residuales domésticas sin tratar	300
Aguas residuales domésticas tratadas	20-60
Agua limpia de río	5

Fuente: (FAO 2009, 158)

Contaminación bio-química y salud humana

La degradación ambiental afecta significativamente, directa e indirectamente, a la salud humana. Los efectos directos incluyen el contacto con agentes contaminantes. Los efectos indirectos incluyen un incremento de la exposición de seres humanos y animales a las enfermedades infecciosas propiciado por el cambio climático. La distribución geográfica y la estacionalidad de un importante número de enfermedades, como la malaria y el dengue, pueden verse afectadas por el cambio climático. La esquistosomiasis o bilharziosis, enfermedad parasitaria que tiene como portador a los caracoles de agua, se asocia a los cambios en los cursos de agua. El Informe sobre los Recursos Mundiales señala que estas enfermedades relacionadas con el ambiente afectan de manera desproporcionada a los estratos más pobres de la población tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados. (FAO, 2009, p. 4 y 5)

Impacto de los residuos químicos.

Los residuos de medicamentos contaminan los ambientes acuáticos. En el sector pecuario se usan grandes cantidades de fármacos, principalmente antimicrobianos y hormonas. Se suministran a los animales con propósitos terapéuticos, pero también se dan a grupos de animales sanos de manera profiláctica, fundamentalmente durante situaciones estresantes con alto riesgo de infección como el momento del destete o el transporte. Estos compuestos también se suministran de manera rutinaria en la alimentación y el agua durante largos períodos de tiempo con la finalidad de mejorar las índices de crecimiento y de conversión de piensos. Los científicos denominan usos “subterapéuticos” o “no terapéuticos” a la agregación de antimicrobianos al alimento o al agua a dosis más bajas que las terapéuticas.

Las hormonas se utilizan para incrementar la eficiencia de la conversión alimenticia, en especial en el sector de bovinos de carne y porcinos. Su uso no está permitido en muchos países, sobre todo de Europa.

En los países desarrollados, los medicamentos usados en la producción animal representan un alto porcentaje del uso total. Se calcula que aproximadamente la mitad de los 22.7 millones de kilos de antibióticos administrados al ganado en este país se suministran por razones no terapéuticas, es decir, en la profilaxis de enfermedades y como promotores del crecimiento. En Europa, a partir de 1997 la cantidad de antibióticos disminuyó como resultado de la prohibición de algunas sustancias y el debate público sobre su uso. En 1997, se usaron 5,093 toneladas, incluidas 1,599 toneladas como promotores del crecimiento (principalmente antibióticos polyether). En 1999, en la UE-15 (más Suiza) se usaron 4,688 toneladas de antibióticos en la producción pecuaria. De estos, 3,902 toneladas (83 por ciento) fueron usadas con propósitos terapéuticos (las tetraciclinas fueron el grupo más usado), mientras que solamente se emplearon 786 toneladas como promotores del crecimiento. Recientemente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha hecho un llamamiento para prohibir el uso de antibióticos en animales sanos con el fin de mejorar la productividad.

No se cuenta con datos disponibles sobre la cantidad de hormonas usadas en los diferentes países. Las alteraciones endocrinas interfieren con el funcionamiento normal de las hormonas corporales que controlan el crecimiento, el metabolismo y las funciones corporales. Se usan en los corrales de engorde implantadas en las orejas o como aditivo en los alimentos. Las hormonas naturales comúnmente usadas son estradiol (estrógeno), progesterona y testosterona, mientras que las sintéticas son zeranol, acetato de melengestrol y acetato de trembolona. Cerca de 34 países han aprobado el uso de hormonas en la producción de carne bovina. Entre ellos figuran Australia, Canadá, Chile, Japón, México, Nueva Zelandia, Sudáfrica y los Estados Unidos de América. Gracias al uso de hormonas los animales presentan un aumento en la ganancia de peso diario del 8 al 25 por ciento, con un aumento del índice de conversión de piensos de hasta el 15 por ciento. A pesar de que no se han demostrado científicamente impactos negativos directos en la salud humana derivados del uso correcto de hormonas, en la UE, en parte como respuesta a la presión de los consumidores, se ha adoptado una postura muy estricta en cuanto al uso de hormonas en la producción pecuaria.

Una porción importante de los medicamentos utilizados no se degrada en el cuerpo del animal y termina en el ambiente. Se han identificado residuos de medicamentos, incluidos antibióticos y hormonas, en varios ambientes acuáticos como las aguas subterráneas, las aguas superficiales, y el agua de grifo. El servicio de levantamientos geográficos de los Estados Unidos de América (US Geological Survey) encontró residuos antimicrobianos en el 48 por ciento de las 139 corrientes de agua analizadas en todo el país y consideró a los animales potencialmente responsables, en particular en los lugares donde se esparce estiércol en la tierra agrícola. En cuanto a las hormonas, Estergreen y otros señalaron que el 50 por ciento de la progesterona administrada al ganado fue excretada en las heces y el 2 por ciento en la orina. Shore y otros encontraron que si bien la progesterona era fácilmente lixiviada del suelo, no sucedía lo mismo con el estradiol y la estrona.

Puesto que incluso bajas concentraciones de antimicrobianos ejercen una presión selectiva en el agua dulce, las bacterias están desarrollando una resistencia a los antibióticos. La resistencia puede transmitirse por medio del intercambio de material genético entre microorganismos patógenos. Dado que estos genes pueden conferir una ventaja evolutiva, se diseminan con facilidad en el ecosistema bacteriano: las bacterias que adquieren resistencia genética pueden superar y propagarse más rápidamente que las bacterias no resistentes. Además del potencial para diseminar la resistencia a los antibióticos, este hecho es un importante motivo de preocupación ambiental.

Con respecto a las hormonas, las preocupaciones están relacionadas con sus efectos potencialmente en los cultivos y con los posibles desórdenes endocrinos que pueden causar en los humanos y en la naturaleza. El acetato de trembolona puede permanecer en las pilas de estiércol durante más de 270 días, por lo que cabe suponer que a través de la escorrentía los agentes activos hormonales podrían contaminar las aguas. Los nexos entre el uso de hormonas en el ganado y sus impactos ambientales no son fácilmente demostrables. Sin embargo, esta podría ser la explicación de las alteraciones endocrinas o neurológicas que pueden observarse en la fauna silvestre incluso después de la prohibición de plaguicidas con efectos estrogénicos. Este supuesto se basa en el aumento del número de casos documentados de masculinización y feminización de peces, así como en el incremento en los mamíferos de la incidencia de cáncer testicular y de pecho y de las alteraciones en el tracto genital masculino.

Los antimicrobianos y las hormonas no son los únicos medicamentos con potencial de generación de impactos negativos. En la producción de leche se usan grandes cantidades de detergentes y desinfectantes. El mayor porcentaje de agentes químicos utilizados en las operaciones de producción de leche está constituido por los detergentes. En los sistemas de producción pecuaria también se usan altos niveles de antiparasitarios (FAO 2009, 160-161).

Los metales pesados usados en la alimentación retornan al ambiente. Los metales pesados se usan en la alimentación del ganado, a concentraciones muy bajas, por motivos de salud o como promotores del crecimiento. Entre los metales que se añaden a las raciones alimenticias del ganado figuran los siguientes: cobre, zinc, selenio, cobalto, arsénico, hierro y manganeso. En la industria porcina, el cobre (Cu) se usa para aumentar los rendimientos ya que actúa como

antibacteriano en el intestino. El zinc (Zn) se usa en las dietas de los lechones destetados con el fin de controlar la diarrea posdestete. En la industria aviar, se usan el Zn y el Cu como cofactores enzimáticos. El cadmio y el selenio también se han utilizado como promotores del crecimiento a dosis muy bajas. Otras fuentes potenciales de metales pesados en las dietas del ganado son el agua potable, la caliza y la corrosión de los metales usados en las instalaciones para el alojamiento de los animales.

Los animales sólo pueden absorber entre el 5 y 15 por ciento de los metales ingeridos. De ahí que la mayor parte de los metales vengán excretados y vuelvan al ambiente. Los recursos hídricos también pueden resultar afectados cuando se preparan baños con Cu y Zn como desinfectantes de las pezuñas de las ovejas y los bovinos.

La carga de metales pesados originada en las actividades pecuarias se ha analizado localmente. En Suiza, en el año 1995, se observó que la carga total de metales pesados en el estiércol ascendía a 94 toneladas de cobre, 453 toneladas de zinc, 0.375 toneladas de cadmio y 7.43 toneladas de plomo procedentes de un hato de 1.64 millones de cabezas de bovinos y 1.49 millones de porcinos (FAO, 2006b). De esta carga, de un 64 por ciento (del zinc) a un 87 por ciento (del plomo) se encontró en el estiércol bovino (Menzi y Kessler, 1998), mientras que la concentración más alta de cobre y zinc se encontró en el estiércol de cerdo. (FAO 2009, 161-162)

Impacto de los residuos biológicos.

La contaminación biológica representa un peligro para la salud pública. El ganado excreta muchos microorganismos zoonóticos y parásitos multicelulares de relevancia para la salud humana. Los microorganismos patógenos pueden ser transmitidos por el agua o por los alimentos, especialmente cuando los cultivos alimenticios se han irrigado con aguas contaminadas (Atwill, 1995). Para que se produzca un proceso de transmisión efectiva es necesaria una descarga directa de grandes cantidades de patógenos. Muchos contaminantes biológicos pueden sobrevivir días, y algunas veces semanas, en las deyecciones esparcidas en el campo y después, a través de la escorrentía, pueden alcanzar los recursos hídricos.

Los principales patógenos bacterianos y víricos, su importancia fundamental para la salud pública humana y veterinaria, que se transmiten por el agua son:

Campylobacter spp. Muchas especies de *Campylobacter* tienen una importante función en las infecciones gastrointestinales humanas. A nivel mundial la campylobacteriosis es responsable de aproximadamente el 5-14 por ciento de todos los casos de diarrea. Se han documentado diversos casos clínicos cuyo origen es el agua contaminada por el ganado.

Escherichia coli 0157:H7. *E. coli 0157:H7* es un patógeno humano que puede causar diarrea y, en algunos casos, síndrome de uremia hemolítica. El ganado es una fuente importante de contaminación en el caso de focos e infecciones esporádicas de *E. coli 0157:H7* transmitida por el agua o por los alimentos. Las complicaciones y las muertes son más frecuentes en los niños de

corta edad y en los ancianos, así como en personas con enfermedades debilitantes. En los Estados Unidos de América, se producen aproximadamente 73,000 casos de infección al año.

Salmonella spp. El ganado es una fuente importante de diversos tipos de infección por *Salmonella spp.* en los humanos. La *Salmonella dublin*, uno de los serotipos aislados en el ganado con mayor frecuencia, es un microorganismo de alta patogenicidad transmitido a los humanos por los alimentos. Las superficies de aguas contaminadas con *S. dublin* o los alimentos lavados con aguas contaminadas pueden ser los vehículos de transmisión de la enfermedad a los humanos. La *Salmonella spp.* ha sido aislada en el 41 por ciento de los pavos analizados en California (Estados Unidos de América) y en el 50 por ciento de los pollos examinados en Massachussets (Estados Unidos de América).

Clostridium botulinum. El *C. botulinum* (el organismo causante del botulismo) produce potentes neurotoxinas. Sus esporas son resistentes al calor y pueden sobrevivir en los alimentos elaborados de manera incorrecta. Entre los siete serotipos, los tipos A, B, E y F causan botulismo en los humanos, mientras que los serotipos C y D son causa de la mayor parte de los casos de botulismo en los animales. El *C. botulinum* puede ser arrastrado desde los campos por la escorrentía.

Enfermedades virales. Hay diversas enfermedades virales que pueden revestir importancia veterinaria y pueden estar asociadas con el agua potable, tales como las infecciones causadas por picornavirus (fiebre aftosa, enfermedad de Teschen o enfermedad de Talfan, encefalomiелitis aviar, enfermedad vesicular porcina, encefalomiocarditis), infecciones causadas por parvovirus, infecciones causadas por adenovirus, virus de la peste bovina, o peste porcina.

Enfermedades parasitarias del ganado. Se transmiten ya sea por la ingestión de estadios transmisibles que resisten en el ambiente (esporas, quistes, ooquistes, huevos, larvas y estadios enquistados), o mediante el uso de aguas contaminadas en la elaboración o preparación de alimentos, o por vía del contacto directo con los estadios parasitarios infecciosos. El ganado es una fuente de infección para los seres humanos y para muchas especies silvestres. La excreción de formas transmisibles puede ser alta y el peligro para la salud pública veterinaria puede extenderse a lugares muy distantes de las áreas contaminadas. Entre los parásitos, los que tienen mayor relevancia en la esfera de la salud pública y el agua son: *Giardia spp.*, *Cryptosporidia spp.*, *Microsporidia spp.* y *Fasciola spp.*

Giardia lamblia y *Cryptosporidium parvum.* Ambos con microbios protozoarios que pueden causar enfermedades gastrointestinales en los humanos. *G. lamblia* y *C. parvum* se han convertido en importantes patógenos transmitidos por el agua que son parte de la flora normal de muchas especies animales. Sus ooquistes son tan pequeños que pueden contaminar las aguas subterráneas, y los ooquistes de *C. parvum* no son eliminados por los tratamientos del agua más comunes. A nivel mundial la prevalencia en la población humana es del 1 al 4.5 por ciento en los países desarrollados y del 3 al 20 por ciento en los países en desarrollo.

Microsporidia ssp. *Microsporidia spp.* son protozoarios intracelulares formadores de esporas. Se han identificado 14 especies oportunistas o patógenas emergentes para los seres humanos. En los

países en desarrollo, las especies de *Microsporidia* representan un riesgo para la salud pública aún mayor, ya que las infecciones se encontraron predominantemente en individuos con compromiso del sistema inmunitario. Generalmente esta es una enfermedad transmisible, pero también tiene el potencial de emerger como zoonosis transmisible por el consumo de carne y de peces y crustáceos crudos o poco cocidos. La presencia de *Microsporidia* patógena para los humanos en el ganado y en los animales de compañía ha sido ampliamente documentada. La *Enterocytozoan bieneusi* (la especie diagnosticada con mayor frecuencia en los humanos) se ha encontrado en cerdos, bovinos, gatos, perros, llamas y gallinas.

Fasciola spp. Fasciolosis (*Fasciola hepática* y *Fasciola gigantica*) es una enfermedad parasitaria importante de los herbívoros y una zoonosis transmitida por los alimentos. La ruta de transmisión más común es la ingestión de agua contaminada. Alimentos, como las ensaladas, contaminados con agua de irrigación contaminada con metacercarias también pueden ser una vía de transmisión.

VI. Conclusiones: Oportunidades y riesgos para el País en materia de residuos agropecuarios

El metano liberado por el estiércol en las granjas en descomposición ocupa el primer lugar en la lista de emisiones de gases de efecto invernadero. Cuando no sabemos que hacer con un “residuo”, lo “desechamos”. Esto es la antítesis del proceder de los ecosistemas naturales”.

Pauli, Gunter. La economía azul

La producción pecuaria tiene un gran impacto en recursos globales como el agua, la tierra y la biodiversidad y contribuye significativamente al cambio climático. El eje de los impactos ambiental se desplaza a gran velocidad, dado que el medio en que se crían los animales sufre continuas modificaciones y una creciente estandarización. Las políticas públicas de los países desarrollados y en desarrollo difícilmente avanzan al mismo ritmo de la acelerada transformación de las tecnologías de producción y los cambios estructurales del sector. Los programas y las leyes ambientales se aplican cuando ya se han producido daños significativos y las políticas se centran más en la mitigación y la restauración que en enfoques más rentables de prevención y protección.

En un sector tan variado como el sector pecuario las cuestiones ambientales deben afrontarse mediante un enfoque integrado que combine las medidas políticas y los cambios tecnológicos con un marco de objetivos múltiples.

La formulación de políticas más adecuadas para el sector pecuario es un requisito medioambiental y una necesidad social y de salud. Los alimentos de origen animal pueden contener patógenos y residuos químicos. Se debe cumplir con las exigencias de inocuidad de los alimentos, que generalmente constituyen un prerrequisito en los canales de comercialización formal. (FAO, 2009, p. 2)

El impacto global de las actividades pecuarias en el ambiente es enorme. Si estos problemas se abordan aplicando los conocimientos científicos y técnicos, es posible subsanar parcialmente los daños. Mientras tanto, las futuras generaciones heredarán enormes daños. El tema ambiental es, en última instancia, una cuestión social: los costos ambientales generados por algunos grupos o naciones deben ser asumidos por otros o por todo el planeta. Un ambiente sano y una adecuada disponibilidad de recursos son esenciales para el bienestar de las futuras generaciones, el cual podrá verse seriamente comprometido si se mantiene el actual ritmo de sobreexplotación de los recursos y deterioro ambiental. (FAO, 2009, p. 4)

El presente capítulo establece de forma sintética los riesgos y oportunidades que se presentan para México al mediano plazo con relación a la gestión integral de los residuos agropecuarios, ver

la tabla VI.1. Estos planteamientos están fundamentados en el art. 96 de la Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos que dice:

Las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, con el propósito de promover la reducción de la generación, valorización y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, a fin de proteger la salud y prevenir y controlar la contaminación ambiental producido por su manejo, deberán llevar a cabo las siguientes acciones:

XII. Realizar las acciones necesarias para prevenir y controlar la contaminación por residuos susceptibles de provocar procesos de salinización de suelos e incrementos excesivos de carga orgánicos en suelos y cuerpos de agua.

Tabla VI.1. Matriz de oportunidades y riesgos para el ciclo del manejo integral de residuos agropecuarios en México

Definiciones:		
Residuo: materia/energía cuyo valor de uso para el propietario, generador y/o usuario se transformó en inexistente en el actual contexto social, económico y tecnológico, y en consecuencia decide desprenderse de ella transfiriendo su posesión a otro actor, asumiendo las potenciales externalidades que implique el manejo de esa materia/energía.		
Desarrollo sustentable, es decir, aquel que equilibra los aspectos ambientales, sociales y económicos. Enfoque de seis erres "R" (6R's): Reducción, Reciclado, Responsabilidad, Relevancia, Rentabilidad y Reúso.		
Proceso	Riesgo(s)	Oportunidad(es)
Generación	Contaminación puntual en sitios de generación.	Identificación de la trazabilidad de los residuos desde los generadores (grandes, pequeños y micro) y granjas industriales de producción pecuaria.
	Contaminación dispersa en zonas aledañas a los sitios generadores por arrastre.	Elaboración de mapas de flujo superficial y subterráneo de arrastre de residuos.

Recolección	Focos de infección de organismos patógenos.	Sistema de recolección y neutralización de residuos.
	Impacto al paisaje por la acumulación en áreas inadecuadas.	Mejora de la cobertura en recolección de residuos sólidos para zonas no urbanas.
Selección	Baja eficiencia de los procesos de tratamiento.	Separación de residuos en función de sus características de procesamiento, aprovechamiento y tratamiento posterior.
	Mezcla de residuos con características de manejo diferentes.	Cumplimiento de normativas local en materia de residuos (ley federal y estatal de residuos, programa de prevención y gestión integral, planes individuales y sectoriales de manejo).
Acopio y traslado	Costos no competitivos en el manejo de residuos.	Rentabilidad del sistema de gestión integral de residuos agropecuarios.
	Capacidad instalada con bajo porcentaje de uso por falta de residuos.	Optimización del uso de capacidad instalada y reducción de costos de operación/mantenimiento.
Procesamiento	Desaprovechar apoyos para el financiamiento de proyectos.	Financiamiento de proyectos locales y regionales con instituciones internacionales y corporativos privados.
	Reutilizar residuos como energía para uso de actividades humanas.	Producción de combustibles derivados de residuos (cdr) y productos derivados de residuos (pdr).

Aprovechamiento	Continuar utilizando energía "nueva" que provenga de fuentes fósiles.	Reducción del consumo de energía de primer uso y de origen fósil.
	Utilización de fertilizantes químicos que aumenten el impacto negativo en los suelos de cultivo.	Incremento de la producción de productos orgánicos y reducción de los costos de producción de los mismos.
Tratamiento	Brotos de enfermedades producidas por patógenos o mutaciones de los mismos en animales y/o humanos.	Neutralización de impactos en la salud humana e inocuidad de los alimentos.
	Contaminación por sustancias químicas (N, P, metales pesados y medicamentos).	Mitigación de impactos por contaminación en aire, suelo y agua.
Disposición final	Disminución de la vida útil de rellenos sanitarios y riesgo de explosión por aumento en la generación de gases.	Uso exclusivo de los rellenos sanitarios existentes para residuos que no puedan ser revalorados y reaprovechados (reprocesados, reutilizados, reciclados y reusados).
	Incremento de procesos de eutrofización y saturación de N, P, metales pesados en suelos.	Elaboración de mapas con zonas autorizadas para disposición de productos derivados de residuos (e.g. composta).

Bibliografía

Cámara de Diputados. (19 de 06 de 2007). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. Diario Oficial de la Federación . México, D.F.: H. Congreso de la Unión.

A. Corbit, R. (2003). Manual de referencia de la Ingeniería Ambiental. Madrid, España: Mc Graw Hill.

FAO. (2009). La larga sobra del ganado. Roma: FAO.

iSustentable. (2010). México D.F.

J. Glynn, H., & Gary W., H. (1999). Ingeniería Ambiental (Segunda ed.). (M. e. García, Trad.) México, México: Prentice Hall.

Paulli, Gunter. (2011). La economía azul (1ª edición). México, D.F. Tusquets editores.

Pongrácz, E. (2002). Re-defining the concepts of waste and waste management. Olulu, Finlandia: University of Olulu.

Rodríguez Salinas, M. (2004). Diseño de un modelo matemático de la generación de residuos sólidos municipales en Nicolás Romero, México. D.F.: Impresión propia.

Rodríguez, C. (2002). Residuos ganaderos. ND: FAV, UNRC.

SEMARNAT. (2008). Programa nacional para la prevención y gestión integral de los residuos 2009-2012. México, D.F. Servicios y publicaciones grande.

Velázquez, J. d. (2002). Cantidad, cobertura y descomposición de residuos de maíz sobre el suelo. Terra , 20 (2), ND.