



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUATITLÁN**

**Impacto ambiental de la producción pecuaria bovina.**

**Un enfoque bioquímico.**

**Revisión bibliográfica**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**PRESENTA:**

**José Ruiz Montaña**

**ASESOR**

**Dr. Jorge Luis Rico Pérez**

**Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO  
Jefa del Departamento de Titulación  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis.**

**Impacto ambiental de la producción pecuaria bovina. Un enfoque bioquímico.  
Revisión bibliográfica.**

Que presenta el pasante: **José Ruiz Montaña.**

Con número de cuenta: **418061015** para obtener el título de: **Médico Veterinario Zootecnista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 21 de abril de 2023.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	M.P. Jorge Luis Rico Pérez	
<b>VOCAL</b>	Dr. Juan Carlos Rodríguez Huerta	
<b>SECRETARIO</b>	M.V.Z. Silvia Leticia Bonilla	
<b>1er. SUPLENTE</b>	M. en M.V.Z. Héctor Reyes Soto	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M.V.Z. Viridiana García Jiménez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

MCVB/ntm\*

## **Agradecimientos**

A mi amigo que nunca dudó que entraría a la mejor universidad, me visitaba cuando no salía de mi casa por estar estudiando y celebró conmigo cuando entré.

A Teffy por permitirme ser amigo de la estudiante más brillante y noble que he conocido, A Justice por dejar en mí una manera diferente de ver y disfrutar la vida, A Italia, por siempre tener tiempo y cariño cuando lo necesitábamos.

A Leti, Toño y Nelly, por darme un espacio, un hombro y un plato de comida cuando lo necesite.

A los maestros Caballero, Cortés, Eiracitlali, Paty, Rico, Roshi por inspirarnos más allá de lo que abarca una asignatura. A René que me brindó mi primera experiencia laboral.

A mi hermano, mi primera inspiración de lo que significa la valentía, y buscar tu propio camino, aunque el mundo no te crea. A Camila, por el gran amor que me has dado desde que llegaste al mundo, a Melina, por enseñarme que la rebeldía es el primer requisito para ser libre y feliz.

A mi madre, porque si soy inteligente es porque aún con toda tu ocupación, y cansancio, te sentabas conmigo a enseñarme las letras y los números, porque si tengo valores, es porque me enseñaste que la única persona que siempre me ve soy yo mismo, porque si tengo fortaleza, es porque nunca vi un solo ejemplo de debilidad en ti, porque si tengo algo bueno en mí, es una extensión de ti y tu amor.

## **Dedicatoria**

A todos los seres humanos que dieron y dedicaron su vida a cuidar la Tierra, y las hermosas criaturas que aquí viven.

## CONTENIDO

<b>1. RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
GENERAL .....	12
ESPECÍFICOS .....	12
<b>4. METODOLOGÍA .....</b>	<b>13</b>
<b>5. DESARROLLO .....</b>	<b>14</b>
5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL IMPACTO DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA .....	14
5.2 EL SECTOR PECUARIO EN LA DEGRADACIÓN DE TIERRA .....	15
5.3 IMPACTO DEL SECTOR PECUARIO SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EN LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA .....	20
5.4 EL PAPEL DEL GANADO EN LA CONTAMINACIÓN Y AGOTAMIENTO DEL Agua ..	37
5.5 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN .....	41
5.5.1 Exclusión de pastoreo .....	41
5.5.2 Bioremediación .....	42
5.5.3 Aplicación de estiércol como medida para combatir la salinización .....	44

5.5.4. Alternativas de mitigación del impacto ambiental en la atmósfera .....	44
5.5.5 Intensificación de la agricultura .....	45
5.5.6 Restituir el carbono orgánico del suelo a los suelos cultivados .....	46
5.5.7 Revertir pérdidas de carbono orgánico del suelo, procedentes de pastizales degradados. ....	47
5.5.8 Agro-silvicultura o Agroforestería .....	48
5.5.9 Mejoramiento de eficiencia a través de la dieta .....	49
5.5.10 Mitigación de las emisiones de metano a través del manejo mejorado del estiércol y el biogás .....	51
5.5.11 Mitigación de las emisiones de N <sub>2</sub> O y la volatilización de amoniaco	52
5.5.12 Manipulación de dietas para afectar el estiércol .....	53
<b>6. DISCUSIÓN .....</b>	<b>54</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>FUENTES DE CONSULTA .....</b>	<b>58</b>

## **1. Resumen**

El presente trabajo de revisión bibliográfica pretende hacer un aporte al tema de sustentabilidad, a través de identificar distintos aspectos mediante los cuales impacta o puede continuar afectando la explotación pecuaria en general y, específicamente, la producción bovina, por cuanto que se requiere una mayor y mejor comprensión desde el punto de vista bioquímico considerando que ello puede ayudar a entender y enfrentar mejor la afectación al medio ambiente, a través de buscar opciones que permitan atenuar el impacto, ya sea mediante la propuesta de técnicas tales como la implementación de dietas mejoradas o un adecuado manejo de los desechos. El objetivo fue el de recopilar información bibliográfica que guarda relación con el fenómeno antes señalado, tomando como referencia un periodo comprendido entre los años de 1990 y el 2022, partiendo de consultar diversas fuentes documentales y bases de datos. La información se analizó y sistematizó en rubros tales como la afectación del suelo, la atmósfera y la biodiversidad y finalmente, se incluyen posibles alternativas de mitigación del impacto ambiental para la producción bovina.

## **2. Introducción y Justificación**

Las actividades pecuarias, como cualquier actividad humana, pueden llegar a tener un impacto importante sobre el suelo, el agua, la atmósfera y la biodiversidad, lo cual es dependiente de diversos aspectos tales como el tipo y sistemas de producción, en tanto que el grado de impacto se puede ver reflejado a nivel local, regional, o global. Como ha sido plenamente reconocido, la creciente demanda de alimentos asociada al acelerado crecimiento demográfico, se ha llegado a constituir en una preocupación central. En tal sentido se ha resaltado que la industria pecuaria en rubros como el agotamiento y contaminación del agua y el suelo, entre otros, contribuye de una manera importante para el deterioro ambiental, toda vez que no siempre se había considerando seriamente las graves repercusiones de la actividad desarrollada al margen de esquemas adecuados de sustentabilidad. De acuerdo con ello, durante las últimas décadas ha crecido el interés por encontrar alternativas que permitan seguir obteniendo los beneficios propios de la explotación racional de los animales, en un contexto de equilibrio y convivencia armoniosa con el ambiente. En otras palabras, se busca seguir contribuyendo a la importante función social de proveer de una fuente rica en proteína de alta calidad nutricional y, en su caso, a permitir que diversos sectores de la población se vean beneficiados económicamente, sobre todo si se toma en cuenta que dicha actividad genera empleo para mil trescientos millones de personas o que, en su caso, constituye el único medio de subsistencia para más de mil millones de pobres que hay en el mundo. (FAO, 2009).

Se sabe que la tierra, como sustrato de las prácticas agrícolas, suele presentar una capacidad natural para regenerar los recursos que nos brinda, sin embargo, un uso y utilización indiscriminado de la misma traen consecuencias indeseables. Por ejemplo, Westing et al. (2001) reportan que el ritmo que tenemos al utilizar los recursos, supera en gran medida la capacidad para su respectiva recuperación. Esto es especialmente preocupante para países en vías de desarrollo, como lo es el caso de México, donde se prevé que para el año 2030, habrá pérdidas de la capacidad de producción de cereales de hasta 280 millones de toneladas, a consecuencia del cambio climático (FAO, 2009), pues se prevé que factores como la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera puedan seguir contribuyendo a un incremento gradual de la temperatura, así como a generar una variación preocupante de la precipitación, con la subsecuente alteración de los cultivos que, como en el caso del maíz, dependen de la estacionalidad. Con todo ello, resulta obvio suponer que se pone en riesgo la seguridad alimentaria de múltiples zonas geográficas (Ahumada et al., 2014). De hecho, autores como Raleigh y Urdal (2007) describen que dicha escasez podría acarrear un alto grado de incertidumbre, con incremento también de otro tipo de riesgos, tales como la posibilidad de conflictos en diversas regiones del mundo. En tal sentido, resulta pertinente visibilizar el alcance de los daños que la producción pecuaria genera, puesto que, además de representar el 1.4% del PIB mundial, este constituye hasta un cuarenta por ciento de todo el PIB agrícola mundial (FAO, 2009), lo que además nos obliga a buscar alternativas que puedan disminuir tales daños.

Según datos de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2018) México contaba para esas fechas con una producción de 2.8, 3.2, 1.9 y 1.4 millones de toneladas de huevo para plato,

carne de ave, carne de bovino y carne de porcino, respectivamente, alcanzando el séptimo lugar en el ranking mundial como productor de proteína animal. De esa manera, también ocupa un alto nivel de responsabilidad en cuanto al impacto ambiental, por lo que, en la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático y asentado en la Ley General del Cambio Climático, se comprometió a establecer una reducción del treinta por ciento de gases de efecto invernadero en el 2020 y del cincuenta por ciento como meta aspiracional para el año 2050 (DOF, 2012).

En el mismo sentido, resulta pertinente señalar que los grados de afectación de cada especie animal en la producción pecuaria son distintos, siendo el bovino de carne y/o leche el que contribuye de mayor manera a la degradación del medio ambiente, puesto que es responsable del 62% de las emisiones de gases de efecto invernadero (que equivalen a 5.0 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq) y las demás especies, incluidas las aves de corral, cerdos, búfalos y pequeños rumiantes, apenas contribuyen de manera conjunta del 7 al 11%. Por lo que resulta de mayor importancia el centrarnos en el bovino, puesto que las mayores emisiones y efectos en el ambiente corresponden a dicha especie, siendo por la misma razón la especie mas estudiada en cuanto al impacto que su producción tiene en el medio ambiente (FAO, 2017).

Autores como Orzuna-Orzuna et al. (2021) han resaltado la importancia de comprender el fenómeno asociado a la producción animal y sus efectos colaterales sobre el ambiente desde distintos puntos de vista, sobre todo cuando se pretende estar en posibilidad de fundamentar acciones orientadas a atenuar la problemática en cuestión. Uno de tales enfoques es el que abordaremos dentro del presente estudio y que se refiere al estudio de los procesos bioquímicos articulados a los problemas ambientales. En tal contexto resulta interesante, por

ejemplo, conocer en mayor detalle el impacto y efecto de la generación de gases que se generan en el tracto digestivo de los rumiantes. Es posible referirnos también a los problemas de contaminación provenientes de la inadecuada gestión de los desechos animales, como lo ha referido Menzi (2001) en cuanto a que la Eutrofización de fuentes de agua, la lixiviación de nitratos y posibles transferencias de patógenos a las aguas subterráneas, la acumulación excesiva de Nutrientes en el suelo y la contaminación del agua que tiene un impacto directo en áreas naturales como los humedales o manglares. Lo anterior, en tanto que las actividades agropecuarias, son responsables del 70% del uso del agua a nivel mundial, y del 93% de su agotamiento (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004), así como que en muchos casos se centra la atención únicamente en la contaminación por el estiércol y los desechos, habiendo otros factores determinantes. De igual importancia es la repercusión de la producción pecuaria sobre la atmósfera, al liberar compuestos que contribuyen al cambio climático, la contaminación del aire, o la obstaculización de retención en otros reservorios (FAO, 2009).

Es por ello, que resulta de gran importancia identificar regionalmente los distintos ámbitos de afectación como resultado de la explotación bovina y, en este caso, específicamente desde un enfoque bioquímico, a fin de aportar información útil para la implementación de diversas opciones de mitigación del impacto ambiental, considerando que ello puede ayudar a entender y enfrentar mejor el problema, ya sea mediante la propuesta de técnicas tales como la implementación de dietas mejoradas o un adecuado manejo de los desechos, entre otras (Pham et al., 2013).

### **3. Objetivos**

#### **General**

Recopilar información relacionada con el impacto ambiental que genera la producción pecuaria bovina y su mitigación a nivel mundial y en México, desde un enfoque bioquímico, a partir del año 1990 a noviembre del 2022. fecha.

#### **Específicos**

- Sintetizar, organizar y sistematizar la información citada por los diferentes autores.
- Identificar las alternativas de mitigación del impacto ambiental de la producción pecuaria bovina en el suelo y la atmósfera.
- Realizar un análisis de la información recabada, para emitir una opinión acerca del impacto ambiental que genera la producción bovina en México.

#### **4. Metodología**

Para el desarrollo del presente trabajo se realizó una revisión bibliográfica dentro del período comprendido entre los años 1990 y hasta la fecha (2022), a partir de diversas fuentes documentales, en motores de búsqueda tales como: SciELO, WorlWideScience.org, Redalyc, Google académico, Dianlnet, y de bases de datos como EBSCO, Environment Index, GreenFILE. Asimismo, a partir de colecciones suscritas por la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM, todas relacionadas con el tema de este trabajo. Dicha búsqueda se realizó enfocando principalmente fuentes bibliográficas reportadas en el idioma inglés, por cuanto que es la lengua vehicular del tema medioambiental y por ser en esta lengua, donde más investigación se realiza del tema en cuestión. Asimismo, se agregó información proveniente de fuentes bibliográficas en castellano. Las palabras clave utilizadas para esta pesquisa fueron: Environmental, livestock, management, biochemical, chemical, manure, impact, soil, water, atmosphere, Cattle beef, Dairy cow y la información recopilada se sistematizó por grados de afectación a nivel del suelo, la atmósfera, la biodiversidad y otros, en su caso. Todo ello, desde el punto de vista bioquímico. De igual manera, se incluyeron, en un apartado especial, las alternativas de mitigación del impacto ambiental relacionadas con la producción pecuaria bovina, poniendo especial énfasis en aquellas que han sido utilizadas y aplicables en México.

## **5. Desarrollo**

### **5.1 Descripción general del impacto de la producción pecuaria**

Cuando se habla del impacto que tienen las actividades humanas, resulta frecuente olvidar la trascendencia que tiene cambiar el uso que se le da a la tierra, al tratarse de una acción que, indudablemente, conlleva a perjuicios sobre las demás áreas comúnmente descritas como el daño al suelo, los cuerpos de agua, la atmosfera y la biodiversidad. En otras palabras, un área de bosque convertido en pradera para pastoreo, afecta en primer lugar a la biodiversidad, por todas las especies animales, vegetales, entre otras, que son desplazadas y muchas veces extintas por perder su hábitat, así mismo el perder esta cubierta forestal y demás materia orgánica, ocasiona la liberación de carbono a la atmosfera, eliminando ese servicio que prestaba como sumidero de carbono, afectando directamente al cambio climático (FAO, 2009). Por otra parte, este cambio generará alteraciones en la textura y composición del suelo, que afectará directamente los ciclos del agua, por cuanto que acelera el agotamiento de los recursos hídricos (FAO, 2009). De este modo, resulta pertinente señalar que en los treinta años posteriores a 1950 se convirtió más terrenos en tierras de cultivo que en los 150 años desde 1700 a 1850 (EM, 2005), de la misma forma el sector pecuario con una ocupación de 3,900 millones de hectáreas es uno de los principales usuarios de tierra abarcando cerca del

30% de la superficie terrestre del planeta. El uso particular de esta tierra va de los cultivos intensivos (500 millones de hectáreas), pastos con productividad alta (1400 millones de Ha) y pastizales extensivos con una productividad baja (2000 millones de hectáreas). De igual importancia resulta delimitar que de la tierra agrícola utilizada, el sector pecuario es usuario del 78 por ciento, y de la misma forma en que este sector crece sus necesidades de tierra aumentan (FAO, 2009).

## **5.2 El sector pecuario en la degradación de tierra**

La degradación de la tierra la podemos definir como un cambio en sus características químicas o físicas, dando como resultado una disminución de su capacidad para prestar servicios o producir bienes (FAO, 2017)

En el meta-análisis de Lai y Kumar (2020) se evaluaron 15 efectos generales que tienen las diferentes intensidades de pastoreo: Densidad aparente del suelo (BD), Resistencia a la penetración (PR), Almacenamiento de carbono orgánico (SOC), Nitrógeno total (TN), Relación C:N, Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Carbono de biomasa microbiana (MBC), Nitrógeno de biomasa microbiana (MBN), Fósforo (P), Potasio (K), Capacidad de intercambio catiónico (CEC), pH, Conductividad eléctrica (EC), Contenido de agua (WC). Asimismo, se clasificaron las intensidades en pastoreo en pesado, moderado o ligero y el sobrepastoreo (o no sobrepastoreo), clasificación tomada por Lai y Kumar (2020). En cuanto a los tipos de tierras se tomaron en cuenta 3: pastizales (GLD), pastizales con árboles (GLT) (incluidos los bosques para pastoreo) y por último el sistema integrado de cultivos y ganado

(ICLS). Al respecto, se reporta que hubieron diferencias para las diferentes intensidades de pastoreo, mismas que se indican a continuación:

- El pastoreo pesado en comparación con el no pastoreo aumenta significativamente la compactación, pero redujo el SOC, MBC,  $\text{NO}_3^-$  y la humedad del suelo, y podría tener impactos más perjudiciales en la calidad del suelo que el pastoreo moderado y ligero
- El pastoreo moderado presente efectos de aumento de la compactación del suelo, así como de la alcalinidad, pero reduce el SOC y el TN
- En cuanto a pastoreo ligero, este aumenta de manera importante el SOC y  $\text{NH}_4$

**Tipos de degradación del suelo (Oldeman, 1994).**

**Erosión por el agua:** Las consecuencias negativas por esta erosión pueden ser severas siendo que reduce la capacidad productiva del suelo e incluso en casos extremos la profundidad de enraizamiento puede ser restringida para cultivos agrícolas. De hecho se vuelve muy difícil cuantificar que la magnitud del daño de la erosión causada por el agua, ya que muchas veces los agricultores solventan esta pérdida de producción de la tierra añadiendo fertilizantes indiscriminadamente.

**Erosión por el viento:** El desplazamiento del material del suelo casi siempre es causado porque se pierde la cobertura vegetativa del suelo, esto ya sea debido al sobrepastoreo o a la eliminación de la vegetación para su uso doméstico o propósitos de la agricultura.

**Degradación química:** En Sudamérica el 30% de la degradación de suelos se debe a la degradación química del suelo. Esto no se refiere a las fluctuaciones normales que tienen los químicos en el suelo como parte de sus ciclos, se refieren a los siguientes procesos:

- **Nutrientes y materia orgánica:** Es común en países con agricultura de bajos insumos, donde la agricultura es practicada en suelos pobres o moderadamente fértiles, sin una suficiente aplicación de estiércol o fertilizantes químicos. En Sudamérica la mayoría de degradación química del suelo se debe a esta pérdida de nutrientes, de Freitas Nunes Oliveira et al. (2021) demostraron que practicas como el sobrepastoreo pueden disminuir las propiedades químicas, las enzimas del suelo y la biomasa bacteriana. El sobrepastoreo se relaciono con parámetros nocivos del suelo como el contenido de Sodio, la conductividad eléctrica y la acidez intercambiable.
- **Almacenamiento de carbono en el suelo:** En el estudio de Ji et al. (2020) se demostró que con el aumento de la intensidad del pastoreo se disminuye el almacenamiento de carbono en el suelo, teniendo diferentes efectos dependiendo del grado de intensidad del pastoreo.

La explicación de esto en los grados de pastoreo ligero a severo se encuentra ubicada a través de distintos efectos, a saber: disminución en la cantidad de hojas secas y residuos vegetales devueltos al suelo, del pisoteo constante de los animales promueve la mineralización microbiana nativa del suelo, afectación directa de las especies vegetales que resultan apetecibles al ganado (hierbas y juncias), lo que conduce a una reducción significativa de la biomasa vegetal, la cubierta vegetal, el aumento del suelo desnudo, el retorno de excretas al suelo y aceleran la descomposición por procesos microbiano, algunas de las sustancias que afectan el suelo, son:

- El nitrógeno total del suelo se ha observado más alto en tierras donde se realiza pastoreo severo, esto puede explicarse por la descomposición de las capas de la tierra,

así como por la orina evacuada por los animales durante el proceso de pastoreo, que a su vez va a estimular la mineralización del nitrógeno y por último la acumulación de deposición de polvo que aumenta la cantidad de N en el suelo.

- Fósforo total del suelo se ha visto afectado de manera diferentes en diversos estudios, de acuerdo a las propiedades inherentes del suelo como son la composición de especies y el manejo de pastoreo empleado, encontrándose aumentado o disminuido en diferentes estudios.
- Potasio: El caso del potasio es particular pues se encontró que las perturbaciones del pastoreo de yak tienen un impacto positivo en el ciclo de  $K^+$ , pues se encontró que el Potasio total del suelo se aumentaba con la intensidad de pastoreo

**Salinización:** Esta condición se define como un cambio en el estatus asociado a la concentración salina del suelo, la cual puede ser ocasionada por un manejo inapropiado de los esquemas de irrigación, principalmente en las regiones áridas o semiáridas. Ello puede ocurrir si el agua de mar o agua subterránea salina fósil se usa excesivamente. En adición, cuando los grandes herbívoros domésticos se introducen en una tierra con el propósito de pastoreo, se ha observado que la salinidad y en menor medida la alcalinidad aumenta, en comparación de aquellas zonas donde no se realiza esta actividad (Lavado y Taboada 1987).

**Acidificación:** Puede ocurrir en regiones costeras tras el drenaje/oxidación de zonas costeras que contengan pirita. También puede ocurrir por la aplicación de fertilizantes acidificantes. Este efecto junto con el aumento de la deposición de nitrógeno, se considera es una de las grandes amenazas mundiales para la diversidad de especies, pues a esto se le agregan efectos secundarios como son la pérdida de grandes cantidades de nutrientes catiónicos,

intensificación de los efectos limitantes de crecimiento, reproducción y productividad en plantas (Hong et al., 2020).

**Contaminación:** Muchos tipos de contaminación pueden ser reconocidos, entre los que destacan la contaminación industrial o la acumulación de desechos, excesivo uso de pesticidas y antibióticos, acidificación por contaminantes aerotransportados, exceso de estiércol, derrames de petróleo.

La presencia de antibióticos y genes de resistencia a antibacterianos, han venido siendo considerados como “emergentes”, toda vez que, aunque se han utilizado de manera amplia en la industria, a nivel mundial, solo fue hasta hace poco tiempo que pudo ser identificado el peligro que representa al ser manejados inadecuadamente. De hecho, suele pasar que, precisamente, sea el sector pecuario donde constantemente se utilizan indiscriminadamente al ser empleados como medicamentos veterinarios, ya sea para promover el crecimiento o para favorecer la inmunidad y/o el rendimiento de los animales. La relación que tiene este problema con el suelo es que los productores frecuentemente utilizan el estiércol de los animales a los que les aplicaron antibióticos; una práctica común que se da en las prácticas agrícolas, con la finalidad de mejorar la fertilidad del suelo. Cuando ello ocurre, se podría estar transfiriendo bacterias resistentes a los antibióticos hacia las hortalizas que son cultivadas en dichos suelos. Dicho problema se exagera cuando las bacterias resistentes mueren debido a procesos naturales o inducidos y los genes de resistencia a antibióticos (ARG) se mantienen latentes en el tiempo, desplazándose a través de una integración en series de genes móviles, como plásmidos o trasposones, los cuales pasan de un organismo a

otro, incluso después de muertos o bien, entre bacterias patógenas y no patógenas. (Zhao et al., 2017).

Con respecto a los pesticidas, se sabe que estos contaminan en gran medida por la forma en la que se alimenta la especie, siendo así que hay distintas formas en las que el animal pueda ingerir pesticidas y después expedirlo al medio ambiente contaminándolo, la primera de ellas es debido a que se espera que un bovino entre su alimentación natural en pastoreo, consuma directamente 1kg de suelo al día, además de haber evidencia de que el ganado a menudo lame directamente el suelo desnudo, por otra parte se encuentra el peligro de la ingestión directa de pesticidas, como los organoclorados que pueden volatilizarse desde sus capas superiores del suelo, adsorber sobre partículas en la atmósfera y posteriormente depositarse sobre los forrajes que consume el animal. Aquí además de existir el peligro de contaminación del suelo por las heces expedidas por el bovino dañando la biota del suelo, está el hecho de que los plaguicidas organoclorados pueden acumularse en la carne y leche de los animales, pues Sadler et al., 2005 sugieren que la vida media de estos compuestos en el ganado bovino de carne es de cuatro meses, resultando en un peligro para la salud pública, puesto que muchas veces no se toman en cuenta estos hallazgos, para establecer períodos adecuados de retiro.

Otro de los grandes peligros para la salud humana y ambiental es posible identificar al Arsénico, un elemento que se acumula en el suelo por los pesticidas que se utilizan para el control de garrapatas del ganado, siendo contaminante en muchos sitios con actividad humana. Este compuesto resulta de gran preocupación por los efectos cancerígenos y no cancerígenos que se tienen descritos (Rahman et al., 2017), así como también los efectos que tiene en la biota del suelo, afectado de manera significativa las lombrices de tierra lo que a

su vez genera un impacto negativo en la descomposición del suelo, la mineralización de nutrientes y por consecuente, la productividad primaria (Lukkari et al., 2004).

### **5.3 Impacto del sector pecuario sobre el cambio climático y en la contaminación atmosférica.**

La atmósfera cumple funciones indispensables tanto para la vida como para el equilibrio ambiental en el planeta, pues dentro de sus funciones se encuentran albergar el aire que respiramos, ser parte de los ciclos del carbono nitrógeno y oxígeno, además de regular la temperatura y proteger a los seres vivos de las radiaciones solares, no obstante, hay suficiente evidencia para confirmar que las actividades humanas están afectando las funciones atmosféricas, y dentro estas el ganado criado para consumo humano tiene una contribución importante que deberá ser descrita, puesto que todas las etapas de producción, cría, y distribución contribuyen a la afectación de aire o directamente al cambio climático. De igual forma, entre los gases emitidos por esta actividad se describen al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido nitroso ( $\text{NH}_4$ ) y los clorofluorocarbonos, todos los cuales aunque de manera natural y en diferente grado contribuyen con el efecto invernadero, sin el cual la regulación de la temperatura del planeta no sería posible, puesto que una parte del flujo del calor proveniente de los rayos del sol queda atrapado por estos gases, haciendo así su efecto de mantener una temperatura viable para la vida en el planeta. Sin embargo, el incremento de estos gases, recientemente exacerbados por las actividades antropogénicas han generado el calentamiento del planeta aumentando la temperatura media en  $0.6^\circ\text{C}$  desde finales del siglo XIX. Aunado a esto, se relaciona que el calentamiento global ocasiona patrones meteorológicos como el aumento en las precipitaciones, amén generar cambios significativos

en la intensidad o frecuencia de fenómenos atmosféricos tales como tormentas, inundaciones y sequías. De hecho, se prevé que para el año 2100 la temperatura media podría aumentar entre 1,4°C y 5.8°C y que el nivel medio del mar aumente entre 9 y 88 cm, ocasionando inundaciones permanentes en zonas cercanas a la costa. Los cambios sociales que pueden producirse debido a esto pueden conllevar amenazas y presiones a los que posiblemente no estemos adaptados, pues distintas regiones registrarán disminuciones en los rendimientos de los cultivos básicos, pudiendo llevar hasta escasez de alimentos y hambrunas, además, aquellos países con menor capacidad económica serán más vulnerables a sufrir los efectos y serán menos capaces de adaptarse a la nueva situación mundial prevista (FAO, 2009).

En cuanto a las contribuciones específicas de cada gas con el que contribuye el sector ganadero bovino, resulta importante marcar las diferencias presentes entre ellos, pues aunque el metano tenga una capacidad de retener el calor 23 veces superior al del CO<sub>2</sub>, es este último el que contribuye en mayor medida al calentamiento global, simplemente por sus altas concentraciones, sin embargo, es el metano el que puede permanecer en la atmósfera hasta 15 años perpetuando su capacidad de retener el calor por mucho más tiempo. Por otra parte, el óxido nitroso, aunque este en cantidades muy reducidas respecto a los demás gases, su capacidad de retener el calor es 296 veces superior al CO<sub>2</sub> y el tiempo de permanencia, generando estos efectos, se alargan hasta 114 años. En suma, a nivel global las actividades pecuarias contribuyen con el 18% al total de emisiones de gases con impacto tipo efecto invernadero, siendo mayor incluso que todas las emisiones generadas por la industria del transporte. De igual importancia resulta que este sector sea el 80% de las emisiones de todo el sector agrícola (FAO, 2009).

En ese sentido, cuando el enfoque es hacia las diferencias de impacto que tienen las distintas especies pecuarias, el ganado vacuno es considerado por mucho, el mayor emisor de gases de efecto invernadero (GEI), puesto que tiene emisiones de más de 6 veces la especie que se encuentra en segundo lugar (cerdos), alcanzando valores de hasta 5.0 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (Imagen 1) y siendo de manera individual, el que contribuye con el 62% de las emisiones pecuarias (FAO, 2017)

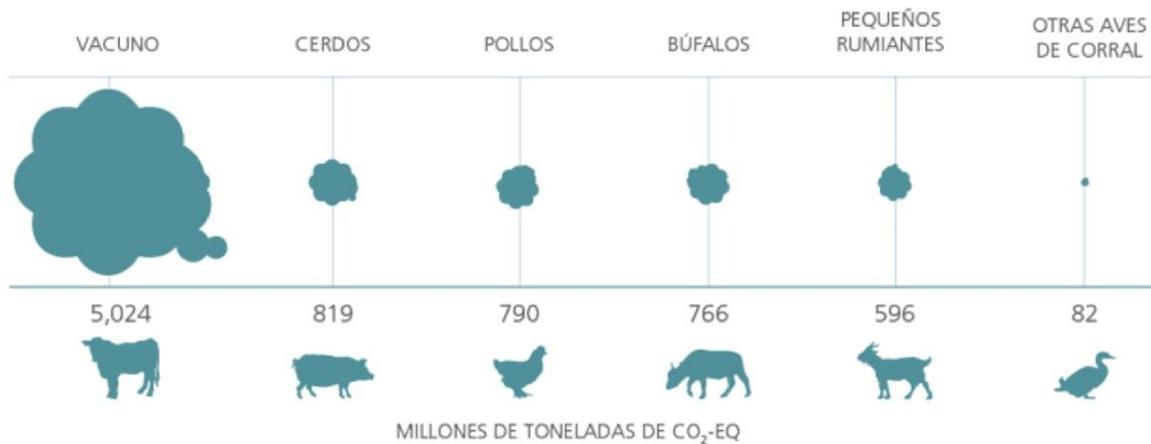


Imagen 1. Emisiones de CO<sub>2</sub> Equivalente. Tomada de FAO, 2017.

A continuación, se describirán de manera puntual las distintas formas de generación de GEI, en relación con las fases de la producción pecuaria bovina.

El ganado bovino en la liberación de carbono. Cuando se habla de emisiones de carbono por parte del ganado, a menudo se hace referencia a la liberación directa debida al proceso respiratorio del animal, por consiguiente es común que las emisiones anuales de este gas en relación al sector sean consideradas cero, sin embargo, la mayor parte proviene de fuentes indirectas, entre las que destacan las emisiones generadas en las distintas fases de producción

de piensos, la degradación y cambios en el uso de la tierra para la producción de pastos y cultivos forrajeros, la liberación de metano procedente de la descomposición de fertilizantes y del estiércol, así como el uso de combustibles fósiles en la producción y transporte de productos animales. Entre las fuentes de emisión de dióxido carbono procedentes de la producción de alimento para el ganado destacan las siguientes:

- **Uso de combustibles fósiles en la fabricación de fertilizantes:** De manera natural la forma en la que el nitrógeno puede ser fijado para posteriormente ser utilizada por plantas y animales es limitado, puesto que sólo procesos como los relámpagos o la fijación a través de rizobios pueden hacerlo, contribuyendo en conjunto, a la mitad del aporte total de nitrógeno de la agricultura mundial, proviniendo el resto del establecimiento del proceso Haber-Bosch, el cual fue capaz de vislumbrar soluciones a la producción de alimentos. Sin embargo, la creación de fertilizantes por este proceso consume aproximadamente el 1% del suministro total de energía anual mundial (Smith, 2002).

Concretamente en lo que respecta a la contribución que tiene la fabricación de fertilizantes en las emisiones de carbono, aquellos utilizados para la producción de alimentos para consumo animal forman una parte importante, concretamente en zonas tropicales el maíz para la alimentación animal equivale al 40% del uso de este cultivo y mundialmente a más de la mitad de la producción total (Paliwal, 2001), siendo este cultivo el mayormente responsable del uso de fertilizantes en escala global de los 18 cultivos analizados en 66 países estimado en el informe de Bruinsma (2003), donde además se describen otros cultivos aprovechados para la alimentación animal, que

contribuyen al uso de fertilizantes, tales como la cebada, el sorgo, la soya, la colza y el girasol.

En particular, nuestro país se encuentra entre las principales naciones que utilizan los fertilizantes químicos para sus piensos, empleando 263,000 toneladas al año y contribuyendo de manera importante a la estimación global anual de 41 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente que se producen en esta fase inicial de la cadena alimentaria animal, dada por el uso de combustibles fósiles para la creación de fertilizantes (Bruinsma, 2003).

- **Combustible fósil empleado en las unidades de producción:** La producción bovina en el mundo a lo largo de los años ha tenido panoramas muy variados, puesto que cada región tiene sus características específicas, que le confieren distintas necesidades de insumos, por tanto, es de esperar que el efecto que tengan en el medio ambiente sea distinto de un tipo de producción a otra. No obstante, la globalización ha hecho posible que los sistemas de producción puedan hacer uso de recursos externos a su alcance, para poder lograr los rendimientos esperados en muchos aspectos, es así que la mayor parte de las producciones intensivas requieren una gran cantidad de insumos externos, que invariablemente han requerido el uso de combustibles fósiles. Es así que, la mayor parte de energía que se emplea en la industria pecuaria bovina, viene de la producción de piensos, ya sea en forrajes o alimentos concentrados, en ese mismo sentido vale la pena contabilizar aquella energía utilizada en la producción de semillas, herbicidas y plaguicidas, así como el consumo de diésel para la maquinaria agrícola utilizada y la electricidad para bombas de irrigación, secado, calefacción, etc.

En resumen, las emisiones para este apartado se elevan hasta los 90 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año, un 50% más altas que aquellas generadas por la elaboración de fertilizantes nitrogenados en el apartado anterior (Sainz, 2003)

- **Cambios en el uso de la tierra:** El suelo es considerado un recurso finito, puesto que una vez perdido, sus características de formación (1000 años para formar 2-3 cm de suelo) hacen que la recuperación natural no sea posible a una escala humana. Aunado a esto, se estima que cada cinco segundos se erosiona una superficie de suelo equivalente a un campo de fútbol (FAO, 2019). Con respecto al cambio en el uso de la tierra, se estima que la deforestación avanza a un ritmo alarmante, la cual tiene un impacto directo en el flujo del carbono, esto se explica en que un bosque contiene más carbono en su conjunto de estructuras bióticas, que las que tiene un pastizal, por lo tanto, cuando un bosque es talado o quemado, se libera ese carbono que estaba contenido en la vegetación y suelo hacia la atmósfera, sin embargo, no es acertado contabilizar totalmente esta pérdida de carbono como flujo neto de CO<sub>2</sub>, puesto que intervienen otros factores a tener en cuenta, entre los que destacan la tasa de tala con destronque anual, las cantidades de carbono que son diferentes en múltiples ecosistemas, el uso posterior que se le da a las tierras taladas, si el bosque se degradó por quema o por descomposición, las cuales, a su vez, provocan que la contabilización de pérdida de carbono en el caso de la quema, sea en un período inferior a un año, mientras que la contabilización en la descomposición puede alargarse hasta siglos, en otras palabras las características que conlleva este apartado en particular, lo convierte en el más difícil en cuanto a contabilización de emisiones de CO<sub>2</sub>. A pesar de lo

anterior, en el informe de la FAO (2006), se estima que las emisiones de la deforestación pertenecientes a la ganadería bovina, ascienden a 2,400 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, donde se considera de manera simplificada que se convierten en su totalidad en pastizales y tierras de cultivo climáticamente similares, pero tomando en cuenta que el cambio se produce en un año. Estas estimaciones cobran especial importancia en nuestra región, pues América Latina es la zona del continente que tiene las mayores tasas de deforestación del planeta y de la misma forma representa la región con la mayor pérdida neta de bosques por la expansión de pastizales y el establecimiento de tierras para la producción de alimento para el ganado, sin embargo, la situación mundial no es distinta pues la mayor parte del área talada de bosques en el planeta se destina a la ganadería, de la cual la que es de tipo extensiva, es la principal responsable (Wassenaar et al., 2007).

- **Suelos destinados a cultivos asociados al ganado:** El carbono almacenado en el suelo juega un papel trascendental como reservorio de carbono cuando se encuentra en la fase terrestre de su ciclo, siendo así el equilibrio entre las entradas por material vegetal muerto y las pérdidas en procesos como la mineralización. Por tanto, es de esperar que cambios muy reducidos en el suelo, generen un desbalance global de este elemento (Rice, 1999). Es así que las mayores pérdidas en esta fase ocurren cuando la cubierta natural se convierte en tierras destinadas a la producción, de modo que las emisiones en este apartado ascienden hasta los 28 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año (FAO, 2006).

- **La desertificación de pastizales causada por la acción del ganado:** La desertificación está catalogada como una forma de degradación de las tierras, la cual puede darse en todos los sistemas de producción y todos los climas, esta, es el resultado de factores como el incremento del área con la superficie de suelo desnuda, la disminución de la cubierta de especies herbáceas y el aumento de la cubierta de arbustos leñosos. Como se describió anteriormente, un cambio en la cubierta vegetal produce una disminución en las reservas de carbono presentes, generando consecuentemente también, una disminución del carbono en el suelo. La contribución del ganado en este aspecto se estima tomando en cuenta que las dos terceras partes de la superficie total de las tierras secas del planeta están ocupadas por este sector, por consiguiente, las estimaciones para este rubro, ascienden hasta las 100 millones toneladas de CO<sub>2</sub> anuales (Lal, 2002).
- **La respiración del ganado:** Mencionado anteriormente, es frecuente que este rubro no sea contabilizado en las contribuciones de CO<sub>2</sub> anuales en instrumentos como el protocolo de Kioto, sin embargo, las aportaciones del proceso respiratorio de las poblaciones de ganado, se estiman en 3,000 millones de toneladas, siendo así más de la mitad de las emisiones totales de carbono causadas por la respiración de todos los organismos (Muller & Schneider, 1985), a pesar de esto, se considera que las cantidades absorbidas y emitidas se mantienen equivalentes, puesto que además, parte del carbono consumido en las plantas por estas especies, se queda retenida en los tejidos de los animales en crecimiento, por lo que no se consideran las emisiones de

CO<sub>2</sub> (FAO, 2006), no obstante, el metano forma parte de otras contribuciones al carbono emitido, que no se toman en cuenta aquí.

- **Emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la elaboración de productos pecuarios y del transporte refrigerado:** Es de consideración, tomar en cuenta todos los pasos de una cadena productiva, cuando de analizar su impacto en el medio ambiente se trata, ello nos permite identificar aquellas áreas que colaboran en mayor o menor medida a tal impacto, y nos hacen centrar la atención en esas que, al hacer ciertos cambios, nos dan la máxima eficiencia posible.
- **Emisiones provenientes de la elaboración de productos pecuarios bovinos:** Este apartado a comparación de los anteriores tiene un aporte escaso en cuanto a CO<sub>2</sub>, sin embargo, es pertinente remarcar que de la energía total utilizada para la producción de alimentos, el sector lechero se encuentra en segundo lugar como responsable de estas emisiones, así mismo, quien se encuentra en primer lugar es la elaboración de soja, por lo que si se analiza que la soja es principalmente utilizada para la alimentación animal ocupando dos terceras partes de la producción de esta, la mayor parte de emisiones son atribuibles al sector pecuario (Hoekstra & Chapagain, 2006). En ese sentido, aunque países como Estados Unidos han hecho estimaciones para cada uno de los productos pecuarios y sus materias primas, esto no es posible homologar a un nivel mundial en su totalidad, puesto que las diferencias en las cadenas productivas alrededor del mundo son distintas en muchos aspectos, en definitiva, es necesaria más investigación y contribución de cada país, para registrar la energía utilizada en este rubro, No obstante en el informe hecho por la FAO (2006), se estima que las

emisiones asociadas a la elaboración de productos pecuarios bovinos es de unas decenas de millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

- **Emisiones provenientes del transporte de productos pecuarios:** Este último paso de la cadena productiva involucra dos tipos de transporte, tanto aquel que lleva el alimento a los lugares de cría, así como la entrega de los productos pecuarios ya procesados a los minoristas y a los consumidores finales. Pongamos por caso el trabajo de Cederberg & Flysjö (2004) donde analizaron el costo energético que conlleva transportar la soya de Mato Grosso, Brasil, hasta Suecia, encontrando que, de la energía requerida, el 70 por ciento resulta del transporte a través del mar. De forma similar, aplicando los resultados anteriormente mencionados a las demás materias primas que se mandan a Europa para el mismo fin, las estimaciones son de 32 mil toneladas de CO<sub>2</sub>, y 150,000 toneladas de CO<sub>2</sub> para el comercio de carne de bovino, sin embargo, esto sólo representa el 60% del comercio mundial de esta carne, la parte restante, tiene otros medios de transporte que aún no han sido analizados para poder dar una estimación certera.
- **Emisiones de metano procedentes de la cría del ganado:** El metano a nivel mundial es considerado el segundo gas emitido más importante en cuanto a su capacidad para contribuir con el efecto invernadero, de igual importancia, sus concentraciones se han ido incrementando en un 16% desde 1985, sin embargo, en lo que respecta al corto plazo, reducir las emisiones de este gas, resultará en los mayores beneficios en comparación con otros gases. Concretamente la fermentación entérica conforma el 76% y el estiércol el 24% de las emisiones que respectan a la ganadería bovina, de las

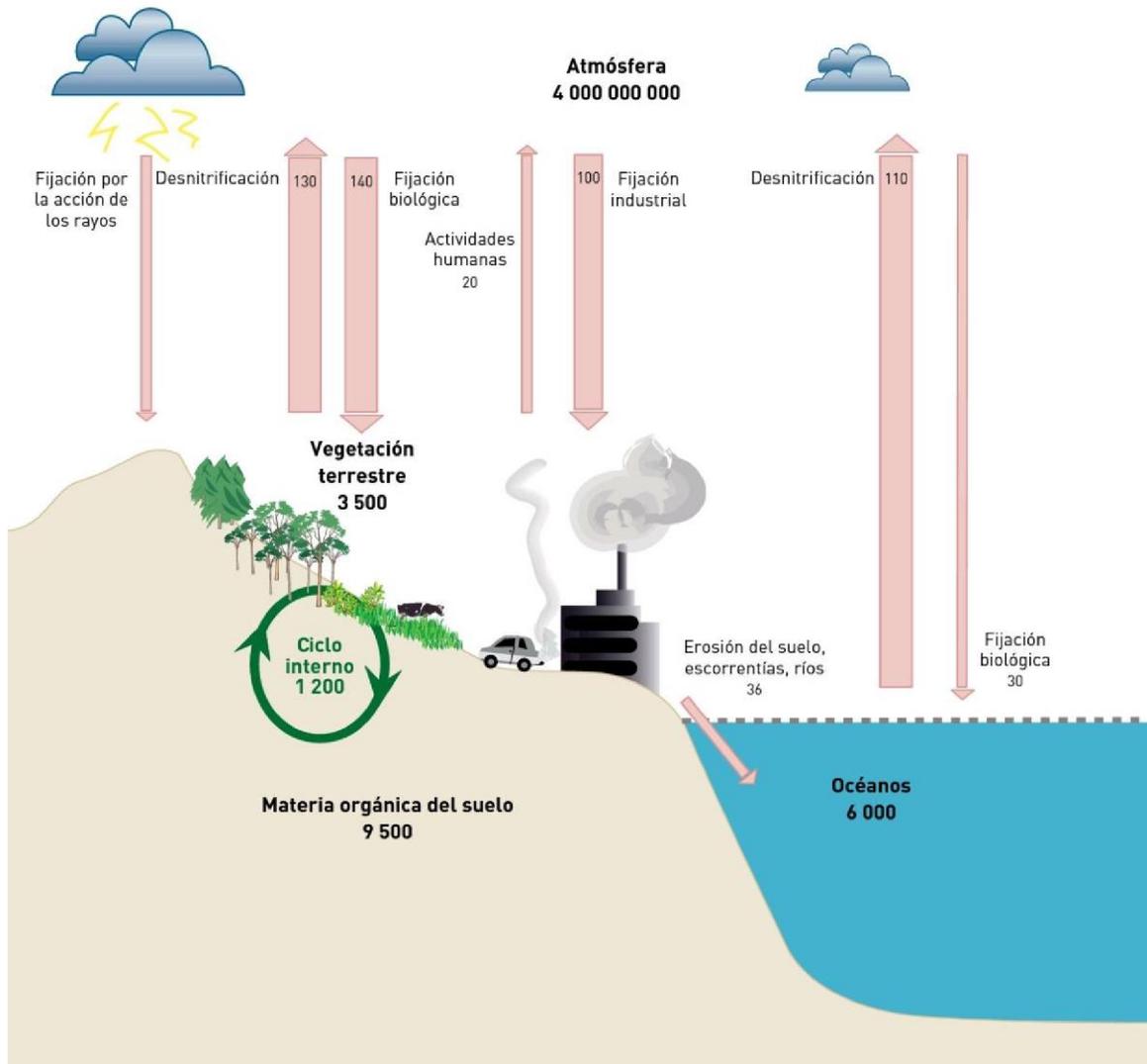
cuales en conjunto representan del 80% de los estimaciones del metano producido por la agricultura, dando como resultado que el 40% de las emisiones antropogénicas sean de este sector (Vechi et al., 2022).

- **Fermentación entérica:** Los rumiantes conforman un grupo dentro de los animales domésticos con características particulares, dentro de estas, su proceso digestivo los dota de la capacidad para poder transformar los forrajes groseros, en productos pecuarios como carne o leche, entre otros, este proceso digestivo tiene como desventaja, en comparación con otras especies como los monogástricos, el crear grandes cantidades de metano como subproducto de la fermentación microbiana llevada a cabo en uno de sus pre estómagos, el cual una vez creado, es expulsado por los procesos del animal. Cabe destacar que esta generación de metano depende de factores como el sistema de producción, las características regionales, la ingesta de energía, la cantidad y calidad del pienso, el peso vivo del animal, la edad, la cantidad de ejercicio y el fin zootécnico, entre otras (Tongwane & Moeletsi, 2021). Por lo que podemos observar en países como Brasil que esta fermentación entérica conforma el 93 por ciento de las emisiones de la agricultura mientras que en Estados Unidos es del 71 por ciento. Globalmente las estimaciones para este apartado ascienden a los 86 millones de toneladas de CH<sub>4</sub> (FAO, 2006).
- **Estiércol de los animales:** Aunque este aspecto está más asociado a la producción porcina, ya que el tratamiento que se les da a las excretas de dicha especie suele manejarse en lagunas o estanques con cielo abierto. Sin embargo, se dan casos dentro de la producción bovina donde suelen utilizar dichas prácticas; tal es el caso de los

sistemas de producción intensiva lechera en los Estados Unidos de América o Brasil, y de la misma forma, esta contribución de metano depende de factores relacionados al ambiente y la dieta (Costa, 2004). De esa manera, centrándonos únicamente en el ganado de carne, leche y doble propósito, las emisiones de metano por año combinadas, correspondiente al estiércol de los animales, es de 7.49 millones de toneladas, las cuales, a pesar de representar el segundo lugar, suman parte importante al total de especies, siendo este último de 18 millones de toneladas de CH<sub>4</sub> (IPPC, 2000).

El ganado en las emisiones de nitrógeno. El nitrógeno cumple un papel muy importante para la vida, puesto que la productividad y dinámica de muchos ecosistemas marinos, terrestres y forestales, así como la agricultura, están supeditados por la disponibilidad biológica de obtener nitrógeno, puesto que al incrementar la cantidad de nitrógeno disponible se incrementa la productividad y la acumulación de biomasa sustancialmente, al menos, en el corto plazo. Por lo que, al cambiar los niveles de este elemento, también se afectan otros ciclos como el del carbono haciendo que suban los niveles de dióxido de carbono y consecuentemente haciendo que la atmósfera y los ecosistemas respondan. Desafortunadamente, debido a procesos como la combustión de combustibles fósiles, la producción de fertilizantes nitrogenados y el cultivo de legumbres fijadoras de nitrógeno, es que los humanos estamos alterando el ciclo natural del nitrógeno (Galloway et al., 2004). Este ciclo tiene grandes reservas fósiles terrestres y acuáticas, teniendo, además, la forma atmosférica biatómica (N<sub>2</sub>), representando el 78% de la composición de la atmósfera y siendo la única reserva estable, sin embargo, la mayor parte de esta reserva no está disponible para

su disposición por parte de los organismos en condiciones naturales, sino que pueden obtenerlo gracias a que también se encuentra en los tejidos, y al comer organismos vivos o



mueritos, que se pueden obtener este elemento.

Imagen 2. Ciclo del nitrógeno. Tomada de FAO, 2006.

No obstante, en la base del ciclo del nitrógeno (Imagen 2) se encuentran organismos que pueden asimilar este nitrógeno atmosférico y es así que se generan las reservas en la materia orgánica y en los recursos acuáticos, estos organismos llamados bacterias fijadoras de

nitrógeno en el ecosistema terrestre, colonizan las raíces de las plantas leguminosas y pueden transformarlo en formas diversas para ser utilizado por plantas. Por el contrario, también dentro del ciclo escolar se encuentran las bacterias desnitrificadoras, las cuales devuelven este N a la atmósfera, produciendo además el óxido nitroso, un gas de efecto invernadero (Vitousek et al., 1997).

Pero, a diferencia de este proceso natural, son las actividades humanas las que afectan de manera negativa la atmósfera puesto que, es en estas actividades donde ocurre la formación de nitrógeno reactivo, el cual, además de ser un gas de efecto invernadero, un contaminante atmosférico y contribuir al agotamiento de la capa de ozono, permanece en la atmósfera hasta 150 años, dando a cuenta que desde el comienzo de la era industrial, la concentración de óxido nitroso se ha incrementado en un 16 por ciento al que había en el año 1750. De igual importancia resulta reconocer que de todas las emisiones antropogénicas de este gas, siendo, además, el más potente de los anteriormente mencionados en contribuir al efecto invernadero, el sector pecuario es responsable del 65% de las emisiones antropogénicas globales (IPPC, 2001). A continuación, se describirán las formas en las que el ser humano afecta este importante ciclo, y libera al ambiente el nitrógeno, todo ello con relación al sector pecuario bovino.

- **Emisiones de nitrógeno asociadas a la Fertilización:** Uno de los procesos inevitables en la fertilización con compuestos nitrogenados, es la volatilización del nitrógeno en forma de amoníaco, sin embargo, la magnitud de estas pérdidas varía entre otras cosas, en el tipo de fertilizantes empleados, las temperaturas altas y la

eficiencia en la aplicación, es tal que las pérdidas globales ascienden a 11 millones de toneladas al año de Nitrógeno. Particularmente, en los países en desarrollo es donde se generan las mayores pérdidas puesto que es aquí donde se utiliza frecuentemente formas de nitrógeno como la urea y el bicarbonato amónico, siendo compuestos altamente volátiles. Concretamente el sector pecuario contribuye de manera importante, puesto que una cantidad considerable de los cultivos mundiales se destina a alimentar al ganado, y utilizan fertilizantes tanto para la producción de piensos como para los pastizales, dando como suma, una cantidad de 3.1 millones de toneladas de nitrógeno volatilizado en forma de amoniaco para el sector pecuario (FAO, 2006).

En otro sentido, resulta pertinente contabilizar las emisiones de óxido nitroso ( $N_2O$ ) proveniente de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, las cuales a su vez dependen del modo y el momento de aplicación, dando como resultado una tasa de pérdida del 1 por ciento de nitrógeno en forma de óxido nitroso ( $N_2O$ ), es así que en el caso de la producción pecuaria la aplicación de fertilizantes da una emisión global de 0.2 millones de toneladas, igualmente, también se contabilizan las emisiones provenientes del cultivo de leguminosas para el sector pecuario, puesto que aunque fijan el nitrógeno de forma natural, es una emisión antropogénicas, esta asciende a 0.5 millones de toneladas que en conjunto con las emisiones por fertilizantes nitrogenados dan la cifra de 0.7 millones de toneladas de  $N_2O$  (FAO/IFA, 2001).

Finalmente, parte importante de estas emisiones no se incorporan al tejido de las plantas cosechadas, si no que entran en la cascada de N a través del agua, sufriendo

un proceso de desnitrificación gradual, dando como resultado la cifra de 0.2 millones de toneladas de N en forma de  $N_2O$  (FAO, 2006)

- **Desperdicio de nitrógeno en la cadena de producción del ganado:** Como ya se mencionó anteriormente, el nitrógeno en los animales entra a través de los tejidos de las plantas que consumen, es por ello que la manera en la que asimilan este nitrógeno y lo integran en sus propios tejidos es importante para contabilizar la eficiencia de asimilación de nitrógeno. El ganado de carne en comparación con el ganado de leche, así como la acuicultura de peces herbívoros, huevos, pollo e incluso el puerco, es el menos eficiente para asimilar el nitrógeno en los alimentos, ello puede atribuirse a el tamaño, los largos periodos de gestación y lactación, así como su enorme tasa metabólica basal, por consiguiente, la eficiencia de conversión de proteínas en el ganado de carne es de un 5%, haciendo que gran parte del nitrógeno vuelva de nuevo al ambiente en forma de excretas y orina (Smil, 2002). Sin embargo, a diferencia de otros animales, las excretas de los rumiantes muchas veces se utilizan como fertilizante orgánico, haciendo que estas pérdidas sean menores, aunado a esto, muchos rumiantes se alimentan de cultivos o residuos que otras especies no, disminuyendo el uso de fertilizantes y así, su consumo de nitrógeno y contribución, esto último no es así para el ganado de carne, que en gran parte de producciones intensivas son alimentados con concentrados, evitando esta compensación, es por ello que para poder contabilizar las emisiones de estos desechos animales tiene mucho que ver la forma en la que se manejan posterior a su excreta (Smil, 2002), en resumen,

la FAO (2006) identifica las fases del proceso de tratamiento del estiércol, abordando también las emisiones estimadas de cada paso:

- Almacenamiento: 0.7 millones de toneladas de N al año
- Deposición o aplicación: Los cuales se refieren al procedo de liberación de N una vez que son puestos sobre la tierra ya sea por métodos mecánicos o por los animales, dan la cifra en conjunto de 1.7 millones de toneladas de N anuales.
- Después de su deposición o aplicación: 1.3 millones de toneladas anuales de N.

Cabe aclarar que estas cifras están dadas para todas las especies pecuarias, no obstante, específicamente para la especie bovina, las emisiones que le corresponden al ganado de leche son de 0.41 millones de toneladas de N al año, mientras que para el ganado de carne y/o mixto las cifras ascienden a 1.6 millones de toneladas, representando en conjunto más de la mitad de las emisiones en este apartado.

#### **5.4 El papel del ganado en la contaminación y agotamiento del agua**

En diversas partes del mundo y en especial en países desarrollados, la irrigación de los cultivos es esencial en la agricultura, al punto de ser dependientes en gran medida de ella. Es por ello que la agricultura es el mayor usuario del agua en todas las regiones del planeta de todas las actividades humanas, a excepción de Europa y Norteamérica, siendo que a nivel mundial la agricultura da cuenta del 70% del uso mundial del agua, contrastando con el 10% que se utiliza para uso doméstico y el 20% para la industria. Por otra parte, cuando hablamos de agotamiento se refiere a esta agua que se retira de los flujos netos imposibilitando su

retorno y a agua evaporada, siendo la agricultura de irrigación el mayor contribuidor, dando a cuenta el 93% del agotamiento total mundial, contrastando con el 3% de agotamiento por el sector doméstico y el 4% de la industria (Turner et al., 2004).

Es por lo anterior que resulta preciso remarcar la manera en que la ganadería usa el agua en sus diversos procesos, por lo anterior podemos iniciar comentando el agua destinada para el consumo que según datos del NRC (1981), para una vaca de raza grande a mitad de lactancia que produce en promedio 35 litros de leche al día las necesidades de agua potable son de en promedio 114,8 litros por animal al día, números que dependen de factores como la condición fisiológica del animal, el nivel de ingestión de materia seca, la forma física de la dieta, la disponibilidad y calidad del agua, la temperatura del agua, la temperatura ambiental y el sistema de producción. Por otra parte, los servicios en los que se utiliza el agua que requiere la industria pecuaria incluyen limpieza de unidades de producción, lavado de animales, instalaciones de enfriamiento de los animales y sus productos y eliminación de desechos, por ende, los requerimientos para una vaca lechera de 3 a 10 años en un sistema industrial son de 22 litros por animal por día, mientras que un bovino productor de carne utiliza 11 (Chapagain & Hoekstra, 2003).

Como se ha comentado en secciones anteriores, la ganadería al ser el principal usuario de tierra de las actividades antropogénicas también lo es del agua, siendo así que la mayor parte de esta, se utiliza para la producción de piensos, teniendo una contabilidad de hasta 45% del presupuesto global de agua para la producción mundial de alimentos. (Zimmer & Renault, 2003)

Por otra parte el agotamiento del agua mundial, de la que el sector agrícola es responsable del 93%, podemos contabilizar el agua que se agota por la evotranspiración, mientras que aquella que se agota por contaminación. Al respecto, Menzi (2001) se refiere a la Eutrofización como un proceso por el cual la calidad del agua se deteriora, y aunque puede ser un proceso natural de envejecimiento de cuerpos lacustres independientes de la actividad humana, es con las actividades diarias de la sociedad que este proceso puede acelerarse. Siendo en mayor medida el nitrógeno y el fósforo los principales compuestos que ocasionan este efecto. De este modo, cuando los excrementos animales o las aguas desechadas de las unidades de producción alcanzan lagos o lagunas, ocasionan un desequilibrio al multiplicarse la materia vegetal, provocando también una disminución del oxígeno disuelto, contribuyendo, además, a la pérdida de la biodiversidad. En el mismo sentido, otra manera en la que contribuye la ganadería a la eutrofización es en aquellos sistemas de producción que utilizan los fertilizantes en sus prácticas agrícolas y cuando se utilizan combustibles fósiles que al ser liberados a la atmósfera regresan al suelo y agua a través de las lluvias. (García-Miranda et al., 2004). Como mencionan Mainstone y Parr (2002), el fósforo, es usualmente el factor limitante para el desarrollo de algas verdeazuladas, que son capaces de utilizar el N<sub>2</sub> atmosférico. De esta forma, el manejo del fósforo mediante el aumento de la eficiencia de uso en operaciones ganaderas y agrícolas intensamente concentradas es un componente para considerar como una estrategia clave en la limitación de la eutrofización de las aguas superficiales proveniente de fuentes agrícolas. La manera de agotamiento del agua se puede definir de la siguiente manera:

- **Lixiviación de nitratos:** Este mecanismo tiene lugar cuando se producen pérdidas de nitrógeno en el agua, ya que el nitrógeno depositado en el suelo posee una gran movilidad para llegar al agua subterránea y entrar al flujo, de modo que al acumularse a niveles elevados en los recursos hídricos es que puede ocasionar peligros para la salud humana y animal como la metahemoglobinemia, abortos y cáncer de estómago (Velazco et al., 2009)
- **Transferencias de organismos patógenos:** Se da cuando microorganismos zoonóticos y parásitos multicelulares de relevancia para la salud llegan a las aguas o alimentos que serán para consumo humano o animal. Dentro de estos patógenos con relevancia para la salud humana y veterinaria se encuentran: *Campylobacter* spp., *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Clostridium botulinum*, Enfermedades virales, Enfermedades parasitarias del ganado, *Giardia duodenalis*, *Cryptosporidium parvum*, *Microsporidia* spp., *Fasciola* spp., *Toxoplasma gondii*, *Balantidium coli*, *Entamoeba histolytica*, *Cyclospora cayetanensis*, *Yersinia* spp., *Listeria monocytogenes*, *Brucella* spp., *Leptospiralis interrogans* (Atwill, 1995).
- **Residuos de medicamentos:** Desde la invención de la penicilina por Alexander Fleming, una nueva era para la humanidad surgió, así, enfermedades que eran mortales, pudieron combatirse hasta el punto de ser erradicadas. Desde entonces, el uso de los antibióticos se ha expandido a otras áreas de interés humano como la producción pecuaria, donde tomó un papel fundamental para disminuir tasas de mortalidad combatiendo enfermedades que aquejan a los animales de granja, aunado a esto, el ser humano descubrió que además podrían usarse para prevenirlas, e incluso

funcionaban como promotores del crecimiento. Fue tal el crecimiento del uso en este rubro que hoy en día el 80% de los antibióticos son aplicados en la producción pecuaria, y menos del 20% en humanos (Ahmed, 2013), además, se estima que para el año 2030 México sea uno de los 5 países con mayor consumo de antibióticos en animales (Van Boeckel et al., 2015). Esto genera un panorama de incertidumbre para la salud mundial puesto que, al usarse de manera indiscriminada, ocasiona que bacterias que antes eran susceptibles a estos fármacos, hoy tengan modificaciones genéticas que les permitan generar mecanismos de resistencia, y así, mediante el contacto directo de animales con los manejadores de granja, la irrigación agrícola con agua contaminada, consumo de animales o productos fertilizados con heces, tanto humanos como animales, pueden llegar a adquirir bacterias resistentes a antibióticos (Pérez-Morales, 2018).

## **5.5 Alternativas de mitigación.**

La Mitigación es la intervención humana por la cual se pretende reducir o detener la degradación ambiental que se encuentra en curso, esta se realiza cuando el daño se haya iniciado, a su vez, de comenzar con el mejoramiento de los recursos y sus funciones (FAO, 2019).

### **5.5.1 Exclusión de pastoreo.**

Esta práctica es una de las más utilizadas en el mundo, así como en México para rehabilitar el agostadero excluyendo al ganado de la zona afectada, los resultados que se pueden obtener son diversos y dependen de factores muy particulares como el clima o la precipitación. En el

caso de México en la zona del Noreste se demostró que la exclusión de pastoreo en 10 años mejora considerablemente la estructura del suelo disminuyendo su densidad, esto a su vez se relaciona con un incremento de la tasa de infiltración e incrementa la producción y composición botánica de gramíneas. (Segura-Carmona, 2017). Otro estudio en Brasil mostró que ésta practica puede aumentar la calidad de las capacidades metabólicas de las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas, mostrando un bajo contenido de saturación de aluminio, altos valores de actividad de la B-glucosidasa y arylsulfatasa, además de tener diferencias significativas en las comunidades bacterianas cuando se compara con practicas inadecuadas como el sobrepastoreo (de Freitas Nunes Oliveira et al., 2021).

Resulta importante mencionar que cuando se hace exclusión de pastoreo por un tiempo medio (5 a 15 años) se ha observado que ocurre un mayor decremento del pH en las tierras, trayendo consecuencias negativas, sin embargo, estas consecuencias son mucho menores cuando el tiempo de exclusión de ganado supera los 15 años.

### **5.5.2 Bioremediación**

Como se describió anteriormente, el acumulamiento de pesticidas en el medio ambiente, es un problema que afecta la salud de personas, animales y medio ambiente, por lo que resulta de vital importancia la búsqueda de tecnologías que permitan degradar de manera segura esos compuestos, desafortunadamente, los enfoques tradicionales consistían en prácticas como cavar el suelo contaminado y removerlo a otro lado o taparlo, sin embargo el hecho de moverlo a otro lado solo estaría cambiando la contaminación de lugar además de traer riesgos en el proceso de excavación y manejo de estos compuestos. Un mejor enfoque es destruir esos contaminantes de manera definitiva o al menos convertirlos en sustancias que no

representen un daño al ambiente, algunas de estas soluciones incluyen la incineración a altas temperaturas, la oxidación ultravioleta o la declorinación, no obstante, estas prácticas traen inconvenientes inherentes a su uso, pues además de ser tecnológicamente complejas, son costosas y no gozan de una buena reputación en la población general. La biorremediación llega como una opción que ofrece la posibilidad de destruir o reducir de manera significativa los contaminantes usando la actividad biológica natural, por el contrario, su uso conlleva un bajo costo, técnicas de relativa baja tecnología, y tiene una mejor aceptación de la población general, por otra parte, el rango de contaminantes en el que es efectivo es limitado, el tiempo para que se lleve a cabo es largo, además de que no siempre los niveles residuales del contaminante en cuestión, resultan apropiados. La biorremediación es definida como el uso de organismos (bacterias, hongos o plantas) para degradar los contaminantes ambientales en formas menos tóxicas, a pesar de sus bondades la biorremediación tiene sus limitaciones, pues contaminantes como los clorados orgánicos o hidrocarburos de alto contenido aromático son resistentes al ataque de estos bioagentes. Los contaminantes que son potencialmente viables para la biorremediación que se relacionan con la industria pecuaria son los pesticidas como: Atrazine, Carbaryl, Carbofuranos, Comafos, Diazinon, Glifosato, Parathion, Propham, 2,4-D (Vidali, 2001).

Trabajos como los de Marín L y Jaramillo C (2015) muestran que microorganismos nativos tienen una gran capacidad para degradar este tipo de compuestos, en su caso particular la presencia de clorpirifos en concentraciones elevadas, no fue un impedimento para la degradación de este organofosforado por parte de *Bacillus* sp, y *Pantoea agglomerans*,

ayudando así a restaurar suelos contaminados con estos peligrosos compuestos para la salud de los ecosistemas y los seres vivos.

### **5.5.3 Aplicación de estiércol como medida para combatir la salinización**

El estrés salino es uno de los factores más limitantes para el crecimiento y producción de los cultivos y una de las medidas tradicionales utilizadas para mejorar estos suelos es la aplicación de estiércol, esta, es capaz de incrementar la retención de agua e infiltración, además de disminuir la densidad aparente del suelo, mejorar los espacios de los poros del suelo, el crecimiento de raíces y la actividad microbiana. De igual forma esta medida puede acelerar la lixiviación de sodio del suelo superficial, disminuir el porcentaje de sodio intercambiable y la salinidad del suelo (Meng et al., 2019).

### **5.5.4. Alternativas de mitigación del impacto ambiental en la atmósfera**

Ya se atendieron las formas en las que el sector pecuario bovino contribuye a la contaminación atmosférica y al cambio climático, sin embargo, resulta de igual importancia identificar las acciones a tomar para poder disminuir este impacto, así como también identificar que muchas de las que se hablaran corresponden a cuestiones de legislación por parte de las instituciones gubernamentales. Aunado a esto, siempre que se habla de políticas relacionadas al tema ambiental hay que tener en cuenta en un mismo sentido de importancia 3 esferas de atención, antes de tomar una decisión, la primera de ellas es el propio aspecto ambiental, el que se espera tenga un beneficio para el medio ambiente y la vida que alberga, por otro lado, se ubica el aspecto económico, el cual permite la propia realización y la duración a través del tiempo de dicho proyecto, debido a que proporciona a las personas un medio de subsistencia y un crecimiento económico, por último el factor social, dado que una

estrategia que antepone el crecimiento económico y que no conlleva una mejora a las condiciones de vida de las comunidades que lo integran, es una estrategia que no tiene un enfoque de Sostenibilidad (Gobierno de México, 2020). Esto resulta un verdadero reto en regiones en vías de desarrollo como la nuestra, ya que los niveles más altos de emisiones, provienen de los sistemas extensivos, altamente frecuentes en estos contextos, haciendo que las inversiones para realizar cambios no sean posibles. Aún así, aunque los países en desarrollo sólo producen el 36 por ciento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, producen también más de la mitad de las emisiones de óxido nitroso y cerca de las dos terceras partes del metano.

#### **5.5.5 Intensificación de la agricultura**

Como se mostró en la sección correspondiente, las emisiones provenientes de los cambios en el uso de la tierra para la ganadería son por mucho, los de las mayores dimensiones, arrojando a la atmósfera hasta 2400 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Esto es claro en Brasil, donde la deforestación de las amazonas, da cuenta de 200 a 300 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> liberadas anualmente, superando hasta por dos o tres veces los 95.1 millones de toneladas liberadas por el sector energético de ese país. En consecuencia, es común que las políticas respecto a este impacto se basen en la reducción de la utilización de tierra para el ganado, siguiendo el ritmo de disminuir, detener y finalmente revertir la deforestación por medio de estrategias como reforestación planificada. Esto como ya se mencionó en la introducción de la sección, siempre tomando en cuenta el aspecto social y económico, por ende, es necesario crear alternativas económicas que ayuden a la población que anteriormente se veía

beneficiada de esta actividad, haciendo que la seguridad alimentaria no se vea afectada (Carvalho et al., 2004).

En ese mismo sentido de utilizar la menor cantidad de tierra posible, para evitar que la expansión de la ganadería tome cubierta forestal, se encuentra la propuesta descrita por Vlek et al. (2004) donde consideran que una alternativa para liberar una gran cantidad de tierra tomada por la ganadería, es la intensificación de la producción, esto incluye en un primer momento la implementación de fertilizantes artificiales, dado que encontraron que el impacto que generaría aumentar la cantidad de estos últimos, quedaría ampliamente superado por los beneficios que traería la retención de carbono que conlleva no deforestar, haciendo que las necesidades de alimento sean cubiertas por tierras que producen más, y el horizonte agropecuario no se extienda. Además, describen otras medidas para intensificar como son aumentar los rendimientos, un manejo mejorado de las tierras y el agua, utilizando además variedades mejor adaptadas a las condiciones locales.

#### **5.5.6 Restituir el carbono orgánico del suelo a los suelos cultivados**

Cuando se cultiva bajo prácticas convencionales, y se cambia el uso de suelo de un ecosistema natural en terrenos agrícolas, se produce una pérdida de carbono orgánico en el suelo de aproximadamente 20 al 50%, dependiendo de el ecosistema natural anterior, de modo que hay un gran potencial de retención neta de carbono en este rubro, es debido a esto, que se describen prácticas especializadas capaces de mejorar la calidad del suelo y aumentar los niveles de carbono orgánico, dando además, beneficios adicionales como aumentar la seguridad alimentaria y de compensar las emisiones de combustibles fósiles (Paustian et al., 1997).

Dentro de las prácticas recomendadas se describen tres clases, la primera de ellas tiene que ver con el punto anterior de intensificar la producción, sin embargo, a esta se le añaden prácticas como el regadío, el manejo tanto de la acidez del suelo, el manejo integrado de plagas, incluyendo además cultivos dobles intercalados, rotación de cultivos, abonos verdes y cultivos de cobertura. En segundo lugar, la labranza de conservación se describe como otra práctica recomendada para el incremento de carbono en el suelo, esta consiste en dejar un 30 por ciento o más de los residuos de la cosecha anterior para el nuevo ciclo de siembra, creando un incremento de los depósitos de carbono en el suelo proveniente de los tejidos vegetales. Esta práctica se recomienda trabajar en conjunto con la labranza mínima, aumentando consistentemente la retención de carbono en el suelo, que, a su vez, se relaciona con la tercera y última práctica que es la reducción de la erosión (FAO, 2016).

#### **5.5.7 Revertir pérdidas de carbono orgánico del suelo, procedentes de pastizales degradados.**

Para el año 1991 un 75.1% del total de pastizales, excluidos los desiertos superáridos, presentaban a lo menos, una moderada desertificación, lo que en números da una cifra de 3.97 mil millones de hectáreas afectadas, esta desertificación está entendida como la disminución o destrucción del potencial biológico de la tierra, el cual puede dotar a la superficie de condiciones para eventualmente convertirse en desiertos. La desertificación, además de afectar la seguridad alimentaria de los pobladores de la región, en números está estimada como una pérdida aproximada de 26 mil millones de dólares, por lo que es uno de los más serios problemas tanto ambientales, como socio-económicos del mundo (Dregne et

al., 1991). En tal sentido, puesto los pastizales ocupan la mayor superficie terrestre en cuanto al uso de la tierra, su ordenación con pastos mejorados para revertir sus pérdidas de carbono y obtener además una retención neta, resultarían en beneficios ambientales cuantiosos, por encima de cualquier otra práctica, obteniendo además un beneficios adicionales tales como conservación o recuperación de la biodiversidad, generando además, un impacto positivo en el aspecto social y económico de los habitantes de esas regiones. (IPPC, 2000b)

Teniendo en cuenta que el pastoreo excesivo es la principal causa de degradación de las tierras de pastoreo, es que hay un enorme potencial de acción en estas zonas, por esta razón es que se recomiendan prácticas que puedan aumentar los niveles de carbono, amén de evitar las pérdidas, en estas prácticas además de la ordenación de pastos mejorados anteriormente mencionada, se encuentran la optimización de carga animal y el pastoreo de rotación, la gestión de sobre incendios, la protección y retracción de la tierra, y el aumento de la producción. (IPPC, 2009b)

#### **5.5.8 Agro-silvicultura o Agroforestería**

Esta práctica está centrada en combinar y aplicar principios y técnicas forestales y agrícolas para crear un sistema de uso sostenible de la tierra, la cual está basada en la combinación de árboles y arbustos con cultivos y ganado, para obtener una gran cantidad de beneficios ecológicos, entre los que destacan su gran capacidad para retener carbono, una mejora en la calidad del agua y el hábitat de la vida silvestre, así como reducir la erosión del suelo, amén que permite al propietario cosechar los beneficios económicos de la ganadería y de los cultivos anuales, mientras espera los forestales (Marshall, 20200).

### **5.5.9 Mejoramiento de eficiencia a través de la dieta**

El metano formado en las especies rumiantes además de ser un peligro ambiental como ya se expuso en el apartado correspondiente, también es una demostración de cierta ineficiencia a la hora de aprovechar completamente la energía presente en el alimento, por lo que uno de los objetivos buscados es hacer que los animales consuman cada vez menos cantidad de alimento y provean a su vez más cantidad de productos pecuarios como carne y/o leche lo que también se traduce en una reducción de la producción de metano por unidad de producto (FAO, 2006), esto, ha quedado demostrado en países como Estados Unidos, donde EPA (2005) estimó que la mayor eficiencia de la producción pecuaria ha ocasionado un aumento de la producción lechera y generado una disminución de las emisiones de metano durante las últimas décadas, esta eficiencia incide además en otro de los beneficios ambientales, puesto que un país con ciertas necesidades de producción alimentaria, puede cubrirlas con menor cantidad de animales, disminuyendo su hato, pero generando mayores beneficios y productos.

Por lo anterior, resulta necesario identificar aquellas técnicas que permiten la reducción de las emisiones a razón de aumentar la productividad, teniendo en un primer momento al aumento de la digestibilidad como principio básico, llevada a cabo tanto por la modificación del alimento o manipulando el proceso digestivo

Modificación del alimento: Este manejo implica entre otras cosas el mejoramiento de las dietas, por medio de aditivos o de suplemento alimenticios, entre los que destacan la adición de grasa, el aumento de la alimentación con granos, almidones o Carbohidratos rápidamente

fermentables, haciendo que ocurra una disminución en el exceso de hidrogeno, y por consecuencia, la formación de metano.

- **Modificación del proceso digestivo:** En este apartado se pueden mencionar técnicas más avanzadas que, aunque aún no son operativas, han demostrado tener un impacto importante
- **Reducción de la producción e Hidrogeno mediante el estímulo de las bacterias acetogénicas:** Un método potencial de disminuir la formación de metano es desviar el metabolismo Hidrogeno y el dióxido de carbono a través de la acetogénesis en lugar de la metanogénesis. Esta acetogénesis puede ser llevada a cabo por bacterias ya presentes en el rumen, sin embargo, se encuentran en pequeña cantidad, y no pueden competir con las archeas metano génicas en el ambiente ruminal, sin embargo, Lopez et al., (1999) demostraron que si se aumenta el número de bacterias acetogenicas por medio del enriquecimiento selectivo, así como por la adición directa, pueden disminuir en un 5% la producción de metano, esto encontrado después de 24 horas de agregar *Eubacterium limosum* cepa ATCC 8486.
- **Desfaunación:** Es una técnica que consiste en la eliminación de ciertos protozoarios en el rumen, la cual ha demostrado que aumenta significativamente la ganancia diaria y mejora la eficiencia de conversión alimenticia, teniendo un especial efecto en animales que reciben dietas pobres que limitan la producción animal (Eugène et al., 2004).

### **5.5.10 Mitigación de las emisiones de metano a través del manejo mejorado del estiércol y el biogás**

Afortunadamente, a día de hoy, contamos con tecnología suficiente para hacer frente a las emisiones de metano procedentes del manejo del estiércol en condiciones anaeróbicas, asimismo los sistemas industriales que los generan cuentan con la suficiente capacidad económica para implementar las siguientes tecnologías descritas por la FAO (2006):

- **Piensos equilibrados:** A diferencia de aquellos piensos con altos niveles de carbono, los alimentos que tienen el nitrógeno elevado son los que emiten mayores niveles de metano al ambiente, es por ello que un aumento en la relación C/N en una dieta, produce una disminución significativa de las emisiones. Tal como fue explicado por Hales et al., (2013) usando como referencia granos subproductos de destilería concluyendo que una dieta equilibrada lleva tanto a mejoras productivas, como a un menor impacto ambiental.
- **Enfriamiento del estiércol:** La temperatura es un factor determinante en la dimensión de la producción de metano proveniente del estiércol, Im et al. (2020) demostraron que las emisiones más altas de metano se observaron a 35°C y se redujeron hasta la mitad cuando la temperatura es menor a 20°C esto debido a que, al disminuir la temperatura, se observa un aumento en la abundancia de metanogenos psicófilos, desplazando a los metanogenos hidrogenotróficos que son los productores de metano dominantes. Aunado a esto, almacenar el estiércol a baja temperatura incrementa la producción de biogás, igualmente demostraron que las emisiones provenientes del consumo de electricidad para enfriar el estiércol quedan ampliamente compensadas

por la Mitigación de la producción de metano, pero aumentando el potencial de biogás.

- **Digestión anaeróbica:** El biogás es un producto generado por la fermentación anaeróbica controlada del estiércol, que además de dar beneficios adicionales como la producción de luz, calor y calderas para alimentar generadores de electricidad, es capaz de lograr una reducción en climas templados de 50% de las emisiones de metano, siendo esto aún más alto en climas cálidos, donde se calcula que es posibles reducir las emisiones hasta un 75% en contraposición a cuando el estiércol se almacena en forma líquida a cielo abierto (FAO, 2006)

#### **5.5.11 Mitigación de las emisiones de N<sub>2</sub>O y la volatilización de amoníaco**

Debido al contexto económico y social que tienen algunas actividades humanas que impactan el medio ambiente, es que no es posible la prohibición de las mismas, por las consecuencias que esto traería, es por ello, que la manera más idónea de gestionar nuestra inferencia en el ciclo del nitrógeno, es aumentar la eficiencia con la que lo utilizamos. Es así que muchas de las medidas que reducirían la emisión de nitrógeno al ambiente, tienen que ver con la eficiencia de transformar los alimentos a través de técnicas ya anteriormente mencionadas, como la alimentación más equilibrada, optimizando los requerimientos precisos de proteínas y aminoácidos, aumentando así el índice de conversión, del mismo modo la agrupación de animales por género y fase de producción también tendrían efectos en la reducción de nitrógeno, aumentando la eficiencia de la producción. En este sentido, técnicas ya descritas como el almacenamiento a tanque cerrado también evita la volatilización de amoníaco ofreciendo un potencial sinérgico con las emisiones de metano, de manera similar la

digestión anaeróbica también tendría el potencial sinérgico con el óxido nitroso y el metano. Por último, las técnicas de rotación de cultivos y evitar cargas excesivas en los pastizales tendrían un efecto similar (FAO, 2006).

#### **5.5.12 Manipulación de dietas para afectar el estiércol**

En cuanto al ganado de carne y leche se ha encontrado que reducir el Fósforo en la dieta por debajo del nivel proporcionado en las dietas típicas requeriría que se tendría que disminuir el contenido de este elemento en los granos. Sin embargo, de manera artificial los suplementos como el fosfato di-cálcico o el fosfato mono-cálcico se han agregado a las dietas en muchas prácticas pecuarias, tanto de vacas lecheras de ganado de carne, puesto que se tenía la idea errónea de que al agregar un poco más es un seguro muy barato contra la deficiencia reproductiva, pero la evidencia indica que la deficiencia de fósforo no tiene un efecto sobre el desempeño reproductivo hasta que los valores son inferiores al 0.25% de la dieta. Por otra parte, las dietas típicas comerciales que no complementan con este elemento tienen un porcentaje de 0.33 a 0.40% en la dieta, por lo que la reducción de fósforo como suplemento podrían disminuir su excreción de entre un 20 a un 50% en esta especie en ambos fines zootécnicos (Sutton et al., 2006).

De manera similar, se utilizan metales pesados en el ganado como promotores del crecimiento o de manera profiláctica y terapéutica. Ejemplo de estos metales utilizados se encuentran el cobre, zinc, selenio, cobalto, arsénico, hierro y manganeso. Sin embargo, del total de metales ingeridos, sólo el 15% como máximo es absorbido, siendo excretado el restante y volviendo de nuevo al medio ambiente. De este modo Menzi & Kessler (1998)

señalan que limitar el suministro de metales pesados en las dietas de los animales a niveles estrictamente necesarios puede disminuir considerablemente la excreción de estos elementos en el estiércol en todas las etapas del ciclo de vida sin influencias negativamente en la producción animal.

## **6. Discusión**

Después de haber llevado a cabo la presente revisión bibliográfica se ha podido identificar que el sector pecuario es usuario del 78% de la tierra agrícola, misma que es dividida en tierra para pastoreo como en tierra de cultivos para fines pecuarios, es por esto, que la intensificación juega un papel fundamental para poder disminuir la cantidad de tierra, ya que se ha identificado que cuando los suelos pueden producir más, se necesitan menos metros cuadrados para solventar las necesidades (Vlek et al., 2004). En este mismo sentido, se ha demostrado que direccionar la producción animal hacia especies pecuarias que tienen un menor índice de conversión resulta en la utilización de menos recursos para producir la misma cantidad de proteína animal (Smil, 2002). Sin embargo, cuando se habla de México en particular, no se encontraron ejemplos que analicen los beneficios de sustituir en una determinada zona, la utilización de rumiantes por especies como aves o cerdos, por lo que se considera necesario aumentar la investigación en este sentido, que además considere que se encuentran cadenas de producción completas, familias que dependen de especies ya establecidas, además de todo un complejo social que engloba las costumbres tan inherentes al ser humano (FAO, 2006).

En cuanto al agua dulce, el ganado es responsable del 8% de su uso mundial, las principales medidas para su mitigación se enfocan en la regulación por medio de las instituciones gubernamentales que fomente el correcto uso por parte de los productores pecuarios, así también como regular el manejo de los desechos que se vierten sobre los mantos acuíferos y de productos utilizados tanto en la alimentación como en la sanidad (FAO, 2009). En contraste al punto anterior, en el caso de la contaminación del agua, México si tiene estimaciones tales como las realizadas por la investigadora Pérez-Morales en el 2018, donde describe el alcance que genera la utilización de fármacos como los antibióticos en instalaciones pecuarias de manera no controlada, y describió algunos escenarios que podría generar la adquisición de bacterias multirresistentes en la salud mundial, por lo que resulta de vital importancia, informar a la población y a los productores en general, del peligro inminente de seguir realizando estas prácticas sin una conciencia del daño potencial a la salud.

A través de este trabajo, se ha mostrado que existen alternativas viables para enfrentar el problema ambiental que el sector pecuario genera, pasando por el impacto en el suelo, el agua y la atmósfera, que a su vez, son aplicables y útiles para nuestro país, en estas, por medio del enfoque bioquímico, se permite comprender el fundamento por el cual funcionan, y aplicarlas de manera adecuada, siendo también necesario seguir fomentando la investigación científica con este enfoque, que busque otras alternativas a problemas aún no solventados como la pérdida de la biodiversidad, así como buscar la forma de que ciertas soluciones ya existentes

en otros países, puedan ser aplicables para los problemas específicos que hay en México en materia ambiental.

Por otro lado, también se observó que existen alternativas de mitigación que se interconectan unas con otras, puesto que, por ejemplo, al restaurar un ecosistema degradado por medio de la Agro silvicultura, además de aumentar la masa Biótica, reteniendo el carbono, se aumenta la materia orgánica en el suelo, disminuyendo la pérdida del agua por filtración y atrayendo a especies anteriormente desplazadas. Es por ello que se recomienda comprender los procesos bioquímicos que abarcan los sistemas ecológicos, como el ciclo del carbono, del nitrógeno, entre otros, para tomar conciencia de como por medio de cambios en las prácticas podemos hacer frente a las metas ambientales que tenemos en el país, amén de seguir investigando otras alternativas ecológicas para el cuidado de nuestras vidas y las generaciones futuras.

## **7. Conclusión**

Después de realizarse la presente revisión bibliográfica se pudo recopilar, sintetizar y organizar por medio de un discurso coherente, el impacto ambiental que genera la producción pecuaria bovina a nivel mundial y en México, comprendido en el periodo de 1990 a noviembre del 2022, igualmente se pudieron identificar y describir alternativas de Mitigación del impacto ambiental que tiene la producción pecuaria, en los rubros de agua, suelo y atmósfera, sin embargo, en cuanto a la pérdida de la biodiversidad cuando una especie es llevada a la extinción no se pudo encontrar aún, alguna medida de Mitigación que pueda restaurarlo.

Por ultimo, se puede comentar que lamentablemente en México, cuando han habido personas que han buscado visibilizar o buscar alternativas para problemas ambientales, como la deforestación, el gobierno no ha sido capaz de procurar su seguridad (Universal, 2020), es por ello que mediante la divulgación académica e investigación podemos aportar ese grano de arena para que más gente esté consciente de que nuestras acciones de consumo tienen una repercusión en el medio ambiente que tal vez sea para siempre.

### **Fuentes de consulta**

1. Ahmed, Z. (2013, 26 diciembre). Preserving Antibiotics, Rationally. *New England Journal of Medicine*, 369(26), 2474-2476. <https://doi.org/10.1056/nejmp1311479>
2. Ahumada Cervantes, Ramiro, & Velázquez Angulo, Gilberto, & Flores Tavizón, Edith, & Romero González, Jaime (2014). Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y Ciencia*, 22(61),48-53.[fecha de Consulta 18 de Marzo de 2022]. ISSN: 1665-4412. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67431579007>
3. Atwill, E. R. (1995). Microbial pathogens excreted by livestock and potentially transmitted to humans through water. En *Veterinary Medicine Teaching and Research Center. School of Veterinary Medicine*.
4. Bruinsma, J. (2003). *World Agriculture: Towards 2015/2030: An Fao Perspective* (2.a ed.). Routledge
5. Carvalho, G., Moutinho, P., Nepstad, D., Mattos, L., & Santilli, M. (2004). An Amazon Perspective on the Forest-Climate Connection: Opportunity for Climate Mitigation, Conservation and Development? *Tropical Agriculture in Transition — Opportunities for Mitigating Greenhouse Gas Emissions?*, 163–174. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3604-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3604-6_9)

6. Cederberg, C., & Flysjö, A. (2004). Life Cycle Inventory of 23 Dairy Farms in Southwestern Sweden. SIK.
7. Chapagain, A. K. & Hoekstra, A. Y. (2003). BETWEEN WATERFLOWS BETWEEN NATIONS IN RELATION TO TRADE IN LIVESTOCK AND LIVESTOCK PRODUCTS. En VALUE OF WATER (13.a ed.). Research Report Series.
8. COSTA, C., CHANGSHENG LI, CERRI, C. E. P., & CERRI, C. C. (2014). Measuring and modeling nitrous oxide and methane emissions from beef cattle feedlot manure management: First assessments under Brazilian condition. *Journal of Environmental Science and Health. Part B. Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 49(7– 9), 696–711.
9. Committee on Animal Nutrition. (1981). Effects of Environment on nutrient requirements of domestic animals. National Research Council, 168.
10. Dregne, H., Kassas, M. and Rozanov, B. (1991) A New Assessment of the World Status of Desertification. *Desertification Control Bulletin*, 20, 6-18.
11. DOF, 2012. Ley General de Cambio Climático. Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación, México.
12. Eugène, M., Archimède, H., & Sauvant, D. (2004). Quantitative meta-analysis on the effects of defaunation of the rumen on growth, intake and digestion in ruminants.

- Livestock Production Science, 85(1), 81–97. [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(03\)00117-9](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(03)00117-9)
13. FAO/IFA. 2001. Global estimates of gaseous emissions of NH<sub>3</sub>, NO and N<sub>2</sub>O from agricultural land. Roma. 106 pp FAO. (2009). La larga sombra del ganado problemas ambientales y opciones (No. 1). ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. <https://www.fao.org/3/a0701s/a0701s.pdf>
  14. FAO. 2017. Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM) [online]. Rome. [Consultado en noviembre del 2022]. [www.fao.org/gleam/en/](http://www.fao.org/gleam/en/)
  15. FAO, 2019. Outcome document of the Global Symposium on Soil Erosion. Rome.
  16. Freitas Nunes Oliveira, A., Saboya de Sousa, L. I., Silva da Costa, V. A., de Andrade, J. V. T., Lucena Lima, L. A., de Sales, P. A. F., da Silva, D. F., de Araujo Pereira, A. P., & Maciel Melo, V. M. (2021). Long-term effects of grazing on the biological, chemical, and physical soil properties of the Caatinga biome. *Microbiological Research*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126893>
  17. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2004). Economic Valuation of Water Resources in Agriculture: From the Sectoral to a Functional Perspective of Natural Resource Management; *Fao Water Reports* (27.a ed.). Food & Agriculture Org.

18. Galloway, J. N., Dentener, F. J., Capone, D. G., Boyer, E. W., Howarth, R. W., Seitzinger, S. P., Asner, G. P., Cleveland, C. C., Green, P. A., Holland, E. A., Karl, D. M., Michaels, A. F., Porter, J. H., Townsend, A. R., & VOsmarty, C. J. (2004). Nitrogen Cycles: Past, Present, and Future. *Biogeochemistry*, 70(2), 153–226.  
<https://doi.org/10.1007/s10533-004-0370-0>
19. García Miranda, Fátima Goretti y Miranda Rosales, Verónica (2018): EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO. In: IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL, TERRITORIOS SOSTENIBLES Y DESARROLLO REGIONAL DESDE EL TURISMO. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México. ISBN UNAM: 978-607-30-0971-3, ISBN AMECIDER: 978-607-8632-02-2
20. Gobierno de México. (2020, abril). Estrategia nacional para la implementación de la agenda 2030 en México (N.o 514075). Jefatura de la Oficina de la Presidencia de la República. [Consultado en noviembre del 2022]  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/514075/EN-A2030Mx\\_VF.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/514075/EN-A2030Mx_VF.pdf)
21. Hales, K. E., Cole, N. A., & MacDonald, J. C. (2013). Effects of increasing concentrations of wet distillers grains with solubles in steam-flaked, corn-based diets on energy metabolism, carbon-nitrogen balance, and methane emissions of cattle1. *Journal of Animal Science*, 91(2), 819–828. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5418>
22. Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2006). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, 21(1), 35–48. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9039-x>

23. Hong, J., Xu, X., Pang, B., Ma, X., & Wang, X. (2020). Significant soil acidification caused by grazing exclusion across China's grassland areas. *Land Degradation & Development*, 32(2), 535–545. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1002/ldr.3722>
24. Im, S., Petersen, S. O., Lee, D., & Kim, D. H. (2020). Effects of storage temperature on CH<sub>4</sub> emissions from cattle manure and subsequent biogas production potential. *Waste Management*, 101, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.036>
25. IPCC. 2000. Informe especial del IPCC. Escenarios de emisiones. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. OMM y FAO
26. IPCC. 2000b. Land use, land use change and forestry. A Special report of the IPCC. Grupo Intergubernamental De Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
27. IPCC. 2001. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third. Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Editado por J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell y C.A. Johnson. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge, UK y Nueva York, Cambridge University Press. 881 pp.
28. Ji, L. ( 1,2 ), Qin, Y. ( 1 ), Jimoh, S. O. ( 1 ), Hou, X. ( 1 ), Zhang, N. ( 1 ), Gan, Y. ( 3 ), & Luo, Y. ( 3 ). (n.d.). Impacts of Livestock Grazing on Vegetation Characteristics and Soil Chemical Properties of Alpine Meadows in the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Ecoscience*, 27(2), 107–118. [Consultado en noviembre del 2022] <https://doiorg.pbidi.unam.mx:2443/10.1080/11956860.2019.1710908>

29. Lai, L. ( 1,2 ), & Kumar, S. ( 2 ). (n.d.). A global meta-analysis of livestock grazing impacts on soil properties. *PloS One*, 15(8), e0236638. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1371/journal.pone.0236638>
30. Lal, R. (2002). The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Advances in Agronomy*, 1–30. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(02\)76002-1](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(02)76002-1)
31. Lavado, R.S. and Taboada, M.A. (1987), Soil salinization as an effect of grazing in a native grassland soil in the Flooding Pampa of Argentina. *Soil Use and Management*, 3: 143-148. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1987.tb00724.x>
32. Lopez, S., McIntosh, F., Wallace, R., & Newbold, C. (1999). Effect of adding acetogenic bacteria on methane production by mixed rumen microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 78(1–2), 1–9. [https://doi.org/10.1016/s0377-8401\(98\)00273-9](https://doi.org/10.1016/s0377-8401(98)00273-9)
33. Lukkari, T., Taavitsainen, M., Väisänen, A., & Haimi, J. (2004). Effects of heavy metals on earthworms along contamination gradients in organic rich soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 59(3), 340–348. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2003.09.011>
34. Managing agricultural phosphorus to minimize water quality impacts. (2016, febrero). *Scientia Agricola*, 73(1), 1-8. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0107>
35. Marshall, J. M. . P. . (2020). *Agroforestry*. Salem Press Encyclopedia of Science.

36. Meng, Q., Ma, X., Zhang, J., & Yu, Z. (2019). The long-term effects of cattle manure application to agricultural soils as a natural-based solution to combat salinization. *CATENA*, 175, 193–202. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.022> Menzi, H. 2001. Needs and implications for good manure and nutrient management in intensive livestock production in developing countries.
37. Menzi, H. & Kessler, J. (1998, mayo). Heavy metal content of manures in Switzerland. En *Proceedings of the 8th International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture*.
38. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. OECD/FAO (2020), *OCDEFAO Perspectivas Agrícolas 20202029*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a0848ac0-es>.
39. Oldeman, L.R. (1994) The Global Extent of Soil Degradation. In: Greenland, D.J. and Szabolcs, I., Eds., *Soil Resilience and Sustainable Landuse*, CAB International, Wallingford, 99-119.
40. Oldeman, L.R. 1994. The global extent of land degradation. En D.J. Greenland y I. Szabolcs, eds., *Land resilience and sustainable land use*, 99–118. Wallingford, UK, CABI Publishers.
41. Orzuna-Orzuna, J., Dorantes-Iturbide, G., Lara-Bueno, A., Mendoza-Martínez, G.,

- Miranda-Romero, L., & Hernández-García, P. (2021). Effects of Dietary Tannins' Supplementation on Growth Performance, Rumen Fermentation, and Enteric Methane Emissions in Beef Cattle: A Meta-Analysis. *Sustainability*, 13(13), 7410. <https://doi.org/10.3390/su13137410>
42. Paliwal, R. L. (2001). *EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento y producción* (1.a ed.). ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN.
43. Paustian, K., Andrén, O., Janzen, H. H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., Noordwijk, M., & Woomer, P. L. (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. *Soil Use and Management*, 13(s4), 230–244. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1997.tb00594.x>
44. Pham, C. H., Triolo, J. M., Cu, T. T. T., Pedersen, L., & Sommer, S. G. (2013). Validation and Recommendation of Methods to Measure Biogas Production Potential of Animal Manure. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(6), 864–873. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12623>
45. Rahman, M., Reichelt-Brushet, A., Clark, M., Farzana, T., & Yee, L. (2017). Arsenic bio-accessibility and bioaccumulation in aged pesticide contaminated soils: A multiline investigation to understand environmental risk. *Science of The Total Environment*, 581-582, 782–793. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.009>
46. Raleigh, C., & Urdal, H. (2007). Climate change, environmental degradation and armed conflict. *Political Geography*, 26(6), 674–694.

<https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2007.06.005>

47. Rice, C.W. 1999. Subcommittee on production and price competitiveness hearing on carbon cycle research and agriculture's role in reducing climate change
48. Sadler, R., Seawright, A., Shaw, G., Dennison, N., Connell, D., Barron, W., & White, P. (2005). Bioaccumulation of organochlorine pesticides from contaminated soil by cattle. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 87(4), 575–582. <https://doi.org/10.1080/02772240500414747>
49. Sainz, R. 2003. Framework for calculating fossil fuel use in livestock systems. Livestock, Environment and Development initiative report (disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/LEAD/X6100E/X6100E00.PDF>)
50. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018, 18 septiembre). Consolida México el séptimo lugar en ranking mundial como productor de proteína animal [Consultado en noviembre del 2022]. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/consolida-mexico-elseptimo-lugar-en-ranking-mundial-como-productor-de-proteina-animal>
51. Segura-Carmona, J. (2017). EFECTOS DE LA EXCLUSIÓN DEL PASTOREO SOBRE CUATRO TIPOS DE VEGETACIÓN EN EL NORESTE DE MÉXICO (Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León.
52. Smil, V. (2002). Nitrogen and Food Production: Proteins for Human Diets. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 31(2), 126–131. <https://doi.org/10.1579/0044-744731.2.126>
53. Smith, B. E. (2002). Nitrogenase Reveals Its Inner Secrets. *Science*, 297(5587),

- 1654–1655.
54. Sutton, A., Applegate, T., Hakins, S., Hill, B., Holly, D., Alle, G., Greene, W., Kohn, R., Meyer, D., Powers, W. & van Kempen, T. (2006). MANIPULATION OF ANIMAL DIETS TO AFFECT MANURE PRODUCTION, COMPOSITION AND ODORS: STATE OF THE SCIENCE. *Animal Agriculture and the Environment, National Center for Manure & Animal Waste Management White Papers*; 377-408. <https://doi.org/10.13031/2013.20259>
  55. Tongwane, M. I., & Moeletsi, M. E. (2021). Provincial cattle carbon emissions from enteric fermentation and manure management in South Africa. *Environmental Research*, 195, 110833. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110833>
  56. Turner, K., Georgiou, S., Clark, R., Brouwer, R. & Burke, J. (2004). Economic valuation of water resources in agriculture. From the sectoral to a functional perspective of natural resource management. *FAO water reports*. <http://www.fao.org/docrep/007/y5582e/y5582e00.htm>. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores. (s. f.). EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO – RU-Económicas. Recuperado 12 de octubre de 2022, de <http://ru.iiec.unam.mx/4269/>
  57. Universal, R. E. (2020, 30 enero). Confirman muerte de Homero Gómez, defensor de la mariposa monarca. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/estados/confirman-muerte-de-homero-gomez-defensor-de-la-mariposa-monarca/>

58. Van Boeckel, T. P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B. T., Levin, S. A., Robinson, T. P., Teillant, A. & Laxminarayan, R. (2015, 19 marzo). Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18), 5649-5654. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503141112>
59. Vechi, N. T., Mellqvist, J., & Scheutz, C. (2022). Quantification of methane emissions from cattle farms, using the tracer gas dispersion method. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 330, 107885. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107885>
60. Velazco, K, Noguera, N, Jiménez, L, Larreal, M, & Ettiene, G. (2009). Evaluación de nitratos y nitritos lixiviados en un sistema de pastoreo intensivo usando fertilizantes nitrogenados. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 26(1), 23-38. Recuperado en 12 de octubre de 2022, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S037878182009000100002&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037878182009000100002&lng=es&tlng=es).
61. Vidali, M. Bioremediation. An overview. *Pure Appl Chem*. 2001; 73(7): 1163-72.
62. Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., Schlesinger, W. H., & Tilman, D. G. (1997). Technical Report: Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences. *Ecological Applications*, 7(3), 737. <https://doi.org/10.2307/2269431>
63. Vlek, P. L. G., Rodríguez-Kuhl, G., & Sommer, R. (2004). Energy Use and CO<sub>2</sub>

Production in Tropical Agriculture and Means and Strategies for Reduction or Mitigation. *Tropical Agriculture in Transition — Opportunities for Mitigating Greenhouse Gas Emissions?*, 213–233. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3604-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3604-6_12)

64. Wassenaar, T., Gerber, P., Verburg, P., Rosales, M., Ibrahim, M., & Steinfeld, H. (2007). Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest. *Global Environmental Change*, 17(1), 86–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.007>
65. Westing, A.H., Fox, W. y Renner, M. 2001. Environmental degradation as both consequence and cause of armed conflict. Working Paper prepared for Nobel Peace Laureate Forum participants by PREPCOM subcommittee on Environmental Degradation.
66. Zhao, X., Wang, J., Zhu, L., Ge, W., & Wang, J. (2017). Environmental analysis of typical antibiotic-resistant bacteria and ARGs in farmland soil chronically fertilized with chicken manure. *Science of The Total Environment*, 593-594, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.062>
67. Zimmer, D. & Renault, D. (2003). Virtual water in food production and global trade: review of methodological issues and preliminary results. En *Actas de la reunión de expertos*.