



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**IMPACTO DEL CAMBIO DE USO DE SUELO POR
ACTIVIDADES PECUARIAS EN SAN LUIS POTOSÍ DE
1980 AL 2010 Y SU RELACIÓN CON LAS EMISIONES
DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE ORIGEN
PECUARIO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A

GUSTAVO ENRIQUE HERNÁNDEZ JARDINES

ASESOR DE TESIS:

MTRO. JOSÉ MAURICIO GALEANA PIZAÑA



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX

MAYO DE 2017



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.

*Choose life. Choose a job. Choose a career. Choose a family.
Choose good health, low cholesterol and dental insurance.
Choose your friends. Choose sitting on that couch watching mind-numbing spirit-crushing
game shows, stuffing junk food into your mouth.
Choose Facebook, Twitter, Instagram and hope that someone, somewhere cares
Choose looking up old flames, wishing you'd done it all differently
And choose watching history repeat itself
Choose a zero hour contract, a two hour journey to work
And choose the same for your kids, only worse, and smother the pain with an unknown dose
of an unknown drug made in somebody's kitchen
And then... take a deep breath
You're an addict, so be addicted
Just be addicted to something else
Choose the ones you love
Choose your future
Choose life*

Irvine Welsh (Trainspotting, 1 y 2)

DEDICATORIAS

A mis dos mamás que siempre han estado apoyándome y cuidándome. A mi madre, **Columba Hernández**, siempre has estado en todos los aspectos de mi vida, viendo por mí, aconsejándome, guiándome, pero sobre todo, ocupándote de que no nos hiciera falta nada, muchas veces sacrificaste cosas con tal de sacarnos adelante, con toda tu fuerza, empeño y amor has sabido dirigirme por la vida, misma que no me alcanzará para pagarte todo lo que hiciste y sigues haciendo, te quiero mucho. A mi abue, **Trinidad Jardines**, gracias por cuidar de mí en todos los aspectos, desde niño siempre me acompañaste, como una segunda madre, no hay palabras que logren expresar lo agradecido que estoy.

A mis tíos **Armando**, **Enrique** y **Eduardo** (†), por todo su apoyo, han sido un ejemplo a seguir, brindando toda su energía en los momentos difíciles. Gracias.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme ser parte de esta gran institución y poder adquirir un sinfín de conocimientos que han sido de vital ayuda en mi vida profesional.

Al Mtro. Mauricio Galeana Pizaña, director de esta tesis, gracias por todo el tiempo invertido, su apoyo, enseñanzas, consejos, por su paciencia y sobre todo, por confiar en mí al dirigir este trabajo.

A los miembros del sínodo, Dra. Leticia Gómez Mendoza, Mtra. Angélica Franco, Mtra. Edith Ugalde y al Mtro. José Santos, que tuvieron la amabilidad y accesibilidad de revisar este trabajo y enriquecerlo con sus comentarios y observaciones, los cuales fueron un gran aporte para mejorar esta tesis. Gracias.

A la Mtra. María de la Paz Medina, con la que inició este proyecto, gracias por sus consejos y enseñanzas.

A Ti, Rocío Reyes, que llegaste hace poco más de tres años y medio a mi vida, cambiándome para bien en muchos aspectos, te quiero por tu capacidad ilimitada de hacerme sonreír, por valorar las pequeñas y grandes cosas que hemos vivido, por todas las aventuras, viajes, momentos inolvidables y ¿por qué no?, por el trabajo que hemos compartido estos últimos meses. Gracias por darme ánimos y brindarme apoyo cuando flaqueaba, por darme tu confianza cariño, pero sobre todo, por todo tu amor. Te amo...mucho es poco.

A mis amigos de facultad, que siguen estando en las buenas y en las malas, con los que viví increíbles prácticas y grandes momentos, siempre serán de gran importancia para mí: Marissa, Angy, Karely, Pablín, Jar8a, Benjy a mis inadaptados sociales preferidos, José Aguilera y Agustín Camacho, gracias por todo.

Al Seminario de Cambio Climático y Biodiversidad liderado por la Dra. Leticia Gómez y el Mtro. José Manuel Espinoza, por permitirme ser parte de ese gran equipo, donde conocí a grandes personas con las que compartí increíbles momentos, al doc Mau Amaya y a Myn Salcedo.

Al Biólogo, Francisco Luis Aviña, por auxiliarme de la mejor forma en mi realización del inventario de GEI, gracias por toda su ayuda.

ÍNDICE

RESUMEN	I
----------------------	---

INTRODUCCIÓN

I. Importancia del tema.	III
II. Planteamiento del problema.	V
III. Hipótesis.	VI
IV. Objetivos.	VI
IV.I. Objetivo general.	VI
IV.II. Objetivos particulares.	VI
V. Marco teórico conceptual.	VII
V.I. Importancia de los bosques.	VII
V.II. Las actividades pecuarias.	VIII
VI. Diferencia entre uso de suelo, cambio de uso de suelo y cobertura de suelo.	X
VII. Relación entre las superficies entre las superficies deforestadas y el cambio de uso de suelo.	X

CAPÍTULO I: CAMBIO CLIMÁTICO Y GASES DE EFECTO INVERNADERO

1.1 Cambio climático.	1
1.1.2 Clima.	3
1.1.3 Causas y consecuencias del cambio climático.	4
1.2 Gases de efecto invernadero.	8
1.3 Producción de GEI de origen pecuario.	12
1.3.1 Metano (CH ₄).	13
1.3.2 Óxido nitroso (N ₂ O).	17
1.4 Programas para mitigar gases de efecto invernadero, REDD+, FLEGT y Protocolo de Kyoto.	18
1.4.1. Protocolo de Kyoto.	18
1.4.2. FLEGT.	19
1.4.3. REDD+.	19

1.5 Uso de suelo, cambio de uso de suelo, deforestación y cobertura de suelo.	
Terminología.....	21
1.5.1. Cambio de Uso de Suelo.....	24
1.5.2. Deforestación.....	25
1.5.3. Uso de suelo.....	26
1.5.4. Cobertura de suelo.....	27

CAPÍTULO II: SITIO DE ESTUDIO, S.L.P

2.1 Sitio de estudio.....	29
2.2 Caracterización geográfica de San Luis Potosí.....	31
2.2.1 Ubicación.....	31
2.2.2 Topografía.....	33
2.2.3 Geología.....	35
2.2.4 Edafología.....	37
2.2.5 Clima.....	39
2.2.6 Hidrografía.....	40
2.2.7 Uso de suelo y vegetación.....	42
2.2.8 Demografía.....	44
2.2.9 Población ocupada por sector económico.....	49

CAPÍTULO III: MÉTODO

3.1 Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en estudios de Uso y Cambio de Uso de Suelo.....	50
3.2 Expansión y contracción de la ganadería en San Luis Potosí.....	54
3.3 Inventarios de GEI de origen pecuario.....	59
3.3.1 Llenado de hoja de trabajo.....	61
3.4 Análisis de correlación entre emisiones de Gases de Efecto Invernadero y la expansión y contracción pecuaria.....	66

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Emisiones de metano (CH ₄) en San Luis Potosí para los años 1980-2010.....	68
--	----

4.1.1 Emisiones de metano equivalente para ganado lechero.	69
4.1.2 Emisiones de metano equivalente para ganado no lechero.	71
4.1.3 Emisiones de metano equivalente para ganado ovino.....	72
4.1.4 Emisiones de metano equivalente para ganado caprino.....	73
4.1.5 Emisiones de metano equivalente para ganado porcino.....	75
4.1.6 Emisiones de metano equivalente para aves de corral.	76
4.2 Emisiones de óxido nitroso (N ₂ O) en San Luis Potosí para los años 1980-2010	77
4.2.1 Emisiones de Óxido Nitroso equivalente por Sistema de Manejo del Estiércol. .	79
4.2.2 Sistema de Manejo del Estiércol de tipo líquido.....	79
4.2.3 Sistema de Manejo del Estiércol, Almacenamiento de sólidos.....	80
4.2.4 Otros sistemas.	81
4.3 Procesos de contracción, expansión y permanencia de uso de suelo por actividades pecuarias.	82
4.3.1 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria 1976-1993	84
4.3.2 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria 1993-2002	85
Contracción	85
4.3.3 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria 2002-2007	87
Contracción	87
4.3.4 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria 2007-2011	89
4.4 Procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera pecuaria por región en SLP.....	92
4.4.1 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria: región Altiplano	92
4.4.2 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria: región Centro... 94	
4.4.3 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria: región Media ... 96	
4.4.4 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria: región Huasteca	98
4.5 Tasas anuales de los procesos de contracción y expansión de la frontera pecuaria. 100	
4.6 Análisis de correlación de Spearman entre emisiones y procesos de uso de suelo en el Estado de San Luis Potosí.....	100
4.6.1 Correlación entre emisiones de metano y procesos de cambio de uso de suelo. 100	

4.6.2 Correlación entre emisiones de óxido nitroso y procesos de cambio de uso de suelo.	102
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	103
REFERENCIAS	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Mapa de ubicación del Estado de San Luis Potosí.....	34
Figura 2.2 Mapa de Geología	36
Figura 2.3 Mapa de suelos.....	38
Figura 2.4 Tipos de clima.....	40
Figura 2.5 Mapa de climas.	41
Figura 2.6 Mapa de Hidrografía.....	43
Figura 2.7 Mapa de uso de suelo.	45
Figura 2.8 Pirámides poblacionales por grupo quinquenal y sexo.....	48
Figura 2.9 Porcentaje de población ocupada por sector económico.	49
Figura.3.1 Esquema.metodológico.....	51
Figura.3.2 Dissolve.....	57
Figura 3.3 Eliminate	58
Figura 3.4 Hoja de trabajo 4-1 para Emisiones de Metano Procedentes de la Fermentación Entérica del ganado doméstico y del Manejo del Estiércol.....	63
Figura 3.5 Hoja de trabajo 4-1 adicional, Nitrógeno Excretado por Sistema de Manejo de Estiércol.....	65
Figura 3.6 Hoja de trabajo 4-1 suplemental, Nitrógeno Excretado por Sistema de Manejo de Estiércol.....	66
Figura 4.1 Emisiones de metano de CO ₂ equivalente de origen pecuario con potencial de calentamiento 21 y 28 en el Estado de San Luis Potosí para los años 1980-2010.	69
Figura 4.2 Emisiones de metano de CO ₂ equivalente y número de cabezas para ganado lechero durante los años 1980-2010.....	71
Figura 4.3 Emisiones de metano de CO ₂ equivalente y número de cabezas para ganado no lechero durante los años 1980-2010.....	72
Figura 4.4 Emisiones de metano de CO ₂ equivalente y número de cabezas para ganado ovino durante los años 1980-2010.....	73
Figura 4.5 Emisiones de metano de CO ₂ equivalente y número de cabezas para ganado caprino durante los años 1980-2010.	74

Figura 4.6 Emisiones de metano de CO ₂ equivalente y número de cabezas para ganado porcino durante los años 1980-2010.....	75
Figura 4.7 Emisiones de metano de CO ₂ equivalente y número de cabezas para aves de corral durante los años 1980-2010.	77
Figura 4.8 Emisiones de óxido nitroso de CO ₂ equivalente de origen pecuario con potencial de calentamiento 310 y 265 en el Estado de San Luis Potosí para los años 1980-2010.	78
Figura 4.9 Emisiones de óxido nitroso de CO ₂ equivalente de origen pecuario con potencial de calentamiento 310 y 265 en el Estado de San Luis Potosí por SME de tipo líquido para los años 1980-2010.....	80
Figura 4.10 Emisiones de óxido nitroso de CO ₂ equivalente de origen pecuario con potencial de calentamiento 310 y 265 en el Estado de San Luis Potosí por SME almacenamiento de sólidos para los años 1980-2010.....	81
Figura 4.11 Emisiones de óxido nitroso de CO ₂ equivalente de origen pecuario con potencial de calentamiento 310 y 265 en el Estado de San Luis Potosí por SME de otro tipo para los años 1980-2010.	82
Figura 4.12 Superficie en hectáreas de los procesos de permanencia, expansión y contracción de la frontera pecuaria en San Luis Potosí.....	84
Figura 4.13 Procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera pecuaria en San Luis Potosí, 1976-1993.....	86
Figura 4.14 Procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera pecuaria en San Luis Potosí, 1993-2002.....	88
Figura 4.15 Procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera pecuaria en San Luis Potosí, 2002-2007.....	90
Figura 4.16 Procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera pecuaria en San Luis Potosí, 2007-2011.....	91
Figura 4.17 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria en la región Altiplano, de las series de INEGI.....	93
Figura 4.18 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria en la región Centro, de las series de INEGI.	95
Figura 4.19 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria en la región Media, de las series de INEGI.....	97
Figura 4.20 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria en la región Huasteca, de las series de INEGI.	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparación de las concentraciones de gases de efecto invernadero en partes por millón de volumen entre 1748 y 2008	2
Tabla.3.1 Tipología final reagrupada.....	56
Tabla 4.1 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria, región Altiplano.....	92
Tabla 4.2 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria, región Centro.	94
Tabla 4.3 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria, región Media.	96
Tabla 4.4 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria, región Huasteca.	98
Tabla 4.5 Tasas anuales de los procesos de contracción y expansión de la frontera pecuaria.	100
Tabla 4.6 Análisis de correlación de Spearman entre las tasas de emisión de metano y los procesos de cambio de uso de suelo en San Luis Potosí.	101
Tabla 4.7 Análisis de correlación de Spearman entre las tasas de emisión de óxido nitroso y los procesos de cambio de uso de suelo en San Luis Potosí.....	102

RESUMEN

México ha presentado grandes condiciones de contaminación atmosférica, deforestación y cambios de uso de suelo, sólo por mencionar algunas de las problemáticas más comunes. Esto se debe, en gran medida, al rápido crecimiento de la población y a su interacción desmedida con el ambiente debido a las desigualdades sociales que imperan en el país.

En el presente trabajo se abordó una de las problemáticas ambientales que se presentan en el estado de San Luis Potosí: el cambio de uso de suelo por actividades pecuarias y su relación con las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de dicho sector.

Dividido en 5 capítulos, en el capítulo 1 de este trabajo se aborda el marco conceptual y los antecedentes, descripción de cambio climático y clima, así como las causas y consecuencias del cambio climático, el origen de los gases de efecto invernadero, la relevancia de estos y su producción en el sector pecuario así como diversos programas que tienen como finalidad su mitigación. Por último en este apartado, se tocó el tema de uso y cambio de uso de suelo y deforestación.

En el capítulo 2 se tiene el sitio de estudio, ubicación, tipos de vegetación, climatología y los diferentes usos de suelo, mientras que el capítulo 3 incluye la metodología a tratar. Se utilizaron series de uso de suelo y vegetación de INEGI así como la realización de un inventario de GEI de origen pecuario apegado a las recomendaciones del IPCC en su versión 1996.

En el capítulo 4 se darán los resultados de las emisiones de metano procedentes de las actividades pecuarias y de las emisiones del óxido nitroso en el estado de San Luis Potosí en el período 1980 – 2010.

Finalmente se incluye en un capítulo más en el que se concentran la discusión y conclusiones además de algunas recomendaciones basadas en los resultados obtenidos. Por último, el capítulo 5 tendrá las conclusiones de este trabajo.

INTRODUCCIÓN

I. Importancia del tema.

La deforestación es la principal fuente de emisiones de CO₂ en los ecosistemas tropicales, de acuerdo con diversos análisis de cambio de uso de la tierra a escala mundial (De Jong, 2010), sin embargo no sólo este tipo de vegetación presentan problemáticas relacionadas con la deforestación y degradación, la mayoría de los ecosistemas tienen este problema debido a la expansión de la frontera agropecuaria.

Durante décadas, el incremento de la deforestación de los bosques ha sido notable, a costa en algunos casos de una mayor disponibilidad de alimentos, alicientes económicos para la gente de las localidades que se dedican a actividades relacionadas con el sector agrícola, inclusive, el uso de algunos cultivos para la producción de biocombustibles, los cuales son más amigables para el ambiente.

Por otro lado, este proceso ha impactado en el incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como es el metano y dióxido de carbono, además de impactar en la pérdida de biodiversidad, incremento en las inundaciones, hasta un decremento en la calidad del agua (IPCC, 2014).

Debido a las consecuencias producidas a partir de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del cambio de uso de suelo, resulta importante conocer cuáles son las aportaciones de estos gases a la atmósfera a causa de las actividades pecuarias, pues éstas producen gases como el óxido nitroso y el metano, este último considerado como uno de los más importantes gases de efecto invernadero en la atmósfera, junto con el vapor de agua (IPCC, 2014).

Por lo que se vuelve necesario conocer la dinámica espacio-temporal de la frontera ganadera, dado que en los últimos años, se ha acelerado el crecimiento de la ganadería en el mundo, principalmente en América Latina. Esta región es la mayor exportadora de carne bovina y de ave del mundo; representa alrededor del 45% del PIB pecuario (FAO, 2014).

Para entender la relación que existe entre la cantidad de emisiones y la dinámica de expansión y contracción de sistemas productivos y capital natural, es necesario priorizar la investigación en este ámbito para comprender las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero. A escala mundial las emisiones antropogénicas totales anuales aumentaron alrededor de 10 GtCO₂eq entre 2000 y 2010, este sector contribuyó con un 24% de emisiones, sigue el sector industrial con 21% del total de emisiones (IPCC, 2014).

A pesar de lo anterior, muchos profesionistas como sociólogos, demógrafos, geógrafos y economistas han hecho aportaciones al estudio de las principales ciudades del país, analizando sus problemáticas ambientales; sin embargo, son pocas las propuestas que han sido retomadas para analizar el impacto ambiental de regiones medias o pequeñas, como el caso de San Luis Potosí (Guzmán *et al.*, 2012). Es por ello que se vuelve prioritario analizar la incidencia que tienen las actividades pecuarias en la dinámica atmosférica de lugares, que por no ser centros poblacionales estratégicos, se han dejado de lado sus problemáticas ambientales, las cuales no son menos relevantes.

II. Planteamiento del problema.

San Luis Potosí posee una importante diversidad de ecosistemas, sin embargo, algunos están sufriendo distintos procesos de deforestación y degradación por cambios derivados de distintas actividades económicas, entre las que desatacan la expansión de la frontera agrícola y ganadera (Guzmán *et al.*, 2012), aunado a lo anterior estos presentan otras amenazas que se relacionan con la actividad minera e industrial, por lo que es importante monitorear o analizar los cambios de uso de suelo forestal. Una consecuencia derivada de estos es que, al incrementarse la cantidad de tierras ocupadas por este nuevo uso de suelo, se está contribuyendo con mayores emisiones de GEI como el metano y el óxido nitroso, lo cual, se suma a otros gases que producen una mayor variabilidad climática y por ende, a un aumento en las temperaturas del planeta (Ribeiro *et al.*, 2012).

Para el caso del metano, su tiempo de residencia en la atmósfera es de 11 años aproximadamente. Su concentración en ésta ha incrementado considerablemente en los últimos dos siglos. Este es debido a las expansiones en la agricultura y cría de ganado, extracción de combustibles fósiles, quema de biomasa en los trópicos, la eliminación de desechos orgánicos, entre otros procesos, siendo la fermentación entérica y anaeróbica del estiércol su fuente de procedencia (Ruiz y González, 1997).

A partir de un estudio realizado hace 50 años por Rzedowski (1978) se calculó que la cobertura forestal nacional fue deforestada entre un 30 y 40% hasta la actualidad. De las cuales se estima que un 72% del área forestal es destinada a la ganadería y al menos 250 mil hectáreas de selva para agricultura itinerante (roza, tumba y quema). Otra causa que incide en la degradación de los ecosistemas son los incendios forestales, debido a estos,

también se han perdido grandes extensiones de bosques, como por ejemplo, en 1998 se registraron 249 eventos, en 2009 fueron 99 (Guzmán *et al.*, 2012).

III. Hipótesis.

La disminución de las superficies forestales debido a los cambios de uso de suelo, han presentado cambios negativos para el ambiente.

En el Estado de San Luis Potosí, gran parte de los cambios en las áreas de vegetación son debido al cambio de uso de suelo para llevar a cabo actividades pecuarias. La disminución de las superficies forestales por parte de estos procesos, generan una mayor producción de gases de efecto invernadero.

Por lo anterior, se espera que en San Luis Potosí haya un incremento de las superficies destinadas a actividades ganaderas y que esto repercuta en un aumento de las emisiones de GEI.

IV. Objetivos.

IV.I. Objetivo general.

Determinar el impacto del cambio de uso de suelo por actividades pecuarias y su asociación con la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en el estado de San Luis Potosí para el período 1980 - 2010.

IV.II. Objetivos particulares.

- 1) Conocer las contribuciones de gases de efecto invernadero a la atmósfera a causa de actividades pecuarias, mediante la realización de un inventario para el período de 1980-2010.

- 2) Identificar zonas deforestadas por cambio de uso de suelo debido a las actividades pecuarias a partir de las series de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.
- 3) Analizar la relación entre emisiones de GEI y los procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria.

V. Marco teórico conceptual.

V.I. Importancia de los bosques.

México cuenta con una gran diversidad de vegetación, dado que posee una riqueza de ecosistemas, los cuales presentan la siguiente distribución: los matorrales xerófilos (41%), los bosques templados (24%) y las selvas (23%). De acuerdo con los resultados del inventario forestal, en el año 2009, los bosques ocupaban una superficie cercana a las 140 millones de hectáreas (Mha). Esto representa cerca del 73% del total del país, que son, 196 Mha aproximadamente (CONAFOR, 2008).

Además de su elevada biodiversidad, los sistemas forestales del país prestan otros importantes servicios ambientales globales, como los de regulación climática y regionales, como captura de carbono y calidad del agua, protección de suelos y mitigación de los impactos de desastres naturales.

Aunado a lo anterior muchas de las especies forestales de México son de gran relevancia comercial y el interés que se ha despertado en ellas ha propiciado una demanda industrial y por lo tanto una intensa explotación, además de un empobrecimiento en la superficie forestal. En contraste, el potencial productivo y la riqueza biológica de las áreas forestales, así como la necesidad de ofrecer opciones económicas para la población rural, la economía forestal del país resulta sumamente precaria (Guzmán *et al.*, 2012).

En la década de los 70's, según la *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación serie I* los bosques todavía contaban con cerca de tres cuartas partes de su extensión original, las selvas con el 60%, en contraste, los pastizales naturales se habían reducido a poco más de la mitad (SEMARNAT, 2015).

Para el 2002 en la *Carta de Uso Actual del Suelo y Vegetación serie III*, aún se conservaba poco más de 70% de la superficie original de bosques pero con una pérdida calculada de cerca de 129 mil kilómetros cuadrados (SEMARNAT, 2015).

Entre 1970 y 1993, las comunidades naturales primarias ocupaban alrededor de 13.7 millones de kilómetros cuadrados, pero fueron erradicados para dedicar los terrenos a otros usos de suelo, estos fueron alterados y reemplazados a un ritmo de 810 mil hectáreas por año por comunidades secundarias. Las comunidades más afectadas fueron los bosques templados con unas 276 mil hectáreas por año y las selvas con 312 mil hectáreas por año. En el periodo 1993- 2002, la extensión de bosques templados creció cerca de 2.2 millones de hectáreas, superficie menor a la perdida por los bosques primarios en los mismos años (2.7 millones de hectáreas).

En el caso de México, las tasas de deforestación fueron de 354 000 ha/año entre 1990 y 2000 y de 155 000 ha/año entre 2005 y 2010 (FAO, 2010, citado en Miranda *et al.*, 2013a).

V.II. Las actividades pecuarias. Los Factores de emisión¹ para el estiércol y la fermentación entérica requieren datos sobre consumo de energía y peso de los animales principalmente. Para un detallado inventario de emisiones se deben de considerar algunos

¹ Un factor de emisión es un valor característico de un contaminante que iguala la cantidad de dicho contaminante enviado a la atmósfera con alguna actividad relacionada a esa emisión. Normalmente los factores son expresados en peso del contaminante dividido por unidad de peso, volumen, distancia o tiempo de la actividad (INECC-SEMARNAT, 2014).

puntos como son la edad (peso) y la estructura del rebaño. El Consumo de Alimentos (energía) está directamente relacionado con el peso del animal, por lo que una clasificación por edad es necesaria para poder utilizar el peso promedio. Los datos de los censos, proporcionan información aunque los cuestionarios pueden variar de un censo a otro, e incluso los nombres de las categorías de edad. Sin embargo, se pueden reducir todas estas categorías en una clasificación estándar de edad. El Análisis de los datos del censo de 1950 a 1980 nos permite afirmar que, dentro de cada una de las principales regiones, la estructura del rebaño permanece constante (González y Ruiz-Suárez, 1995; citado en Ribeiro *et al.*, 2012).

Esta declaración se encuentra bajo el supuesto de que la estructura está regulada por la función de la manada, los sistemas de gestión, la salud de la manada y tasa de reproducción. Mientras que el Consumo de alimentos depende de la cantidad de energía necesaria para el mantenimiento (básico para mantener vivo el metabolismo) y la producción (comer, cada vez más, el proyecto, la gestación y la producción de leche (Ribeiro, *et al.*, 2012).

Los datos del censo de ganado se utilizan para clasificar una población ganadera del país por edad (peso); esta clasificación se puede mantener sin cambio durante largos períodos. El crecimiento de la población es la principal fuerza impulsora del aumento de las actividades ganaderas; sin embargo, la riqueza nacional y las variaciones de corto plazo pueden afectar el tamaño de la explotación. Un modelo capaz de incorporar estos factores fue desarrollado; sin embargo, cuando se aplica a un país, el modelo no puede incorporar los cambios debido a las variaciones del mercado internacional y/o climáticas, como es la sequía (Ribeiro *et al.*, 2012).

VI. Diferencia entre uso de suelo, cambio de uso de suelo y cobertura de suelo.

De acuerdo con la SEMARNAT (2008), el uso de suelo se define como la forma en la que se emplea un terreno y hace referencia a las funciones que se desarrollan sobre las cubiertas; es la suma de todas las actividades que el hombre realiza en ella, ya sea de forma parcial o permanente con la intención de cambiarla o preservarla (Cartografía del Valle del Cauca, 2016), mientras que el cambio de uso de suelo se define como la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales (SEMARNAT, 2008). Finalmente la cobertura de suelo se refiere al aspecto morfológico, comprende los aspectos que pueden ser observados en el recubrimiento de la superficie terrestre, de origen natural o cultural (Cartografía del Valle del Cauca, 2016).

VII. Relación entre las superficies entre las superficies deforestadas y el cambio de uso de suelo.

Durante décadas México ha sido un país con altas tasas de deforestación. En el año 2000, la FAO estimaba que la pérdida de superficies forestales en México fue de 55.2 millones de ha; según estimaciones, en la última década las tasas de pérdida de vegetación primaria se han acentuado, siendo las selvas el tipo de vegetación con mayores tasas de cambio, seguidas por la vegetación hidrófila y los pastizales (SEMARNAT. 2004). Por otro lado, las coberturas producto de la acción humana como los cultivos, y pastizales inducidos han incrementado, dando como resultado una pérdida de cobertura vegetal, producto de la conversión de terrenos forestales a uno menos productivos (SEMARNAT. 2004).

La degradación forestal tiene diferentes procesos, se pueden presentar en presiones directas e indirectas. Entre las primeras se encuentran: la tala clandestina, los cambios de uso de

suelo, los incendios y las plagas forestales. Otros factores afectan indirectamente las perspectivas de la sustentabilidad forestal; se destacan las políticas agropecuarias que, aún hoy, fomentan actividades agrícolas y ganaderas extensivas en áreas con una vocación forestal, presentando además, una baja productividad y altos impactos en las selvas altas. En los bosques mesófilos se impulsó el cultivo de café, mientras que la promoción y el subsidio gubernamental de la llamada “revolución verde” permitieron incorporar al uso agrícola grandes zonas de laderas de montaña en áreas de bosques templados (Guzmán *et al.*, 2012).

CAPÍTULO I: CAMBIO CLIMÁTICO Y GASES DE EFECTO INVERNADERO

1.1 Cambio climático.

El cambio climático es uno de los problemas ambientales más importantes de nuestro tiempo, trasciende las barreras ambientales, y tiene consecuencias sociales, económicas y políticas. Es un fenómeno que afecta la estabilidad de la Tierra, producido por diversas actividades antropogénicas, que van de la mano con el desarrollo de las sociedades actuales (Gutiérrez y Gutiérrez, 2009; Sánchez, 2011). A este se le han atribuido condiciones y fenómenos meteorológicos adversos para la humanidad, desde sequías hasta inundaciones en los más recientes años (Erickson, 1992).

El cambio climático se puede definir como una variación estadística significativa en el estado medio del clima o de esta variabilidad (Magaña 2004). Este cambio puede persistir por períodos prolongados de tiempo, que pueden ir de décadas a cientos de años. Llega a ser causado por cualquier proceso interno natural o por fuerzas externas, e incluso puede ser atribuido a los implacables cambios antropogénicos en la composición de la atmósfera y del cambio de uso de suelo (Magaña, 2004).

En el artículo I de la Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCC por sus siglas en inglés), se define al cambio climático como *“un cambio en el clima que puede ser atribuido tanto directa como indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y que es la variabilidad del clima que se observa durante períodos de tiempo similares”*. La UNFCC además hace una distinción entre “cambio climático”, atribuido a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la “variabilidad climática” que es por causas naturales (Grover, 2004).

Una de las razones por las cuales el planeta tiene temperaturas óptimas para la vida humana es debido al efecto invernadero. Por miles de años, ha habido absorción de las emisiones de radiación infrarroja por parte de algunas moléculas de la atmósfera, principalmente Dióxido de Carbono (CO₂), Ozono (O₃) y Vapor de agua (H₂O), que atrapan la radiación y no la dejan escapar de la atmósfera; una parte es re-irradiada y mandada de regreso a la superficie de la Tierra, lo que provoca una elevación en la temperatura. Este fenómeno se puede entender como efecto invernadero de origen natural o “primario”. Esta suposición manifiesta que las concentraciones se han mantenido constantes por grandes períodos de tiempo. Desde el inicio de la Revolución Industrial, las concentraciones de ciertos gases, en especial el CO₂ y en menor medida el O₃, han ido en aumento, al igual que la creación de nuevo gases, lo que ha provocado un “nuevo” efecto invernadero, o un efecto “secundario”, ocasionando un incremento en las temperaturas que en años recientes se han presentado de manera más clara. Las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, han pasado de 280 partes por millón de volumen (ppmv), a los niveles que se han presentado desde hace 260 años y que se mantienen en aumento de 379 ppmv (Tabla 1.1; Tuckett, 2009).

Tabla 1. 1 Comparación de las concentraciones de gases de efecto invernadero en partes por millón de volumen entre 1748 y 2008 (Modificado de Tuckett, 2009)

Molécula	Ppmv (1748)	Ppmv (2008)
CO ₂	280	379
CH ₄	0.72	1.77
N ₂ O	0.27	0.32
O ₃	0.025	0.034
Todos los CFCs ¹	0	0.0009

Tabla 1. 2 (Continuación).

Molécula	Ppmv (1748)	Ppmv (2008)
Todos los HCFCs²	0	0.0002
Todos los PFCs³	0	0.00008
Todos los HFCs⁴	0	0.00006

- 1- Clorofluorocarbonos
- 2- Hidroclorofluorocarbonos
- 3- Perfluorocarbonos
- 4- Hidrofluorocarbonos

1.1.2 Clima.

El clima depende de un gran número de factores que interactúan entre sí de una manera compleja. El concepto tradicional de clima se refiere a un conjunto promedio de los estados de la atmósfera (temperatura, precipitación, radiación solar, humedad, vientos, entre otros) en un período de tiempo (generalmente, de más de treinta años) en un lugar dado o en toda la Tierra (Acosta, 2005; citado en Sánchez, 2011). Algunos investigadores, hoy en día, difieren con este concepto. Tal es el caso de Magaña (2004), que indica que el clima, es un estado cambiante de la atmósfera, con sus interacciones tanto con el mar, como con la parte continental y depende de diversas escalas de tiempo y espacio. También se puede inferir que es resultado de la sucesión de diversas condiciones del tiempo a lo largo del año.

El sistema climático está compuesto por el sistema atmosférico, la superficie terrestre, los océanos y las capas de hielo. Siendo la atmósfera un sistema dinámico de balance transitorio en constante movimiento. Los flujos principales son la energía solar y calor junto con los flujos de masa (principalmente agua) y en menor medida, elementos como

carbón, nitrógeno, argón, entre otros (McGuffie y Henderson, 2004; citado en Sánchez, 2011).

Una anomalía climática puede ser causada por cambios en los valores medios de los parámetros meteorológicos, tal es el caso de la temperatura y de la precipitación, y es ocasionada por forzamientos que no son propios del sistema, ejemplos: cambios en la radiación solar que recibe el planeta, el uso de suelo y las concentraciones de los gases de efecto invernadero, entre otras, que son fruto de las actividades antropogénicas (Magaña, 2004). Pronosticar a largo plazo la forma en que se presenta la variabilidad del clima es muy difícil, ya que se presenta en muchas formas. Es por ello que distinguir qué produce cambios en el clima de un año a otro, o en escalas mayores de tiempo, constituye un reto científico (Magaña, 2004).

1.1.3 Causas y consecuencias del cambio climático.

El calentamiento global se debe, en gran medida, a la producción de los gases de efecto invernadero (GEI); los principales son: vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2); metano (CH_4); óxido nitroso (N_2O), entre otros. De estos gases, el vapor de agua y el dióxido de carbono, producidos por el uso y quema de combustibles fósiles y del carbón son señalados como los responsables de este efecto. Estos gases tienen la capacidad de retener el calor cerca de la superficie de la Tierra y tienen la característica de ser gases que dejan pasar la radiación visible, que es emitida por el sol y dificultan la salida de radiación infrarroja o el calor que se presenta por la noche y que se produce en la Tierra, lo que da lugar al calentamiento global antropogénico. Entre más energía atrapan en la superficie de la Tierra y en la parte baja de la atmósfera hay más posibilidades de que aumente la temperatura, lo que ocasionaría un cambio en los patrones de lluvias y otros ciclos climáticos (Gutiérrez y

Gutiérrez, 2009; Sánchez, 2011). Son dos los factores que interactúan con los gases de efecto invernadero, entre los que se destacan:

a) Factores externos: cambios en la actividad solar, modificaciones en la órbita terrestre, impactos de meteoritos; éstos producen cambios en largos períodos de tiempo, por lo que son lentos y sólo se aprecian en períodos muy largos de tiempo (100 000 años) en los últimos siglos, no se ha detectado ningún cambio provocado por dichos factores y los factores internos: cambios en el efecto Albedo², alteraciones en las corrientes termohalinas³, variación en la composición de la atmósfera y

b) los factores internos: los cuales sí han cambiado significativamente en los últimos siglos, por lo que los científicos han llegado a la conclusión de que esos cambios han sido provocados por los seres humanos (cambio climático de origen antropogénico), como consecuencia del desarrollo insostenible que ha tenido lugar en dicho período (Gutiérrez y Gutiérrez, 2009).

Las variaciones en la composición de la atmósfera provocadas por la actividad humana es el factor que más influye en el cambio climático. Existe al menos un 90% de posibilidades de que la quema de combustibles fósiles sea culpable del incremento de la temperatura que se ha observada en los últimos años. El aumento de CO₂ es ocasionado, en su mayoría, por

² El “Efecto Albedo” es el responsable de que un tercio (30%) de la energía que recibe la Tierra, procedente del sol, se refleja y regresa directamente al espacio, evitando el calentamiento de la superficie polar. Este fenómeno tiene un efecto contrario al del cambio climático; el hielo y la nieve poseen un gran efecto albedo, en cambio, la descongelación de los casquetes polares disminuye dicho efecto y por ende, llega más energía a la Tierra.

³ Las “corrientes termohalinas” son corrientes marinas que circulan debido a las diferentes temperaturas y densidades que se presentan en las aguas oceánicas. Forman una gran cadena que transporta calor, ello ayuda a regular los climas para que no sean tan extremos. Esta cinta tarda en recorrerse alrededor de unos mil años. Si la corriente cálida procedente del Ecuador no llegase al norte del Atlántico, descendería la temperatura en los países del norte de Europa. Si la temperatura media de la Tierra aumenta, dichas corrientes se alterarían, modificando aún más el clima de la Tierra (Gutiérrez y Gutiérrez, 2009).

el uso de combustibles fósiles y cambios en el uso de la tierra (se destruyen bosques y su superficie es destinada a la agricultura y a la ganadería intensiva, con lo que disminuye la absorción de CO₂ que se retiene en la fotosíntesis), y el incremento del metano y del óxido nitroso se debe en gran medida, a la agricultura. Alrededor de 300 millones de años, tardó la naturaleza para capturar CO₂ atmosférico, lo depositó en el suelo y lo convirtió en combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), los humanos han tardado menos de 300 años en devolverlo a la naturaleza de nuevo, mediante su combustión (Gutiérrez y Gutiérrez, 2009).

Con la Revolución Industrial, el uso de insumos que producen gases de efecto invernadero (gas, petróleo y en gran medida, la presencia del carbón) han elevado los niveles de los (GEI) en la atmósfera, especialmente, el dióxido de carbono; algunos estudios señalan que en promedio han aumentado alrededor de 25% éstos niveles; desde los años noventa se habla de un promedio de 0.4% anual, considerándose el año de 1998 el más cálido en los registros que se tienen desde 1850 (Gutiérrez y Gutiérrez, 2009).

Las temperaturas promedio del aire en la superficie se proyectan en modelos que van a lo cálido entre 1.4 a 5.8 °C para 2100 en comparación a 1990. Estas proyecciones indican que el calentamiento variará por región, e irá acompañada por incrementos y descensos en la precipitación. Además, habrá cambios en la variabilidad del clima y cambios en la frecuencia e intensidad de algunos fenómenos extremos (McCarthy, 2001).

Se espera que las consecuencias del cambio climático sean:

Aumento en la temperatura media de la Tierra (entre 1.8 y 4 °C este siglo), esto va a depender de la cantidad de GEI que se emitan a la atmósfera. El aumento de la temperatura registrado en el siglo XX fue de 0.74 °C. A nivel mundial, el año 1998 ha sido el año más

cálido desde 1850, año desde que se tiene registro directo de temperaturas, seguido de 2007. El calentamiento será mayor en tierra que en el mar (Gutiérrez y Gutiérrez, 2009).

Incremento del nivel del mar: se calcula, que el incremento del nivel del mar en el siglo XXI estará en promedio entre 28 y 43 cm, mientras que para el año 2100, se proyecta un incremento en los modelos de 9 hasta 88 cm. En los últimos cien años ha ido en aumento, en promedio 17 cm. Desde 1870 el nivel del mar ha subido 20 cm. Esto se debe, en buena medida, por el deshielo de los polos y glaciares, y a la expansión térmica de los océanos cuando sube su temperatura (Gutiérrez y Gutiérrez, 2009).

Retroceso de los glaciares: la capa de nieve y los hielos polares se encogerán, sobre todo en el Ártico; su superficie helada disminuye aproximadamente un 10% por década (unos 72 00 km² al año), desde 1979. A finales de 2007 la superficie helada del Ártico era de 4.28 millones de km², la más baja desde que se tienen registros (Gutiérrez y Gutiérrez, 2009).

Una manifestación más continua de fenómenos meteorológicos extremos: aumento de la frecuencia de las olas de calor y las precipitaciones desastrosas e intensas. Los ciclones tropicales serán más fuertes y podrían presentarse con una mayor frecuencia (Sánchez 2011).

Migraciones humanas: según el IV informe de evaluación del II grupo del IPCC (grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), celebrado en Bangkok (mayo 2007), en gran parte de los países subdesarrollados, hay más de 150 millones de personas, bautizadas como “refugiados climáticos” o “refugiados del clima”; ellos deberán de buscar otras regiones en las que el agua y la tierra les permitan subsistir y, además, es probable la presencia de numerosas enfermedades que los puedan afectar. La Tierra no será afectada

de la misma forma en todas las regiones. Las más pobladas, serán las que presenten mayores impactos, entre ellas grandes partes de África, Asia y extensos territorios de América del Sur; por si fuera poco, son las que se encuentran peor preparadas para afrontar este fenómeno (Gutiérrez y Gutiérrez 2009).

Entre mayor sea la cantidad de gases que se encuentren en la atmósfera, atraparán más calor; este calor extra, es devuelto a la tierra. Por este motivo, la temperatura de la Tierra se eleva, debido a este “efecto invernadero”. Por ejemplo, si estos gases se duplican para el año 2050, como se prevé, la temperatura en el planeta se podría incrementar entre 1.5 y 4.5 grados. Este incremento puede alterar los ciclos de la precipitación global, lo que tendría grandes consecuencias (Grover, 2004).

1.2 Gases de efecto invernadero.

En la atmósfera, estos gases son componentes normales y mantienen estable la temperatura alrededor de los 15 – 16 °C. El aumento de sus concentraciones por las actividades humanas (entre ellas, la ganadería, la industria y el transporte), es responsable del calentamiento global (Canziani, Mielinicki 2007; citado en Herrero, 2008).

En 1988, se estableció el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, (IPCC) cuya función era estimar la información científica disponible sobre el mismo, evaluar los impactos ambientales y socioeconómicos que producía el cambio climático, y formular estrategias de respuesta. Alrededor de 140 científicos y expertos de más de 30 países formaron el grupo de trabajo I del IPCC; desarrollaron la Guía Revisada 1996 del IPCC que llevó a la formulación de los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, esto con el propósito de asegurar que los que pudieran ser tomados a consideración de la

Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC), fueran consistentes y se pudieran comparar (Cuatecontzi y Gasca, 2004).

El objetivo del artículo 2 de la CMNUCC es lograr la estabilización de las concentraciones de GEI que se encuentran en la atmósfera. Estos gases son componentes de la atmósfera, pueden ser tanto naturales como antropogénicos; ellos tienden a absorber y re-emitir radiación infrarroja a la Tierra a tal grado, que las actividades antropogénicas no causen interferencias de gran significado en el sistema climático. Esto se debe de lograr en un período que sea lo suficientemente aceptable para que los ecosistemas tengan una adaptación de forma natural al cambio climático sin que se vea amenazada la producción de alimentos, al mismo tiempo que el desarrollo económico continúa su progreso de manera sostenida (PNUMA 1999; citado en Cuatecontzi y Gasca 2004).

Uno de los efectos resultantes de los GEI, es la lluvia ácida (Gutiérrez y Gutiérrez, 2009) y la reducción de la capa de ozono (Pérez, 2011), siendo estos dos fenómenos dañinos para los ecosistemas del planeta. Los daños para la especie humana, los ecosistemas marinos y en los demás animales es considerable, ya que la capa de ozono es esencial para la vida (Pérez, 2011).

Los GEI cubren una amplia gama de gases de origen tanto natural como antropogénico. En el caso del efecto invernadero de los gases, se tiene que tener en consideración a dos características importantes para poder estimarlo:

1. – El Forzamiento Radiativo: es un cambio en el balance entre la radiación solar que entra y la radiación infrarroja que sale de la Tierra (se expresa en watts por metro cuadrado, Wm^{-2}) (IPCC, 2001; citado en Cuatecontzi y Gasca, 2004).

2. – Potencial de Calentamiento Global (PCG): Se define como: “el forzamiento radiativo de una masa de gas en relación con un gas de referencia (generalmente es el CO₂), considerando tanto los efecto directos como los indirectos, en un horizonte de tiempo específico” (IPCC, 1996). Los efectos directos se presentan cuando el gas es en sí, de efecto invernadero; el forzamiento radiativo indirecto se debe a las transformaciones químicas que se producen en el gas original, esto genera un gas o gases que son de efecto invernadero, o se presenta cuando un gas afecta los tiempos de vida de otros gases en la atmósfera. El gas que se usa como referencia es el bióxido de carbono (CO₂), por los que las emisiones son analizadas por el potencial de calentamiento global (PCG); estas emisiones se miden en teragramos de equivalentes de bióxido de carbono.⁴ (Cuatecontzi y Gasca 2004)

Hay gases que no tienen un efecto directo, pero tienen influencia en la formación y destrucción del ozono, que también absorbe la radiación que llega a la superficie terrestre.

Son gases precursores del ozono y en estos se pueden incluir al monóxido de carbono (CO), a los óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVNM; citado en Cuatecontzi y Gasca, 2004).

⁴ La expresión que se utiliza para calcularlo es:

$$Tg\ CO_2\ Equiv = Gg\ de\ gas * PCG / 1000$$

Donde:

Tg CO₂ Equiv, son los teragramos de equivalentes de bióxido de carbono.

Gg se refiere a los gigagramos (mil toneladas métricas) del gas que se va a estudiar.

PCG, son las siglas del Potencial de Calentamiento Global del gas que se va a estudiar.

1/ 1000 es el factor de conversión de gigagramos a teragramos.

Mientras más grande sea el tiempo de vida en la atmósfera y si la estructura del gas es más compleja su PGC va a ser mayor (Cuatecontzi y Gasca 2004).

El nitrógeno, el oxígeno y el argón ocupan el 99.95% de los gases que constituyen a la atmósfera: 78%, 20.9% 0.9% respectivamente, el restante 0.05% contiene gases residuales, y entre ellos algunos tan importantes como el ozono, que representa solamente el 0.001 %, pero tan vital que sin su protección podría causar quemaduras en la piel, debido a los rayos ultravioleta. Otros, son gases residuales, tal es el caso del vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, los clorofluorocarbonos y el óxido nitroso; se calcula la presencia de alrededor de 30 gases residuales; estos gases son los que crean el “efecto invernadero”, es decir, que tienen la capacidad de atrapar calor cerca de la superficie de la tierra (Pérez, 2011). Estos gases son responsables de la transmisión y refractancia de los rayos solares, debido al proceso que lleva al calentamiento de la atmósfera, la absorción de los rayos solares por parte de los gases es relevante, ya que puede conducir a cambios en los patrones del clima (Sánchez, 2011).

Todos los gases residuales se producen de manera natural en el planeta, en cantidades que pueden ser usadas de nuevo, por procesos normales en los ecosistemas, y por lo tanto, no llegan a tener impactos por encima de las capacidades del sistema para volver a aplicarlos. Si los gases llegan a aumentar, la retención de calor que proviene del sol por parte de la atmósfera será mayor y su liberación hacia la tierra será de igual magnitud. Debido a la presencia de estos gases en la atmósfera, hay un equilibrio en el clima⁵ (Pérez, 2011).

Algunos de los gases residuales más relevantes son *dióxido de carbono, metano y ozono troposférico* (Pérez, 2011). El *ozono troposférico* cumple con diversas funciones en

⁵ Por este motivo, se estima que en Marte el clima es excesivamente frío porque no cuenta con vapor de agua, y por el contrario, en Venus, con un 98% de concentración de carbono en la atmósfera, la temperatura supera los 450 °C (Pérez 2011).

función de su ubicación en la atmósfera: a) en la estratosfera como capa protectora de la tierra de los rayos ultravioleta, y b) como gas de efecto invernadero que está presente debajo de esta capa y por lo tanto, más cerca de la superficie terrestre. Algunos estudios en la cuenca de Amazonas indican que se produce en los bosques tropicales (Pérez, 2011).

El dióxido de carbono (CO_2), por otro lado, es el gas de efecto invernadero (GEI) que más presencia tiene en la atmósfera. La quema de combustibles es la principal actividad que propicia su aumento, se ha puesto de manifiesto este incremento en las últimas décadas; aunado a ello, el uso y cambio de uso de suelo son (USCUS) otras actividades que inciden en su incremento. Desde El Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (también conocido como AR4) el CO_2 se ha incrementado en 11,7 ppm a 390,5 ppm en 2011 (IPCC 2013), mientras que el gas metano se describe en la sección de GEI de origen pecuario.

Al ser dinámica la atmósfera, ocasiona que los gases residuales se expandan rápidamente a lo largo del planeta, y hacen que la temperatura aumente de manera general en la Tierra y no sólo en algunas zonas; además es telequinética, lo que quiere decir, que los cambios pueden producirse de manera simultánea en distintas regiones, y por lo tanto las pautas de los fenómenos climáticos como las tormentas, los vientos, las sequías o las lluvias se modifican a nivel global y lo hacen más o menos al mismo tiempo (Pérez, 2011).

1.3 Producción de GEI de origen pecuario.

A nivel global, la contaminación producida por los GEI, es la más relevante debido al efecto que tienen dicho gases, entre los que destacan, el dióxido de carbono, el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). El sector ganadero contribuye con la emisión de metano y óxido nitroso asociada a la dieta de los animales y al manejo del estiércol en sistemas

intensivos (Herrero, 2008). La contaminación de origen pecuario en el aire, puede ser por sistemas ganaderos intensivos y tiene su origen en diversas circunstancias: GEI, amoníaco, Compuesto Orgánicos Volátiles (COV), partículas aéreas e insectos y roedores.

Su producción varía con la especie animal pero los rumiantes son los responsables de las mayores emisiones (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Emisiones de GEI, por especie en kg por cabeza por año. Elaboración propia con base en Herrero, 2008.

Especie	Emisiones (kg/por cabeza/por año)
Vacas lecheras	111 kg
Terneros en engorde	39 kg
Ovinos	8 kg
Porcinos	1 kg

Tomando como ejemplo, los países que conforman el MERCOSUR, sus emisiones de GEI de origen pecuario fueron de 52% correspondiente al dióxido de carbono, y el 48% restante al metano y óxido nitroso. Sin embargo, esta situación difiere a la situación mundial en donde las emisiones de dióxido de carbono representan el 73%, debido en gran medida a los países con un fuerte desarrollo industrial, con un alto consumo de combustible fósil y menor incidencia en las actividades agropecuarias (Herrero, 2008).

A continuación se detalla:

1.3.1 Metano (CH₄).

El metano (CH₄) es el segundo gas en importancia en relación al efecto invernadero detrás del dióxido de carbono, con una contribución relativa estimada en 20% (IPCC, 1996).

Las vías digestivas de los animales (en especial, los rumiantes) y de algunos insectos (termitas), los cultivos de arroz y la acción bacteriana que existe en los pantanos, son las principales fuentes de CH_4 o gas natural. De acuerdo con sus propiedades se afirma que es entre 21 y 25 veces más efectivo que el dióxido de carbono para absorber calor; pero en comparación con el CO_2 , su presencia en la atmósfera es muy inferior a dicho gas. (Pérez, 2011).

A finales del siglo XVIII, la concentración de metano fue de 0.65 ppm mientras que en 1988 llegó a 1.69 ppm. De 1978 a 1988, la proporción de metano ha aumentado a un ritmo del 1,3 % anual. Este incremento es debido a las expansiones en la agricultura y cría de ganado, la extracción y el uso de combustibles fósiles, la quema de biomasa en los trópicos y la eliminación inadecuada de los desechos orgánicos, entre otras cosas. Las emisiones surgen procedentes de la fermentación entérica y de la fermentación anaeróbica del estiércol (Pérez, 2011).

La contribución del CH_4 al efecto invernadero a escala global es muy alta debido al mayor potencial de calentamiento que caracteriza a este gas. Los gases de efecto invernadero tienen una diferente capacidad de atrapar calor en la atmósfera. Para los diferentes gases que existen, tomando como base al dióxido de carbono (CO_2), se ha estimado que el CH_4 es entre 21 y 25 veces más efectivo que el CO_2 en atrapar calor (el Potencial de calentamiento Global (PCG) del metano normalmente es 21). Para el caso del óxido nitroso (N_2O), el valor de PCG estimado es de 310 (Baethgen y Martino, 2001).

Generalmente, el metano se produce durante el proceso digestivo de los animales (los rumiantes son los animales que más producen este gas, tal es el caso del ganado bovino y en menor medida, el ganado porcino y caprino). La cantidad de metano producido y

excretado depende fundamentalmente de dos factores: el tipo de animal, y el tipo de dieta a la que los animales están sujetos. Los rumiantes (ganado vacuno y ganado ovino), son los animales que más cantidades de gases producen, debido, entre otras fuentes, a la fermentación entérica que se lleva a cabo en el rumen durante el proceso de digestión. (Pérez, 2011).

Además de que el tracto digestivo tiene injerencia en la producción y emisión de gases de efecto invernadero; el tamaño y la edad así como la alimentación juegan un papel relevante en este ámbito. Los rumiantes de mayor tamaño y/o edad, llegan a producir mayores cantidades de metano; mientras el alimento tenga una mayor digestibilidad, las emisiones serán menores; cuanto menos digestible es el alimento, aumentará la presencia de metano (Crutzen 1986; citado en Herrero 2008).

Actualmente, se busca que la producción de carne aumente de manera rápida, por unidad de área y de tiempo. Para que esto pueda ser viable, se exploran nuevas medidas para que los animales puedan ganar el suficiente peso en períodos relativamente cortos de tiempo y, a su vez, esto se hace con categorías de animales jóvenes que coman alimentos de alta digestibilidad (pasturas mejoradas, y en algunos casos suplementos como raciones). Pero al mismo tiempo, si se consiguiera una reducción de la edad promedio del ganado de carne y se pudiera aumentar la digestibilidad de la dieta que consumen llevaría a una inmediata reducción de las emisiones de metano (Baethgen y Martino, 2001).

Los sistemas de producción confinados (llamados “feedlot”), son otra fuente de emisión de CH₄ en la producción pecuaria; están asociados al manejo del estiércol que en general es menos importante, o se pueden ligar a los sistemas en que el estiércol se maneja en estado líquido (Baethgen y Martino, 2001).

El cultivo de arroz regado por inundación también representa una fuente importante de producción CH_4 en la agricultura. Se ha estimado que el metano liberado en los campos de arroz inundado representa entre un 10 y un 25% de las emisiones totales de dicho gas en el mundo, en el orden de 600 a 650 MMTCO_2E (Global Methane Initiative 2011). El metano en campos de arroz inundado se forma principalmente por la descomposición anaeróbica (sin la presencia de oxígeno) de la materia orgánica que está presente y es llevada a cabo por microorganismos en el suelo. El metano que se crea de esta manera es liberado a la atmósfera por tres vías principales: a) por el burbujeo que se genera en el agua de inundación; b) por difusión desde la superficie del agua de riego; y c) durante la estación de crecimiento de las plantas de arroz, sus tejidos generan una difusión a través de sus propios tejidos. De las 3 mencionadas, la última vía es la más relevante, ya que se estima que un 90% del metano que se genera en cultivos de arroz proviene de esta fuente; el gas se libera a la atmósfera a través del aerénquima de las plantas, por este motivo, las emisiones varían mucho a lo largo de la estación de crecimiento del cultivo y van a depender del estado fenológico y de las tasas de fotosíntesis y respiración (IRRI, 1994; citado en Baethgen y Martino 2001).

Otra fuente de emisiones de metano, la cual fue descubierta hace poco, son las represas, debido a que en ellas se concentra materia orgánica que se acumula a lo largo del tiempo y se descompone. Investigaciones del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales de Brasil (INPE), indicaron que en el mundo se emiten 104 millones de toneladas de metano, proveniente de las 42 mil represas que existen en el mundo y que esto contribuye en un 4% al efecto invernadero (Pérez, 2011).

1.3.2 Óxido nitroso (N₂O).

El óxido nitroso (N₂O), se produce por procesos antropogénicos, debido a la utilización de fertilizantes, como el abono en suelos agrícolas; por el tratamientos de aguas residuales, la combustión de desechos, el quemado de biomasa; y a la quema de combustibles fósiles, especialmente los que se utilizan en automóviles⁶ (IPCC 1996; citado en Cuatecontzi y Gasca, 2004). La acción de microbios en el suelo también lo produce como respuesta a actividades agrícolas, descomposición de desperdicios, quema de leña y en medida, el uso de fertilizantes con contenido de nitrógeno, el cual acelera la liberación de N₂O (Pérez, 2011). Previo a la industrialización, las concentraciones en la atmósfera de N₂O eran en promedio de 270 ppm. En 1994, la cifra llegó a 312 partes, se produjo un incremento de 13% esto, debido a las actividades antropogénicas (IPCC, 1996); en 1998 la concentración atmosférica era de 314 ppm y para 2008 fueron de 320 ppm (Cuatecontzi y Gasca 2004) (Tuckett, 2009; citado en Letchner, 2009).

Generalmente, el óxido nitroso, tiene un tiempo de vida en la atmósfera de 114 años y una tasa de cambio en la concentración de 0.8 partes por millón en volumen. Su remoción de la atmósfera se realiza fundamentalmente por medio de la acción fotolítica de la luz solar en la estratosfera. Su forzamiento radiativo se estima en 0.15 W/m², lo cual equivalente a 6% del total de todos los gases de efecto invernadero (Cuatecontzi y Gasca, 2004). Entre 1998 y 2100, los modelos prevén que las concentraciones de N₂O en la atmósfera se incrementen; estos oscilan entre +38 y +144 ppm, es decir, una variación cercana entre

⁶ La introducción de convertidores catalíticos en los vehículos motorizados, por una parte ha ayudado a reducir las emisiones de los precursores de ozono; por otra parte, causa un aumento en las emisiones de óxido nitroso (Cuatecontzi y Gasca, 2004).

+ 12% y +46% de la concentración que se había registrado en el periodo previo a la industrialización.

1.4 Programas para mitigar gases de efecto invernadero, REDD+, FLEGT y Protocolo de Kyoto.

1.4.1. Protocolo de Kyoto.

En 1997 se aprobó el texto del Protocolo de Kyoto (PK) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), mediante el cual se controlarán las emisiones de seis gases de efecto invernadero: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFCS), perfluorocarbonos (PFCS) y hexafluoro de azufre (SF_6). En el PK se establece el compromiso de 39 países desarrollados y en proceso de transición a economía de mercado que integran el Anexo I del protocolo, de reducir sus emisiones de GEI en no menos de 5% con respecto a sus emisiones de 1990. Cabe mencionar que fue hasta el 16 de febrero de 2005 que el protocolo de Kyoto entró en vigor. (Cuatecontzi y Gasca 2004).

De acuerdo al Protocolo, cada país varía de acuerdo a sus compromisos adquiridos. El 5% de reducción para los países desarrollados se debe de conseguir mediante recortes (con respecto a los niveles de 1990). En el caso de la Unión Europea, Suiza y la mayor parte de los países de Europa central y oriental se debe de reducir cerca del 8%; 6% en Canadá; 7% en los Estados Unidos (años después los Estados Unidos retiraron su apoyo a la iniciativa del Protocolo), y el 6% en Hungría, Japón y Polonia (Naciones Unidas, 1992). Nueva Zelandia, Rusia y Ucrania deben estabilizar sus emisiones. Noruega puede aumentarlas hasta un 1%, Australia un 8% (al igual que los Estados Unidos, quitó su apoyo a la iniciativa del Protocolo) e Islandia un 10%. La UE tiene un acuerdo interno para

alcanzar su objetivo del 8% distribuyendo diferentes porcentajes entre los Estados Miembros.

En casi todos los casos, los límites están exigiendo importantes reducciones de las emisiones que actualmente se proyectan. Posteriormente, se tiene previsto el establecimiento de objetivos obligatorios futuros para los “períodos de compromiso” más allá del 2012 (Naciones Unidas, 1992).

1.4.2. FLEGT.

Para combatir y evitar la presencia de madera ilegal en el mercado mundial y con ello, evitar su entrada al mercado europeo, aprobó en 2003 el Plan de Acción de la UE para la Aplicación de leyes, gobernanza y comercio forestales (FLEGT, por sus siglas en inglés).

El Programa UE-FAO para la Aplicación de leyes, gobernanza y comercio forestales (Programa UE FAO FLEGT) es una iniciativa de la Unión Europea para ayudar a países en desarrollo y que son productores de madera a prevenir la tala ilegal y a que se beneficien de los mercados de los mismos (PROFOREST, 2011).

1.4.3. REDD+.

El FLEGT se puede apoyar de otros programas para tener un mayor éxito, como el caso de REDD+, al promocionar y crear una mejor gobernanza forestal y poder aplicar las leyes forestales, tratar algunas de las causas que provocan degradación forestal, crear condiciones óptimas para realizar la formulación de políticas transparentes en el sector de la ordenación del territorio. En años recientes, las tasas de deforestación y degradación forestal se han incrementado de manera alarmante, esto se ha visto reflejado de mayor manera en las zonas tropicales (PROFOREST, 2011).

La tala (legal e ilegal), los cambios de uso de suelo (en especial, las explotaciones agrícolas a gran escala), los usos de subsistencia de personas en el medio rural, la minería y los incendios forestales, son las principales causas del deterioro forestal.

La pérdida de biodiversidad, poco o casi nulo aprovisionamiento de agua, impactos negativos en los medios de vida de las comunidades rurales, son algunas de las causas por las cuales la desaparición de los bosques preocupa. Además de ello, en años recientes se ha dado una atención especial al vínculo que existe entre la pérdida forestal y el cambio climático. Debido al creciente interés que ha despertado el cambio climático, los cambios de uso de suelo y, en gran medida la pérdida de zonas forestales, en 2005, un grupo de países realizó una propuesta a la CMNUCC para que el acuerdo sobre cambio climático post- 2012 incluyera un mecanismo para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD). A la propuesta inicial se le dio mayor atención en las reuniones que siguieron de la CMNUCC para poder incluir algunos apartados, tal es el caso de la conservación de las reservas de carbono de los bosques, la gestión sostenibles de bosques y la mejora de las reservas de carbono de los bosques. REDD+ hace que los países desarrollados proporcionen una compensación financiera a aquellos países en desarrollo que logren reducir estas fuentes de emisión a nivel nacional.

REDD+ es otro de los programas en cuanto a la mitigación de gases de efecto invernadero se refiere. Aprovecha estímulos positivos que se emplean en la reducción de las emisiones que tienen lugar en la deforestación y degradación (REDD) y apoya la conservación de las reservas que actualmente existen de carbono de los bosques, el manejo sostenible de los bosques y trata de aumentar las reservas de carbono de los países que están en vías de desarrollo. Los países desarrollados han prometido una financiación de aproximadamente

4000 millones de dólares entre 2010 y 2013 para los países en vías de desarrollo, además, la gran mayoría de los países con bosque lluvioso están involucrados en actividades REDD+ de algún tipo (PROFOREST, 2011).

Países que participan en los proyectos REDD+

Alemania	Gabón	Papua Nueva Guinea
Angola	Ghana	Paraguay
Argentina	Guatemala	Perú
Australia	Guinea Ecuatorial	Reino Unido
Bélgica	Guyana	República Centroafricana
Belice	Holanda	República de Corea
Brasil	Honduras	República del Congo
Burundi	India	República Democrática del Congo
Camboya	Indonesia	República Dominicana
Camerún	Islas Salomón	Rwanda
Canadá	Italia	Sao Tomé y Príncipe
Chad	Japón	Sierra Leona
China	Kenia	Singapur
Colombia	Laos	Suecia
Costa de Marfil	Liberia	Suiza
Costa Rica	Madagascar	Suráfrica
Dinamarca	Malawi	Surinam
Dominica	Malaysia	Tailandia
Ecuador	Mali	Tanzania
Eslovenia	México	Togo
España	Mozambique	Uganda
Estados Unidos	Nepal	Vanuatu
Fiji	Nigeria	Vietnam
Filipinas	Noruega	Zimbabue
Finlandia	Pakistán	
Francia	Panamá	

1.5 Uso de suelo, cambio de uso de suelo, deforestación y cobertura de suelo.

Terminología.

En los escenarios de uso y cambio de uso suelo para el período 2000- 2050 que están contemplados en el informe de International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD por sus siglas en inglés), se puntualizó que los efectos que causan los cambios de la agricultura y la demanda de biocombustibles provocan perturbaciones en el uso de la tierra. Para el 2050 se prevé que el uso de la tierra por parte de la población mundial sea de más de 4 millones de kilómetros, esto en gran parte, por el aumento de la demanda que habrá para la producción de

bioenergía. Aunado a esto, las áreas forestales están disminuyendo en todo el planeta, pero este fenómeno es más notorio en zonas en vías de desarrollo, tal es el caso de América Latina, el Caribe y el sureste Asiático (Manzo *et al.*, 2013).

Los escenarios proyectados a futuro sugieren que esta tendencia se mantendrá, debido a la acelerada pérdida de diversidad biológica y la tasa de reducción de biomasa para el período 2000 – 2050 que será mayor que en el período 1970 – 2000 (Rosegrant *et al.*, 2009, citado en Manzo *et al.*, 2013).

Cerca del 40% de la superficie ocupada está destinada a la agricultura, sin embargo, no hay incentivos para el uso de nuevas tecnologías que podrían incrementar la productividad en ciertas regiones como Latinoamérica (Thornton y Herrero, 2010, citado en Manzo *et al.*, 2013).

La interpretación de escenarios para la conservación de los bosques tiene diversas cuestiones, en particular, en evaluación de degradación y la asociada a impactos ambientales, sociales y económicos. La incertidumbre en los modelos también es motivo de preocupación y el futuro en el ámbito de la conservación de los bosques es dudoso, el desarrollo de las estrategias para la protección del medio ambiente a nivel local y regional es una acción concreta que se puede llevar a cabo (Manzo *et al.*, 2013).

El territorio nacional cuenta con una gran cantidad de comunidades naturales, entre las que destacan, los bosques, selvas y pastizales. Aunado a estos, existen los territorios ocupados por las actividades antropogénicas: agrícolas, ganaderas y sobre todo, zonas urbanas.

De estas formaciones, los bosques se encuentran en regiones templadas; en el caso de las selvas, éstas predominan en zonas que poseen climas tropicales (pueden ser bosques

tropicales) y son las que cuentan con una mayor cantidad de especies. Los matorrales son predominantes de las zonas secas y/o semisecas, con vegetación dominante por arbustos.

Las zonas en donde la vegetación no ha sufrido modificaciones o éstas han sido menores se le denomina como vegetación primaria; por otro lado, si las perturbaciones son o han sido mayores y se ha removido parcial o totalmente la cubierta vegetal primaria, la vegetación que se recupera en estos sitios se considera como secundaria y puede ser estructural y hasta funcionalmente muy diferente de la original (SEMARNAT 2008).

Los matorrales son la vegetación natural que predomina en el país, ocupan casi una tercer parte (26.2% del país); de ésta cifra, cerca del 8% son secundarios, pero podría ser mayor si se tiene en cuenta que en muchos lugares son usados para ganadería extensiva que frecuentemente modifica la composición por especies.

Las coberturas antrópicas son el lado extremo de las transformaciones de la vegetación. Es cuando se elimina por completo la cubierta vegetal para dar paso a diferentes tipos de actividades agrícolas, pecuarias y en mayor medida, zonas urbanas.

En años más recientes, el ritmo de transformación o alteración de la vegetación primaria ha disminuido de gran manera. 4.4 millones de hectáreas de bosques, selvas, matorrales desérticos y pastizales primarios fueron ocupadas para otros usos o reemplazadas por comunidades secundarias a un ritmo de 484 mil hectáreas por año entre 1993 a 2002.

En el caso de los terrenos dedicados a la ganadería y la agricultura, han ido aumentando constantemente a través del tiempo en México. Ya en los 70's los pastizales dedicados a la ganadería ocupaban una superficie de más de 14 millones de hectáreas y los terrenos agrícolas alrededor de unos 26 millones de hectáreas. Entre 1970 a 1993, este tipo de coberturas aumentaron su extensión en 6.4 millones de hectáreas hasta cubrir una superficie

total de 46.7 millones de hectáreas en 1993, con una tasa de 376 mil hectáreas anuales. En el periodo de 1993 al 2002, los pastizales cultivados o inducidos aumentaron su superficie en unas 117 mil hectáreas y las áreas dedicadas a la agricultura y a pastizales destinados al ganado se incrementaron casi 3 millones de hectáreas cubrir una extensión total de 49.7 millones de hectáreas en 2002 (SEMARNAT 2008).

El cambio de la vegetación para dar paso a actividades antrópicas, en especial, hacia actividades agropecuarias, es más notorio en la vegetación secundaria que en la primaria. La alteración de la vegetación sumado a la transformación hacia otros usos de suelo, son sin duda, responsables, en gran parte, de las elevadas tasas de pérdida de vegetación natural en México. Si el cambio y la transformación de la cobertura vegetal siguen en el futuro inmediato, se podrían observar las mismas tendencias y ritmos que se dieron entre 1993 y 2002, lo que causaría que las superficies cubiertas por vegetación natural sigan disminuyendo y llegaran a menos de la mitad de las existentes en 2002 y, por el contrario, las superficies dedicadas a actividades pecuarias se duplicaría. La dinámica de cambios entre diferentes usos puede visualizarse como un flujo de terrenos que pasan de una forma de uso o manejo (SEMARNAT 2008).

No sólo el desmonte y deforestación son relevantes para regular la dinámica de los cambios de uso de suelo, sino que la alteración y la degradación también juegan un papel fundamental en su formación; es un proceso clave que regula la dinámica de cambios en todo el sistema (SEMARNAT 2008).

1.5.1. Cambio de Uso de Suelo

Los cambios que sufren el uso de suelo y/o la cobertura del terreno son provocados principalmente por las actividades humanas y, en ocasiones, llegan a provocar cambios que

afectan a la humanidad (Rossete *et al.*, 2008). El Cambio de uso de suelo se refiere las modificaciones que sufre la superficie terrestre; son dadas principalmente por la apertura de nuevas tierras agrícolas, desmontes, asentamiento humanos e industriales. Son las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal (De Jong *et al.*, 2006).

El uso de suelo según Veldkamp y Fresco (1996; Citado en Rossete *et al.*, 2008) está determinado por las interacciones en el espacio y el tiempo de los factores bióticos como el tipo de suelo, el clima y la topografía y por factores humanos como la población, la tecnología, las condiciones económicas, entre otros.

1.5.2. Deforestación.

México es un país que cuenta con una de las mayores diversidades del mundo, con una gran riqueza de recursos naturales, selvas y bosques. La acelerada degradación de los bosques tiene como consecuencia un estado de alerta en gran cantidad de especies de flora y fauna que dependen de este ecosistema (Céspedes y Moreno, 2010; SEMARNAT, 2008).

De los diferentes procesos que determinan el cambio en el uso del suelo algunos han recibido especial atención. Tal es el caso de la deforestación, que es el cambio de una cubierta dominada por árboles hacia una que carece de ellos (SEMARNAT, 2014). De Jong y colaboradores (2006) plantean que la deforestación es la transformación de tierras forestales a no forestales debido a la actividad humana directa o inducida.

La tasa de deforestación que se presenta en México varía entre 75 mil a 2 millones de ha perdidas de bosques y selvas cada año; aunque estas cifras pueden variar debido a la dificultad para calcular los valores de pérdida de cobertura forestal; sin embargo, estos datos colocan a México como uno de los países con mayor tasa de deforestación (Céspedes y Moreno, 2010).

Las principales causas de la pérdida de ecosistemas forestales residen en los factores económicos; como la explotación de madera para satisfacer un tipo de mercado. Por otro lado, las actividades agropecuarias, que generan ingresos muy reducidos y tienen, a menudo, impactos de importancia sobre el capital natural han sido también identificadas como responsables de la deforestación, junto con la tala ilegal (SEMARNAT, 2008). Casi en todas las comunidades forestales, se practica la agricultura, siendo el maíz su principal cultivo (Guzmán *et al*, 2012).

Las familias campesinas forestales practican diversas actividades para lograr subsistir. Para la gran mayoría de las comunidades forestales, los bosques son fundamentalmente fuente de bienes de consumo doméstico. La extracción de leña y de materiales para la construcción y reparación de las viviendas, la extracción comercial de productos forestales maderables y no maderables, el ecoturismo y la conservación comunitaria contribuyen también a la eliminación de masa forestal en muchas zonas (Guzmán *et al*, 2012).

1.5.3. Uso de suelo.

Vink en 1975 describió el Uso de Suelo se aplica como los diferentes tipos de cobertura que el hombre crea para satisfacer sus necesidades; mientras que el LUCC (Land Use and Cover Change) en el año 2002, definió este término como la función o el propósito para el cual la tierra será usada (De Jong *et al.*, 2006). Se caracteriza por tener un arreglo, actividad y producción que hacen las personas en un cierto tipo de cubierta para producir, cambiar o mantener esa cobertura (Rossete *et al.*, 2008). La humanidad se beneficia del uso de suelo, ya que en ella se produce lo necesario para su supervivencia; pérdida de diversidad biológica, desertización, deforestación, fragmentación de los ecosistemas, cambio en el

ciclo hidrológico y mayor vulnerabilidad de los grupos humanos, son algunos de los impactos relacionados a este proceso (Reyes, et al., 2006).

1.5.4. Cobertura de suelo.

Las actividades humanas reflejan su impacto de mejor forma en la cobertura y uso del suelo y evidencian la transformación de la superficie terrestre a través del tiempo. Se define como la cubierta biofísica observada sobre la superficie terrestre. Los eventos naturales como las inundaciones, sequías, propician, en mayor o menor medida, alteraciones en la cobertura natural. No obstante, en las últimas décadas el impacto de las actividades humanas se ha convertido en uno de los principales agentes transformadores de los ecosistemas. Por ejemplo, en el año 2000 se estima que los bosques y selvas de América Latina se habían reducido en más de un 50% de su cobertura original, principalmente en países como Brasil, México y Costa Rica (Velázquez *et al.*, 2002a; 2002b; Bocco *et al.*, 2001; Lambin *et al.*, 2001; Vitousek *et al.*, 1997, citado en Reyes *et al.*, 2006).

Estos temas han dado pauta para la realización de distintas tareas con estas temáticas. Para el país, encontramos trabajos realizados en distintos ámbitos; Velázquez *et al.* (2002), determinaron las tasas de cambio de uso de suelo a nivel nacional en dos períodos: 1) compararon mapas de vegetación y uso de suelo serie I (1973) contra el mapa del Inventario Nacional Forestal (INF); y 2) mapas de vegetación y uso de suelo serie I (1973) contra el mapa de vegetación y uso de suelo serie II (1993; Miranda *et al.*, 2013a).

A nivel estatal se realizaron varios trabajos, tal es el caso del de Rosete *et al.* (2008), estudiaron el cambio de uso del suelo en la península de Baja California con mapas de la serie I (1973) y el INF (2000). Pineda *et al.* (2008) compararon mapas de vegetación y uso del suelo serie II (1993) y III (2002) en el Estado de México (2.2 millones ha). Para el

estado de San Luis Potosí se encuentra el estudio de Miranda *et al* (2013a) quienes estudiaron la Tasa de deforestación en el estado entre 1993-2007.

CAPÍTULO II: SITIO DE ESTUDIO, S.L.P

2.1 Sitio de estudio.

En México se han presentado graves condiciones de contaminación atmosférica, deforestación, escasez de agua y cambios de uso de suelo, sólo por mencionar algunas de las problemáticas. El crecimiento de la población tiene una gran influencia en estos factores debido las desigualdades sociales y regionales que imperan en el país (SEMARNAT, 2010).

La elección de San Luis Potosí, como sitio de estudio para el presente trabajo, se justifica debido a que el estado se ha desarrollado, en gran parte, gracias a una vasta industria minero-metalúrgica, que inició y aún persiste desde la época del Virreinato de la Nueva España. Durante esta época, la extracción minera fue la base de la economía y en gran medida, la razón principal de los nuevos asentamientos humanos. Con varios cientos de años en el estado, la contaminación atmosférica causada por metales pesados, ha ocasionado diversos problemas de salud en la población local (Monroy *et al.*, 1997).

Para el año 1592 se produjo una gran migración de españoles hacia el estado, debido al descubrimiento de plata al oriente del recién establecido San Luis, en el Cerro de San Pedro, lo que da pie a su fundación como pueblo minero. Esta repentina riqueza minera ocasionó el crecimiento de la región, ya que el pueblo sirvió como lugar de residencia de los mineros. Esto generó un sistema de relaciones entre el recién fundado pueblo y los centros de comercio y servicios de la región.

Los asentamientos humanos, diversificaron sus actividades económicas, aprovechando las facilidades que la minería les había proporcionado para establecerse en San Luis Potosí y es gracias a esto, que la sociedad encontró en esta actividad otra forma de obtener ingresos y

oportunidades de desarrollo económico (Coordinación Estatal para el Desarrollo Municipal SLP, 2003).

Por otro lado, el desarrollo tanto industrial como minero, han dado pie al establecimiento de otras actividades que son relevantes para la sociedad, tal es el caso de la ganadería.

INEGI (2015), define a la ganadería como una actividad del sector primario que tiene que ver con el cuidado y la alimentación de cierto tipo de animales entre los que destacan los animales de granja, como son las vacas, cerdos, borregos, aves de corral, abejas, entre otros, para el aprovechamiento de los productos que brindan (carne, huevos, miel, por nombrar algunos).

Durante los últimos diez años, la ganadería mexicana ha tenido el mayor crecimiento anual en la producción, comparado con décadas anteriores, a un ritmo de 3.6% por año (SAGARPA, 2011). De entre 236 países, México ocupa el cuarto y quinto lugar en la producción de pollo y huevo respectivamente; en carne de bovino el séptimo; en miel el octavo y la producción de leche y carne de cerdo están entre los 16 primeros países (FAO, 2014).

Es una actividad económica que tiene gran importancia para el ser humano por ser fuente de alimentos básicos para la población. En nuestro país, esta actividad representa una fuente de ingresos superiores a las demás actividades primarias (SAGARPA 2011).

La ganadería se puede presentar en casi cualquier superficie y clima del mundo, desde la ganadería intensiva hasta la ganadería extensiva (INEGI, 2016). Aunque las condiciones climatológicas que imperan en una región, repercuten no sólo en la distribución geográfica de las especies, sino que los tipos climáticos tienen una fuerte correlación con la

vegetación. Las especies cultivadas no son la excepción, dado que el clima es determinante para poder definir las áreas que pueden ser potenciales de producción.

Las condiciones climáticas como la temperatura, el viento, la humedad y la radiación solar entre otras, tienen efectos muy variados sobre el comportamiento de los animales. Los animales y plantas que habitan un nicho ecológico están influenciados por el clima, ya que el ambiente que predomina en tal lugar es indicador de la adaptabilidad que tienen las especies (INEGI, 2007).

2.2 Caracterización geográfica de San Luis Potosí.

2.2.1 Ubicación.

El Estado de San Luis Potosí se encuentra en la Altiplanicie Central Mexicana; su situación geográfica lo ubica entre los paralelos 24° 29' al norte y 21° 10' sur de latitud norte y los meridianos 98° 20' al este y 102° 18' de longitud oeste.

Cuenta con una extensión territorial de 60,333 km², lo que es equivalente al 3.09% de la superficie de todo el territorio mexicano y lo ubica en el lugar 15 en extensión (SEGAM, 2011; Durand *et al.*, 2012). Su ubicación coincide con un área de transición de dos provincias biogeográficas: la neártica y la neotropical y tres provincias fisiográficas: Sierra Madre Oriental, Mesa Central y Llanuras Costeras del Golfo, lo que resulta en una diversidad de ecosistemas ricos en biodiversidad: matorral xerófilo, rosetófilo, crasiucale, pastizales y bosques de pino- encino en zonas de clima seco y semiseco; selva húmeda caducifolia, bosques de pino – encino, bosque mesófilo en climas húmedos cálidos y templados (Guzmán *et al.*, 2012).

Tiene colindancia con los estados de Guanajuato, Hidalgo y Querétaro de Arteaga al sur, al este con los estados de Tamaulipas y Veracruz, al oeste y noroeste con el estado de Zacatecas y al norte y noreste con los estados de Nuevo León y Tamaulipas; llega a tocar un punto del estado de Coahuila, “La Mojonera del Peñuelo”, que es un punto en común de los estado de Zacatecas, Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León (INEGI, 2007).

De acuerdo con los datos del más reciente Censo de Población y Vivienda en todo el estado de San Luis Potosí hay 2 millones 585 habitantes; 6 mil 766 localidades son menores de 2500 habitantes y únicamente 3 localidades superan los 100 mil o más habitantes. Estas localidades corresponden a los tres centros urbanos: San Luis Potosí, Ciudad Valles y Matehuala. De éstos destaca la zona metropolitana de San Luis compuesta por los municipios de Soledad de Graciano Sánchez y San Luis Potosí, cuya población rebasa ligeramente el millón de personas, 37.4% del total (INEGI, 2010).

En la actualidad, San Luis Potosí está conformado por 58 municipios, que se reparten en 4 regiones debido a sus características geográficas, físicas y económicas: Altiplano, Centro, Media y Huasteca; estas a su vez, se subdividen en 10 microrregiones funcionales (INEGI 2007).

En las regiones se llevan a cabo diversas actividades agrícolas, ganaderas, industriales y comerciales, esto constituye una gran ventaja para la población trabajadora del estado, debido al consumo de los productos de los sectores productivos. Las desigualdades sociales y regionales pueden apreciarse a través de su participación en el Producto Interno Bruto. Mientras la zona centro contribuye con 71.5% del PIB, las otras tres regiones en conjunto solo aportan 28.5% (Plan Estatal de Desarrollo 2009 – 2015; citado en Guzmán, 2012).

La posición geográfica del Estado lo sitúa equidistante a las tres ciudades con mayor población: Distrito Federal, Monterrey y Guadalajara. Tiene una gran infraestructura en cuanto a carreteras y vías férreas, lo que le permite tener acceso a puntos importantes de comercio, tal es el caso de algunos de los puertos más representativos del país, como Tampico y Veracruz, para el caso del Golfo de México; Lázaro Cárdenas, Mazatlán y Manzanillo en el Océano Pacífico; a ciudades fronterizas como Mc Allen y Laredo, en las cuales se realizan un porcentaje bastante representativo de comercio exterior (Secretaría de Desarrollo Económico, 2014; Figura 2.1).

2.2.2 Topografía.

San Luis Potosí posee características topográficas muy diversas, ya que la Sierra Madre Oriental atraviesa el territorio estatal de sureste a noreste, formando tres zonas altitudinales, que van desde el nivel del mar, hasta el orden de 3180 msnm, lo que origina contrastes climáticos muy marcados, además de las prolongaciones de la Sierra Gorda, que pasa de sur a norte; ésta última tiene una orografía conformada por diversas cordilleras, entre las que destacan, las Sierras de Coronado, la Noria, las Palomas, por mencionar algunas (SEGAM, 2011).

Al norte del estado se encuentra algunas elevaciones como la Sierra de Catorce y la Sierra de Coronado, que cuentan con las mayores elevaciones; en contraste, las menores elevaciones, que son de cero metros sobre el nivel del mar, tienen su origen en el municipio de Venegas, así como en la llanura costera al oriente del estado (INEGI, 2007).

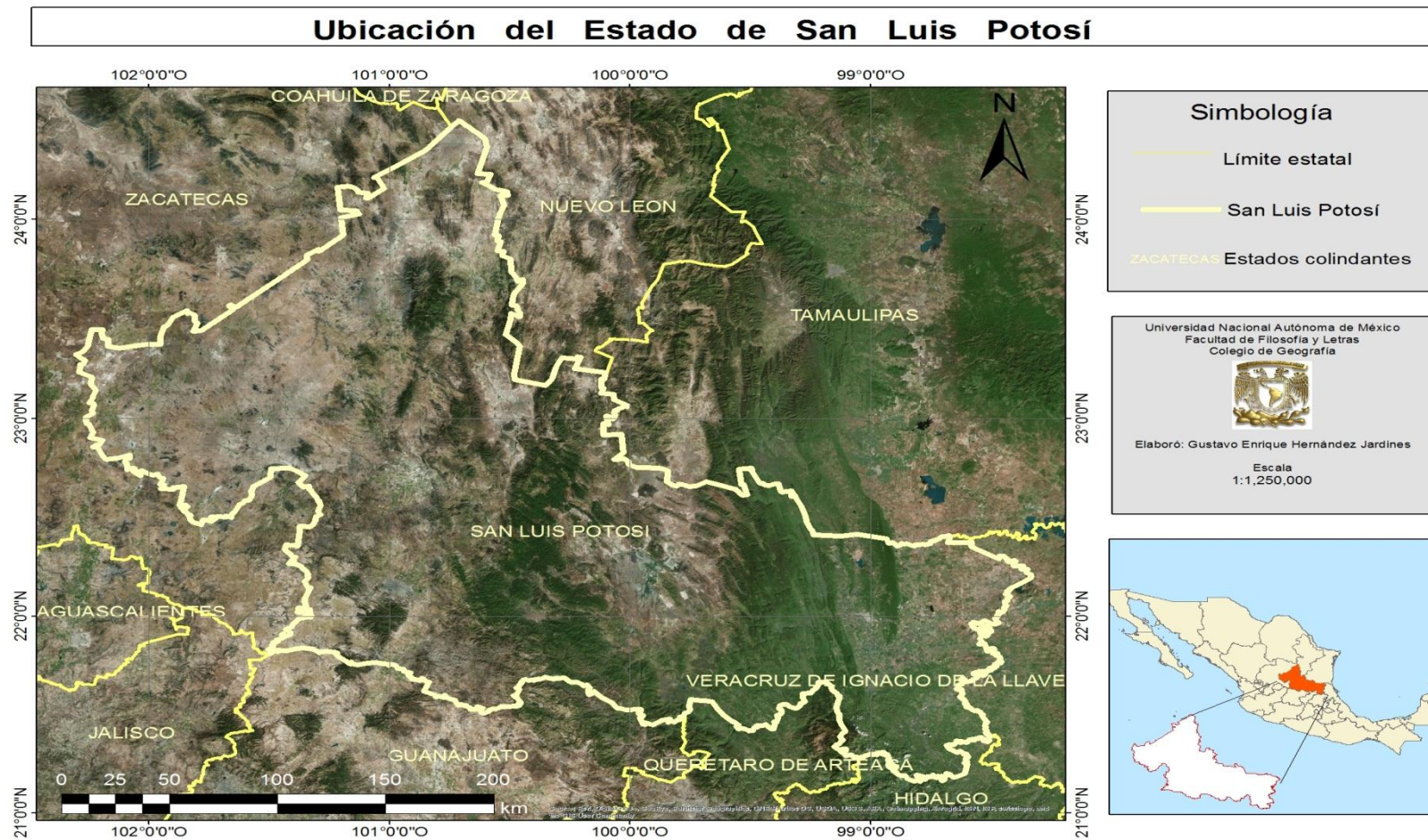


Figura 2. 1 Mapa de ubicación del Estado de San Luis Potosí. Fuente: elaboración propia con base CONABIO, 2005.

Sierras de Abra de Caballeros, Ciudad del Maíz, La Colmena, La Palma, Nicolás Pérez, San Martín, San Nicolás, Tamazunchale y Xilitla, son algunas de las Sierras que constituyen la Sierra Madre Oriental. De igual forma, la unión de estas elevaciones forma algunas depresiones y planicies, entre los que se encuentran, Villa de los Reyes, Arroyo Seco, Plan de Arriaga y la Gran Planicie Huasteca (SEGAM, 2011).

2.2.3 Geología.

Entre finales del período Cretácico y principios del Terciario, la Revolución Laramide inició la formación de la Sierra Madre Oriental (S.M.O) y misma que continuó durante el cenozoico con levantamientos y el retroceso de los mares (INEGI, 2007)

El estado de San Luis Potosí posee una variada litología de los períodos Triásico, Jurásico, Cretácico, Terciario y Cuaternario. Calizas y aluviones son predominantes en la región (SEGAM, 2011). En el occidente y norte del estado se encuentran las rocas más antiguas de origen metamórfico y sedimentario, pertenecientes al período Triásico. Rocas sedimentarias de origen marino también sobresalen al norte de la entidad, originarias del Jurásico. Unidades correspondientes al Cretácico tienen presencia en gran parte de San Luis Potosí, mayoritariamente de origen sedimentario (INEGI, 2007).

Rocas ígneas intrusivas y extrusivas, así como sedimentarias se encuentran distribuidas en varias regiones del estado correspondientes al Terciario. En el caso del período Cuaternario, sólo se presentan algunas rocas extrusivas y sedimentarias ubicadas en promontorios en zonas del centro, suroeste y noroeste en el caso de las primeras; las segundas forman abanicos en las laderas de algunas sierras (INEGI, 2007; Figura 2.2).

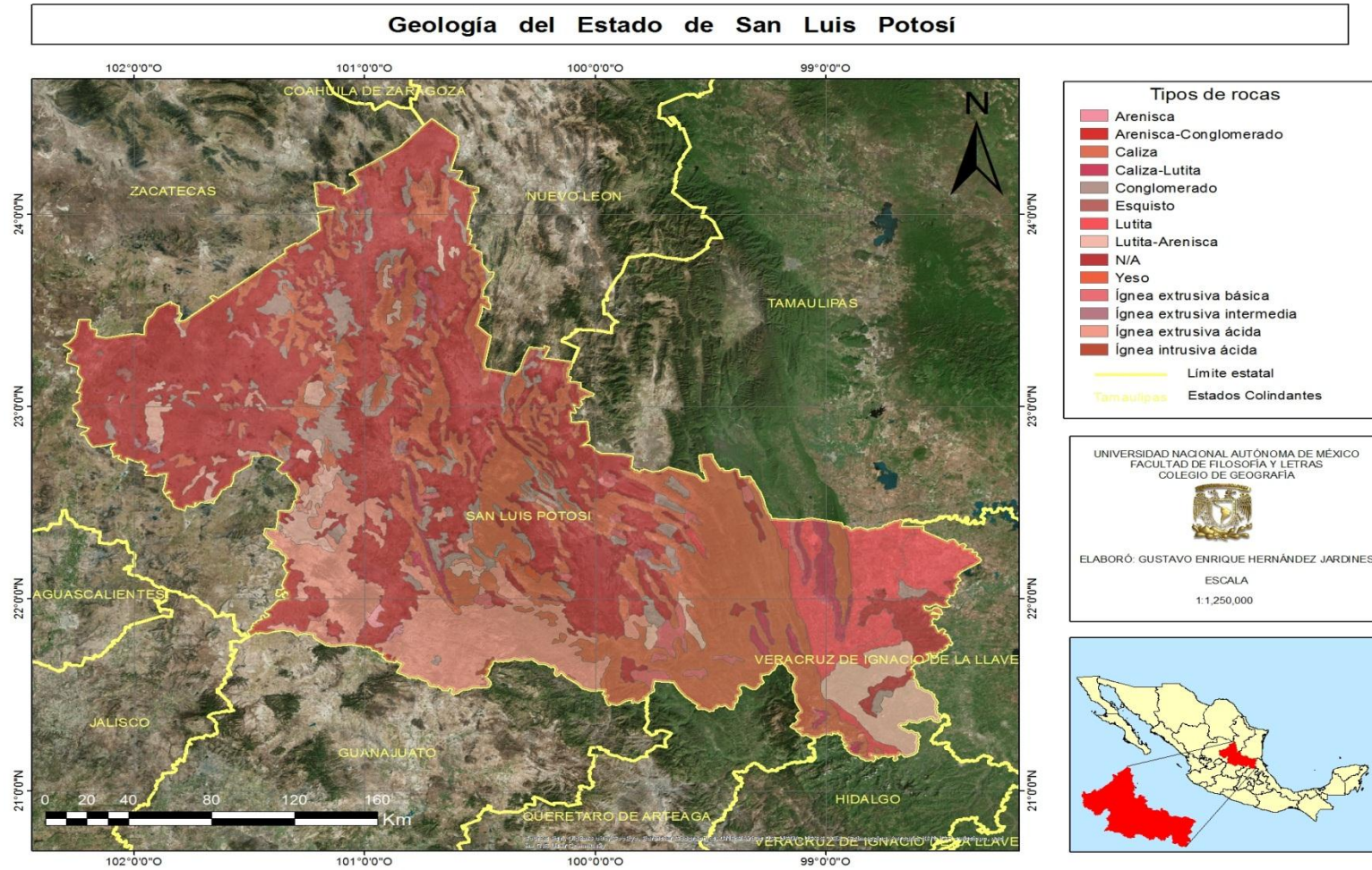


Figura 2. 2 Geología del Estado de San Luis Potosí. Fuente: elaboración propia con base CONABIO, 2005.

2.2.4 Edafología.

La roca madre y el clima tienen una relación muy estrecha con la distribución de los suelos. La topografía que es dominante en el estado es de tipo montañosa; aunado a esto, la poca presencia de lluvias en gran parte del territorio ocasiona que los suelos en mayor medida sean delgados y muchas veces discontinuos y en otros casos, que hayan sido muy erosionados.

San Luis Potosí tiene presencia en tres provincias fisiográficas: Llanura Costera del Golfo Norte, Mesa del Centro y Sierra Madre Oriental, las cuales se dividen en subprovincias y cada una con características muy particulares en topografía, morfología del terreno y distribución del suelo (INEGI, 2007).

En el estado, los suelos xerosoles son los predominantes, con cerca del 42% del total de la entidad, se ubican en las subprovincias Sierras y Lomeríos de Aldama y Río Grande, Llanuras y Sierras Potosino-Zacatecanas. Con el 23% de la superficie, le siguen los litosoles, que tiene presencia alrededor de la ciudad de San Luis Potosí, Sierra de Catorce, Sierra la Colmena y Sierra la Trinidad (SEGAM, 2011).

Las subprovincias Llanuras y Lomeríos poseen suelos de origen vertisol, que ocupan el 10%. En menor cantidad se encuentran las rendzinas con el 7.5% estatal, los feozems con 7%, castañozems con 1.5%. Así mismo, el restante porcentaje lo ocupan los suelos de tipo solonchak, luvisoles, chernozem, yermosoles y por último los fluvisoles (SEGAM, 2011; Figura 2.3).

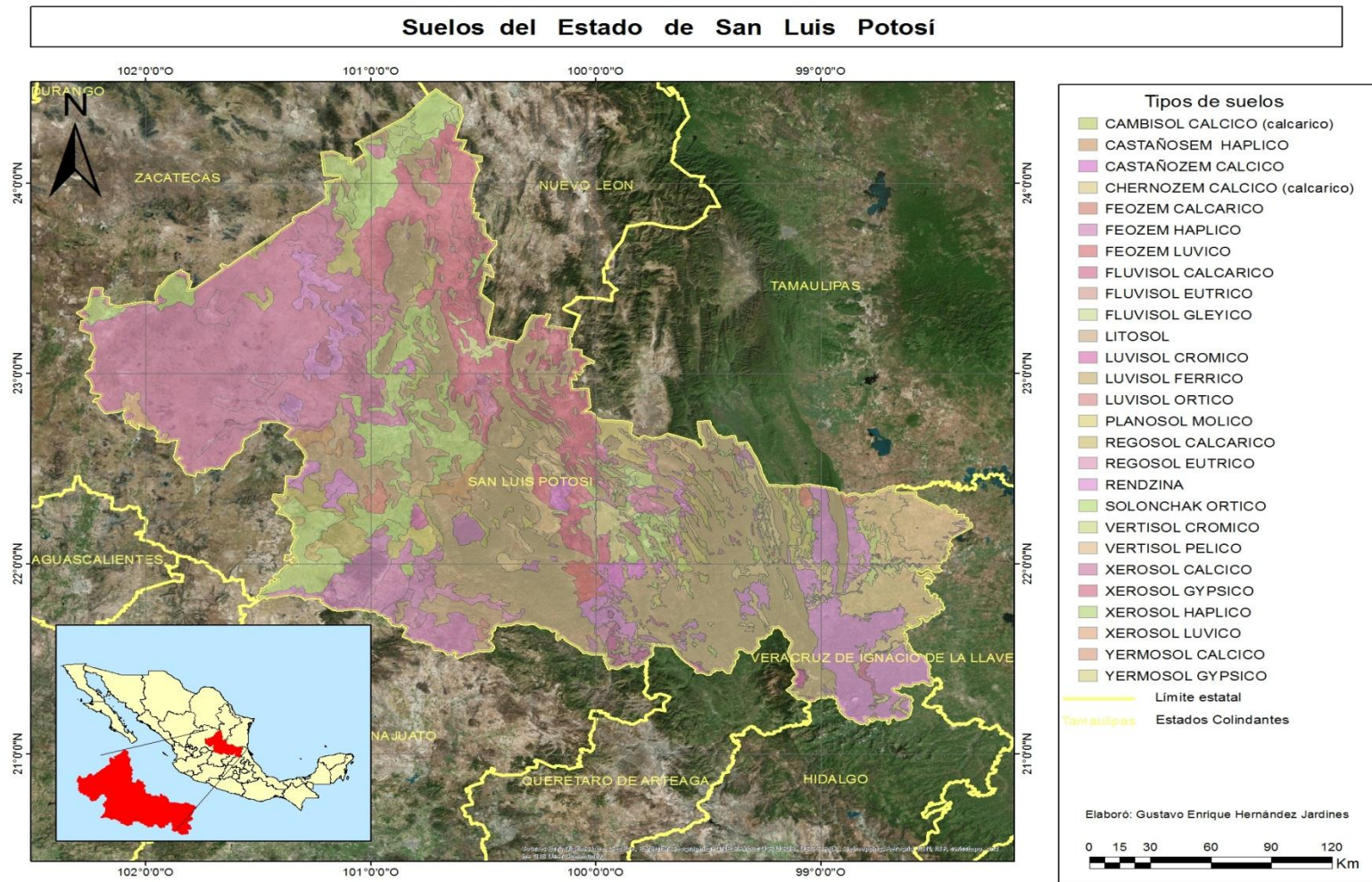


Figura 2. 3 Mapa de suelos del Estado de San Luis Potosí. Fuente: elaboración propia con base INIFAP y CONABIO, 1995.

2.2.5 Clima.

El territorio de San Luis Potosí incluye una gama muy extensa de climas, que difieren ampliamente unos de otros y que incluyen, desde los cálidos húmedos en la región costera, hasta los secos templados característicos del altiplano, esto se debe en gran medida a las variaciones de altitud teniendo como factor determinante a la Sierra Madre Oriental (S.M.O), que actúa como barrera natural e impide que la humedad proveniente Golfo pase y hace que se detenga en ella, lo que ocasiona que los vientos que llegan al centro y poniente del estado sean secos (SEGAM, 2011).

En el estado se pueden evidenciar tres zonas climáticas muy bien demarcadas; la parte oriental es en donde predominan los climas cálidos húmedos y subhúmedos; en la zona del centro, los climas semicálidos subhúmedos en el sur, hasta los secos templados en el norte y por último, en la parte occidental es en donde predominan los climas más secos (INEGI, 2007).

En cuanto a la superficie estatal ocupada, los climas muy seco, Semi-seco y seco ocupan la mayor extensión con 2.69%, 23.72% y 47.43% respectivamente; en su conjunto estos tres climas poseen poco más del 73% del territorio estatal.

En el caso de los climas semi-cálido y cálido, abarcan 15.99% y 8.46% respectivamente. El clima templado posee una superficie muy pequeña, sólo el 1.7% del total estatal. Por último, el clima semifrío tiene una extensión de 0.01%, localizado exclusivamente en la Sierra de Catorce (SEGAM, 2011; Figuras 2.4 y 2.5).

**TIPOS DE CLIMA DE SAN LUIS POTOSÍ.
SUPERFICIE ESTATAL OCUPADA (%)**

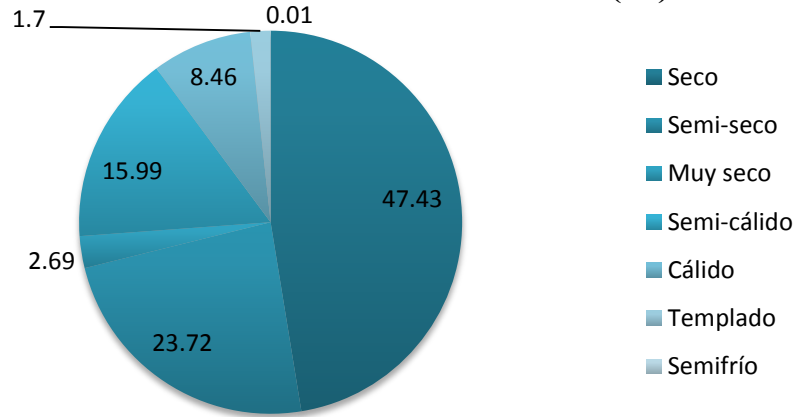


Figura 2. 4 Tipos de clima de San Luis Potosí; superficie estatal ocupada en porcentaje. Fuente: elaboración propia con base en SEGAM, 2011.

2.2.6 Hidrografía.

La mayor parte del territorio potosino se encuentra conformado por dos grandes regiones hidrológicas: la Región Hidrológica Pánuco, que cubre la porción sur y sureste del estado y la Región Hidrológica El Salado, que va de la parte central al norte (INEGI, 2007). La cuenca del Río Pánuco abarca el 1.4% de la superficie del Estado; algunos de sus afluentes son el río Tampaón y el río Moctezuma y cubre 5.4% del área total estatal; la cuenca del río Tamuín es, debido a su extensión, la de mayor cobertura ya que representa el 35% debido a la topografía con pocas pendientes, por la cual fluye en dirección sur hasta sumarse al río Tampaón (INEGI, 2007; CONAGUA, 1998).

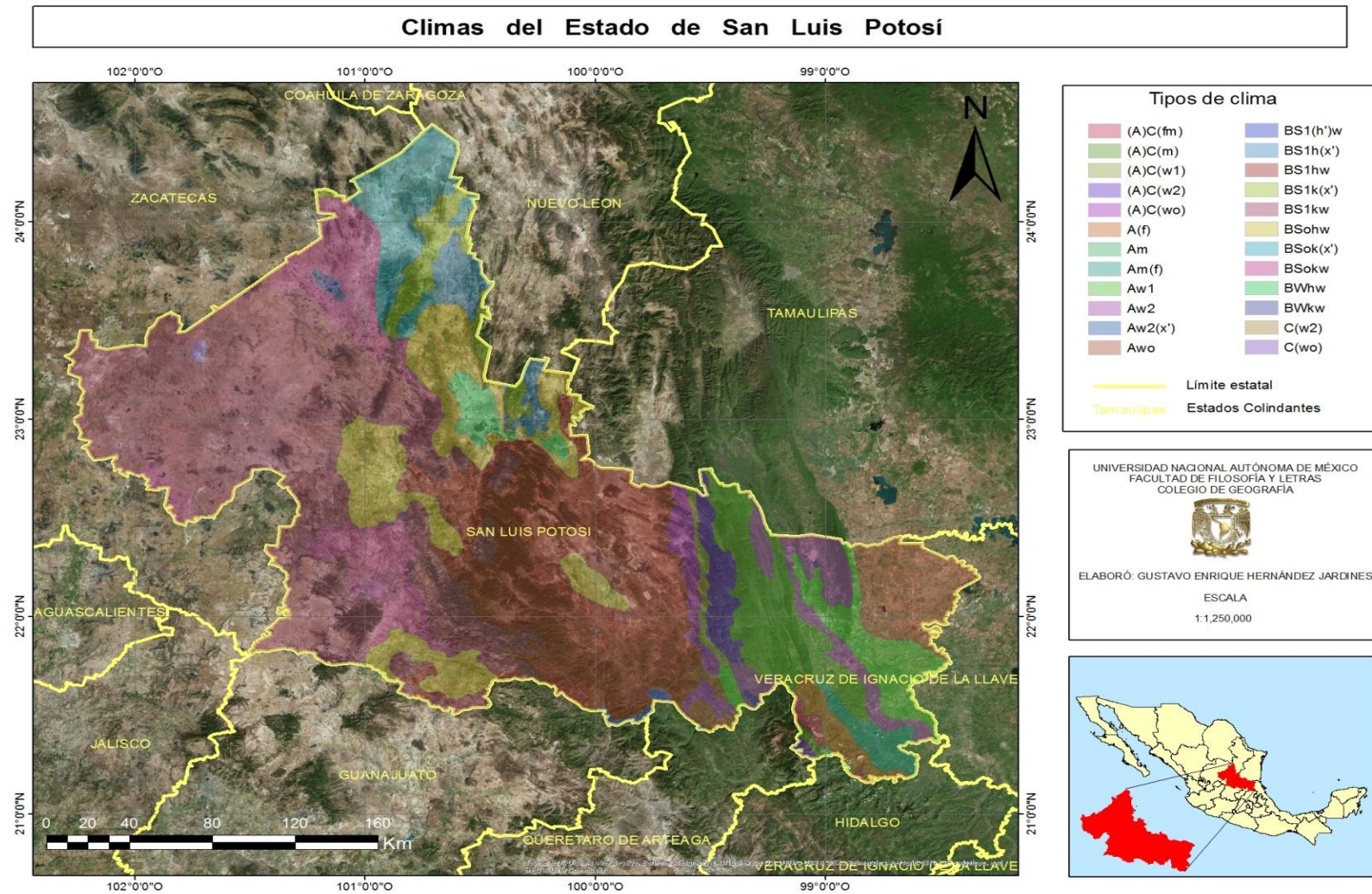


Figura 2. 5 Mapa de climas del Estado de San Luis Potosí. Fuente: elaboración propia con base García y CONABIO, 1998.

La Región Hidrológica El Salado se caracteriza por la presencia de cuencas cerradas y endorreicas en el región del Altiplano y sus afluentes son temporales, carente de elevaciones considerables y con pocas corrientes superficiales, dentro de ella se encuentra parte de siete cuencas de San Luis Potosí (SEGAM, 2011; INEGI, 2007).

La cuenca hidrológica Matehuala cuenta con una extensión del 14.9% de la superficie estatal y los escurrimientos que tiene, provienen de las sierra menores de Catorce y San Bartolo; la cuenca Sierra de Rodríguez abarca el 0.7% estatal y las lluvias ocasionales originan sus afluentes; la cuenca Camacho-Gruñidora es la de menor extensión en el Estado, ocupa solo el 0.2% y no tiene corrientes de importancia. La cuenca Fresnillo-Yesca es relevante para la entidad debido a que gran parte de sus aguas son aprovechadas en el estado y cuenta con 4.2% de cobertura; la Presa San José- Los Pilares es importante por su extensión, abarca 17.1% de la superficie estatal; finalmente la presa San Pablo y otras comprenden el 13.3%, con un número considerable de afluentes entre ellos el Río de la Presa, arroyo la Parada y el Río Calabacillas (INEGI, 2007; CONAGUA, 1998; Figura 2.6).

2.2.7 Uso de suelo y vegetación.

La vegetación y el uso de suelo son muy variados en el extenso territorio de San Luis Potosí, entre los que destacan los matorrales, que se distribuyen en la mayor parte de del centro, norte y oeste del estado; los bosques de coníferas se localizan en las partes altas del centro y oriente, así como los bosques de encino; otro tipo de vegetación son los pastizales que se encuentran en la parte este que comprende la región Huasteca y oeste de la entidad, por último, las selvas secas y subhúmedas limitan con las zonas agrícolas.

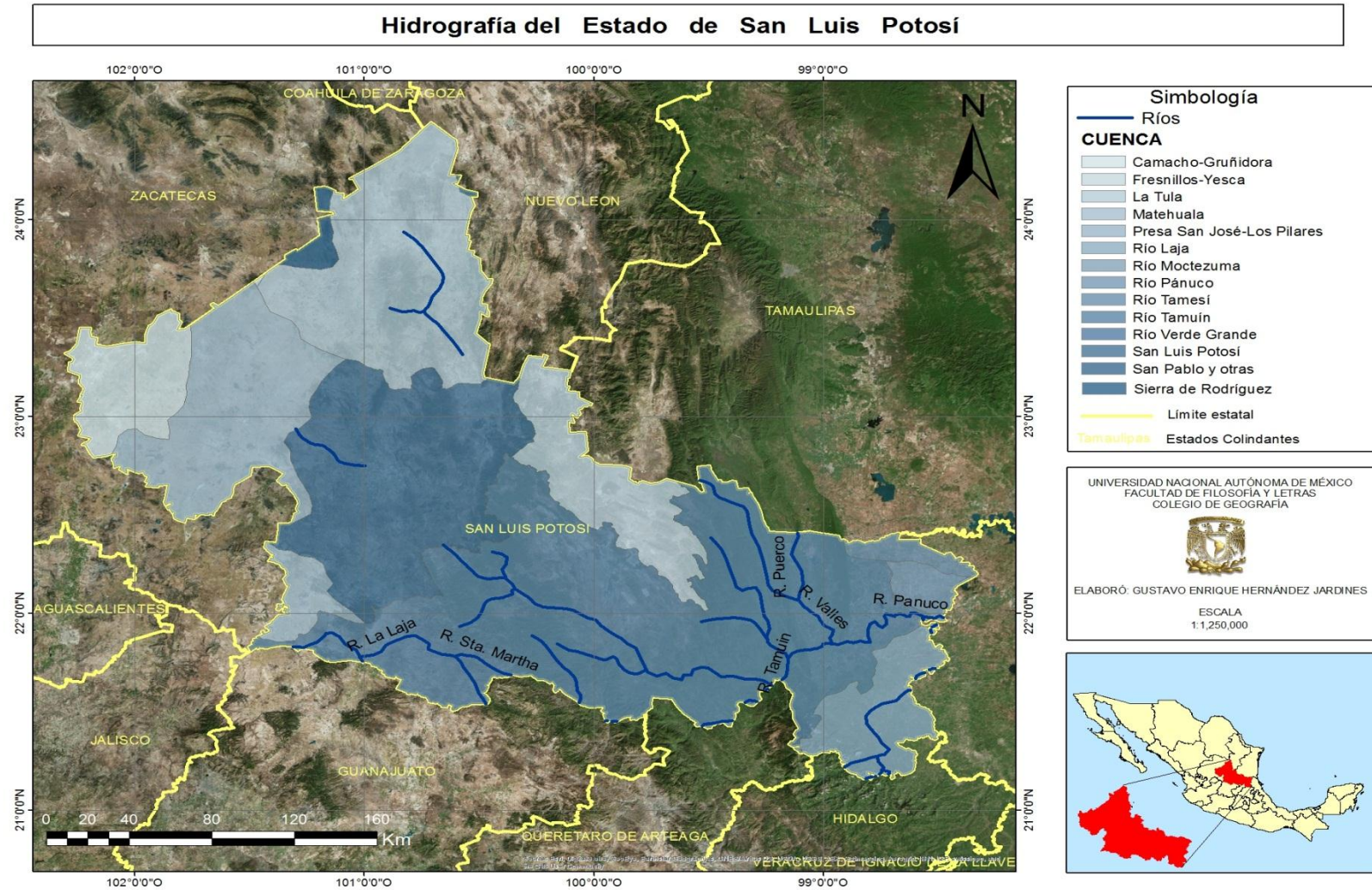


Figura 2. 6 Mapa de Hidrografía del Estado de San Luis Potosí. Fuente: elaboración propia con base CONAGUA, 1998.

Debido a su orografía, el estado presenta algunos factores geográficos que dan pie a distintos ambientes naturales. La alineación y la distribución de los distintos sistemas montañosos, son una barrera natural que limita la entrada de vientos del Golfo de México cargados con humedad hacia el continente, lo que origina una gran aridez en la región.

Aunado a ello, las diferentes altitudes propician climas húmedos y subhúmedos en la región del barlovento y, secos y semisecos en la región del sotavento.

La aridez de la región por parte de los climas secos y semisecos generan un tipo de vegetación que posee adaptaciones morfológicas para soportar los largos períodos de sequía, tal es el caso de los matorrales xerófilos, que son los más abundantes del estado; los mezquitales, por su parte, tienen mayor presencia en los valles aluviales con suelo profundo. Un grupo importante son los pastizales y la vegetación halófila que tienen gran distribución en estos tipos de clima y en suelos con grandes contenidos de sales solubles, y los pastizales naturales se encuentran en las laderas de las sierras y lomeríos (INEGI, 2007; SEGAM, 2011; Figura 2.7).

2.2.8 Demografía.

De acuerdo con el censo de población y vivienda del INEGI (1990), la población del Estado de San Luis Potosí en ese año fue de 2,003,187 habitantes, de los cuales 987,315 eran hombres y 1,015,872 fueron mujeres. La mayor parte de la población se concentraba en los grupos quinquenales 00-04, 05-09, 10-14 y 15-19 años, los cuales, conformaban más de la mitad de la población total con el 52.51%. Otra gran parte de la población se distribuía en los grupos quinquenales restantes, desde 20-24 hasta 85-89, de los cuales 451,743 correspondían al género masculino y 486,076 al femenino y representaban el 46.81% de la población total del estado.

Uso de suelo y vegetación del Estado de San Luis Potosí

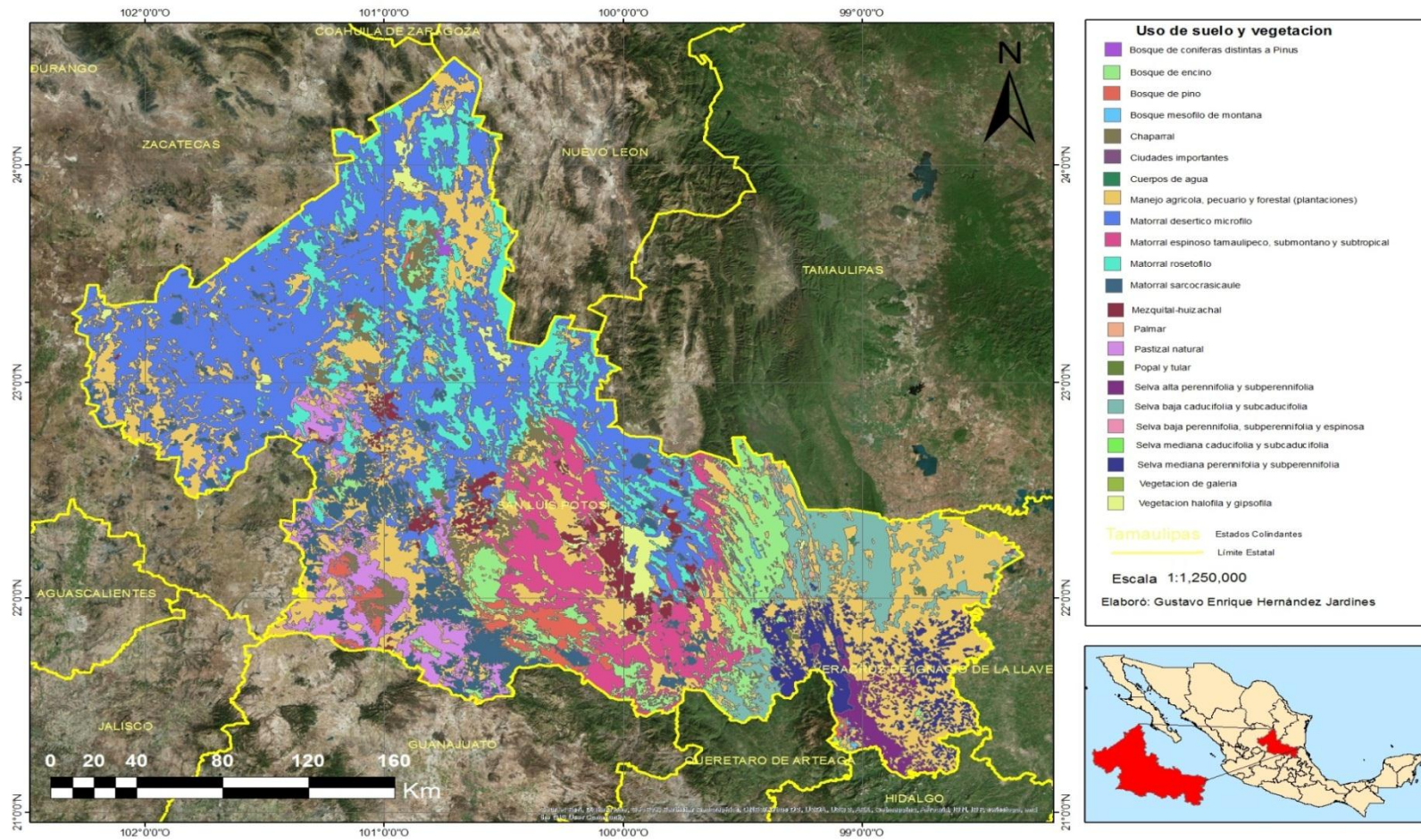


Figura 2. 7 Mapa de uso de suelo del Estado de San Luis Potosí. Fuente: elaboración propia con base INEGI, 2009.

Finalmente la minoría de la población se concentraba en los grupos quinquenales 90-94, 95-99 y 100 o más, en este caso, 1,908 eran hombres y 2,530 eran mujeres, representando solamente el 0.22% de la población total (Figura 2.8a).

Durante el año 2000, la población se incrementó en un 14.78% respecto al año 1990 con 296,173 habitantes más. Durante este año la población total fue de 2, 299, 360, dividido en 1,120,837 hombres y 1,178,523 mujeres. A diferencia del censo anterior, durante este año la mayor parte de la población se concentró ahora en los grupos quinquenales desde 20-24 hasta 85-89 años con 510,990 hombres y 627,935 mujeres, representando el 49.53% y la otra gran parte de la población se distribuía en los grupos quinquenales de 00-04, 05-09, 10-14 y 15-19, que se conformaban por 541,131 hombres y 537,107 mujeres y representaban el 46.89% de la población total. Finalmente la minoría de la población estaba representada en los grupos de 90-94, 95-99 y 100 o más con 2,800 hombres y 3,670 mujeres, lo que representaba el 0.28% de la población para ese año (INEGI, 2000; Figura 2.8b).

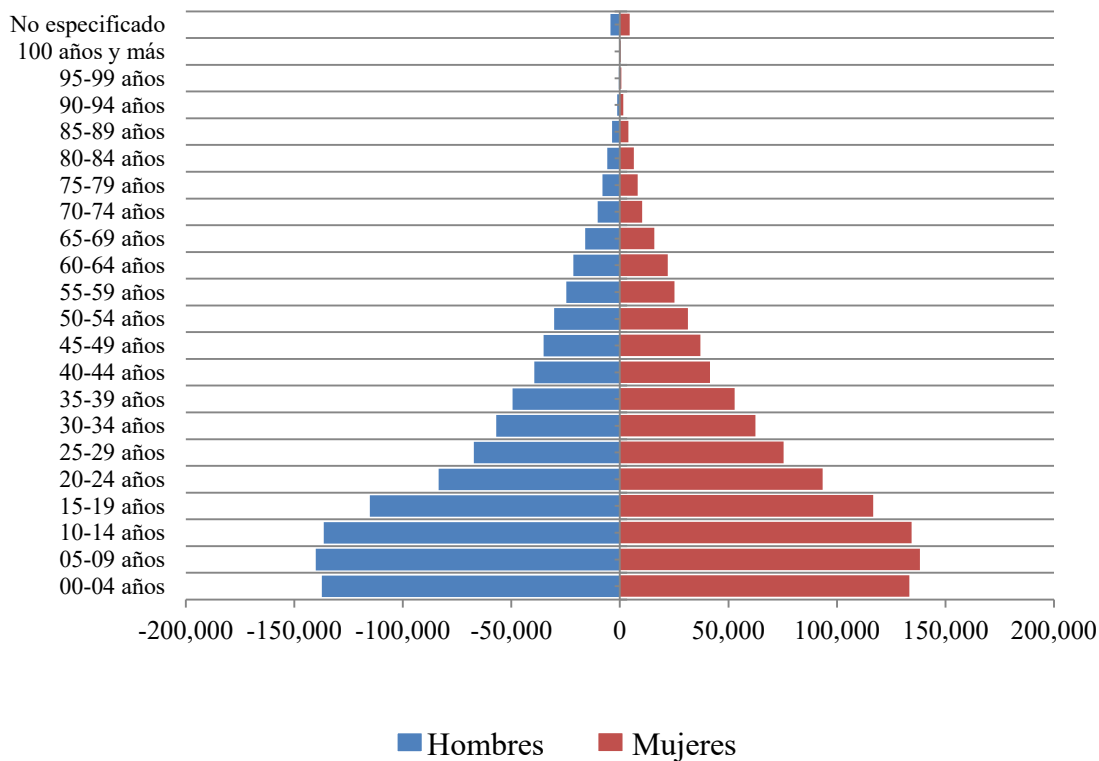
Para el censo INEGI (2010), la población del Estado de San Luis Potosí se incrementó en un 12.44% respecto al año 2000, con un población total de 2,585,518, de los cuales eran 1, 260,366 hombres y 1,325,152 mujeres.

A diferencia del año 2000, durante este año la mayor parte de la población se concentró en menos grupos quinquenales, los cuales fueron desde 25-29 hasta 85-89, que se distribuían en 606,549 hombres y 673,337 mujeres, representando 49.5% de la población total, la segunda gran parte de la población se distribuyó en los grupos quinquenales de 00-04 hasta 20-24, con un porcentaje muy similar a los grupos anteriores, con 49.33% de la población total, de los cuales, 639,145 fueron hombres y 636,373 mujeres.

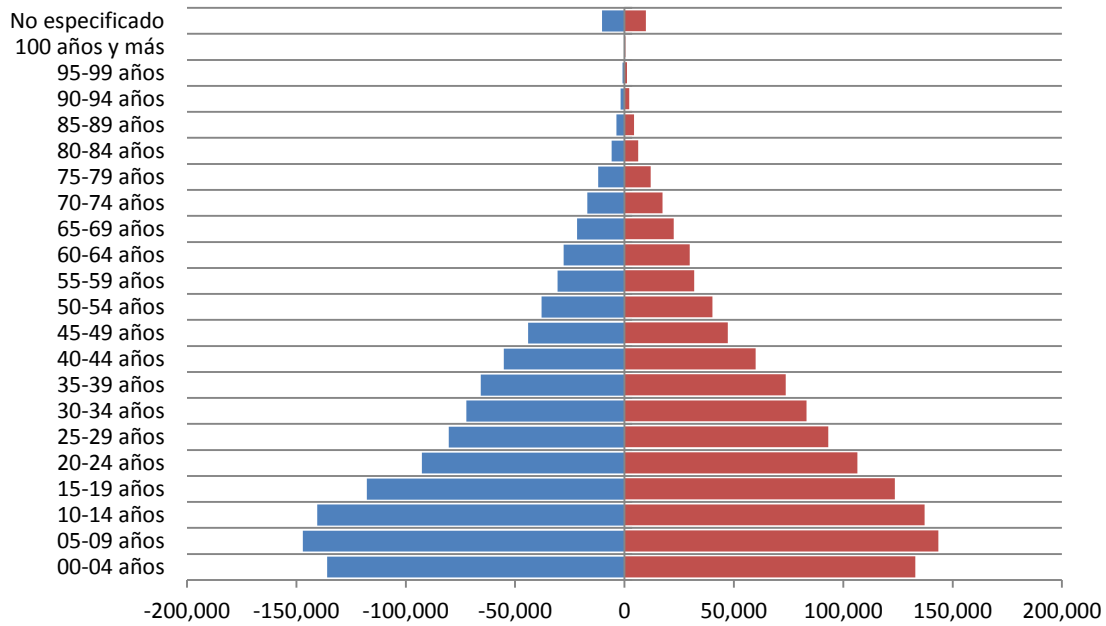
Por último, al igual que los dos años anteriores, la minoría de la población se concentró en los grupos quinquenales de 90-94, 95-99 y 100 o más con el 0.25% de la población total, de los cuales, 2,907 fueron hombres y 3,768 mujeres (INEGI, 2010) (Figura 2.8c).

De acuerdo con los censos de Población y Vivienda año 2000 y 2010, el estado contó con una densidad poblacional promedio de 39 habitantes por km². San Luis Potosí con 772,828 es el municipio con más poblado; le siguen Soledad de Graciano Sánchez (267,994), Ciudad Valles (167,657), Tamazunchale (96,862), Río Verde (91,894), Matehuala (91,489), Mexquitic (53,441), Xilitla (51,486); el restante, se encuentra concentrado en los otros 50 municipios (SGM, 2011).

a)



b)



c)

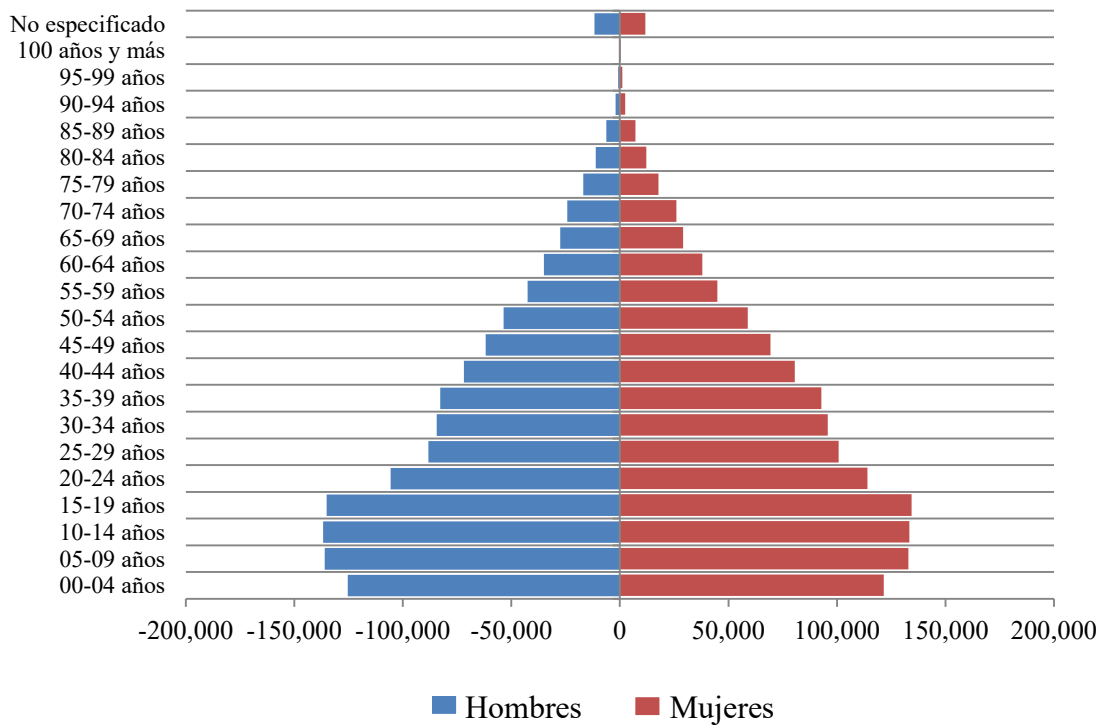


Figura 2. 8 Pirámides poblacionales por grupo quinquenal y sexo para el Estado de San Luis Potosí., a) Pirámide poblacional año 1990; b) Pirámide poblacional año 2000 y c) Pirámide poblacional año 2010. Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 1990; INEGI, 2000 e INEGI, 2010.

2.2.9 Población ocupada por sector económico.

En las diferentes regiones del Estado se llevan a cabo diversas actividades agrícolas, ganaderas, industriales y comerciales, esto constituye una gran ventaja para la población trabajadora del estado, debido al consumo de los productos de los sectores productivos (INEGI, 2007).

De acuerdo con el censo de población y vivienda 2010, la mayoría de la población del estado de San Luis Potosí se dedicaba a las actividades del sector servicios con un 38.05% de la población, le seguían las actividades del sector secundario con un porcentaje de población ocupada del 24.19%; mientras que los sectores primario y de comercio tenían porcentajes similares de población ocupada en estas actividades con un 18.2% y 18.39% respectivamente. Finalmente en actividades no especificadas, la población ocupada fue de solamente 1.16% (INEGI, 2010; Figura 2.9).

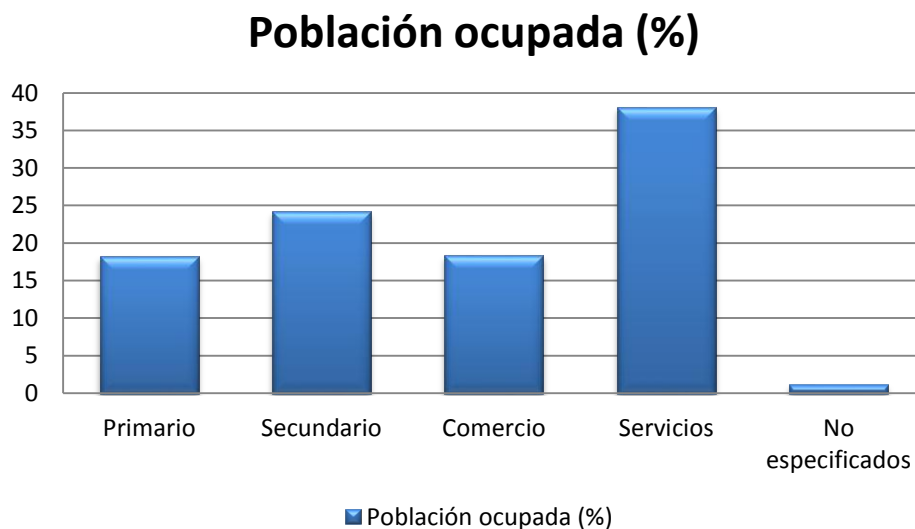


Figura 2. 9 Porcentaje de población ocupada por sector económico en el Estado de San Luis Potosí durante el año 2010. Fuente: elaboración propia con base en INEGI 2010.

CAPÍTULO III: MÉTODO

La metodología empleada en la elaboración de este trabajo consistió de tres etapas. La primera fue la realización de los inventarios de gases de efecto invernadero pecuario, basados en la metodología del IPCC a partir de las estimaciones de gas metano por tipo de ganado y óxido nitroso por sistema de manejo del estiércol, lo anterior es dado por el análisis de las series de datos (censos ganaderos) del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) por década desde 1980 al 2010 (Figura 3.1). La segunda etapa fue la identificación de los procesos de cambio de uso de suelo por expansión y contracción además de la permanencia de las actividades pecuarias de San Luis Potosí. Esto se realizó calculando la superficie de cada uno de los procesos mencionados a partir de las series de uso de suelo y vegetación de INEGI, para los periodos 1976-1993, 1993-2002, 2002-2007 y 2007-2011. Finalmente, con los datos obtenidos de los pasos anteriores se calculó la correlación entre ambas variables a partir del método de correlación de Spearman, con el objetivo de identificar si existe una relación directa entre las emisiones de gases de efecto invernadero de origen pecuario y los procesos de expansión y/o contracción de la frontera pecuaria (Figura 3.1).

3.1 Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en estudios de Uso y Cambio de Uso de Suelo.

La tecnología geoespacial incluye un rango muy amplio de campos en los cuales se ha venido desarrollando, tal es el caso de la cartografía, sensores remotos, topografía y fotogrametría. Sin embargo, para poder integrar toda la información de los diferentes campos, se tuvieron que crear los Sistemas de Información Geográfica (SIG; Chang, 2010).

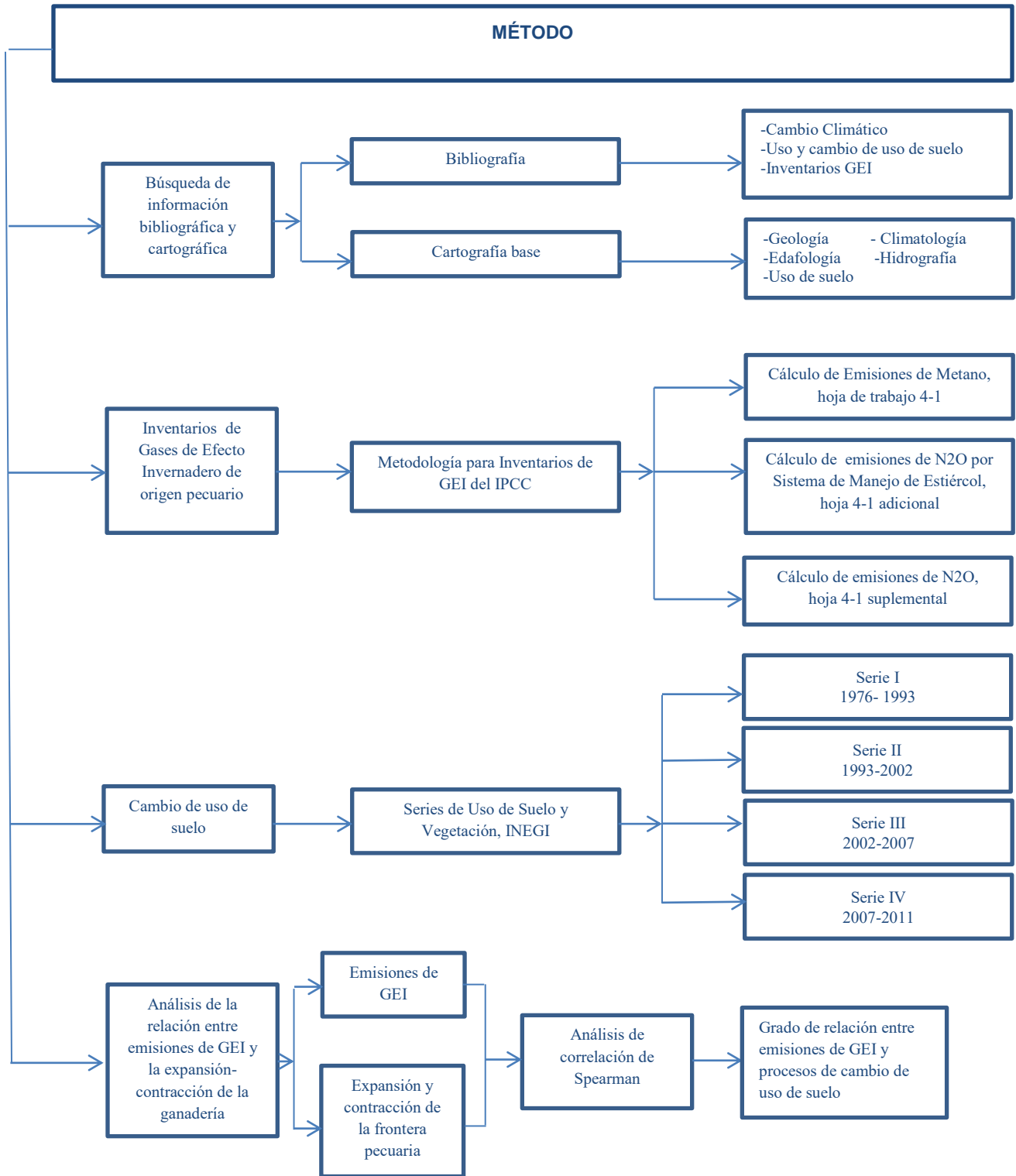


Figura 3. 1 Esquema metodológico

Un SIG es un sistema informático que sirve para captura, almacenamiento, consulta, análisis y despliegue de la información geoespacial (Law, 2015). Permite estudiar, analizar e identificar las características de la superficie, características climáticas, límites terrestres, población, recursos naturales (Law, 2015).

Al igual que otras tecnologías informáticas, los SIG's requieren de varios componentes, además de la información geoespacial (Law, 2015):

- **Hardware:** esto incluye computadores tales como las Pc y estaciones de trabajo que tienen diversos sistemas operativos (Windows, Linux, entre otros). Otros equipos adicionales, como son los scanners para la digitalización de la información espacial; Sistemas de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) e impresoras y plotters para impresión.
- **Software:** Incluye la fuente del código y la interfaz del usuario.
- **Personal:** Los profesionales en SIG son los que implementan los propósitos y objetivos de la utilización de un sistema de información geográfica.
- **Infraestructura:** Se refiere a la parte tangible, administrativa y cultural que dan soporte a la operación de los SIG's. Esto incluye habilidades necesarias, estándares de información y patrones generales de organización.

Los Sistemas de Información Geográfica son ampliamente utilizados en el análisis de problemas ambientales, y al mismo tiempo, una de las más socorridas junto con la planificación de territorio y la administración de los recursos naturales en el ámbito de las ciencias ambientales. Siendo la gestión del territorio una de las aplicaciones más concretas de estos (Quiroz, 2010).

El desarrollo de herramientas vinculados a los SIG's, han sido utilizados en estudios de la dinámica del paisaje, mediante el análisis de las propiedades cualificables y cuantificables de las cubiertas del suelo, orientados a la determinación del sentido y magnitud de la dinámica espacial, su historia y su proyección al futuro, con la finalidad de obtener diagnósticos y proporcionar alternativas de manejo y conservación de los recursos naturales (García, 2016).

En años recientes, el cambio de uso del suelo ha sido identificado como uno de los factores que está más ligado al cambio climático, deformando los ciclos del clima. Es en estos cambios, que la relación hombre y ambiente toma una forma más definida (Lambin, *et al.*, 1997, citado en Rosete *et al.*, 2008). Los cambios de uso de suelo son cada vez más frecuentes; en el caso de la frontera agrícola, se ha visto un avance hacia las superficies forestales, lo que ha tenido como resultado que tenga una alta susceptibilidad a los procesos erosivos, lo que ocasiona una baja productividad.

Estudios alusivos a detectar los procesos de cambios en el uso de suelo mediante SIG, han sido realizados por Pineda, y colaboradores (2008), donde describen los cambios en la cobertura y el uso de suelo que aconteció en el Estado de México durante el período 1993 – 2002 con base en las Series de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI, a través de éstas estimaron los cambios, intercambios y transiciones que afectaron la pérdida de cobertura forestal así como la aplicación de métodos de regresión multivariantes, esto con el fin de identificar las causas que provocan la deforestación regional.

En el proyecto, el análisis reveló que durante el lapso de los nueve años, el Estado de México perdió 3,836 ha de bosque de coníferas, 7,295 ha de bosque de latifoliadas, 309 ha

de bosque mesófilo de montaña y 2,250 ha de bosque mixto. Un total de 13, 691 ha de pérdida de estas coberturas.

Otro ejemplo es el estudio realizado por Ramos y colaboradores (2004), donde se analizó los cambios de uso del suelo en la parte centro- norte de la Región Chontalpa, Tabasco para los años 1972, 1984 y 2000, con base en la fotointerpretación y en la comparación histórica de las fotografías aéreas de los años 1972 escala 1:60,000 y 1:75,000; 1984 y 1995, actualizándose este último año el uso de suelo al años 2000.

Los estudios sobre los procesos dinámicos de los cambios en la cobertura de suelo y la deforestación son necesarios, ya que proporcionan bases para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad (Van Lynden y Oldeman, 1997, citados en Ramos, *et al.*, 2004).

3.2 Expansión y contracción de la ganadería en San Luis Potosí.

En este trabajo, se utilizaron los SIG's con el objetivo de identificar la dinámica espacio - temporal de las actividades pecuarias en el Estado de San Luis Potosí, para lo cual, se trabajó con las Series de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI, las cuales contienen la distribución y extensión de las diferentes comunidades vegetales y las diferentes actividades agrícolas.

La serie I se generó a en 1978 con la elaboración de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación escala 1: 250 000, la cual requirió el trabajo de más de 10 años para obtener la cobertura nacional. En esta carta se plasman los estados primarios y secundarios de la vegetación, así como el uso agrícola y pecuario. Para su conformación se requirieron fotografías aéreas de vuelo alto para la fotointerpretación y trabajo de campo para su verificación (CONAGUA, 2012).

La serie II de Uso de Suelo y Vegetación escala 1:250 000 se realizó mediante la actualización de la información de la serie I entre 1996 y 1999, que fue obtenida mediante espaciomapas impresos, generados a partir de imágenes LANDSAT de 1993 y trabajo de campo (CONAGUA, 2012).

Para la serie III, la cual se realizó entre 2002 y 2005, se contó ya con procesos y métodos digitales, como los son escenas del satélite LANDSAT ETM del año 2002, además del respectivo trabajo de campo. La información de esta capa está dispuesta para su uso y aplicación en SIG's, está formada por 14 capas y distingue tanto polígonos, puntos y líneas para visualizar la información sobre la cubierta. Además, en ella se hicieron ajustes de índole conceptual para facilitar su interpretación y estructuración. Por último, tuvo representaciones a escalas 1: 1 000 000 y 1: 4 000 000. (CONAGUA, 2012).

Por último, en el caso de la serie IV, ésta fue desarrollada con los mismos principios y marcos conceptuales que la serie III, con imágenes de satélite SPOT multiespectrales que corresponden a los períodos de febrero, marzo y junio de 2007 (CONAGUA, 2012).

La metodología aplicada, fue:

- a) **Reagrupación de las clases:** En este apartado se procedió a unificar las clases de vegetación y uso de suelo (del orden de 170) para poder reclasificarlas en 29 grandes grupos que fueron basados en los propuestos por el INECC con modificaciones por parte del CentroGeo y son los siguientes (Tabla 3.1):

Tabla 3. 1 Tipología final reagrupada. Fuente: elaboración propia con base en Galeana, 2015.

ID	Clases reagrupadas
1	Bosque de coníferas primario
2	Bosque de coníferas secundario
3	Bosque de latifoliadas primario
4	Bosque de latifoliadas secundario
5	Bosque de coníferas-latifoliadas primario
6	Bosque de coníferas-latifoliadas secundario
7	Bosque mesófilo de montaña primario
8	Bosque mesófilo de montaña secundario
9	Selva perennifolia y subperennifolia primario
10	Selva perennifolia y subperennifolia secundario
11	Selva caducifolia y subcaducifolia primario
12	Selva caducifolia y subcaducifolia secundario
13	Mezquital primario
14	Mezquital secundario
15	Pastizal natural primario
16	Pastizal natural secundario
17	Matorral xerófilo primario
18	Matorral xerófilo secundario
19	Vegetación hidrófila primario
20	Vegetación hidrófila secundario
21	Otro tipo de vegetación
22	Área sin vegetación aparente
23	Pastizal inducido o cultivado
24	Plantación forestal
25	Agricultura (riego y humedad)
26	Agricultura de temporal
28	Asentamiento humano
29	Cuerpo de agua

b) Union Geométrica entre cada par de series: Es una superposición de dos o más conjuntos de datos espaciales de un polígono; éste conserva a información asociada de los insumos que caen dentro del alcance de los datos espaciales de entrada, es decir, todas las características de ambos conjuntos de datos se mantienen y se extrae un polígono nuevo con otros datos espaciales. El proceso “union” demanda que las capas de entrada sean capas de polígonos (Law, 2015; Chang, 2010). Este paso se realizó para cada par de series, con el objetivo de identificar los cambios asociados a la expansión y contracción de la superficie ganadera a favor o a costa del capital

natural. Así como las áreas de permanencia o estabilidad geométrica de los campos ganaderos.

c) **Reagrupación de las combinatorias o cruce de mapas:** En este proceso se realizó una unión geométrica, esto con el fin de conocer las entidades espaciales de cada par de series (serie 1-2, serie 2-3, serie 3-4 y serie 4; Galeana, 2015).

d) **Generalización Cartográfica:** Para este paso se usó una generalización cartográfica por área mínima cartografiable por cada intervalo de tiempo. El INEGI estipula que para vegetación son 50 ha y para los usos de suelo es de 25 ha (Galeana, 2015); para fines de este trabajo se utilizó el criterio de 50 ha, con el objetivo de tener un menor número de polígonos que abarcaran una superficie mayor. Además, se usaron dos procesos que ayudaron en su realización:

Dissolve: Law (2015) define a este paso como un comando de geoprocésamiento que ayuda a eliminar los límites que existen entre polígonos que se encuentran próximos y que tienen el mismo valor para un atributo específico; elimina una frontera formada por el borde de una función que no es necesaria cuando los datos ya han sido recopilados, tal es el caso de los bordes de un mapa (Clarke, 1997; Figura 3.2).

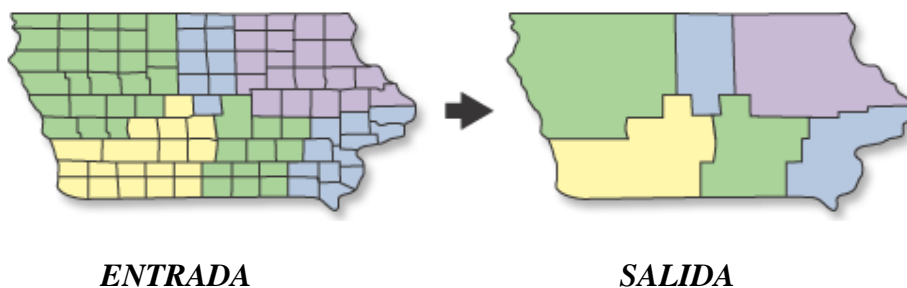


Figura 3. 2 Dissolve. (Modificado de ArcGis Resource Center, 2015)

Eliminate: Este proceso crea una nueva capa quitando características que corresponden a un usuario definido. Eliminate puede implementar el concepto de la unidad mínima de mapeo mediante la eliminación de polígonos que son más pequeños que la unidad que define a una capa (Chang, 2010). Los polígonos se eliminan por la fusión de los mismos con sus polígonos vecinos, los cuales tienen un área o frontera compartida más grande. Esta herramienta se utiliza a menudo para remover pequeños bordes de los polígonos, que son el resultado de la superposición de otras operaciones, tal es el caso de las herramientas “intersect” o de “Union” (ArcGis Resource Center, 2015).

Se debe de llevar a cabo una selección de capas en un paso anterior mediante “Seleccionar capa por atributos”, utilizando la herramienta “seleccionar por ubicación”, o consultando una capa en el ArcMap (ArcGis Resource Center, 2015). Sólo los polígonos seleccionados se fusionarán con el polígono vecino que no fue activado; de lo contrario, si el polígono está activado no se podrá llevar a cabo el proceso (se debe de colocar el borde compartido). La capa de entrada debe incluir una selección, de lo contrario el proceso “Eliminate” fallará (Figura 3.3).

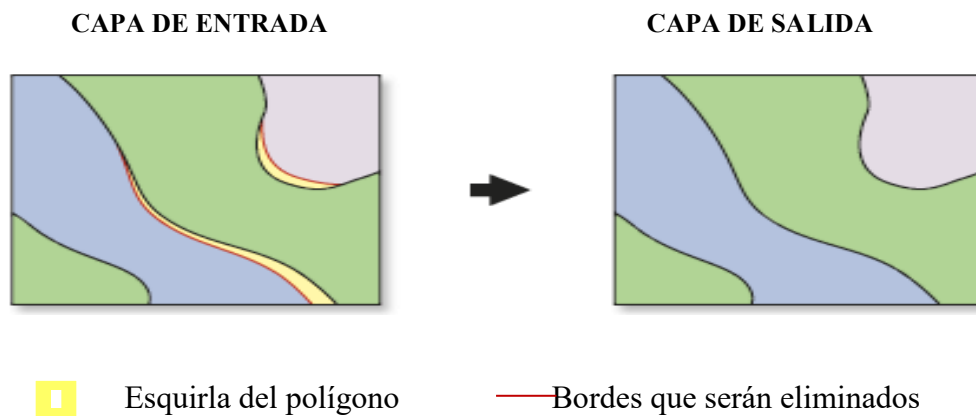


Figura 3. 3 Eliminate (Modificado de ArcGis Resource Center, 2015)

3.3 Inventarios de GEI de origen pecuario.

Tanto los animales rumiantes como los no rumiantes producen metano procedente de la fermentación entérica como consecuencia de su proceso digestivo; en él, los microorganismos presentes descomponen los hidratos de carbono en moléculas más simples que son absorbidas de manera más fácil por el torrente sanguíneo del animal. La cantidad de CH₄ liberada va a depender del tipo, edad y peso del animal, además de la cantidad y calidad del forraje ingerido (IPCC, 2006)

En contraparte, el metano procedente del manejo del estiércol se debe a su descomposición en condiciones anaeróbicas. Normalmente es por la cría de grandes cantidades de animales en un área pequeña, pueden ser en vaquerías, granjas de engorde de ganado (*feedlot*), granjas porcinas y cría de aves de corral (IPCC, 2006)

No existe ninguna fuente que proporcione todos los datos necesarios para estimar las emisiones de metano del ganado doméstico. La Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO) publica una serie de Anuarios de Producción, la cual incluye información sobre los censos de ganado y la producción y consumo de productos derivados del ganado. Es necesario complementar los datos de la FAO con estudios orientados a las dinámicas de los distintos países

Un Inventario de Gases de Efecto Invernadero es un informe que rinde cuentas para la identificación y cuantificación de las principales fuentes emisoras de gases de efecto invernadero en un país, siendo un estudio básico para el entendimiento del cambio climático (INECC, 2010).

De acuerdo con la actualización realizada en 1996 al inventario de 1990, los gases de efecto invernadero que se incluyen son: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de compuesto orgánicos volátiles no-metano (INECC, 2010).

Algunas características por las cuales la realización de inventarios es relevante en la toma de decisiones es la evaluación de viabilidad y el costo-efectividad para establecer posibles estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero, dentro de las que destacan:

- 1- Son la base para el desarrollo de una metodología que permite estimar las fuentes y sumideros de gases de invernadero.
- 2- Permite a todos los países anexos a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático estimar sus emisiones y comparar las contribuciones de las diferentes fuentes de emisiones y de gases (INECC, 2010).

En el caso de México, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático es el encargado de la realización de los inventarios e informes, estos se enlistan a continuación:

- Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero con cifras de 1990.
- Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1994 - 1998
- Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 - 2010
- Informes del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990 – 2002
- Informes del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990 – 2006 (INECC, 2013).

En el presente trabajo se emplea el método descrito por el IPCC 1996 modificado y revisado por el INECC para el cálculo de emisiones de Metano y Óxido Nitroso de origen pecuario:

Para el caso de la fermentación entérica, las emisiones se calculan aplicando un factor de emisión al número de animales de cada tipo de ganado. Hay factores de emisión presentes por defecto, tanto para países desarrollados como países en desarrollo, además, se tiene mayor detalle para el ganado vacuno, dado que es la fuente más importante en esta actividad (IPCC, 1996)

En el apartado de las emisiones procedentes del manejo del estiércol se tiene una metodología similar. En este sentido, existen factores de emisión por defecto por regiones para tres diferentes regímenes climáticos. Las cuales se deben de multiplicar en función de las poblaciones de animales para obtener las estimaciones de las emisiones (IPCC, 1996).

3.3.1 Llenado de hoja de trabajo.

Para anotar los datos se utilizó la HOJA DE TRABAJO 4.1 EMISIONES DE METANO Y DE ÓXIDO NITROSO PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA DEL GANADO DOMÉSTICO Y DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL (IPCC, 1996).

Donde el procedimiento es el siguiente:

1. Anotar en la columna A de la Hoja de Trabajo 4-1 las cifras en millares de cada tipo de ganado.
2. Para la columna “B” se indica un factor de emisión para cada tipo de ganado (kg/cabezas/año o ton/1000cabezas/año). Los factores de emisión varían de una región a otra y se incluyen factores por defecto para varias regiones.

3. Para la columna “C” multiplicar el número de cabezas de ganado por los factores medios de emisión para obtener las emisiones procedentes de la fermentación entérica y dividirlos entre mil, esto dará el resultado en gigagramos por año.

PASO 2: Estimación de las emisiones procedentes de los sistemas de manejo del estiércol.

1. En la columna “D” se indica el Factor de Emisión correspondiente al Manejo del Estiércol en kilogramos por cabeza y año (kg/cabeza/año) para cada tipo de animal. Se dan valores por defecto para cada tipo de ganado tanto para países desarrollados como en vías de desarrollo y del mismo modo, hay factores para tres tipos de clima distintos (climas fríos, secos y templados).
2. En la columna “E”, se indican los resultados de multiplicar el Número de animales por el Factor de Emisión para el Manejo del Estiércol, a fin de obtener las Emisiones Procedentes del Manejo del Estiércol, expresado en toneladas anuales.

PASO 3: Estimación de las emisiones de metano procedentes de la fermentación entérica y del manejo del estiércol.

1. – Para este caso, se deben sumar las emisiones correspondientes a la Fermentación Entérica y al Manejo del Estiércol. Los totales se registran en la parte inferior de la Hoja de Trabajo.
2. – Los resultados de la operación anterior, se vuelven sumar para obtener el Total Anual de Emisiones del Ganado Doméstico.
3. – El resultado final, se divide entre 1000, esto con el fin de expresar la cantidad en gigagramos. El resultado final se indica en la columna “F” (Figura 3.4).

MÓDULO		AGRICULTURA				
SUBMÓDULO		EMISIONES DE METANO Y DE ÓXIDO NITROSO PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA DEL GANADO DOMÉSTICO Y DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL				
HOJA DE TRABAJO		4-1				
HOJA		1 DE 2 EMISIONES DE METANO PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA DEL GANADO DOMÉSTICO Y DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL				
	PASO 1			PASO 2		PASO 3
Tipo de ganado	A	B	C	D	E	F
	Número de animales (en miles)	Factores de emisión para la fermentación entérica (kg/cabeza/año)	Emisiones procedentes de la fermentación entérica (t/año)	Factores de emisión para el manejo del estiércol (kg/cabeza/año)	Emisiones procedentes del manejo del estiércol (t/año)	Total anual de las emisiones procedentes del ganado doméstico (Gg)
			$C = (A \times B)$		$E = (A \times D)$	$F = (C + E) / 1000$
Ganado lechero						
Ganado no lechero						
Búfalos						
Ovejas						
Cabras						
Camellos						
Caballos						
Mulas y asnos						
Cerdos						
Aves de corral						
Totales						

Figura 3. 4 Hoja de trabajo 4-1 para Emisiones de Metano Procedentes de la Fermentación Entérica del ganado doméstico y del Manejo del Estiércol. Fuente IPCC, 1996

PASO 4: Estimación de las emisiones de N₂O procedentes de los sistemas de manejo del estiércol: Hoja de trabajo 4.-1 (Adicional) Nitrógeno excretado por sistema de manejo del estiércol.

En este apartado se utiliza la Hoja de trabajo 4-1 Adicional para calcular el Nitrógeno Excretado por Sistema de Manejo del Estiércol (SME). Se debe de llenar una hoja de trabajo por cada sistema de manejo para esta sección: Lagunas anaeróbicas, Sistemas de tipo Líquido, Almacenamiento sólido y parcelas secas y “otros sistemas”.

- 1.- En la primera columna “A”, se indica el número de animales, “n” de un país.
- 2.- El Nitrógeno Excretado, N_{ex} , para cada tipo de animal se registra en la columna “B”.
Los factores de emisión se dan por defecto.
- 3.- La fracción de Nitrógeno en el Estiércol para cada Sistema de Manejo del Estiércol se anota en la columna “C”; al igual que en el apartado anterior, hay valores por defecto y estos se presentan más adelante.
- 4.- Las columnas “A”, “B” y “C” se deben de multiplicar; los resultados se registran en la columna “D”.
- 5.- Los valores resultantes se suman y se anota el total en la parte inferior de dicha columna para obtener el Nitrógeno Excretado para cada Sistema de Manejo del Estiércol, $N_{ex (SME)}$, en kilogramos de N por año (Figura 3.5).

MÓDULO	AGRICULTURA			
SUBMÓDULO	EMISIONES DE METANO Y ÓXIDO NITROSO PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA DEL GANADO DOMÉSTICO Y DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL			
HOJA DE TRABAJO	4-1 (ADICIONAL)			
ESPECIFICAR EL SME				
HOJA	NITRÓGENO EXCRETADO POR SISTEMA DE MANEJO DEL ESTIÉRCOL			
Tipo de ganado	A Número de animales (# de animales)	B Nitrógeno excretado, Nex (kg/cabeza/año)	C Fracción del nitrógeno del estiércol por SME (%/100) (fracción)	D Nitrógeno excretado por SME, Nex (kg/N/año)
				$D = (A \times B \times C)$
Ganado no lechero				
Ganado lechero				
Aves de corral				
Ovejas				
Cerdos				
Otros				
			TOTAL	

Figura 3. 5 Hoja de trabajo 4-1 adicional, Nitrógeno Excretado por Sistema de Manejo de Estiércol. Fuente IPCC, 1996.

Hoja de trabajo 4-1, Hoja 2 de 2, es utilizada para calcular las Emisiones de N₂O procedentes de todos los Sistemas de Manejo del Estiércol (SME).

1. – Para cada SME se colocan en la columna “A” los valores del Nitrógeno excretado Nex_(SME), que son el resultado de la hoja de trabajo Adicional anterior.
2. - Cada SME tiene su propio Factor de Emisión por defecto, este se debe de colocar en la columna “B”.
3. – El valor de la excreción del Nitrógeno de la columna “A” se multiplica por un Factor de Emisión de N₂O para cada SME correspondiente a la columna “B” e inmediatamente por la relación 44/28 para obtener el Total Anual de las Emisiones

de N₂O. Finalmente se multiplica el resultado obtenido por 10⁻⁶; esto sirve para obtener un producto en gigagramos y se coloca en la columna “C” el resultante.

4. – La columna “C” se suma y se indica el resultado en la casilla inferior (IPCC, 1996) (Figura 3.6).

MÓDULO	AGRICULTURA		
SUBMÓDULO	EMISIONES DE METANO Y ÓXIDO NITROSO PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTERICA DEL GANADO DOMÉSTICO Y DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL		
HOJA DE TRABAJO	4-1		
HOJA	2 DE 2 EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA EMISIONES PROCEDENTES DE LOS SISTEMAS DE MANEJO DEL ESTIÉRCOL (SME)		
PASO 4			
Sistema de Manejo del Estiércol (SME)	A Nitrógeno excretado N _{ex,SMB} (kg N/año)	B Factor de emisión para el SME FE ₂ (kg N ₂ O-N/kg N)	C Total anual de las emisiones de N ₂ O (Gg) C= (A x B)[44/28] x 10 ⁻⁶
Lagunas anaeróbicas			
Sistemas de tipo líquido			
Abonado diario			
Almacenamiento sólido y parcelas secas			
Praderas y pastizales			
Otros			
Totales			

Figura 3. 6 Hoja de trabajo 4-1 suplemental, Nitrógeno Excretado por Sistema de Manejo de Estiércol. Fuente IPCC, 1996.

3.4 Análisis de correlación entre emisiones de Gases de Efecto Invernadero y la expansión y contracción pecuaria.

Para identificar si existe una relación entre la expansión o contracción de la frontera pecuaria y el aumento o disminución de las emisiones de GEI pecuario en el Estado de San Luis Potosí, se realizó un análisis de correlación mediante el método de Spearman.

El coeficiente de correlación de rangos de Spearman, se obtiene de la medición de parejas de variables, “X” y “Y”. Mide el grado de asociación que pueda existir entre dos cantidades, pero no su grado de concordancia y es recomendable utilizarlo en el momento

en que se presenten datos con valores extremos. Su fórmula es la siguiente (Martínez *et al.*, 2009):

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Dónde: en donde $d_i = r_{x_i} - r_{y_i}$ es la diferencia entre los rangos de X e Y.

Sus valores están comprendidos entre -1 y 1, donde un resultado cercano a -1 indica una correlación negativa; cercano a 0 indica que no existe correlación y por último, cercano a 1 indica una correlación positiva.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

En este apartado se describen las emisiones totales de metano equivalente en Gigagramos (Gg) procedentes de los diferentes tipos de ganado en el tiempo de estudio del trabajo (30 años); se desglosan además las emisiones para cada tipo de hato ganadero con relación al número de cabezas para los años 1980-2010. Se identificó que existe una relación directamente proporcional entre el número de cabezas y el número de emisiones, por lo tanto, a mayor número de cabezas de ganado, mayores emisiones y viceversa.

Se realizaron las gráficas para cada tipo de ganado con dos tipos de potencial de calentamiento del metano 21 y 28, con el fin de obtener gigagramos de CO₂ equivalente. Actualmente, tanto en el IPCC como en el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), utilizan el potencial de calentamiento 28 para la realización de sus inventarios, sin embargo, en este trabajo se decidió utilizar también el potencial 21, para realizar una comparación entre emisiones con ambos potenciales de calentamiento.

Por otro lado, en la sección 3.3 de este capítulo se presentarán los análisis de cambio de uso de suelo del Estado de San Luis Potosí por actividades pecuarias, se analizaron los procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera agrícola a nivel estatal para los años 1976-1993; 1993-2002; 2002-2007 y 2007-2011.

4.1 Emisiones de metano (CH₄) en San Luis Potosí para los años 1980-2010.

De acuerdo con la Figura 4.1, el año que presentaron mayores emisiones fue 1982, con 1343.58 Gg de metano equivalente con potencial 21, mientras que con el potencial 28 fue de 1791.44, lo que significó el 3.74% de las emisiones totales de las tres décadas. Caso contrario, el año con menores emisiones fue 1997 con 973.14 Gg de metano equivalente,

con potencial 21 y con potencial 28 fue de 1287.52 Gg, representando el 2.71% de las emisiones totales. Las líneas de tendencia indican una disminución en las emisiones de metano de origen pecuario en el Estado de San Luis Potosí, con una tasa de disminución del 6.96% en promedio por año (Figura 4.1)

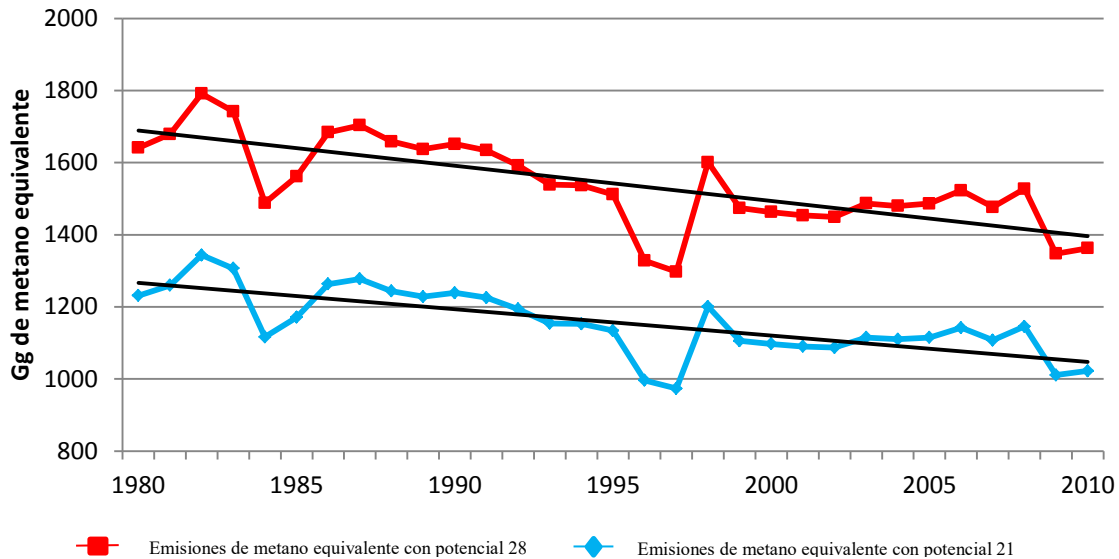


Figura 4. 1 Emisiones de metano de CO₂ equivalente de origen pecuario con potencial de calentamiento 21 y 28 en el Estado de San Luis Potosí para los años 1980-2010. Fuente: elaboración propia.

4.1.1 Emisiones de metano equivalente para ganado lechero.

Durante los primeros años (1980-1993), los censos ganaderos no hacían notar la diferencia entre Ganado Lechero y Ganado no Lechero, es por esto que en las estimaciones de este trabajo no se pudieron contabilizar de forma adecuada por lo que se asumió un valor cero para el número de cabezas de ganado y por ende, el resultado fue de cero emisiones.

De acuerdo con la figura 4.1, el año en que se registraron las mayores emisiones de metano fue 1996 con 124.1 Gg de metano de CO₂ equivalente con el potencial 21, mientras que con

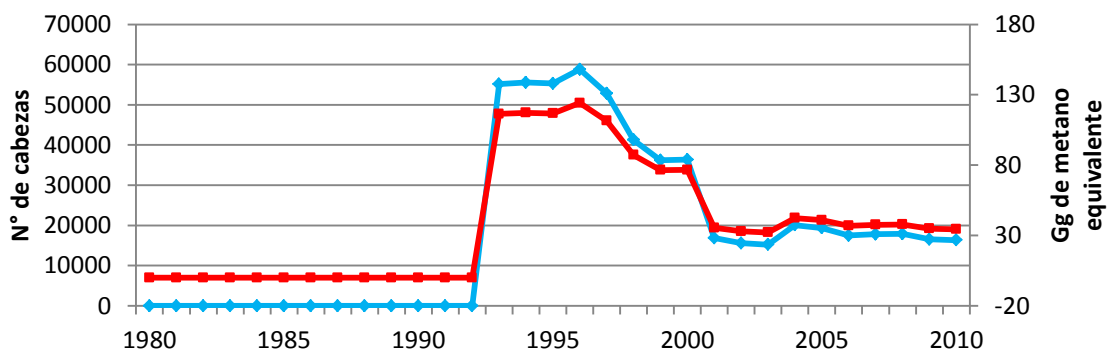
el potencial 28, sube a 165.48 Gg de metano de CO₂ equivalente; lo que representa el 12.45% de las emisiones totales del año en cuestión.

Caso contrario, el año con menor número de emisiones y de cabezas de ganado fue 2003 32.13 Gg de metano de CO₂ equivalente, esto con el potencial 21, mientras que con el potencial de calentamiento 28, las emisiones de metano de CO₂ equivalente, fue de 42.84 Gg, representando el 2.88% de las emisiones totales anuales.

Finalmente durante los 30 años del periodo de estudio se contabilizaron un total de 1191.75 Gg de metano a través del potencial de calentamiento 21; mientras que por medio del potencial 28 se contabilizaron un total de 1589 Gg de metano para el mismo periodo, provenientes del ganado no lechero. El año en que más emisiones se registraron representó un 10.21% del total de las emisiones de las tres décadas de estudio; mientras que 2003, el año con menores emisiones registradas, representó solamente el 2.69% de las emisiones producidas por este tipo de ganado en 30 años.

En este caso y en los subsecuentes que se expondrán en los apartados 4.1.2., 4.1.3., 4.1.4., 4.1.5 y 4.1.6 las emisiones con potencial 28 representan un 33.3% más de emisiones que con el potencial 21 (Figura 4.2a y 4.2b).

a)



b)

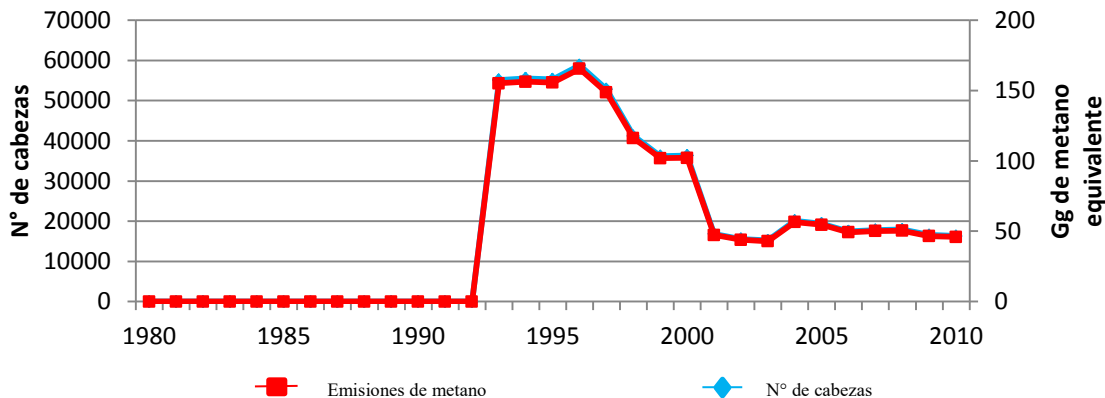


Figura 4. 2 Emisiones de metano de CO₂ equivalente y número de cabezas para ganado lechero durante los años 1980-2010. a) Emisiones con potencial 21; b) emisiones con potencial 28. Fuente: elaboración propia.

4.1.2 Emisiones de metano equivalente para ganado no lechero.

En el caso del ganado no lechero, las mayores emisiones se concentraron en el año 1982 con 1164.45 y 1552.6 Gg de metano equivalente de CO₂ con potencial 21 y 28 respectivamente; esto es el 86.67% de las emisiones totales de ese año. El año de 1997 fue en el que se presentaron las menores emisiones, con 675.15 y 900.2 Gg con potencial 21 y 28 para cada caso, lo que representó el 69.38% de las emisiones totales anuales (Figura 4.3a y figura 4.3b).

Del total de emisiones provenientes del ganado no lechero para los 30 años, el año 1982 representó el 4.01% de todas las emisiones producidas en este período de tiempo; mientras que en 1997 que fue el año con las menores emisiones liberadas fue de 2.32%. El total de emisiones provenientes del ganado no lechero fue de 29,001 Gg de metano equivalente de CO₂.

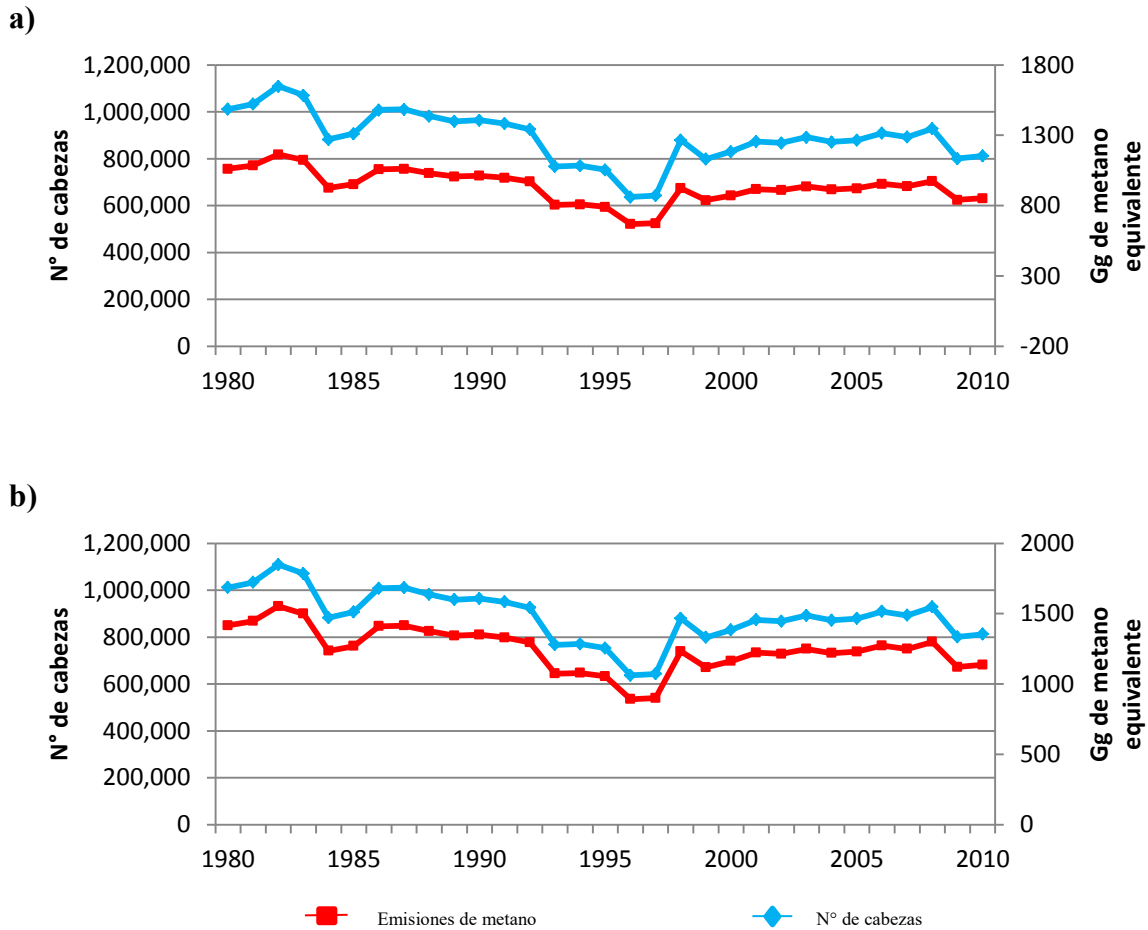


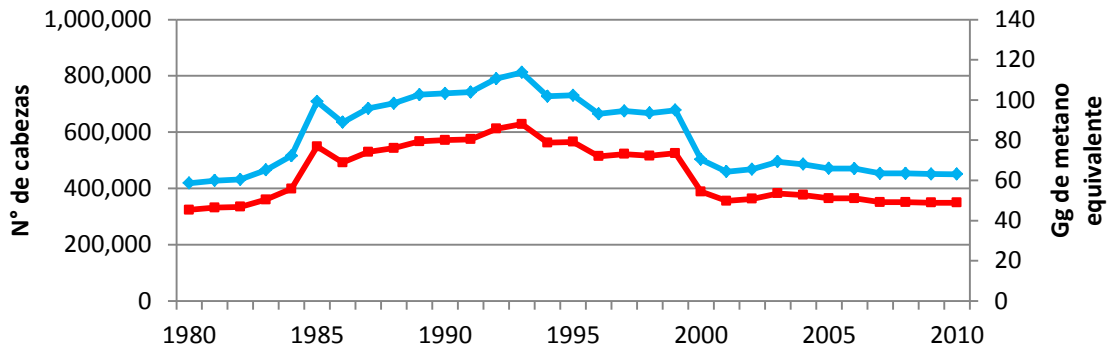
Figura 4. 3 Emisiones de metano de CO₂ equivalente y número de cabezas para ganado no lechero durante los años 1980-2010. a) Emisiones con potencial 21; b) emisiones con potencial 28. Fuente: elaboración propia

4.1.3 Emisiones de metano equivalente para ganado ovino.

Respecto al ganado ovino, las menores concentraciones de emisiones se dieron en el año 1980 con 45.36 Gg de metano equivalente con el potencial 21 y 60.48 Gg de metano equivalente, con el potencial 28, lo que dio como resultado un 3.6% de las emisiones totales para dicho año. En contraparte, las mayores emisiones se registraron en 1993 con el potencial 21 de 87.99Gg de metano equivalente y con el potencial 28 de 117.32Gg, que corresponde a un 7.6% de las emisiones totales (Figura 4.4a y Figura 4.4b).

Finalmente, del total de emisiones para los 30 años fue de 1962.45 Gg de metano equivalente, de estos el año 1993 representó el 4.48% del total de emisiones, mientras que 1980 fue el 2.31%.

a)



b)

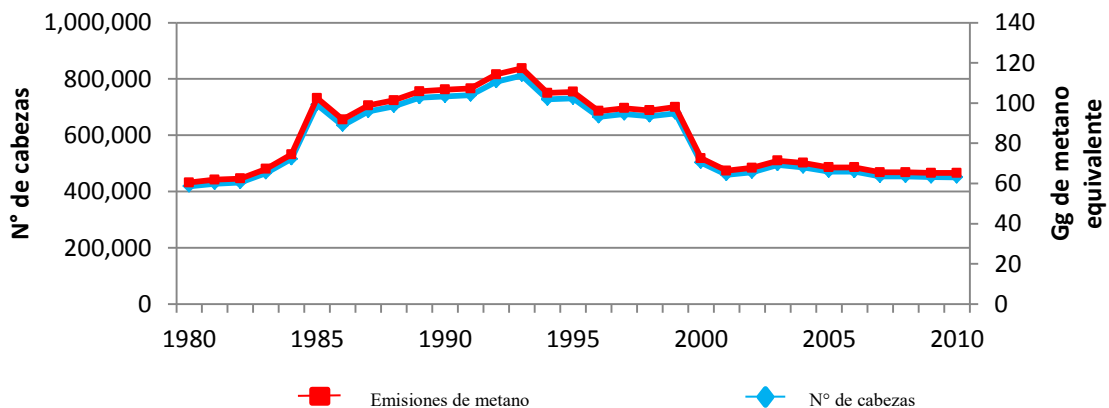


Figura 4. 4 Emisiones de metano de CO₂ equivalente y número de cabezas para ganado ovino durante los años 1980-2010. a) Emisiones con potencial 21; b) emisiones con potencial 28. Fuente: elaboración propia.

4.1.4 Emisiones de metano equivalente para ganado caprino.

2007 fue el año en el que se presentaron menores emisiones para el ganado caprino, con 65.73 Gg de metano equivalente con potencial 21 y con el potencial 28 de 87.64Gg de metano equivalente; caso contrario, 1994 tuvo las mayores emisiones, para el potencial 21

fue de 134.19 Gg y con el potencial 28 fue de 178.92 Gg de metano equivalente, esto representó el 11.64% de las emisiones totales (Figura 4.5a y Figura 4.5b).

Por último, en los 30 años del estudio, las emisiones provenientes del ganado caprino se contabilizaron en 3143.73 Gg de metano equivalente, de estos, el año 1994 en el cual se registraron las mayores emisiones, representó el 4.26% del total de las emisiones para las 3 décadas; en el caso contrario, 2007 que se presentaron las emisiones más bajas, representó solamente 2.02% del total de emisiones de los 30 años.

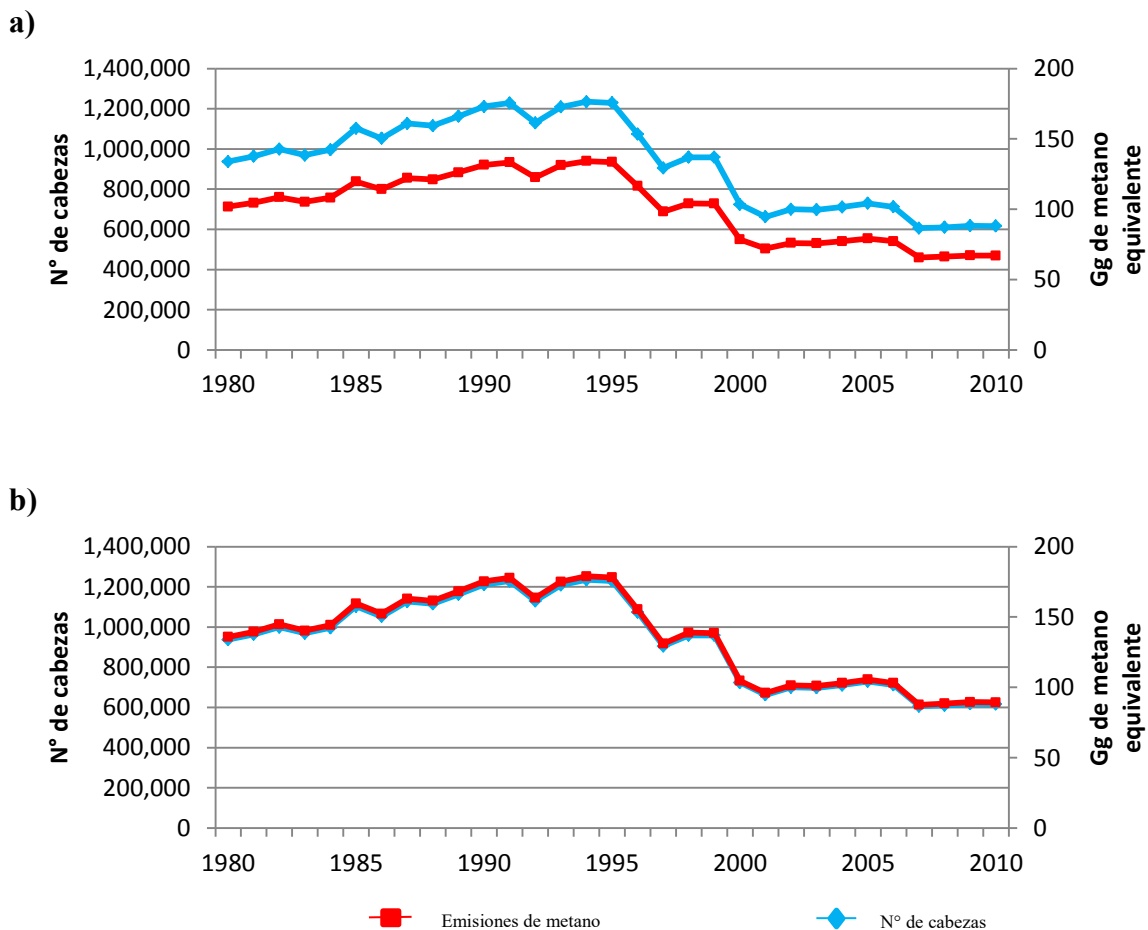


Figura 4. 5 Emisiones de metano de CO₂ equivalente y número de cabezas para ganado caprino durante los años 1980-2010. a) Emisiones con potencial 21; b) emisiones con potencial 28. Fuente: elaboración propia.

4.1.5 Emisiones de metano equivalente para ganado porcino.

Para el ganado porcino, las mayores emisiones se presentaron en el año 1983 con 25.41 Gg de metano equivalente para el potencial 21 y 33.88 Gg de metano equivalente con el potencial 28. Las menores se produjeron en 1999, con 9.24 Gg de metano equivalente con el potencial 21 y 12.32 Gg de metano con potencial 28, lo cual significó 0.77% de las emisiones para dicho año (Figura 4.6a y Figura 4.6b). El total de emisiones para ganado porcino durante los 30 años fue de 475.44 Gg de metano equivalente. 1983 fue el año en el que se registraron las mayores emisiones de este grupo de ganado, representó el 5.34% del total de las emisiones de este grupo; 1999 representó el 1.94% del total de emisiones liberadas en 30 años por el ganado porcino.

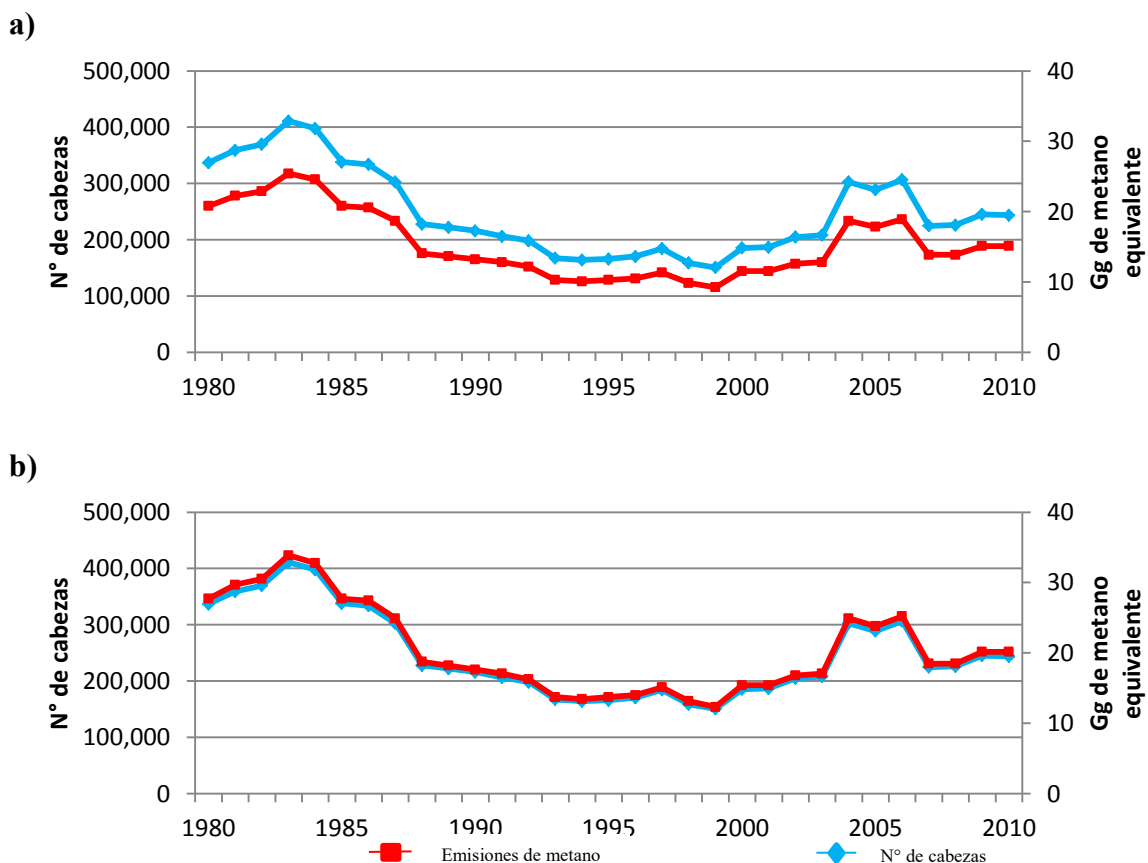


Figura 4. 6 Emisiones de metano de CO₂ equivalente y número de cabezas para ganado porcino durante los años 1980-2010. a) Emisiones con potencial 21; b) emisiones con potencial 28. Fuente: elaboración propia.

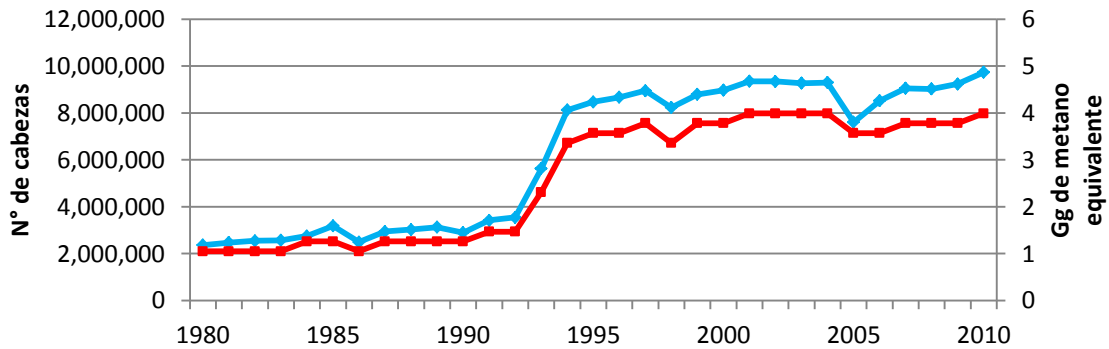
4.1.6 Emisiones de metano equivalente para aves de corral.

En este grupo las mayores emisiones se concentraron en el año 2010 con 3.99Gg con el potencial 21, mientras que con el potencial 28 fueron de 5.38 Gg de metano equivalente, lo que dio como resultado un 0.39% de las emisiones anuales.

Las emisiones con menor porcentaje fue 1980 con 1.05 Gg de metano equivalente con el factor 21, mientras que con el factor 28 fue de 1.4 de Gg de metano equivalente lo que resultó en un 0.08% de las emisiones totales (Figura 4.7a y Figura 4.7b).

Por último, el total de emisiones provenientes de las aves de corral en 30 años fue de 81.69 Gg de metano equivalente con el potencial 21; 1980 representó el 1.28% de las emisiones liberadas por este tipo de animales durante el período de estudio. 2010 que fue el año con mayores emisiones registradas en este sector, fue de 4.88% del total de emisiones por las aves de corral.

a)



b)

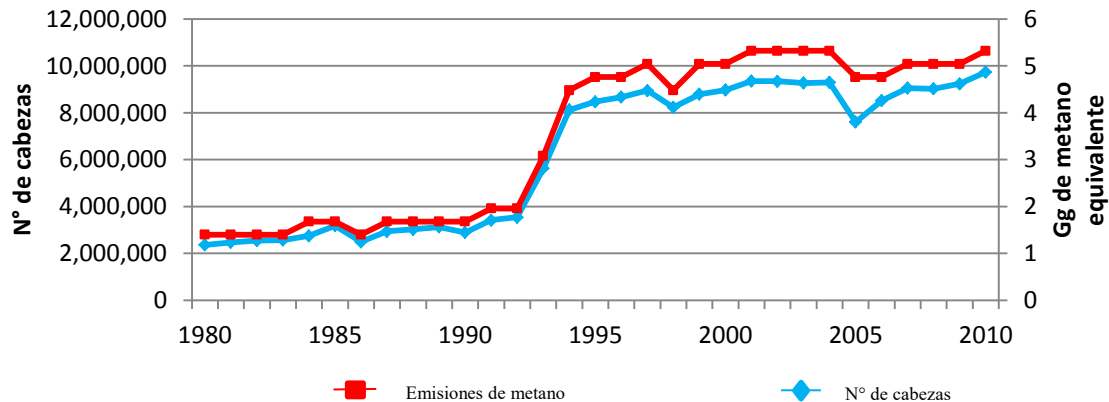


Figura 4. 7 Emisiones de metano de CO₂ equivalente y número de cabezas para aves de corral durante los años 1980-2010. a) Emisiones con potencial 21; b) emisiones con potencial 28. Fuente: elaboración propia.

4.2 Emisiones de óxido nitroso (N₂O) en San Luis Potosí para los años 1980-2010

En este apartado se describen las emisiones totales de óxido nitroso equivalente en Gigagramos (Gg) procedentes de las actividades pecuarias del Estado durante 30 años (1980-2010). Se desglosan además las emisiones para cada tipo de Sistemas de Manejo del Estiércol (SME).

Se realizaron las gráficas para cada tipo SME con dos tipos de potencial de calentamiento del metano 310 y 265, con el fin de obtener gigagramos de N₂O equivalente. Actualmente, tanto en el IPCC como en el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), utilizan el potencial de calentamiento 310 para la realización de sus inventarios, sin embargo, en este trabajo se decidió utilizar también el potencial 265, para realizar una comparación entre emisiones con ambos potenciales de calentamiento.

De acuerdo con la Figura 4.8, el año que presentaron mayores emisiones fue 1996, con 68.95 Gg de óxido nitroso equivalente con potencial 310, mientras que con el potencial 265

fue de 58.9, lo que constituyó el 8.37% de las emisiones totales por los 30 años del caso de estudio.

Por otro lado, el año con menores emisiones fue 1980 con 4.21 Gg de óxido nitroso equivalente con potencial 310 y con potencial 265 fue de 3.60 Gg, representando el 2.39% de las emisiones totales. Las líneas de tendencia indican un aumento en las emisiones del óxido nitroso de origen pecuario en el Estado de San Luis Potosí.

Caso contrario al metano, las emisiones de óxido nitroso han ido en aumento; las líneas de tendencia indican un aumento del 0.81% anual en promedio de este gas de efecto invernadero (Figura 4.8).

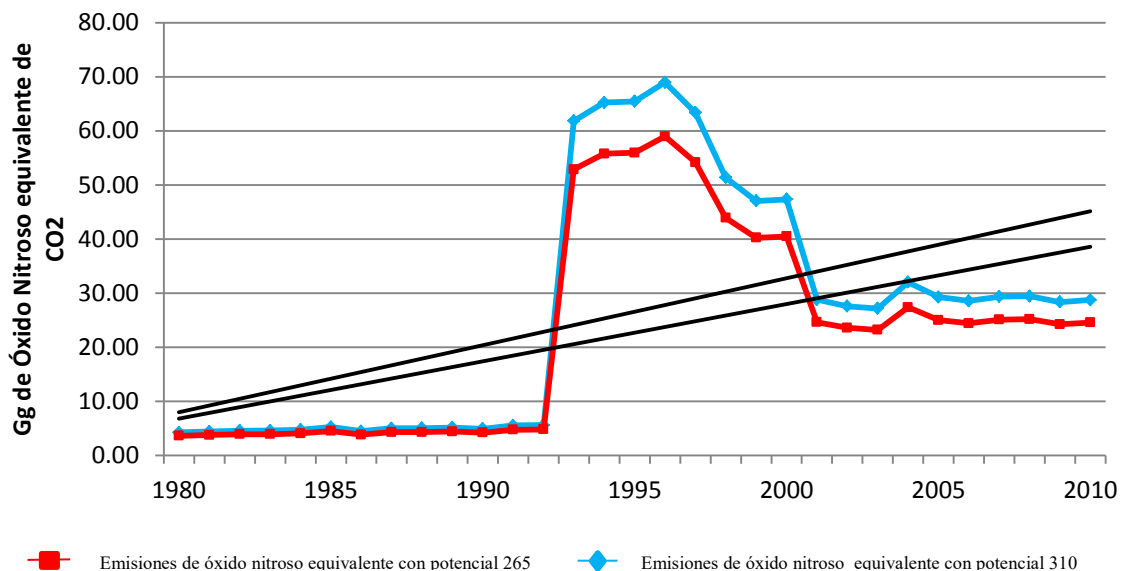


Figura 4. 8 Emisiones de óxido nitroso de CO₂ equivalente de origen pecuario con potencial de calentamiento 310 y 265 en el Estado de San Luis Potosí para los años 1980-2010. Fuente: elaboración propia

4.2.1 Emisiones de Óxido Nitroso equivalente por Sistema de Manejo del Estiércol.

Un Sistema de Manejo del Estiércol es un método que se emplea durante el almacenamiento y tratamiento del estiércol antes de que se aplique a la tierra o se utilice de otra manera, ya sea como combustible o para la construcción. El IPCC (2006) utiliza el término estiércol en su apartado de emisiones para describir e incluir la bosta y la orina del ganado, es decir, sólidos y líquidos.

4.2.2 Sistema de Manejo del Estiércol de tipo líquido.

En este caso, el estiércol se almacena tal y como se excreta o ya sea con un agregado de agua para facilitar su manejo y se deposita en estanques, fuera del lugar en donde los animales se encuentran, generalmente por períodos de menos de un año (IPCC, 2006).

Para el año 1983, se presentaron las mayores emisiones de Óxido Nitroso por S.M.E de tipo líquido, con 0.384416977 Gg con potencial de calentamiento 310 y con potencial 265 fue de 0.328614513 Gg de óxido nitroso equivalente, lo que representa el 5.35% del total de las emisiones en 30 años. Caso contrario, el año con menos emisiones de este tipo fue 1999 con 0.141085613 de óxido nitroso equivalente con potencial de 310 y 0.120605443 de Gg óxido nitroso equivalente con potencial 265, que es el 1.96% de las emisiones totales en el período de estudio de 30 años. (Figura 4.9).

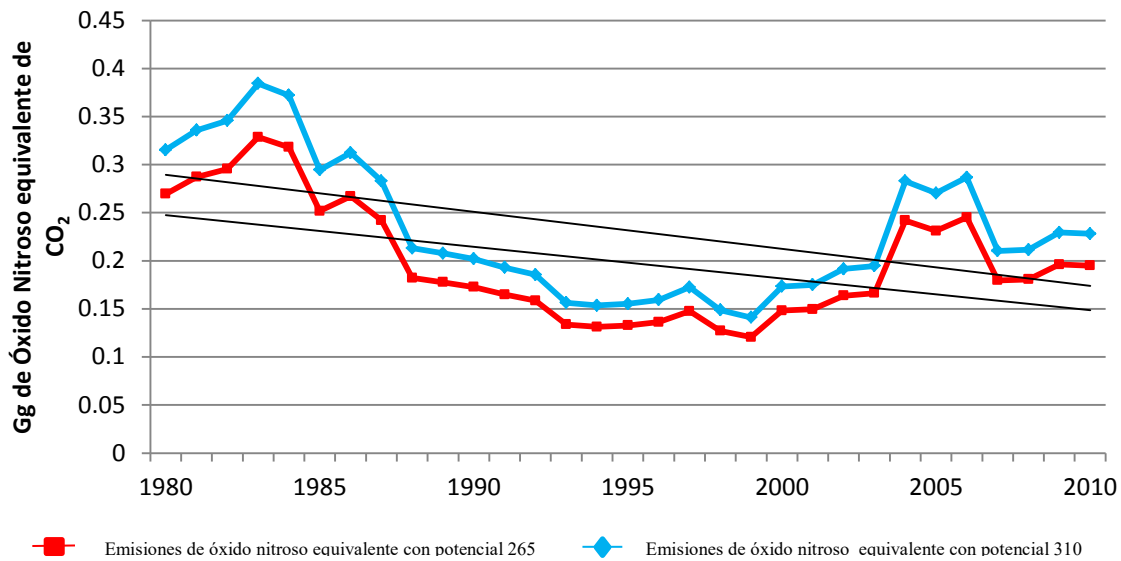


Figura 4. 9 Emisiones de óxido nitroso de CO₂ equivalente de origen pecuario con potencial de calentamiento 310 y 265 en el Estado de San Luis Potosí por SME de tipo líquido para los años 1980-2010. Fuente: elaboración propia.

4.2.3 Sistema de Manejo del Estiércol, Almacenamiento de sólidos.

En este sistema, el estiércol se almacena por períodos de tiempo de algunos meses, en pilas de pequeño tamaño que no están confinadas. El estiércol puede aplicarse como abono ya que hay una presencia significativa de “material de cama” y/o la pérdida de humedad debido a la evaporación (IPCC, 2006)

Respecto a las emisiones de óxido nitroso relacionadas con este tipo de manejo del estiércol, 1996 fue el año con mayores emisiones con 57.30 Gg de óxido nitroso equivalente con potencial 310 y con potencial 265 fue de 48.98 Gg, que da como resultado, el 10.41% de las emisiones totales por 30 años.

Por otro lado, las menores emisiones se presentaron en distintos años, de 1980 a 1992 con 0 emisiones, esto debido a que éste SME necesita de datos de número de cabezas por ganado lechero y para en estos años no había datos desglosados, esto es, los datos de ganado

lechero y no lechero estaban en un mismo grupo (ganado no lechero). Una vez que se establecieron datos por tipo de ganado, el año con menores emisiones fue 2003 con 14.83 Gg de óxido nitroso equivalente con potencial 310 y con potencial 265 fue de 12.68 de óxido nitroso equivalente, esto representa el 2.69% de las emisiones totales en 30 años (Figura 4.10)

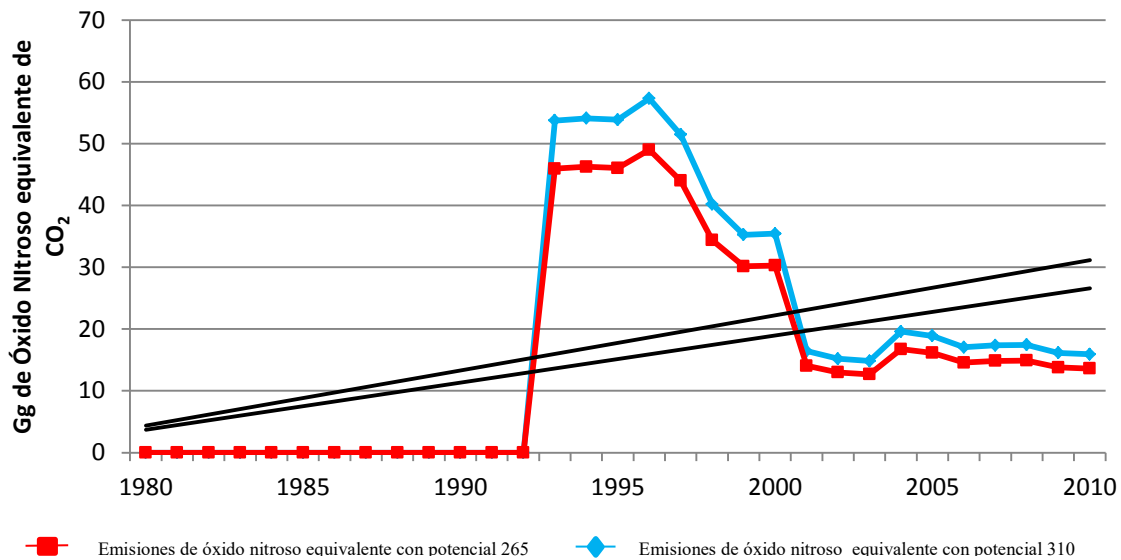


Figura 4. 10 Emisiones de óxido nitroso de CO₂ equivalente de origen pecuario con potencial de calentamiento 310 y 265 en el Estado de San Luis Potosí por SME almacenamiento de sólidos para los años 1980-2010. Fuente: elaboración propia.

4.2.4 Otros sistemas.

Para este apartado, otros sistemas son gestiones diferentes en las que se puede manejar el estiércol, por ejemplo, distintas formas de almacenaje, recogida del mismo con poco o ningún agregado de agua, con presencia de paja, etcétera.

Las emisiones de óxido nitroso por este sistema dieron como resultado que 2010 fue el año con mayores emisiones para este sistema con 12.58 Gg de óxido nitroso equivalente de

CO₂ con el potencial 310 y 10.75 Gg de óxido nitroso con potencial 265, esto representa el 4.73% de las emisiones totales por 30 años. Por último, el año con menores emisiones fue 1980 con 3.90 Gg de óxido nitroso equivalente con potencial 310 que da como resultado 1.46% de las emisiones totales en 30 años; y 3.33 Gg de óxido nitroso con potencial 265 (Figura 4.11).

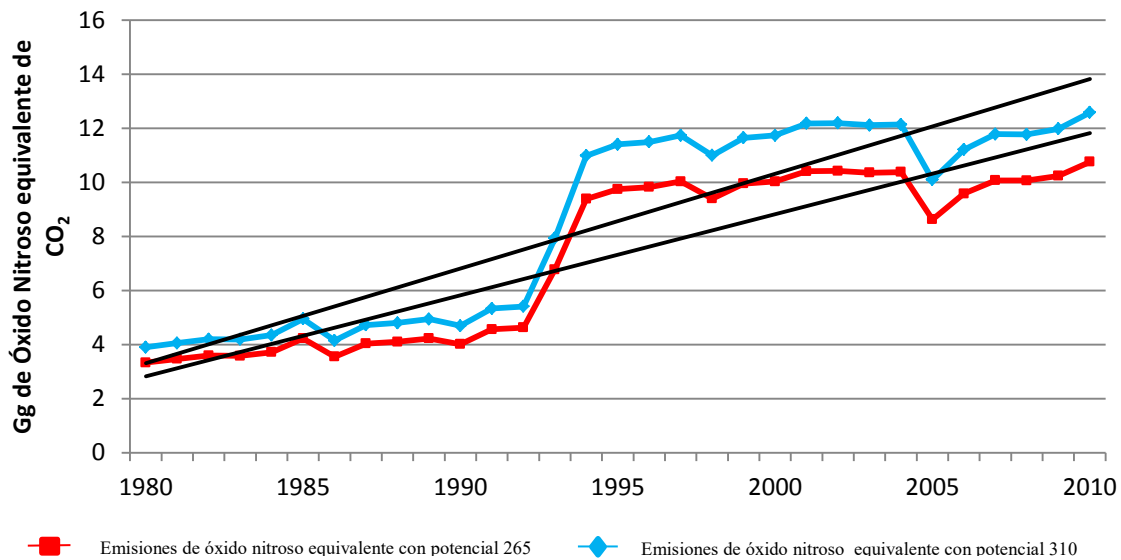


Figura 4. 11 Emisiones de óxido nitroso de CO₂ equivalente de origen pecuario con potencial de calentamiento 310 y 265 en el Estado de San Luis Potosí por SME de otro tipo para los años 1980-2010. Fuente, elaboración propia.

4.3 Procesos de contracción, expansión y permanencia de uso de suelo por actividades pecuarias.

Las representaciones espacio-temporales para analizar el fenómeno de expansión/contracción y permanencia pueden ser expresadas como procesos de cambio de entidades u objetos, como es el caso de las clases de uso de suelo y vegetación (Galeana, 2015).

Cada uno de estos se define como:

1 – Expansión de los sistemas ganaderos (vía pastizales inducidos): se refiere a los casos en los que hubo un cambio de capital natural a pastizales inducidos en un lapso de tiempo determinado y fueron divididos según el tipo de cobertura vegetal, ejemplo de ello es la vegetación primaria y secundaria, así como los matorrales.

2 – Contracción de los sistemas ganaderos: es el caso contrario de la expansión; en el tiempo 1 se tenían registrados como sistema productivo y en el tiempo 2 pasaron a ser una cobertura vegetal y de la misma forma que el paso anterior, se dividen en función del tipo de cobertura vegetal .

3 – Permanencia de los sistemas ganaderos: es aquella donde no hay un cambio de estado en los sistemas pecuarios en un tiempo determinado (Galeana, 2015).

En el caso de San Luis Potosí en las cuatro series de tiempo se observa que la permanencia fue el proceso que más dominó con un total de 1, 660,244.5 ha lo que representa el 27.5% del total de la superficie del estado, siendo el tiempo tres (2002-2007), el que tuvo mayor superficie ocupada, con 448,336.5 ha (7.43%). Por otro lado, el proceso de contracción fue el segundo dominante, con 273,752.4 ha que representó el 4.53% del total de la superficie estatal, y este fue mayor que el proceso de expansión únicamente en los tiempos dos (1993-2002), tres (2002-2007) y cuatro (2007-2011), mientras que el tiempo uno a pesar de ser el de mayor superficie por el proceso de contracción es superado por el proceso de expansión. Finalmente el proceso de expansión tuvo una superficie total por los cuatro tiempo de 273,293.1 ha (4.5%), y fue en el tiempo 1 (1976-1993) donde mayor superficie ocupó (Figura 4.12).

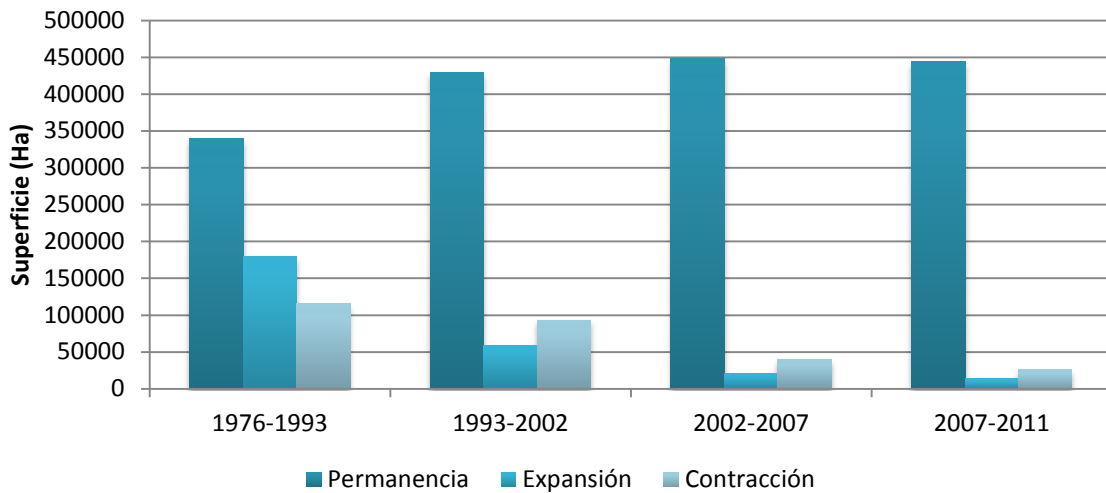


Figura 4. 12 Superficie en hectáreas de los procesos de permanencia, expansión y contracción de la frontera pecuaria en San Luis Potosí. Fuente, elaboración propia.

4.3.1 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria 1976-1993

Inicialmente, la superficie de pastizal inducido en la serie I de INEGI (1976-1993) fue de 454,617.6 ha, la cual, se ha ido modificando con el paso del tiempo como se describe a continuación.

Contracción.

El proceso de contracción para el período de tiempo 1976-1993 recuperó 97,671.33 ha (16.5% de la superficie estatal) de 23 distintos usos de suelo. En las que mayor superficie se recuperaron fue en la agricultura de temporal con 44,148.22 ha (0.73% estatal), le sigue la selva perennifolia y subperennifolia secundaria con 23,118.39 (0.38% estatal) ha. Por otro lado, hubo tres usos de suelo que tuvieron poca recuperación, del orden de menos de 200 ha, estas fueron: mezquital secundario con 160.03 ha, bosques de coníferas-latifoliadas secundario con 132.6 ha y pastizal natural primario con sólo 62.6 ha (Figura 4.13)

Expansión

El proceso de expansión en San Luis Potosí fue de 166,142.85 ha (2.75% de la superficie estatal), de las cuales la selva perennifolia y subperennifolia secundaria fue el uso de suelo que más cambió, con 45,888.42 ha, le sigue la selva caducifolia y subcaducifolia secundaria con 45,508.58 ha y por último la agricultura de temporal con 27,984.92 ha (Figura 4.13)

4.3.2 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria 1993-2002

Contracción

La contracción en este tiempo se concentró en dos grupos, la agricultura de temporal, con 35,612.55 ha y la agricultura de riego y humedad con 28,325.03 ha. Por otro lado, las superficies que tuvieron una menor recuperación fueron 3, con menos de 200 ha: bosque de coníferas-latifoliadas secundario 182.65 ha, bosque de coníferas-latifoliadas primario 171.23 ha y el uso de suelo que menos superficie recuperó fue el pastizal natural con 115.96 ha (Figura 4.14).

Expansión

El mayor cambio de uso de suelo se concentró en dos rubros, la agricultura de temporal con 14,908.48 ha y la selva perennifolia y subperennifolia secundaria con 12,678.18 ha. El bosque de coníferas-latifoliadas secundario y la vegetación hidrófila secundaria fueron las superficies con menos perturbaciones con 56.3 y 51.8 ha respectivamente (Figura 4.14).

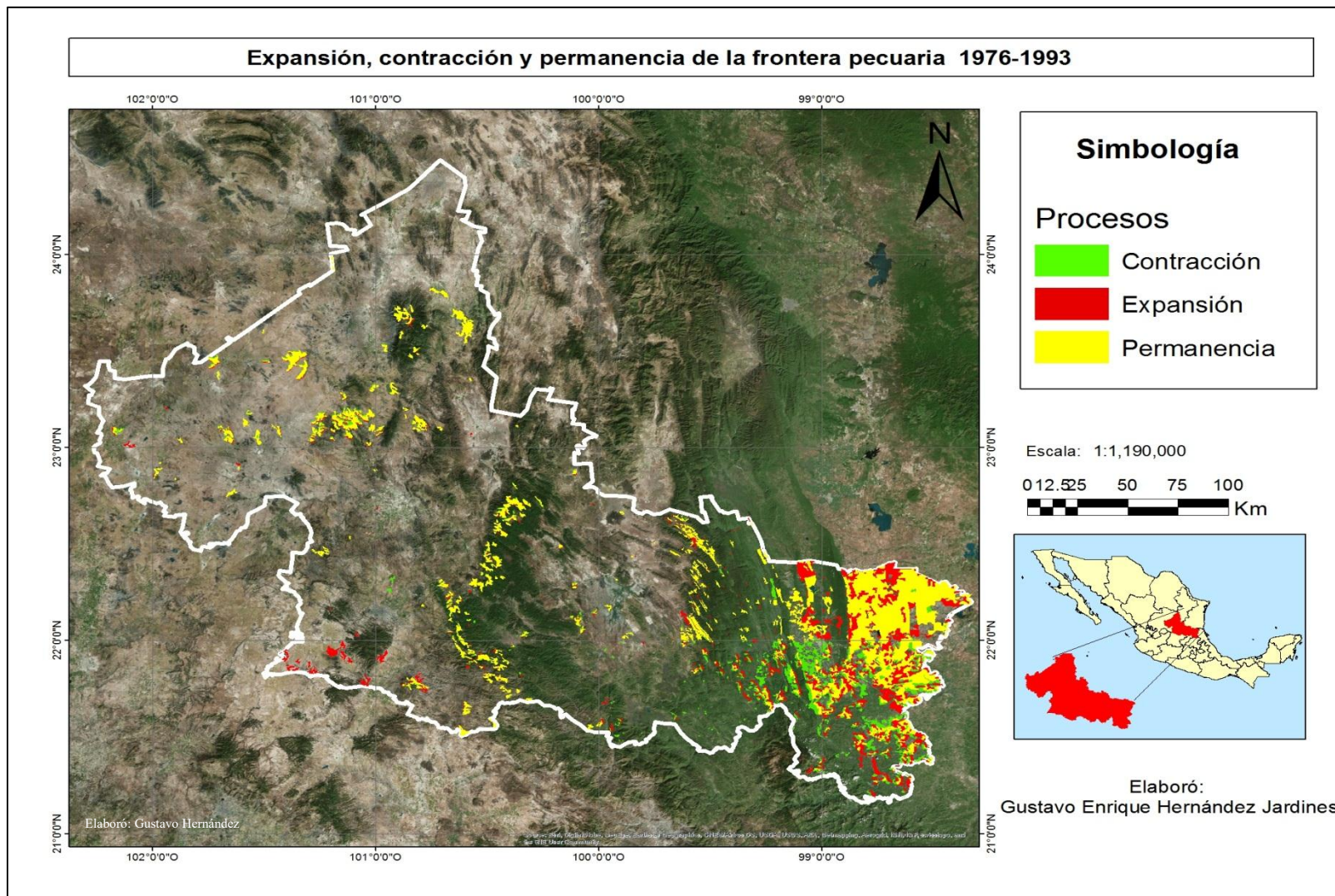


Figura 4. 13 Procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera pecuaria en San Luis Potosí, 1976-1993. Fuente: elaboración propia.

4.3.3 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria 2002-2007

Contracción

En este apartado, las superficies en las cuales hubo una mayor recuperación fue en agricultura de riego y humedad y en agricultura de temporal con 13,345.2 y 9,613.1 ha respectivamente. El bosque de coníferas-latifoliadas secundaria sólo logró recuperarse con 175.9 ha (Figura 4.15).

Expansión

Para este caso, la selva perennifolia y subperennifolia secundaria fue la superficie en la que se dio una mayor expansión, con 5,290.72 ha, le sigue en extensión la agricultura de temporal 4,200.27 ha. Las menores expansiones fueron en zonas de bosque de coníferas primario con 166.17 ha y en el bosque de coníferas-latifoliadas secundario, la frontera pecuaria sólo se expandió 63.1 ha (Figura 4.15).

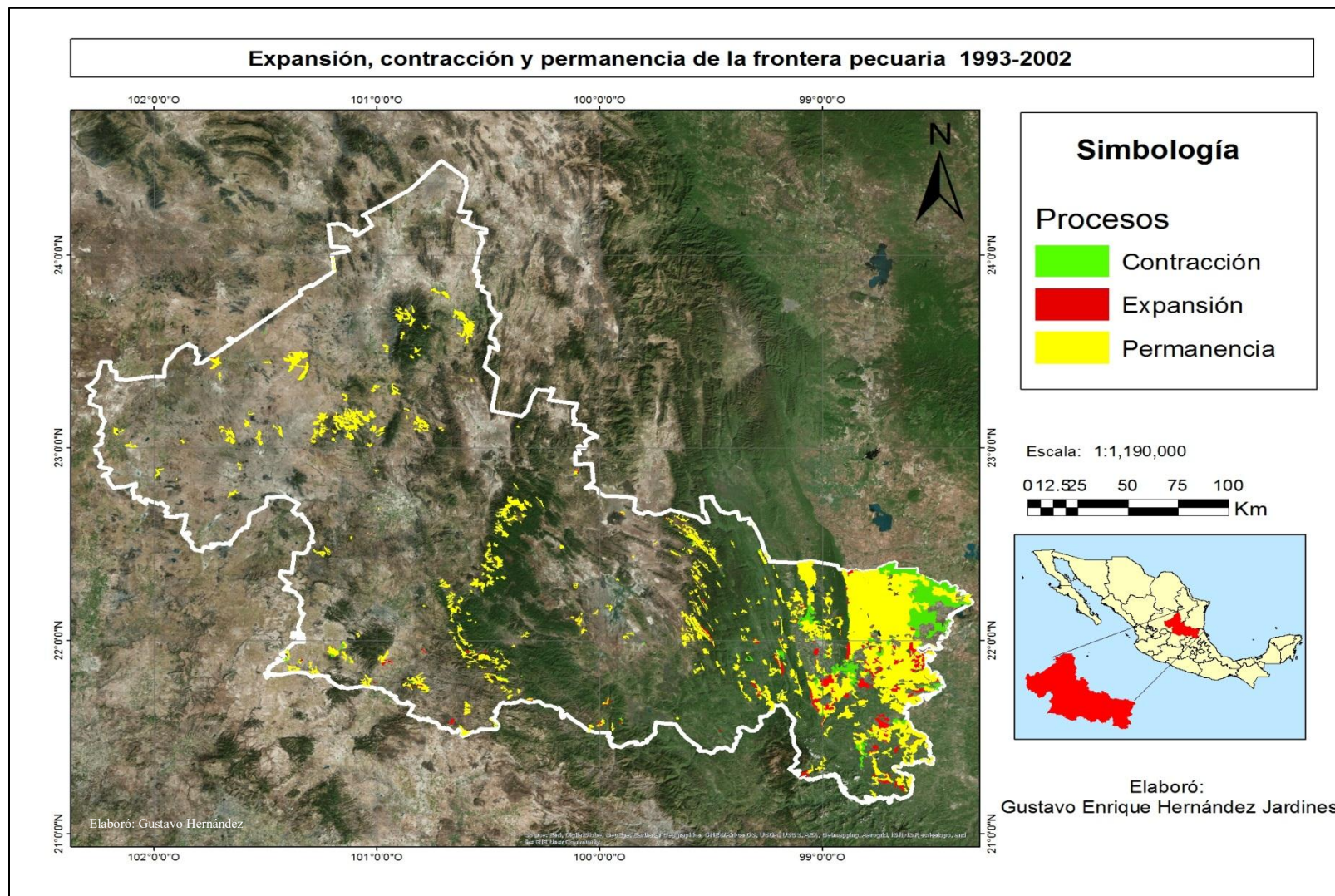


Figura 4. 14 Procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera pecuaria en San Luis Potosí, 1993-2002. Fuente: elaboración propia.

4.3.4 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria 2007-2011

Contracción

En este tiempo, la contracción se concentró mayoritariamente en la agricultura de temporal con 12,683.9 ha. Finalmente, el cuerpo de agua y el matorral xerófilo primario fueron las superficies con menor recuperación, con 82.9 y 5.61 ha respectivamente (Figura 4.16).

Expansión

Finalmente, para este proceso, las mayores expansiones ocurrieron por parte de la agricultura de temporal con 5,020.24 ha, seguidas de selva perennifolia y subperennifolia secundaria y selva caducifolia y subcaducifolia secundaria con 1,110.7 y 1,105.4 ha respectivamente. Las superficies que sufrieron menores expansiones fueron tres, todas con menos de 100 ha, pastizal natural secundario 64.1 ha, asentamientos humanos 63.5 ha y por último, la selva caducifolia y subcaducifolia primaria 38.97 ha (Figura 4.16).

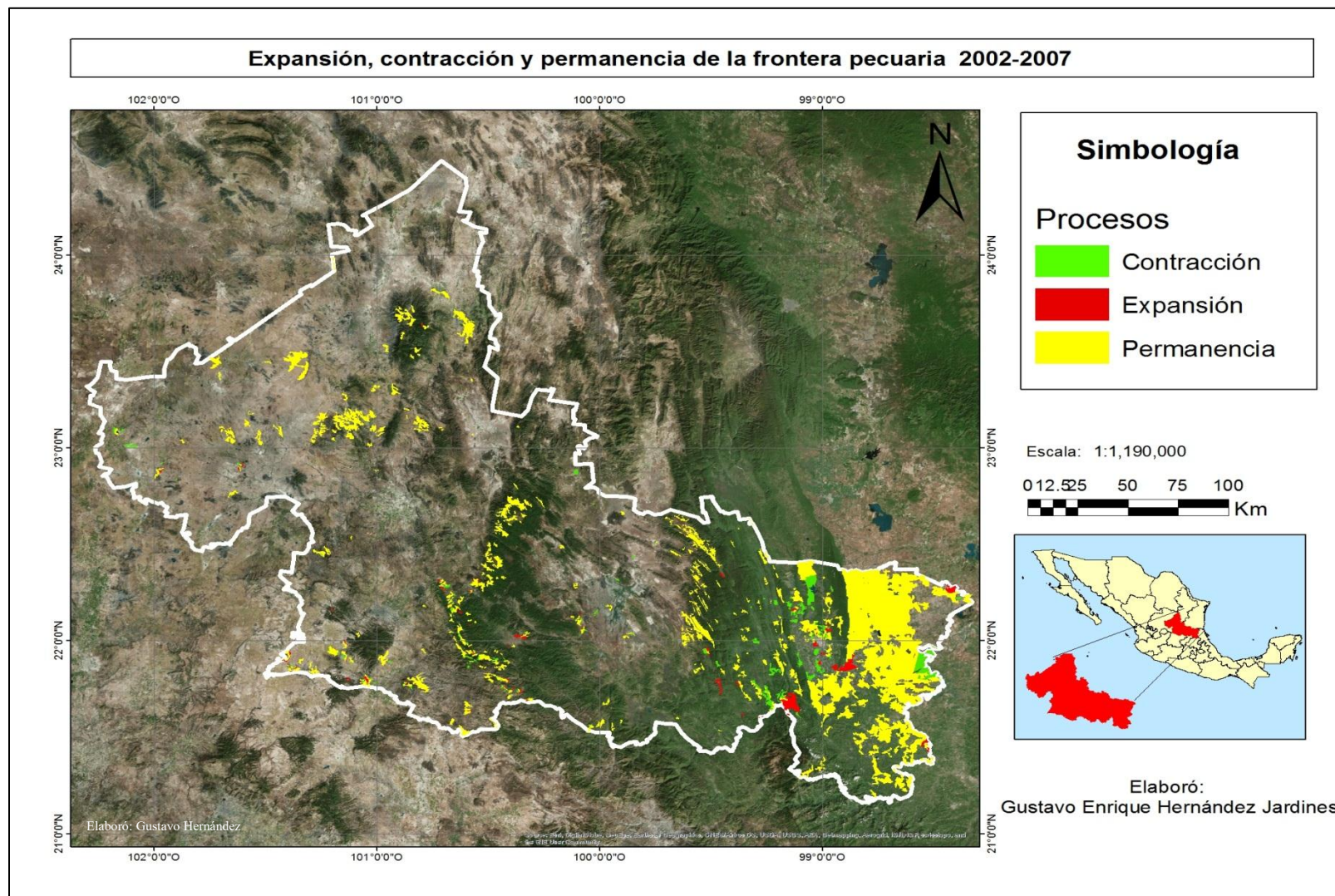


Figura 4. 15 Procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera pecuaria en San Luis Potosí, 2002-2007. Fuente: elaboración propia.

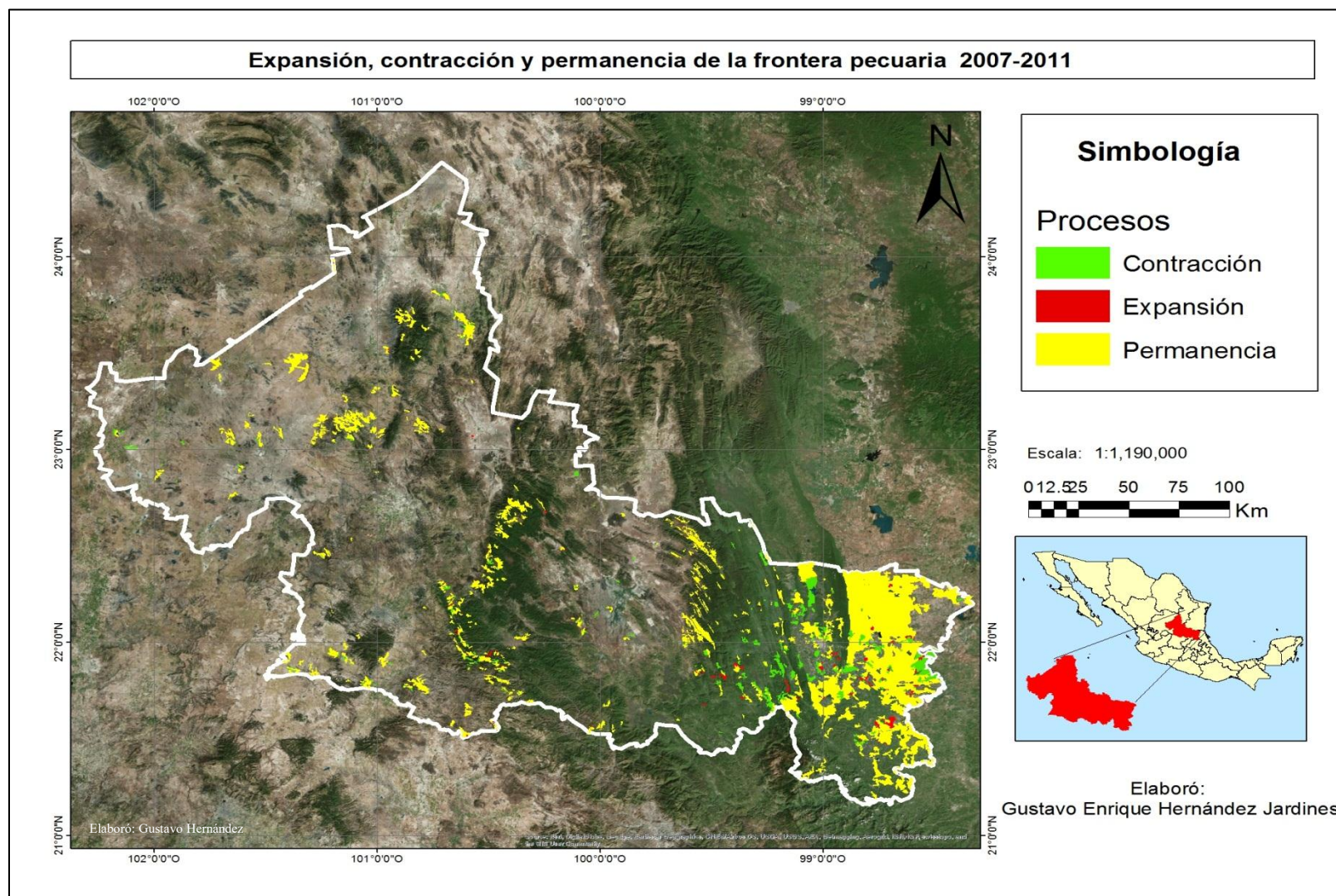


Figura 4. 16 Procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera pecuaria en San Luis Potosí, 2007-2011. Fuente: elaboración propia.

4.4 Procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera pecuaria por región en SLP.

4.4.1 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria: región Altiplano

En esta región se puede apreciar que el proceso dominante en las 4 series de tiempo fue el de permanencia con un total de 247,500.85 ha, siendo la serie III (2002-2007) la que mayor cobertura tuvo con 66,062.98953 ha y la de menores cambios fue la serie I (1976-1993) con 54,390.25 ha; mientras que el proceso de expansión fue el de menores cambios a lo largo del período de trabajo con 21,369.15 ha, siendo la serie I (1976-1993) donde se presentaron las mayores perturbaciones con 13,940.25 ha y la de menores cambios fue la serie IV (2007-2011) con 846.9 ha. Por último, el proceso de contracción tuvo un total de 24,272.03 ha en el período de estudio del trabajo (Figura 4.17).

En la tabla 4.1 se detallan las superficies de los procesos de contracción, expansión y permanencia para las cuatro series de tiempo en la región Altiplano.

Tabla 4. 1 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria, región Altiplano.
Fuente, elaboración propia.

Región Altiplano			
Serie	Contracción	Expansión	Permanencia
I (1976-1993)	14,067.01	13,940.25	54,390.25
II (1993-2002)	5,928.96	5,913.17	62,368.97
III (2002- 2007)	2,219.30	668.78	66,062.98
IV (2007-2011)	2,056.74	846.94	64,678.63

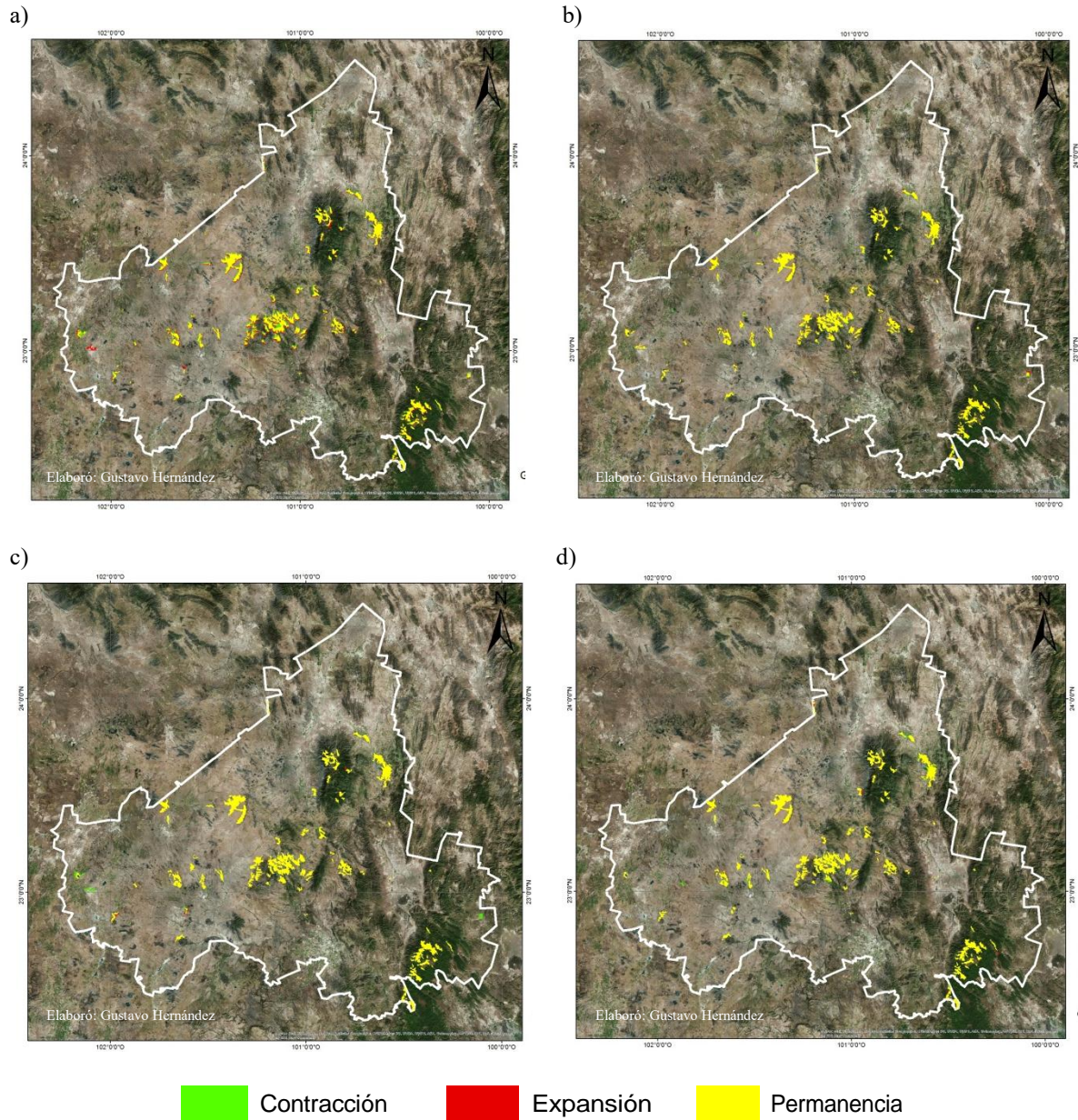


Figura 4. 17 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria en la región Altiplano, de las series de INEGI. a) Serie I, 1976-1993; b) Serie II, 1993-2002; c) Serie III, 2002-2007 y d) Serie IV, 2007-2011. Fuente: elaboración propia.

4.4.2 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria: región Centro

Para la región Centro, el proceso que dominó a los largo de las series de tiempo fue el de permanencia, contabilizando un total de 119,723.01 ha; en la serie IV (2007-2011) fue donde se presentó la mayor superficie que no sufrió cambios, con 34,844.96 ha, por el contrario, la serie I (1976-1993) fue la que presentó una menor superficie de permanencia con 20,965.01 has. A lo largo del período del trabajo, el proceso con menores cambios fue el de contracción, con un total de 19,761.77 has, siendo la serie IV la que tuvo las menores perturbaciones con 1,002.95 has, en cambio, la de mayores alteraciones fue la serie I con 7,137.79 has. Finalmente, el proceso de expansión tuvo un total de 28,009.23 has a lo largo de las 4 series de tiempo, donde la serie I fue la que contabilizó los mayores cambios con 16,713.83 has, en contraparte, la de menores cambios fue la serie IV con 1,488.47 has (Figura 4.18)

En la tabla 4.2 se especifican las superficies de los procesos de contracción, expansión y permanencia para las cuatro series de tiempo en la región Centro.

Tabla 4. 2 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria, región Centro. Fuente, elaboración propia.

Región Centro			
Serie	Contracción	Expansión	Permanencia
I (1976-1993)	7,137.79	16,713.83	20,965.00
II (1993-2002)	5,430.76	5,737.48	32,198.49
III (2002-2007)	6,190.25	4,069.43	31,714.54
IV (2007-2011)	1,002.95	1,488.47	34,844.96

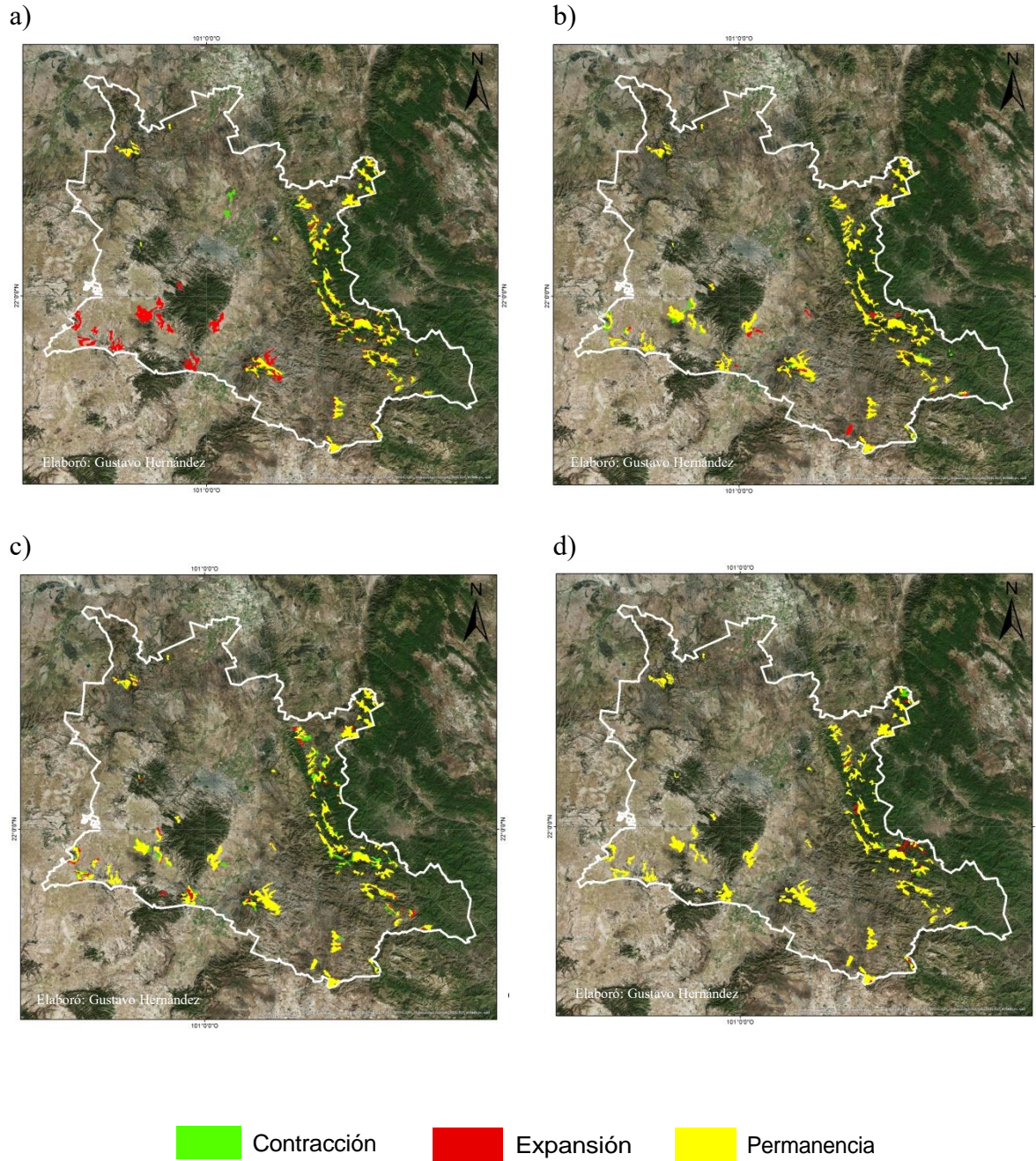


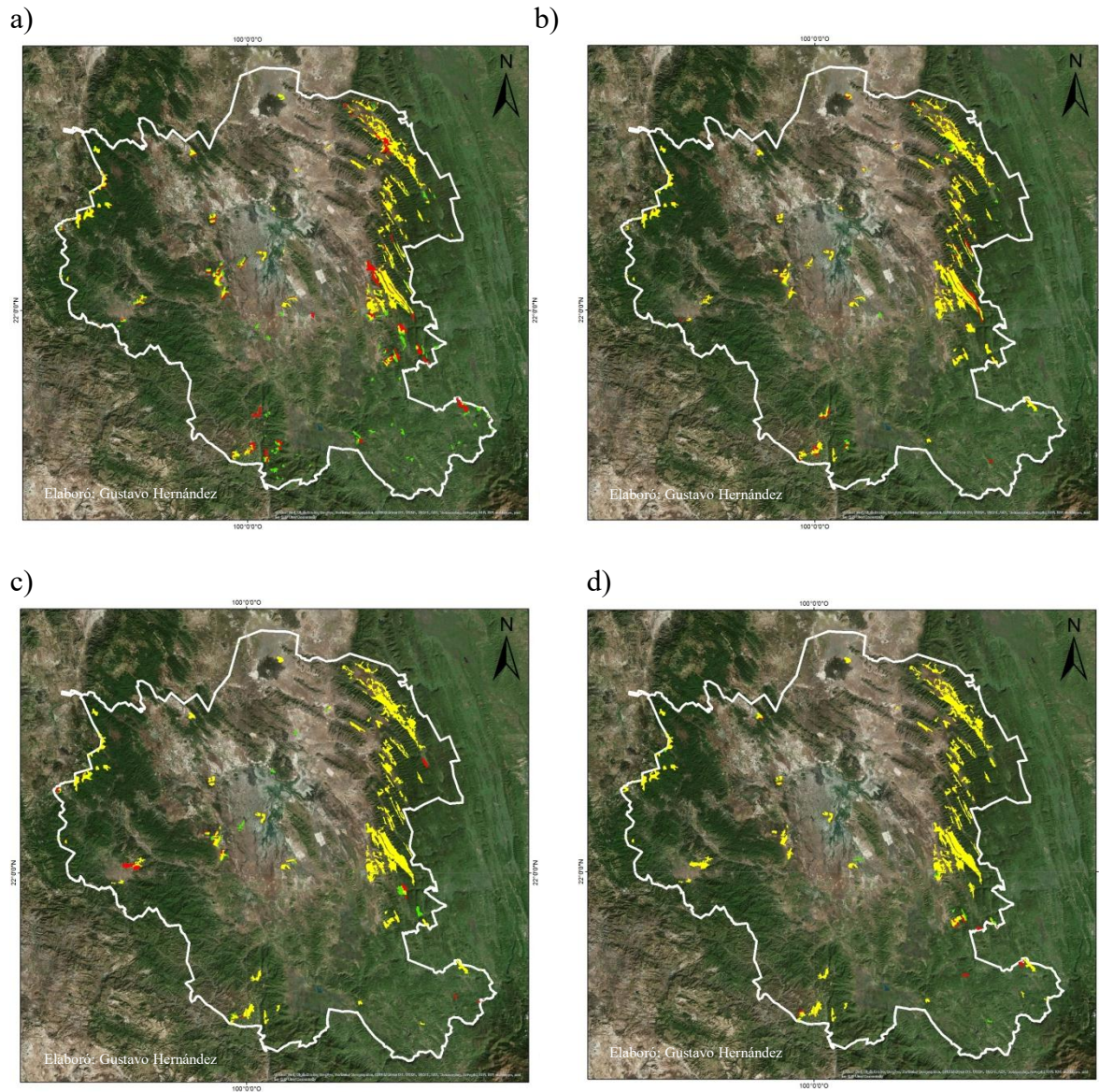
Figura 4. 18 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria en la región Centro, de las series de INEGI. a) Serie I, 1976-1993; b) Serie II, 1993-2002; c) Serie III, 2002-2007 y d) Serie IV, 2007-2011. Fuente: elaboración propia.

4.4.3 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria: región Media

En cuanto a la región Media, el proceso dominante nuevamente fue el de permanencia con un total de 124,574.89 ha, siendo la serie IV en la que mayor superficie ocupó con 34,630.33 ha, mientras que en la serie I esta superficie fue la de menor extensión únicamente con 25,569.16 ha. Por otro lado, el proceso con menor superficie de cambio fue el de contracción con únicamente 19,367.13 ha de las cuales las mayores extensiones se presentaron en la serie I con 10,049.12 ha, mientras que las menores se encontraron en la serie IV con 1,327.94 ha. Finalmente para esta región, el proceso de expansión ocupó una superficie total en los cuatro tiempos de 19,730.38 ha, siendo la serie IV la de menor superficie de cambio con 1,360.97 ha, mientras que la serie I resultó la de mayor superficie con 10,432.90 ha (Tabla 4.3 y Figura 4.19).

Tabla 4. 3 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria, región Media. Fuente, elaboración propia.

Región Media			
Serie	Contracción	Expansión	Permanencia
I (1976-1993)	10,049.12	10,432.90	25,569.16
II (1993-2002)	5,605.87	5,941.76	3,0429.42
III (2002-2007)	2,384.18	1,994.74	3,3945.96
IV (2007-2011)	1,327.94	1,360.97	3,4630.33



Contracción
 Expansión
 Permanencia

Figura 4. 19 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria en la región Media, de las series de INEGI. a) Serie I, 1976-1993; b) Serie II, 1993-2002; c) Serie III, 2002-2007 y d) Serie IV, 2007-2011. Fuente: elaboración propia.

4.4.4 Contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria: región Huasteca

Por último, para el caso de la región Huasteca, el proceso dominante como en todas las regiones anteriores fue el de permanencia con un total de 1,164,264.75 ha, siendo la serie IV en la que mayor superficie ocupó con 308,657.22 ha, mientras que en la serie I esta superficie fue la de menores dimensiones, con 237,251.99 ha. En contraparte, el proceso con menor superficie de cambio fue el de expansión con 203,129.58 ha de las cuales las mayores extensiones se presentaron en la serie I con 137,828.13 ha, mientras que las menores se encontraron en la serie IV con solo 9,706.56 ha. Finalmente para esta región, el proceso de contracción ocupó una superficie total en las cuatro series de tiempo de 209,236.16 ha, siendo la serie I la de mayor superficie de cambio con 83,888.58 ha, mientras que la serie IV resultó la de menor superficie con 21,269.33 ha (Tabla 4.4 y Figura 4.20)

Tabla 4. 4 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria, región Huasteca.
Fuente, elaboración propia.

Región Huasteca			
Serie	Contracción	Expansión	Permanencia
I (1976-1993)	83,888.58	137,828.13	237,251.99
II (1993-2002)	75,622.86	41,268.25	302,771.32
III (2002-2007)	28,455.37	14,326.62	315,584.21
IV (2007-2011)	21,269.33	9,706.56	308,657.22

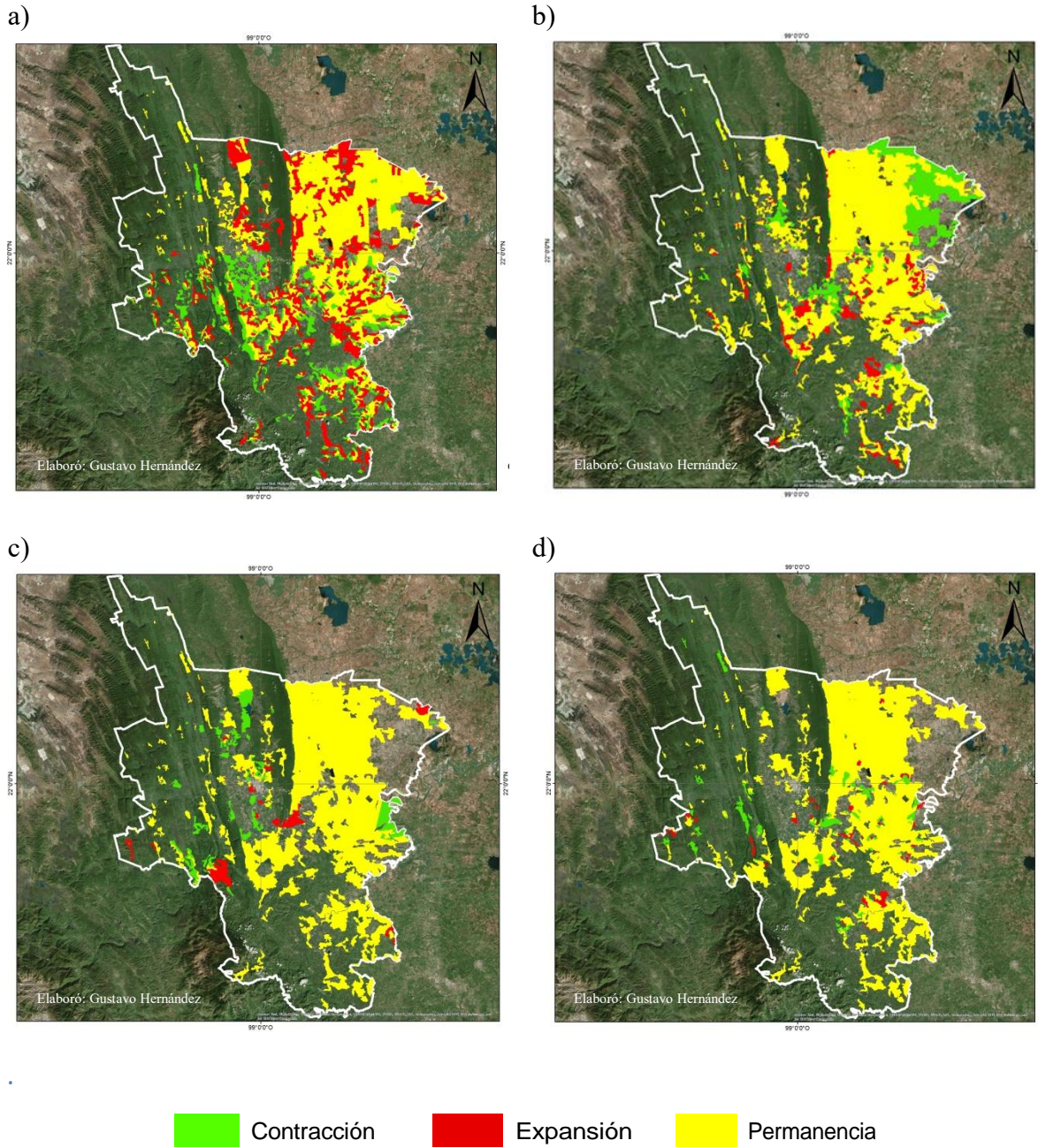


Figura 4. 20 Procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera pecuaria en la región Huasteca, de las series de INEGI. a) Serie I, 1976-1993; b) Serie II, 1993-2002; c) Serie III, 2002-2007 y d) Serie IV, 2007-2011. Fuente: elaboración propia

4.5 Tasas anuales de los procesos de contracción y expansión de la frontera pecuaria.

Las tasas anuales de contracción y de expansión de la frontera pecuaria han disminuido a lo largo del tiempo, siendo más evidente este fenómeno en el proceso de expansión, como se muestra en la tabla 4.5.

La tasa anual del proceso de contracción ha mantenido un rango similar a lo largo del tiempo, excepto en el tiempo 2 (1993-2002) en el cual hubo un aumento significativo con respecto al tiempo 1 de 3,571.5 ha/año. Estos resultados contrastan con la tasa anual del proceso de expansión, que en el tiempo 1 (1976-1993) tenía un promedio de 10,561.3 ha/año y disminuyó durante los tiempos restante, siendo más notorio en el tiempo 2 (1993-2002) con casi 3,997.5 ha/año.

Tabla 4. 5 Tasas anuales de los procesos de contracción y expansión de la frontera pecuaria.

Proceso	1976-1993	1993-2002	2002-2007	2007-2011
Contracción	6,790.7	10,362.2	7,876.5	6,416.7
Expansión	10,561.3	6,563.8	4,248.4	3,358.8

4.6 Análisis de correlación de Spearman entre emisiones y procesos de uso de suelo en el Estado de San Luis Potosí.

4.6.1 Correlación entre emisiones de metano y procesos de cambio de uso de suelo.

Con el fin de explorar la asociación entre los procesos de expansión y contracción de los pastizales y las emisiones de gases de efecto invernadero del sector, se llevó a cabo un análisis de correlación de Spearman. Dichas correlaciones se realizaron a través del análisis

de la diferencia entre las emisiones de metano y de óxido nitroso y los procesos de expansión y contracción de la frontera pecuaria.

Para nuestro caso, las correlaciones resultantes entre las emisiones totales de metano y los procesos de uso de suelo fueron: las emisiones de metano junto con el proceso de expansión tuvieron un coeficiente de 0.8 (p 0.16), lo que denota una fuerte correlación positiva y, dado que mientras las emisiones van a la baja, las tasas de expansión lo hace igual forma. En el caso de la contracción, se obtuvo un coeficiente de 0.4 (p 0.48), que da como resultado una correlación positiva baja, debido a que la frontera pecuaria se ha ido modificando lentamente por otros tipos de vegetación, sustituyendo los pastizales por áreas de agricultura y selvas (Tabla 4.6).

Tabla 4. 6 Análisis de correlación de Spearman entre las tasas de emisión de metano y los procesos de cambio de uso de suelo en San Luis Potosí.

Emisiones	Proceso	Spearman	p-valor
Metano	Expansión	0.8	0.1659
Metano	Contracción	0.4	0.4884

Cabe señalar que pese a haber obtenido valores altos del coeficiente de correlación, como en el caso de la expansión ($r= 0.8$), no se presentó una significancia estadística. Lo anterior se puede deber a que el ejercicio se llevó a cabo con pocos datos (4 registros), situación que está determinado por la temporalidad y frecuencia con la que se generan las Series de Uso de Suelo y Vegetación, que publica INEGI.

4.6.2 Correlación entre emisiones de óxido nitroso y procesos de cambio de uso de suelo.

En este apartado, las emisiones de óxido nitroso y la contracción tuvo una correlación fuerte y negativa, con -0.8 (p 0.16). Para el caso de las emisiones y el proceso de expansión, este ejercicio dio como resultado una correlación de 0.4 (p 0.48), que significa que es una concordancia moderada. Por último, la correlación entre emisiones de óxido nitroso y la diferencia entre expansión y contracción dio como resultado 0.8 (p 0.16), lo que se infiere como una correlación fuerte y positiva. (Tabla 4.7).

Tabla 4. 7 Análisis de correlación de Spearman entre las tasas de emisión de óxido nitroso y los procesos de cambio de uso de suelo en San Luis Potosí.

Emisiones	Proceso	Spearman	p-valor
Óxido Nitroso	Expansión	0.4	0.4884
Óxido Nitroso	Contracción	-0.8	0.1659

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El objetivo general fue alcanzado, ya que se logró identificar la relación que existe entre las emisiones de origen pecuario y la contracción/expansión de la frontera pecuaria, identificando una relación directa entre ambas variables al encontrarse que la frontera pecuaria ha disminuido al igual que las emisiones de metano, mientras que las emisiones de óxido nitroso han aumentado, lo anterior no solo se debe a los procesos de uso de suelo, sino también a la disminución del número de cabezas de ganado bovino, las cuales emiten la mayor cantidad de metano entre los rumiantes, mientras que en el caso del óxido nitroso, dependen del tipo de sistema con el que se estima.

Por último, la hipótesis resultó nula, ya que se demostró que no hay un incremento de las actividades ganaderas en San Luis Potosí y que por lo tanto las emisiones no están aumentando.

En términos generales, en el presente trabajo se obtuvo que las emisiones de metano han presentado una disminución, mientras que las de óxido nitroso registran un ligero repunte a lo largo del tiempo. El sector pecuario en San Luis Potosí contribuyó durante el año 1990 con un 3.07% de las emisiones nacionales de metano equivalente, mientras que en el año 2000, fueron de 2.95% y finalmente, las emisiones de metano en el año 2010 contribuyeron con un 2.6%. A manera de referencia, las emisiones totales de metano a nivel nacional y de este sector fueron de 40,312.8 Gg de CO₂ equivalente en el año 1990, 37,545.3 Gg de CO₂ equivalente en el año 2000 y 39,247.1 Gg de CO₂ equivalente en el año 2010 (SEMARNAT- INECC, 2013).

El Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010 estipuló que en el año 1990 hubo un total de 52,473.1 de emisiones de N₂O (Gg de CO₂ equivalente); para el caso del año 2000 las emisiones de N₂O fueron de 49,909.3 Gg de CO₂ equivalente; finalmente, para el año 2010, las emisiones de N₂O fueron de 52,937.5 Gg de CO₂ equivalente (SEMARNAT – INECC, 2013). En cuanto a los resultados obtenidos en este trabajo, en el año 1990 el estado de San Luis Potosí contribuyó con el 0.009% de las emisiones nacionales de óxido nitroso del sector pecuario; para el año 2000, este rubro fue de 0.09% del total de emisiones nacionales; por último, en el sector pecuario en el año 2010 aportó el 0.05% de las emisiones nacionales.

A nivel nacional, se cuenta también con un Subíndice de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (FAO-SAGARPA, 2012), desarrollado por la FAO en conjunto con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, el cual integra las metodologías de cálculo para la estimación de gases de efecto invernadero de tres sectores, ganadería, agricultura y consumo energético, establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, (IPCC).

En los inventarios a nivel estatal, para el estado de San Luis Potosí se ha elaborado ya uno de emisiones de gases de efecto invernadero desarrollado por la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del estado en colaboración con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013); sin embargo, este solo contiene las emisiones de fuentes fijas, de área, móviles y naturales, usando metodologías basadas en diversas fuentes de información como lo son, la serie de Manuales del Programa de inventarios de Emisiones de México, Guía de elaboración y uso de inventarios de emisiones, así como las metodologías actualizadas por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos

de América (USEPA) para la elaboración de inventarios de emisiones del AP-42, estudiando los contaminantes óxido de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), partículas menos a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) y amoníaco (NH₃). Por otro lado, existe un inventario más a nivel estatal de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, apoyado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, el cual se encuentra en desarrollo (INECC, 2014).

En este trabajo, las emisiones se han estimado a nivel estatal para el sector pecuario enfocado en dos gases, metano y óxido nítrico para el intervalo de tiempo 1980-2010, utilizando de la misma forma que el inventario realizado por FAO-SAGARPA, la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, IPCC 1996, estimando metano, monóxido de carbono y óxido nítrico.

Existen otros inventarios producto de investigaciones académicas, desarrollados para SLP por sectores, entre los que destacan “El enfoque bottom-up y control de calidad: imprescindibles en el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del sector industrial” realizado por Gutiérrez *et al.*, (2014) para el período 2000-2006. En el artículo, se muestran las diferencias en el inventario de gases de efecto invernadero del sector procesos industriales (IEEGEI-PI) de San Luis Potosí, calculado según dos enfoques, top-down y bottom-up con control de calidad (CC), sumado a la metodología propuesta por el IPCC. La metodología se enfoca en la estimación de las emisiones de CO₂ (dióxido de carbono) y el uso de datos de actividad (DA), así como los factores de emisión (FE).

De igual forma, Olivo (2013), realiza un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del sector energía, balance estatal de energía y estrategias de mitigación, para el período 2000-2006, estos gases corresponden a las emisiones de: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), contabilizadas en unidades de CO_2 equivalente (CO_2e) y fue realizado para los 58 municipios del estado. Este inventario se calculó a partir de la construcción de Balance Estatal de Energía (BEE). Ambos productos fueron elaborados con un enfoque de abajo hacia arriba (bottom-up), las emisiones fueron calculadas con el inventario de cada una de las fuentes principales del estado construyendo nuevas bases de datos, bajo la metodología del IPCC, con las directrices 1996, las buenas prácticas y gestión de la incertidumbre, así como los manuales de referencia y se usaron los factores de emisión de las guías versión 2006.

En el caso de los estudios sobre uso y cambio de uso de suelo, se ha desarrollado trabajos a nivel nacional como el de Galeana (2015a), en el que analiza, los cambio de los sistemas productivos y capital natural, enfocándose en los procesos de contracción, expansión y permanencia de la frontera agropecuaria, utilizando como insumos principales, las series de uso de suelo y vegetación de INEGI, para los tiempos 1976-1993, 1993-2002, 2002-2007 y 2007-2011. Otro estudio realizado por Galeana (2015b), se enfoca en la distribución de los frentes de expansión y contracción por sistemas productivos para el caso de la agricultura, al igual que en el caso anterior, con las cuatro series de INEGI mencionadas con antelación. En él se identifican los “hot spots” o estados con mayor superficie de expansión y contracción agrícola y de pastizales inducidos. Nuevamente Galeana (2015c) realiza un trabajo sobre los estados con mayor superficie agrícola y pecuaria, y sobre el capital natural de México respecto a la vegetación primaria y secundaria; en ambos casos, realiza una

comparación de cómo ha ido cambiando la superficie de estos tipos uso de suelo a lo largo del tiempo, utilizando nuevamente las series de INEGI I-IV.

A nivel estatal, para el caso de San Luis Potosí, se han realizado trabajos de cambio de uso de suelo en la Sierra Madre Oriental de este estado, por ejemplo, el estudio de Sahagún, (2012), analizó los efectos sobre la distribución potencial de algunas aves. En este trabajo se utilizaron imágenes de satélite Landsat TM para comprar la cobertura del terreno de los años 1989, 2000 y 2005.

En todos los casos anteriores, el uso de los sistemas de información geográfica y otros tipos de software de percepción remota fueron empleados para el análisis de los cambios de uso de suelo. El uso de técnicas geomáticas también ha sido empleado en otros ámbitos de uso de suelo, como es el caso de la deforestación en la zona centro- norte de México, tal es el caso de Miranda *et al*, (2013b), quiénes analizaron el proceso de deforestación con herramientas geomáticas en las distintas zonas biogeográficas de San Luis Potosí, con el fin de determinar zonas potenciales para establecer plantaciones forestales comerciales. Se empleó como parte de la metodología las series de uso de suelo INEGI II y IV en una primera parte; en la segunda etapa, se apoyaron en imágenes satelitales en series de tiempo del sensor MODIS, con la técnica multivariada de análisis de componentes principales, para detectar cambios ocurridos entre 2000 y 2010. Un estudio más enfocado en identificar cambios en el uso de suelo por deforestación en San Luis Potosí es el realizado por Reyes *et al.*, 2006, quienes identificaron la cobertura y uso del suelo derivados del proyecto de riego Pujal-Coy al oriente del estado, utilizando como metodología imágenes Landsat y documentación histórica y oficial del área de trabajo. De manera general obtuvieron que la tasa anual de deforestación fue de 11%, las zonas más fragmentadas pertenecen a selvas

bajas espinosa, baja caducifolia y mediana subperennifolia, ocupadas ahora por ganadería extensiva y agricultura intensiva. Estos resultados coinciden con los obtenidos en este trabajo, ya que se logró identificar este tipo de vegetación ubicada en la Huasteca que resultó con mayores alteraciones por los procesos de contracción/expansión de la frontera pecuaria.

En cuanto a los trabajos ligados con la relación de emisiones de gases de efecto invernadero, se logró encontrar un trabajo para el estado de Durango, el cual cuantifica las emisiones de gases distintos al CO₂ y compara la vegetación que perdió mayor cantidad de biomasa. La metodología utilizada en el cálculo de las emisiones es la propuesta por el IPCC en su versión 1996, mientras que para el uso de suelo, también se utilizaron las series de Uso de Suelo y vegetación I-IV de INEGI (Bueno *et al.*, 2015).

A manera de conclusiones, en este trabajo se obtuvo que las emisiones de metano han disminuido a través del lapso de tiempo que abarca este proyecto, mientras que las emisiones de óxido nitroso han aumentado. Esta información concuerda en cierta forma, con lo publicado por SEMARNAT-INECC 2013, que a través de sus inventarios, han registrado tendencias similares.

Se puede concluir que los estudios de uso de suelo para el estado, la mayoría se concentró en identificar los cambios de uso de suelo por deforestación, dejando de lado otros fenómenos causantes de las modificaciones en los distintos sistemas naturales.

En lo referente a los inventarios de gases de efecto invernadero para el sector pecuario, han sido difíciles de llevar a cabo, ya que no se tiene un registro óptimo de los censos ganaderos, que son el pilar a la hora de estimar emisiones de gases de efecto invernadero,

por lo cual se recomienda apearse a los parámetros establecidos por las guías del IPCC, que aconseja detallar el registro por tipo de ganado, diferenciando, por ejemplo, aves de corral (gallinas, crías, guajolotes, patos) ya que cada uno tiene un factor de emisión distinto. Así mismo, en el estado se debería contar con un censo adecuado y desglosado en el que se incluya el ganado asnal, equino y mular.

Para el caso de cambio de uso de suelo, se puede concluir que la permanencia fue el proceso dominante, mientras que el proceso de contracción de la frontera pecuaria ha cobrado relevancia, no se ha recuperado el capital natural, sino que han sido las áreas de agricultura las que han ocupado el lugar de las zonas pecuarias.

Por otro lado, se sabe que el cambio climático está transformando los ecosistemas de la Tierra y se necesitan reducir con urgencia las emisiones de GEI a nivel global. El sector ganadero contribuye con una parte importante a estas emisiones, a nivel global se emiten aproximadamente 7.1 gigatoneladas de CO₂ equivalente que representan el 14.5% de las emisiones de GEI totales, por tal razón se deben establecer medidas y estrategias de mitigación y que estas incluyan a todos los sectores involucrados e interesados (Gerber, 2013). En este sentido, la disciplina geográfica, como ciencia integradora ha jugado un papel importante al participar en la generación de inventarios y proponer estrategias de adaptación y mitigación a partir del punto de vista de la climatología y de otras ramas de esta disciplina. Permite además analizar una problemática desde diferentes perspectivas y cambiarla con otro u otros fenómenos para obtener un análisis más completo de la realidad.

Aunado a lo anterior, la geografía ha tenido un papel fundamental en los estudios de cambio de uso de suelo, pues se han integrado herramientas como las imágenes de satélite,

las series de cambio de uso de suelo y vegetación desarrolladas por el INEGI, los sistemas de información geográfica y técnicas de percepción remota para el análisis de los cambios de cobertura vegetal, que han permitido estimar la pérdida de vegetación y de ecosistemas, como por ejemplo en los estudios realizados por Miranda y colaboradores (2013b), Reyes y colaboradores (2006) y los estudios desarrollados por Galeana, 2015a, 2015b y 2015c.

A manera de referencia, cabe mencionar que las series de uso de suelo de INEGI se encuentran a una escala de 1:250000, lo que da como resultado que al momento de trabajar con los polígonos con una área menor a 50 ha no sean considerados, esto puede traer consigo variaciones en las superficies reales de los diferentes usos de suelo.

Debido a que la precisión de la cartografía de uso de suelo no es la óptima, es necesario el uso de otras herramientas como las imágenes de satélite y otras técnicas de percepción remota para poder corregir este tipo de errores. Aunado a lo anterior, se sugiere que en este y otros trabajos futuros que utilicen como insumos estas series de uso de suelo y vegetación, se apoyen además en las herramientas antes mencionadas para generar una cartografía con mayor precisión y corregir los errores derivados de esta metodología.

Además de las cuestiones antes mencionadas, una posible línea de investigación a futuro es de realizar diferentes escenarios tendenciales para el futuro cercano sobre el comportamiento del cambio de uso de suelo por actividades pecuarias y de las emisiones de GEI, esto gracias a la amplitud de tiempo de las series de los datos de estas variables y con base en las tendencias actuales.

En cuanto al análisis de las correlaciones, a pesar de haber obtenido valores altos, no resultaron ser significativos, esto se puede explicar debido a la cantidad de series de datos

utilizadas; ya que el intervalo de tiempo, en algunos casos, es muy amplio (17 años) y en otras es relativamente corto (4 años) y por lo tanto, para el periodo de estudio de 1980 a 2010, no existe una homogeneidad en las series, dando como resultado cuatro periodos de tiempo con duraciones distintas.

No se encontraron muchos trabajos referentes al estudio de cambios de uso de suelo, específicamente de la frontera pecuaria en el estado, por lo que este trabajo aporta información en este ámbito al identificar los procesos de expansión, contracción y permanencia de la frontera pecuaria, utilizando como metodología las series de INEGI I-IV, además de que combina la relación con las emisiones de efecto invernadero de origen pecuario para complementar el fenómeno de uso de suelo por las mismas actividades.

REFERENCIAS

- ArcGis Resource Center, (2015). Dissolver. [En línea]. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/coverage-toolbox/dissolve.htm>. [Accesado el 10 de enero de 2016].
- ArcGis Resource Center, (2015). Eliminar. [En línea]. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/data-management-toolbox/eliminate.htm>. [Accesado el 10 de enero de 2016].
- Baethgen, W., y Martino, D. (2001). “Cambio climático, gases de efecto invernadero e implicancias en los sectores agropecuarios y forestal del Uruguay”. Uruguay.
- Bueno, P., López, A., Sánchez, I., Velásquez, M., y J. González, (2015). “Cambios de uso de suelo y sus efectos sobre la dinámica de GEI en el estado de Durango, México” en *Tecnología y Ciencias del Agua*, VI (4): 75-84.
- Cartografía del Valle del Cauca, (2016). Guía explicativa de la temática de cobertura y uso de suelo. Pp 5
- Céspedes, S.E. y Moreno, E. 2010. Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación Ambiental* 2(2):5-13.
- Chang., T. (2010). *Introduction to Geographic Information Systems*. McGraw-Hill. Dubuque, Iowa, Estados Unidos de América. Pp. 448.
- Clarke, K., (1997). *Getting Started with Geographic Information Systems*. University of California, Santa Barbara. Prentice Hall series in geographic information science. Pp 353.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), (2008) “Inventario Nacional Forestal y de suelos México 2004-2009” [En línea] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, pp. 22, disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Inventario-Nacional-Forestal-y-de-Suelos.pdf>, [Accesado el día 3 de septiembre de 2014].
- CONABIO (2005), División política estatal 1: 1000000, [En línea], disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> [Accesado el 10 de junio de 2016].
- CONABIO (2005), Geología 1: 1000000, [En línea], disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> [Accesado el 10 de junio de 2016].

- CONAGUA (1998), Regiones hidrológicas y cuencas. 1: 250000, [En línea], disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> [Accesado el 10 de junio de 2016].
- CONAGUA. (2012). “Atlas digital del agua”. [En línea]. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/impacto46.html>. México, pp. 1. [Accesado 3 de enero de 2016].
- Cuatecontzi, D., y Gasca, J. (2004). “Los gases regulados por la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático” en Martínez, J., y Fernández, A., *Cambio climático: Una visión desde México*. México: Instituto Nacional de Ecología- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- De Jong B., Anaya C., Masera O., Olguín M., Paz F., Etchevers J., Martínez R., Guerrero G., Balbontín C., (2010) “Greenhouse gas emissions between 1993 and 2002 from land-use change and forestry in México” *Forest Ecology and Management*, número 260, ScienceDirect, pp. 1689 – 1701.
- De Jong, B., M., Olguín., F., Rojas., V., Maldonado., F., Paz., J., Etchevers., C., Cruz y J., Argumedo. (2006). “Actualización del inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006 en la categoría de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra”. [En línea]. Disponible en http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_usos_tierra_2006.pdf. México, pp. 122. [Accesado 26 de marzo 2015].
- Erickson, J. (1992). “El efecto invernadero: El desastre de mañana, hoy”. España: McGraw-Hill.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2014) “Ganadería” en Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe” [en línea] disponible en <http://www.fao.org/americas/perspectivas/ganaderia/es/> [Accesado el día 3 de octubre de 2014]
- FAO-SAGARPA. (2012). “Línea de base del programa de sustentabilidad de los recursos naturales. Subíndice de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero- Metodología de cálculo”. Food and Agriculture Organization of the United y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, pp. 70.
- Galeana, M. (2015a). “Procesos de cambio espacio temporales entre los sistemas productivos y el capital natural.” en *Plataforma Geoweb para la Red de desarrollo en sustentabilidad alimentaria*. [En línea]. Centro de Investigaciones en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo, A.C”. Disponible en:

- <http://asam.centrogeo.org.mx/index.php/resultado-11?limit=1&start=1>. [Accesado el 4 de marzo, 2016].
- Galeana, M. (2015b). “Hacia un análisis territorial de los procesos de cambio: hot spots” en *Plataforma Geoweb para la Red de desarrollo en sustentabilidad alimentaria*. [En línea]. Centro de Investigaciones en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo, A.C”. Disponible en: <http://asam.centrogeo.org.mx/index.php/resultado-12>. [Accesado el 4 de marzo, 2016].
- Galeana, M. (2015c). “Sistemas productivos y Capital Natural en México: Una aproximación de representación tiempo- dominante” en *Plataforma Geoweb para la Red de desarrollo en sustentabilidad alimentaria*. [En línea]. Centro de Investigaciones en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo, A.C”. Disponible en: <http://asam.centrogeo.org.mx/index.php/resultado-1>. [Accesado el 4 de marzo, 2016].
- García, E. y CONABIO (1998), Climas 1: 1000000, [En línea], disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> [Accesado el 10 de junio de 2016].
- García, R., (2016). El orden natural del paisaje en la Geografía Física Actual. Pp.89-105.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013. “Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación”. *Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO)*, Roma, pp. 153.
- Global Methane Initiative, (2011). Emisiones mundiales de metano y oportunidades de atenuación. [En línea]. Disponible en: https://www.globalmethane.org/documents/analysis_fs_spa.pdf. [Accesado el 9 de febrero de 2015].
- Gobierno del Estado de San Luis Potosí, “Plan Estatal de Desarrollo, 2009 – 2015” [En línea], disponible en: <http://sifide.gob.mx/admin%5Cassetmanager%5Cimages%5Cpdfs%5Cplanestatal.pdf> [Accesado el día 4 de septiembre de 2014]
- Grover, V. (2004). “Climate Change, five years after Kyoto”. USA: Science Publishers.
- Gutiérrez P. y Gutiérrez C. C., (2009) “La actuación frente al Cambio Climático, guía para un consumo sostenible”. Murcia, Universidad de Murcia: edit.um.
- Gutiérrez, M., Medellín, P., Ávalos, J., y A. Ávila, (2014). “El enfoque bottom- up y el control de calidad: imprescindibles en el inventario de emisiones de gases de efecto

- invernadero del sector industrial en San Luis Potosí, México”, en *Ambiente y Desarrollo*, 18(34), 93-108.
- Guzmán, M. y Madrigal, D., (2012) “Naturaleza y sociedad en San Luis Potosí. Apuntes para una ecología política” en Durand. L., Figueroa, F., Guzmán, M., *La naturaleza en contexto. Hacia una ecología política mexicana*. México, pp. 295.
- Herrero, M., y Gil, S. (2008). “Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal”. Argentina: Asociación argentina de Ecología.
- INECC, (2010). V. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero. [En línea]. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:AkmU-6FRGbjAJ:www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/32/cap5.html&num=1&hl=es&gl=mx&strip=1&vwsr=0>. [Accesado el 30 de octubre de 2016].
- INECC, (2010): Inventarios estatales de emisiones de gases de efecto invernadero. . [En línea]. Disponible en: <http://www.sicc.amarellodev.com/inventarios-estatales-emisiones.php>. [Accesado el 20 de enero de 2016].
- INECC, (2013). ¿Qué se hace para mitigar el cambio climático? En línea]. Disponible en: http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/comprendercc/qsehaceparamitigarelcc/ambito_nacional.html. [Accesado el 30 de octubre de 2016].
- INECC-SEMARNAT., (2014). *Integración del inventario de emisiones de fuentes fijas*. [En línea], Inventario Nacional de Emisiones México, primera reunión regional, México [Accesado 3 de febrero de 2017].
- INEGI (2009), Edafología 1: 1000000, [En línea], disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> [Accesado el 10 de junio de 2016].
- INEGI, (1990). Censo de población y vivienda. Población por grupo quinquenal y sexo [En línea] Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/1990/> [Accesado el 20 de marzo 2016].
- INEGI, (2000). Censo de población y vivienda. Población por grupo quinquenal y sexo [En línea] Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/cpv2000/default.aspx> [Accesado el 20 de marzo 2016].
- INEGI, (2007). “Regiones Agropecuarias de San Luis Potosí”, Censo Agropecuario 2007. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, pp. 69.

- INEGI, (2010). Censo de población y vivienda. Población por grupo quinquenal y sexo [En línea] Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/> [Accesado el 20 de marzo 2016].
- INEGI, (2015). Ganadería. [En línea]. Disponible en <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/gana/default.aspx?tema=E>. México, [Accesado 20 de mayo 2015].
- INEGI, (2016). Actividades económicas primarias. Ganadería. [En línea]. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/gana/default.aspx?tema=E>. [Accesado el 13 de mayo de 2016].
- INIFAP y CONABIO (1995), Edafología 1: 1000000, [En línea], disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> [Accesado el 10 de junio de 2016].
- IPCC, (1996). Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo. Módulo 4, Agricultura. [En línea]. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/pdffiles/spnch4-1.pdf>. [Accesado el 3 de febrero 2015].
- IPCC, (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. [En línea]. Disponible en: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf. [Accesado el 9 de febrero de 2015].
- IPCC, (2014). Cambio climático 2014. Informe de síntesis. Ginebra, Suiza.
- Law, M., y A., Collins (2015). Getting to know ArcGIS. Fourth edition. Esri Press Redlands California, Estados Unidos de América. Pp.704.
- Magaña, V., (2004). “El cambio climático global: comprender el problema” en Martínez, J., y Fernández, A., *Cambio climático: Una visión desde México*. México: Instituto Nacional de Ecología- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Manzo, L., López, J. e I. Ayala., (2013) “Role of forest conservation in lessening degradation in a temperate region: the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico” en *Journal of Environmental Management*. Núm. 138.
- Martínez, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A., y A. Cánovas. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2). [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017&lng=es&tlng=es. [Accesado el 10 de marzo de 2016].

- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., y White, K. S. (2001). "Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability". United Kingdom: Cambridge University Press.
- Miranda, L., Treviño, E., Jiménez, J., Aguirre, O., González, M., Pompa, M., y C. Aguirre, (2013b). "Monitoreo de la deforestación mediante técnicas geomáticas en el centro-norte de México" en *Ciencia UANL*, 16 (64): 43-54.
- Miranda-Aragón, L., E. Treviño-Garza., J. Jiménez-Pérez., O. Aguirre-Calderón., M. González-Tagle., M. Pompa-García y C. Aguirre-Salado. (2013a). "Tasa de deforestación en San Luis Potosí, México (1993-2007)". [En línea]. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-32312013000200003&script=sci_arttext. México, pp. 201-215. [Accesado 1 de junio de 2015].
- Monroy, M y T. Calvillo (1997). San Luis Potosí, historia breve. Fideicomiso Historia de las Américas. Colegio de México. Pp. 295.
- Naciones Unidas, (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. [En línea]. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>. pp. 27.[Accesado el 27 de septiembre de 2015].
- Olivo, G. (2013). *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del sector energía, balance estatal de energía y estrategias de mitigación*. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México, pp. 151.
- Pérez, F. J. (2011). "Para entender el cambio climático, un problema de todos, una responsabilidad de todos". México: Porrúa.
- Pineda, N., Bosque, J., Gómez, M., y W., Plata. (2008). "Análisis de cambio de uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación", en *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 69, pp. 33-52.
- PROFOREST (2011). Vínculos FLEGT-REDD+: ¿Qué es REDD+?, Nota Informativa 2. [En línea]. Disponible en: http://www.efi.int/files/attachments/euflegt/flegt_redd_bn_2_spanish_web1.pdf. [Accesado el 12 de enero 2015].

- Quiroz, Y. (2010). “Los SIG como herramienta para la toma de decisiones en la solución de problemas ambientales y dentro de la formación profesional en ciencias ambientales”. En *Temas de Ciencia y Tecnología*. Universidad de la Sierra Juárez. Vol. 14. Núm. 41, pp 33-40.
- Ramos., R; Palma, D.; Ortiz, C.; Ortiz, C. y G., Díaz., (2004). Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera *Terra Latinoamericana*, vol. 22, núm. 3, julio-septiembre, 2004, pp. 267-278 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Reyes, H., Aguilar, M., Aguirre, J., y I. Trejo., (2006). “Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000” [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112006000100003&script=sci_arttext México, pp. 26-42. [Accesado 14 de mayo 2015].
- Ribeiro, M.; Hubert- Sannwal, E., Garcia L., Peña F., Carrera Jaime., Galindo Maria., (2012) “Landscape diversity in a rural territory: Emerging Land use mosaics coupled to livelihood diversification” *Land Use Policy*, número 30, Elsevier, pp. 1-11
- Richardson, K., Steffen, W., y Liverman, D. (2011). “Climate change, global risks, challenges and decisions”. Uk: Cambridge university press.
- Rosete, F., Pérez, J., y G. Bocco., (2008). “Cambio de uso de suelo y vegetación en la península de Baja California, México” [En línea]. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112008000300004&script=sci_arttext México, pp. 39-58. [Accesado 9 de mayo 2015].
- Ruíz, L., González, E., (1997) “Modeling methane emissions from cattle in México” en *The Science of the Total Environment*, número: 206, Centro de ciencias de la atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, pp.177-186.
- Rzedowski, J., (1978) *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Editorial Limusa, Primera edición, México. Pp. 504
- SAGARPA, (2011). Mantiene ganadería crecimiento constante durante 10 años. Comunicado 685/11. [En línea]. Dirección General de Comunicación Social. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, (SAGARPA). Disponible en: <http://calderon.presidencia.gob.mx/2011/11/mantiene-ganaderia-crecimiento-constante-durante-10-anos/>. [Accesado el 20 de enero de 2015].

- Sahagún, F. (2012). *Dinámica espacio- temporal de las transformaciones en la cobertura vegetal y el cambio de uso de suelo en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí y sus efectos potenciales sobre la distribución de la avifauna*. Tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. México, pp 179.
- Sánchez, C. I., Díaz, P. G., Cavazos. P.M.T., Granados, R.G.R., y Gómez. R. E. (2011). “Elementos para entender el Cambio Climático y sus impactos”. México:
- Secretaría de Desarrollo Económico, (2014). “Perfiles Industriales del Estado de San Luis Potosí”. San Luis Potosí, México, pp.27.
- SEGAM, (2011). Caracterización ambiental, descripción del estado de los componentes físicos, bióticos y socioeconómicos de cada UGA y sus articulaciones funcionales en unidades paisajísticas. México. Pp. 190.
- SEMARNAT, (2004). Perspectivas del medio ambiente en México. GEO México 2004. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Pp. 323.
- SEMARNAT, (2010). Compendio de estadísticas ambientales. [En línea]. Disponible en http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet1bdcb.html. México. [Accesado 20 de abril 2015].
- SEMARNAT, (2013). *Inventario de Emisiones a la atmósfera, estado de San Luis Potosí, México. Fuentes fijas, de área, móviles y naturales*. Reporte final. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental. México, pp. 54.
- SEMARNAT, (2015) Capítulo 2. Vegetación y uso de suelo [en línea]. Disponible en: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/02_vegetacion/cap2.html. México. [Accesado el día 4 de octubre de 2015]
- SEMARNAT., (2008). *Ecosistemas terrestres*. [En línea]. Disponible en http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap2_ecosistemas.pdf. México, pp. 80. [Accesado 20 de abril 2015].
- SEMARNAT-INECC, (2013). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. México. Pp.384.
- SGM, (2011). Panorama minero del estado de San Luis Potosí. Servicio Geológico Mexicano. Pp. 70.

- Tuckett R. P. (2009). "The role of atmospheric gases in global warming" en Letchner, T. M., *Climate change, observed impacts on planet earth*, Amsterdam: Elsevier.
- Velázquez, A., J., Mas., J. Díaz-Gallegos., R., Mallorga-Saucedo., P., Alcántara., R. Castro., T. Fernández., G. Bocco., E. Ezcurra y J. Palacio. (2002). "Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México". México: pp.17.