



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DEL GANADO BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL DOBLE GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE DE ZONAS ÁRIDAS
(UACH-URUZA, MÉXICO)**

**MÁSTER EN ZOOTECNIA Y GESTIÓN SOSTENIBLE:
GANADERÍA ECOLÓGICA E INTEGRADA
(UCO-IDEP, ESPAÑA)**



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
COMISIÓN DE EXÁMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

JOSÉ DE JESÚS RAMÍREZ FLORES

DIRECTOR:

Ph. D. CÉSAR ALBERTO MEZA HERRERA

Bermejillo Durango México, Junio 2015

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DEL GANADO BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

Tesis realizada por **José de Jesús Ramírez Flores** bajo la Dirección del Comité Asesor, evaluada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

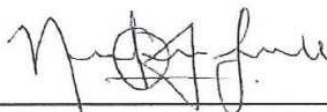
MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE DE ZONAS ÁRIDAS

Director



Dr. César Alberto Meza Herrera
Universidad Autónoma Chapingo. México

Asesor



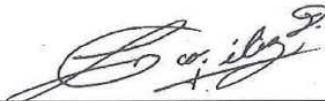
Dr. Nicolás López-Villalobos
Massey University. New Zealand

Asesor



Dr. Antón Rafael García Martínez
Universidad de Córdoba. España

Asesor



Dr. Francisco Gerardo Veliz Deras
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México

Asesor



Dr. Rafael Castro Franco
Universidad Autónoma Chapingo. México

Junio 2015

*Se hace patente un reconocimiento al apoyo recibido para el
apoyo de la presente investigación:*

Al Programa de Becas Nacionales CONACYT 2013-2014.

*Al Programa de Becas Mixtas en el Extranjero, para Becarios
CONACYT Nacionales 2013-2014.*

*Programa de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio
Ambiente en Zonas Áridas 2013-2014 (UACH-URUZA).*

*Dirección General de Investigación y Posgrado de la
Universidad Autónoma Chapingo.*

*Instituto de Estudios de Posgrado de la Universidad de Córdoba,
España (IDEP-UCO)*

DATOS BIOGRÁFICOS

El C. José de Jesús Ramírez Flores, es originario de México, D. F. Estudió la preparatoria en la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. Es Ingeniero Agrónomo en Sistemas Pecuarios de Zonas Áridas por la misma Universidad, egresado en el año 1997. Obtuvo el grado de licenciatura con la tesis titulada “Producción, Productividad, Rentabilidad y Empleo en el Cultivo de Avena Forrajera (Avena Sativa) Irrigada por Bombeo en el Sector Ejidal en la Comarca Lagunera de 1990 A 2007” en marzo de 2010, dirigida por el Dr. José Luis Ríos Flores.

Su línea de investigación se relaciona al impacto ambiental de la ganadería con el proyecto “Evaluación del Impacto Ambiental y Económico del Ganado Bovino Lechero en la Comarca Lagunera, México” por medio del cual logró terminar la presente tesis bajo la dirección de su tutor y asesor Dr. César Alberto Meza Herrera.

Participó en una estancia para una doble titulación en el periodo de Enero a Junio de 2014 en la Universidad de Córdoba, España, en el Máster “Zootecnia y Gestión Sostenible: Ganadería Ecológica e Integrada” a cargo del Dr. Antón Rafael García Martínez, con el apoyo del programa de Becas Mixtas del CONACYT.

Evaluación del impacto ambiental y económico del ganado bovino lechero en la Comarca Lagunera, México

Environmental and economic impact assessment of dairy cattle in the Comarca Lagunera, Mexico

Ramírez-Flores José de Jesús¹, Meza-Herrera César Alberto²

RESUMEN

En la Comarca Lagunera (CL), localizada en el norte de México (102° 22' & 104° 47' LO, 24° 22' & 26° 23' LN), se ha observado un importante crecimiento del Bovino Productor de Leche (BPL) durante los últimos 50 años. Lo anterior ha situado a la CL como una de las cuencas lecheras más importantes del país. En 2014, la CL registró un inventario lechero superior a las 440,000 vacas, con 242,000 vacas en ordeño, una producción de 2,260 millones de litros por año y un valor económico (VE) de la producción de €867 millones. Sin embargo, las condiciones climáticas de la zona, incluyen altas temperaturas y radiación solar en verano y bajos niveles de precipitación anual (<220 mm). Por ello, la disponibilidad de agua es muy limitada, originando altas demandas en la extracción de aguas subterráneas mediante el uso de más de 2,200 pozos profundos para uso del BPL; dicha extracción ha generado un significativo déficit en las reservas de agua subterránea ya que el volumen de extracción es superior a la recarga. El impacto de la Huella Hídrica del BPL, es el segundo en importancia, sólo superado por la producción de carne de bovina. Sin embargo, si confrontamos el costo económico (CE) del BPL respecto al CE generado por la emisión de GEI (€118 millones) y se adiciona el CE generado por la huella hídrica (€13,219 millones), se observa no solamente un fuerte impacto ambiental sino un significativo costo económico de dicho impacto ambiental. Por lo anterior, es imperativo definir estrategias de mitigación en el uso del recurso hídrico, fundamental en la viabilidad global de la Comarca Lagunera, enclavada en un entorno árido. De lo contrario, se pondrá en riesgo no solo la sustentabilidad del sistema de producción del bovino lechero, sino la viabilidad biológica, económica y social de la Comarca Lagunera.

Palabras Clave: Impacto ambiental y económico, ganado bovino lechero, huella hídrica, gases de efecto invernadero.

¹Tesista, ²Director

ABSTRACT

In the Comarca Lagunera (CL), located in northern Mexico (102° 22' & 104° 47' W, 24° 22' & 26° 23' N) it has been observed a significant growth of the Dairy Cow Industry (DCI) during the last 50 years. Such situation has placed to the CL as one of the most important dairy cow areas of the country. In 2014, the CL registered a dairy cow inventory greater than 440,000 heads, with 242,000 milking cows, a production of 2,260 million liters per year while an economic value (EV) of €867 million. Yet, the climatic conditions of the area, include high environmental temperatures and solar radiation in summer while a quite low annual rainfall (< 220 mm). Therefore, water availability is very limited, resulting in high levels of groundwater extraction through more than 2,200 deep water wheels to support the DCI; this water extraction has generated a significant groundwater deficit, since the extracted volume exceeds its recharge. The Water Footprint impact (WFI) from the DCI is the second largest, just behind beef production. However, if we confront the DCI-EV to the economic cost (EC) generated by the GHG emissions (€ 118 million) and we add the DCI-WFI-EC (€ 13,219 million) it can be unveiled not only the noteworthy environmental impact but also a significant and insane economic cost. Therefore, it is imperative to define mitigation strategies to promote an optimum use of water, a fundamental resource for the viability of the CL, located in an extreme arid environment. Otherwise, if such negligent scenario remains, it will jeopardize not only the sustainability of the DCI, but also the biologic, economic and social viability of the Comarca Lagunera.

Key Words: Environmental and economic impact, dairy cattle, water footprint, greenhouse gases.

Tabla de Contenido

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DEL GANADO BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA, MEXICO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	HIPOTESIS Y OBJETIVOS	2
2.1	HIPÓTESIS	2
2.2	OBJETIVO	2
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1	HUELLA HÍDRICA DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE DE BOVINO	3
3.2	EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	4
3.3	ANTECEDENTES DE LA GANADERÍA LECHERA	8
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	9
4.1	TIPO DE SUELOS DE LA REGIÓN LAGUNERA	10
4.2	HIDROLOGÍA DE LA REGIÓN LAGUNERA	11
4.2.1	<i>Río Nazas</i>	11
4.2.2	<i>Río Aguanaval</i>	11
4.3	EXTENSIÓN TOTAL EN HECTÁREAS	12
4.4	PROCESO DE CÁLCULO	12
4.4.1	SUBCATEGORÍA GANADERÍA	12
4.4.2	SUBCATEGORÍA AGRICULTURA	15
4.4.3	HUELLA HÍDRICA	17
4.5	BASE DE DATOS A UTILIZAR PARA LOS CÁLCULOS	17
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
5.1	EMISIÓN DE GEI	24
5.1.1	SUBCATEGORÍA GANADERÍA	24
5.1.2	SUBCATEGORÍA AGRICULTURA	27
5.2	HUELLA HÍDRICA	29
VI.	CONCLUSIONES	34
VII.	LITERATURA CITADA	36
VIII.	ANEXO	40

Índice de Figuras

Figura	Nombre	Pág.
1	EMISIONES GLOBALES DE GEI DE DISTINTAS ESPECIES GANADERAS	6
2	UBICACIÓN DE LA COMARCA LAGUNERA	9
3	INVENTARIO DE GANADO BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013)	18
4	PRODUCCIÓN DE LECHE DE BOVINO EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2014)	19
5	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS FORRAJEROS EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013)	22
6	GEI EMITIDOS POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA Y PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL DEL BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013)	25
7	EMISIONES EQUIVALENTES EN CO ₂ DE METANO Y ÓXIDO NITROSO POR EL GANADO BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013)	27
8	EMISIONES EQUIVALENTES EN CO ₂ DE ÓXIDO NITROSO POR LOS CULTIVOS FORRAJEROS EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013)	28
9	PARTICIPACIÓN EN LAS EMISIONES DE LOS DISTINTOS CULTIVOS FORRAJEROS EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013)	28
10	PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DE LAS EMISIONES DE LA GANADERÍA Y LA AGRICULTURA EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013)	29
11	EVOLUCIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA PRODUCCIÓN DEL BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA (2003-2013)	30
12	COMPARATIVO DE COSTOS AMBIENTALES (GASES DE EFECTO INVERNADERO Y HUELLA HÍDRICA) Y VALOR DE LA PRODUCCIÓN DEL BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2014)	30

Índice de Cuadros

Cuadro	Nombre	Pág
1	INVENTARIO DE GANADO BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA (2003-2013)	18
2	PRODUCCIÓN DE LECHE DE BOVINO EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2014)	19
3	SUPERFICIE DE CULTIVOS FORRAJEROS EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013)	20
4	PRODUCCIÓN FORRAJERA EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013)	21
5	CONSTANTES DE EXTRACCIÓN DE NITRÓGENO POR TONELADA DE PRODUCTO COSECHADO Y CONTENIDO DE HUMEDAD A LA COSECHA, UTILIZADAS PARA ESTIMAR EL REQUERIMIENTO DE NITRÓGENO EN DIVERSOS CULTIVOS DE LA COMARCA LAGUNERA	23
6	EMISIONES DE METANO POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA Y PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL EN GG AL AÑO Y SU EQUIVALENCIA EN CO ₂ EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013)	25
7	EMISIONES DE N ₂ O-N POR MANEJO DE ESTIÉRCOL Y EQUIVALENCIAS EN ÓXIDO NITROSO EN GG AL AÑO Y SU CONVERSIÓN A TONELADAS DE CO ₂ GENERADOS POR EL BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013)	26
8	EVOLUCIÓN DEL PRECIO INTERNACIONAL DE LAS EMISIONES DE CO ₂ GENERADAS POR EL BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA (2002-2013, EUROS)	26
9	HOJA DE CÁLCULO DE EMISIONES DE METANO POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA Y PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL	40
10	HOJA DE CÁLCULO DE EMISIONES DE N ₂ O	41
11	HOJA DE CÁLCULO DE EMISIONES DE LOS CULTIVOS FORRAJEROS	42
12	HOJA DE CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA	45

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas para el mantenimiento y desarrollo de la sociedad están generando un impacto ambiental muchas veces desfavorable, ante la presión de cubrir la demanda de alimentos y otros satisfactores a una población en constante aumento. El incremento en los niveles de vida genera una mayor demanda y por lo tanto mayor producción de alimentos de origen animal, lo que ha llevado a dedicar cada vez más áreas a ésta actividad en un constante cambio de uso del suelo (Cardoso, 2012).

En la Comarca Lagunera, desde hace más de medio siglo, se ha dado un desarrollo de la ganadería de Bovino de Leche convirtiéndose en una las cuencas lecheras más importantes del país, cuya producción se utiliza para cubrir demandas de éste alimento para todo el territorio. Las condiciones climáticas de la zona, caracterizadas por altas temperaturas y radiación solar en verano, y niveles muy bajos de precipitación, provoca que la disponibilidad de agua sea muy limitada, lo que ha originado que para el desarrollo de la ganadería se extraiga el líquido de los mantos freáticos a una velocidad superior a su recarga, poniendo en riesgo no sólo a la actividad, sino también al futuro de la región (SAGARPA, 2006).

La Huella Hídrica de la producción de leche de bovino es la segunda mayor de las actividades agropecuarias, sólo por detrás de la producción de carne de bovino (Mekonnen y Hoekstra, 2010). Si al consumo de agua de la actividad se le agrega la Emisión de Gases de Efecto Invernadero, los cuales contribuyen al calentamiento global, se genera un impacto ambiental muy importante, por lo que el presente trabajo busca medir y transformar a valor económico éste impacto y pueda servir como base para poder generar políticas y acciones de mitigación.

II. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESIS

El impacto ambiental y económico de la emisión de GEI y la huella hídrica generados por la ganadería bovina lechera en la Comarca Lagunera es menor al beneficio económico generado por ésta en la región.

2.2 OBJETIVO

Cuantificar el impacto ambiental y económico de la emisión de GEI y la huella hídrica por el ganado bovino lechero en la Comarca Lagunera y compararlos con el beneficio económico generado en la región.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Huella hídrica de la producción de leche de bovino

El aumento previsto en la producción y consumo de productos animales es probable que ponga más presión sobre los recursos de agua dulce del mundo. El tamaño y las características de la huella hídrica varían en los tipos animales y sistemas de producción (Mekonnen y Hoekstra, 2010). El sector ganadero será un importante contribuyente a los problemas ambientales a cada nivel –regional y global- incluyendo degradación del suelo, cambio climático, contaminación del aire, escasez y contaminación del agua, y pérdidas de biodiversidad (SCOPE, 2010).

Las tendencias de la dinámica demográfica y los patrones de consumo, junto con la amenaza del cambio climático y la degradación irreversible de los servicios ecosistémicos, conducen a una mayor incertidumbre con respecto a los modelos de producción de alimentos actual (Kumar *et al.*, 2011). Mientras que la seguridad alimentaria ha mejorado en todo el mundo como consecuencia del aumento de la producción agrícola y una mayor estabilidad de la oferta, esto ha ido acompañado de una disminución significativa en el estado de los ecosistemas y los servicios que prestan. De hecho, la agricultura ha sido uno de los principales motores del cambio ambiental global, incluso a través de los cambios en el uso del suelo, la cubierta vegetal y riego que afectan el ciclo hidrológico global en términos de calidad y cantidad de agua (Kumar *et al.*, 2011).

La huella hídrica de una nación, empresa o producto es un indicador empírico de cuánta agua es consumida, cuándo y dónde, medida sobre la cadena de suministro completa. Es un indicador multidimensional, mostrando volúmenes pero también especificando el tipo de agua usada –agua de lluvia, agua superficial o contaminación del agua- y el lugar y momento de uso del

agua (WWF, 2014). La huella hídrica de cualquier producto de origen animal es mayor que la huella hídrica de productos agrícolas con valor nutricional equivalente. La huella de agua promedio por caloría de carne de vacuno es 20 veces más grande que la de cereales y raíces almidón. La huella de agua por gramo de proteína de la leche, los huevos y la carne de pollo es 1.5 veces mayor (Mekonnen y Hoekstra, 2012).

La huella hídrica de un animal vivo se compone de diferentes elementos: la huella hídrica indirecta de la producción de alimento para ganado y la huella hídrica directa relacionada con el agua de bebida y servicio (Chapagain y Hoekstra 2004). La huella hídrica de productos de origen animal pueden ser comprendidos a partir de tres factores principales: la eficiencia de conversión alimenticia del animal, composición de la dieta, y el origen de los insumos. El tipo de sistema de producción (pastoreo, mixto, industrial) también es importante porque influye en los tres factores. Considerando la huella hídrica total por cada categoría de animales, se ha visto que el bovino de carne tiene la mayor contribución (33%) a la huella hídrica global de la producción de animales de granja, seguido de bovino lechero (19%), cerdos (19 %) y pollos de engorde (11%) (Mekonnen y Hoekstra, 2012).

3.2 Emisión de gases de efecto invernadero

Los costos ambientales de las actividades agrícolas, incluyendo la producción animal, han sido sujetos de amplios análisis y discusiones. Diferentes revisiones sobre la responsabilidad de la agricultura en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) han sido publicados (Cardoso, 2012). Diferentes datos acerca de la responsabilidad de la agricultura en las emisiones antropogénicas de GEI han sido reportados, que van del 30 al 35% de las emisiones (Foley *et al.*, 2011), 22.5% (Rota y Sidahmed, 2010), y

cerca del 20% (IPCC, 2007). Los gases que contribuyen al efecto invernadero incluyen el dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), ozono (O₃), vapor de agua y los clorofluorocarbonos (CFCs). Varios científicos han opinado que la concentración de GEI en la atmósfera se ha incrementado (y lo sigue haciendo) marcadamente durante los pasados 250 años, desde el inicio de la revolución industrial y el incremento en el uso de combustibles fósiles (Chukwuocha *et al.*, 2010).

A nivel mundial, el sector ganadero es responsable del 18% del total de las emisiones de GEI, debido principalmente a la deforestación para establecer pastizales, cultivo de granos para la alimentación animal, fermentación del rumen y desechos ganaderos (Steinfeld *et al.*, 2006). Considerando únicamente al sector agropecuario, el ganado representa el 80% del total de las emisiones (Cardoso, 2012). Los sistemas ganaderos ocupan el 30% de la superficie terrestre libre de tundra del planeta (Steinfeld *et al.*, 2006). La ganadería tiene una abrumadora importancia para mucha gente en países en desarrollo; cerca de mil millones de personas en pobreza dependen en al menos una parte de su supervivencia del ganado en ausencia de alternativas económicas viables. Éste sector no requiere propiedad de tierras o educación formal, se puede realizar con inversiones iniciales bajas, y puede ser transformada en dinero cuando se requiera (SCOPE, 2010).

Los sistemas ganaderos tienen efectos positivos y negativos sobre la base de recursos naturales, salud pública, equidad social y crecimiento económico (World Bank, 2009). Actualmente, la ganadería es uno de los subsectores de la agricultura con más rápido crecimiento en los países en desarrollo (Thornton, 2010). Este crecimiento es inducido por las crecientes demandas de productos de origen animal, y éste a su vez es inducido por el aumento de la población mundial, de la urbanización y el crecimiento económico de los países en desarrollo (Delgado, 2005). En el mismo sentido,

a nivel mundial se reporta que el bovino productor de leche es uno de los principales emisores de GEI, solamente inferiores a las generadas por el bovino productor de carne (Gerber *et al.*, 2013).

El impacto ambiental del ganado es evaluado en términos de emisiones directas e indirectas de GEI. Las emisiones directas de metano (CH_4) conciernen a la fermentación entérica y excreción de estiércol, mientras que la orina es responsable de las emisiones de óxido nitroso (N_2O) (Jungbluth *et al.*, 2001). Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) por medio de la respiración se consideran en balance con las especies vegetales que integran el CO_2 atmosférico en compuestos orgánicos y que son utilizados en la alimentación animal (Steinfeld *et al.*, 2006). Las emisiones indirectas no se derivan directamente del ganado pero dependen de las emisiones del estiércol, cultivo de granos para la alimentación animal y uso de fertilizantes, deforestación ligada a la crianza de ganado, desertificación y transportación (Mosier *et al.*, 1998).

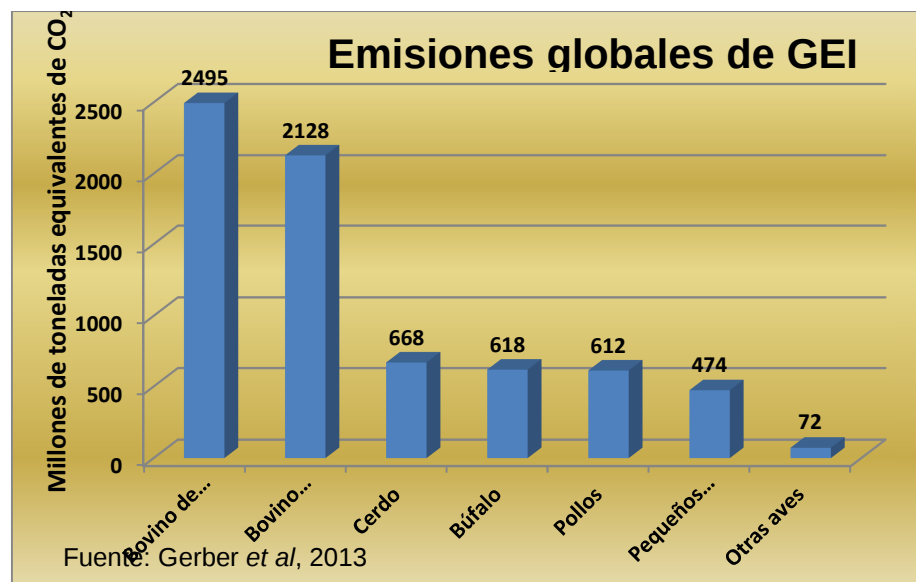


Figura 1. Emisiones globales de GEI de distintas especies ganaderas

La emisión de metano por parte del ganado es determinada por el nivel de consumo de alimento, digestibilidad del mismo, método de alimentación y adición de ácidos grasos no saturados en la dieta (Enishi, 2007). Esta emisión es parte de su proceso natural de digestión y es producido en el rumen del ganado debido a la metanogénesis realizada en el retículo-rumen e intestino grueso del ganado (Alemu *et al.*, 2011). Chukwuocha *et al.* (2010) reportan que las concentraciones de gas metano en las explotaciones ganaderas es muy alto (2.80 ± 0.46 ppm) comparado con el aire seco a nivel del mar (2.0 ppm).

La población de ganado lechero en la Comarca Lagunera asciende a 420,846 cabezas en 2010 y a 442,838 cabezas en 2012 (SIAP, 2013). Para la estimación de las emisiones de GEI se utilizan los factores e índices de emisión provistos por el IPCC (1997), y considerando el inventario de ganado, el nivel de producción, tipo de dietas, consumo y digestibilidad. Así mismo, el IPCC establece tasas de conversión de esas emisiones en equivalentes de Potencial de Calentamiento Global de dióxido de carbono. Estas equivalencias corresponden a lo siguiente: una unidad de CH_4 = 23 unidades de CO_2 y una unidad de N_2O = 296 unidades de CO_2 .

De igual manera, se ha establecido un precio internacional de las emisiones de carbono, lo cual sirve para calcular el impacto de dichas emisiones en lo económico, habiéndose proyectado el precio en $15.75 \text{ €} \cdot \text{Ton}^{-1}$ de CO_2 . (Environmental Finance, 2011; Thompson Reuters, 2011). Con éstos índices se pretenden estimar los impactos ambientales y económicos de la emisión de GEI por el ganado lechero en la Comarca Lagunera, ya que no se han encontrado trabajos similares realizados para la zona.

3.3 Antecedentes de la Ganadería Lechera

En la Comarca Lagunera la ganadería lechera es Intensiva o Tecnificada, se desarrolla el tipo de ganadería que se ubica principalmente sobre extensiones comparativamente reducidas pero bien irrigadas, con una producción moderna y de carácter industrial. La infraestructura disponible se caracteriza por contar con modernas salas de ordeña y equipo tecnificado para el posterior enfriamiento de la leche; en este tipo de infraestructura la mano de obra utilizada es mínima, adquiriendo el producto un alto valor agregado por el nivel de calidad que se obtiene en estos procesos. La reproducción y el mejoramiento de la base genética de los animales se dan por medio de la inseminación artificial (SAGARPA, 2006).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

La Región Lagunera, se localiza en la parte central de la porción norte de los Estados Unidos Mexicanos. Se encuentra ubicada entre los meridianos 102°22' y 104°47' de longitud Oeste, y los paralelos 24° 22' y 26° 23' de latitud norte. La altitud media sobre el nivel mar es de 1,139 metros. Cuenta con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localizan las áreas agrícolas, así como las áreas urbanas. La Región Lagunera está conformada por diez municipios del Estado de Durango y cinco del Estado de Coahuila (Figura No. 2).



Figura 2: Ubicación de la Comarca Lagunera

4.1 Tipo de Suelos de la Región Lagunera

Los suelos de la región, de acuerdo con su formación se pueden dividir en tres grupos:

a) Suelos Aluviales recientes, de perfil ligeros, cuyas texturas varían de migajón arenoso a arenas. En una superficie aproximada de 75,000 has., estos suelos corresponden a las clases 1º, 2º y 3º.

b) Suelos correspondientes a últimas deposiciones arcillosos en su mayor parte y con mal drenaje. Cubren una superficie aproximada de 100,000 has.

c) Suelos de características intermedias, entre los dos citados anteriormente; es decir, que su perfil es variable, entre arcilloso y migajón arenoso; abarcan una superficie de 192,000 has. Estos suelos ocupan la parte central del área cultivada y por sus características fisicoquímicas se localizan los cultivos más importantes. Son ricos en fósforo, potasio, magnesio, calcio, pero pobres en nitrógeno. La materia orgánica se encuentra en bajas proporciones, sobre todo en los terrenos cultivados. Están considerados de 1º clase para fines de riego.

La topografía de la Región Lagunera es en términos generales plana y de pendientes suaves, que varían de 0.20 a 1.0 metro por kilómetro, generalmente hacia el norte y noreste. En la Región Lagunera se encuentra el Distrito de Riego N° 17, así como los Distritos de Desarrollo Rural Laguna-Durango y Laguna-Coahuila, de la Secretaria de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural.

4.2 Hidrología de la Región Lagunera

La región hidrológica N° 36 se localiza en la mesa del norte de la República Mexicana, abarca parte de los estados de Durango, Zacatecas y Coahuila, corresponde a las cuencas cerradas de los Ríos Nazas y Aguanaval.

4.2.1 Río Nazas

Se forma a partir de la confluencia del Río Sextin y del río de ramos, se inicia en el estado de Durango hasta su desembocadura en la Laguna de Mayrán en el estado de Coahuila, recorriendo una distancia total de 350 km. Sus principales afluentes son: Río San Juan, Río del Peñón, Arroyo de Naitcha, arroyo de Cuencamé, a lo largo de su cauce se encuentran las presas "Lázaro Cárdenas" y "Francisco Zarco".

4.2.2 Río Aguanaval

Nace en la unión de los ríos Saín Alto y Trujillo en el estado de Zacatecas, iniciando su recorrido a partir de la presa "El Cazadero", de donde se continúa a lo largo de 305 Km. Pasando por el estado de Durango hasta desembocar en la Laguna de Viesca en el estado de Coahuila sus principales afluentes son: Arroyo de Reyes, Río Santiago y Arroyo de Masamitote, todos ubicados en el estado de Durango. En lo que respecta a los aprovechamientos de aguas subterráneas, existen en el ámbito de la Región Lagunera cerca de 2,159 pozos de uso agrícola.

4.3 Extensión Total en Hectáreas

La región cuenta con una extensión total de 4,788.750, en hectáreas, en las que se encuentran comprendidas las áreas montañosas, las agrícolas y pecuarias, así como las áreas urbanas. La superficie agrícola bajo la modalidad de riego representa el 3.62 por ciento de la extensión total, mientras que la superficie bajo la modalidad de temporal solo alcanza el 1.10 por ciento de dicha extensión. Cabe señalar que en la modalidad de riego se incluye tanto el riego por bombeo como de gravedad.

4.4 Proceso de cálculo

De acuerdo a la técnica del cálculo de emisiones para CH₄ y N₂O, descrita en el Manual de las Buenas Prácticas (IPCC, 2006) para la categoría Agricultura se deben considerar tres Subcategorías, a saber: Ganadería, Sabanas y Agricultura; en este caso solo se incluyen el primero y el tercero, ya que los ambientes de sabana típicos para la cría de ganado bovino no aplican para la Comarca Lagunera.

4.4.1 Subcategoría Ganadería

- Emisión de CH₄ por fermentación entérica. El cálculo de emisión de CH₄ por fermentación entérica, típica de los procesos digestivos de los rumiantes, no obstante que el volumen de emisión depende del tipo, peso y edad del animal el nivel de detalle para la caracterización de la población ganadera sólo implica el uso de los datos sobre el número de cabezas de bovinos lecheros.

De acuerdo a lo anterior, la ecuación para el cálculo de emisión de metano procedente de la fermentación entérica es la siguiente:

$$Em_{GFECH_4} = \frac{POBG \cdot FE}{(10^6 Kg \cdot Gg^{-1})}$$

Dónde:

Em_{GFECH₄}: emisión de metano procedente de la fermentación entérica, en Gg de CH₄ por año;

POBG: número de animales o cabezas de ganado;

FE: factor de emisión correspondiente a una población específica de ganado.

El Factor de emisión considerado para éste cálculo es de 118 kg por cabeza al año correspondiente al sector lechero altamente productivo alimentado con forraje y grano de alta calidad, correspondiente a la región de Norteamérica.

- Emisión de CH₄ por la producción de estiércol. De los dos niveles previstos en las Directrices del IPCC para la estimación de las emisiones de CH₄ procedentes del estiércol del ganado, se aplicará el método de nivel 1, para el cual sólo se requiere contar con datos sobre la población de ganado.

De acuerdo con esto, la ecuación para el cálculo de emisión de metano originado por la producción de estiércol por especie ganadera es la siguiente:

$$Em_{mm} = \frac{FE \cdot POBG}{(10^6 Kg \cdot Gg^{-1})}$$

Dónde:

Em_{mm}: emisiones de CH₄ que se originan en la producción de estiércol para una población ganadera definida, en Gg/año;

FE: factor de emisión de N correspondiente a la población de ganado, en Kg·cabeza·año;

POBG: es el número de cabezas que integran la población ganadera.

Los factores de emisión (FE) para metano en esta parte del cálculo fueron tomados de las Cuadro 4-6 del libro de Trabajo (Páginas 4.12) para la categoría Agricultura (IPCC, 1996), que corresponden a 76 kg por cabeza al año para climas cálidos de la región de Norteamérica con temperaturas promedio superiores a 25 °C.

Emisión de N₂O por manejo de estiércol. Criterios y procesos de cálculo. En esta sección se estimó el óxido nitroso (N₂O) producido durante el almacenamiento y tratamiento del estiércol, el cual incluye tanto las heces como la orina, sólidos y líquidos, producidos por el ganado bajo condiciones de manejo estabulado.

De acuerdo a lo anterior, la ecuación para el cálculo de emisión de óxido nitroso originado por el manejo de estiércol se expresa por medio de la siguiente ecuación:

$$(N_2O - N)_{(mm)} = \sum_{(s)} \{ [\sum N * Nex * SM_{(s)}] * FE_{3(s)} \}$$

Dónde:

(N₂O-N)(mm): emisiones de N₂O-N procedente del estiércol (Kg de N₂O-N/año);

N: número de cabezas de ganado;

Nex: es la excreción media anual de N por cabeza de ganado en kg de N/animal/año;

SM_(S): es la fracción de la excreción total del ganado incluida en el sistema S de manejo del estiércol;

FE_{3(S)}: factor de emisión de N₂O para el sistema S de manejo del estiércol en Kg de N₂O-N·kg⁻¹ de N en el sistema S de manejo de estiércol;

S: sistema de manejo del estiércol.

La conversión de las emisiones de (N₂O-N)_(mm) en emisiones de N₂O_(mm) se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\text{N}_2\text{O}_{(\text{mm})} = (\text{N}_2\text{O-N})_{(\text{mm})} * 44/28$$

4.4.2 Subcategoría Agricultura

En esta subcategoría se estiman las emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas utilizados para la producción de forrajes que resultan de los aportes de N a los suelos, como fertilizantes sintéticos y orgánicos a base de estiércol de origen animal; además, se considera el cultivo de variedades fijadoras de N (F_{NB}), la incorporación de residuos de las cosechas a los suelos (F_{RC}). La ecuación para el cálculo de las emisiones de óxido nitroso por el manejo del estiércol es la siguiente:

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{Directo}} - \text{N} = [(F_{\text{SN}} + F_{\text{EA}} + F_{\text{NB}} + F_{\text{RC}}) * FE_1]$$

Dónde:

N₂O_{Directo} - N: emisión de N₂O en unidades de nitrógeno;

F_{SN}: cantidad anual de nitrógeno en los fertilizantes sintéticos aplicados a los suelos, ajustada para dar cuenta del volumen que se volatiliza como NH₃ y NO_x;

F_{EA}: cantidad anual de nitrógeno en el estiércol animal aplicado intencionalmente a los suelos, ajustada para dar cuenta del volumen que se volatiliza como NH₃ y NO_x;

F_{NB}: cantidad de nitrógeno fijado por los cultivos de la familia de las leguminosas (alfalfa) que se cultivan anualmente;

F_{RC}: cantidad de nitrógeno en los residuos de cosechas que se reintegran anualmente a los suelos.

La conversión de las emisiones de (N₂O-N)_(mm) en emisiones de N₂O_(mm) se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\text{N}_2\text{O}_{(\text{mm})} = (\text{N}_2\text{O}-\text{N})_{(\text{mm})} * 44/28$$

Para aplicar la ecuación anterior, las cantidades de los distintos aportes de N se calculan como a continuación se indica:

- 1) Nitrógeno de fertilizante sintético, ajustado por volatilización, F_{SN}:

$$\text{F}_{\text{SN}} = \text{N}_{\text{FERT}} * (1 - \text{Frac}_{\text{GASF}})$$

Dónde:

N_{FERT}: cantidad total de fertilizante sintético consumido anualmente;

Frac_{GASF}: fracción del fertilizante que se volatiliza como NH₃ y NO_x.

- 2) Nitrógeno fijado por cultivos de la familia de las leguminosas (alfalfa), F_{BF}, expresado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{F}^{\text{BF}} = 2 * \text{Cultivo}_{\text{BF}} * \text{Frac}_{\text{NCRBF}}$$

Dónde:

Cultivo_{BF}: cantidad de N fijado, y se estima al multiplicar el rendimiento por 2;

Frac_{NCRBF}: fracción de biomasa del cultivo constituida por nitrógeno.

Para la estimación de las cantidades de fertilizante nitrogenado utilizado se utilizó el nivel de extracción de nitrógeno del suelo por los diferentes

cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera considerando los estudios realizados por López Calderón *et al* (2013).

4.4.3 Huella hídrica

El consumo de agua es estimado con base en los estudios de huella hídrica en las categorías Blue, Green y Gray realizados por Mekonnen y Hoekstra (2012) para México en la producción de leche de bovino. El precio internacional del agua consideró el promedio del precio de los principales países consumidores de agua los cuales fueron reportados por Kjellsson y Liu (2012).

4.5 Base de datos a utilizar para los cálculos

Para realizar las estimaciones de emisiones de GEI en las subcategorías agricultura y ganadería, se utilizó la información publicada en los Anuarios Estadísticos de la Producción Agropecuaria de los años 2002 a 2011, publicados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) para la Región Lagunera. La integración del Anuario Estadístico es el resultado del trabajo conjunto de las Subdelegaciones Agropecuaria y de Planeación y Desarrollo Rural; así como del esfuerzo realizado por el personal de los Distritos de Desarrollo Rural en el acopio y sistematización de la información, a través de los instrumentos del Sistema de Información Agropecuaria (SIACAP Y SIPCAP), desde los Centros de Apoyo al Desarrollo Rural (CADER), hasta su agregación a nivel distrital y regional.

Cuadro 1. Inventario de ganado bovino lechero en la Comarca Lagunera (2003-2013)

	Año										
Comarca Lagunera	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Coahuila	211,906	229,673	231,679	238,479	241,455	209,034	201,698	208,646	210,185	210,185	215,570
Durango	228,970	239,725	240,776	242,635	246,383	216,789	203,197	212,200	217,689	217,689	223,690
Total	440,876	469,398	472,455	481,114	487,838	425,823	404,895	420,846	427,874	427,874	439,260

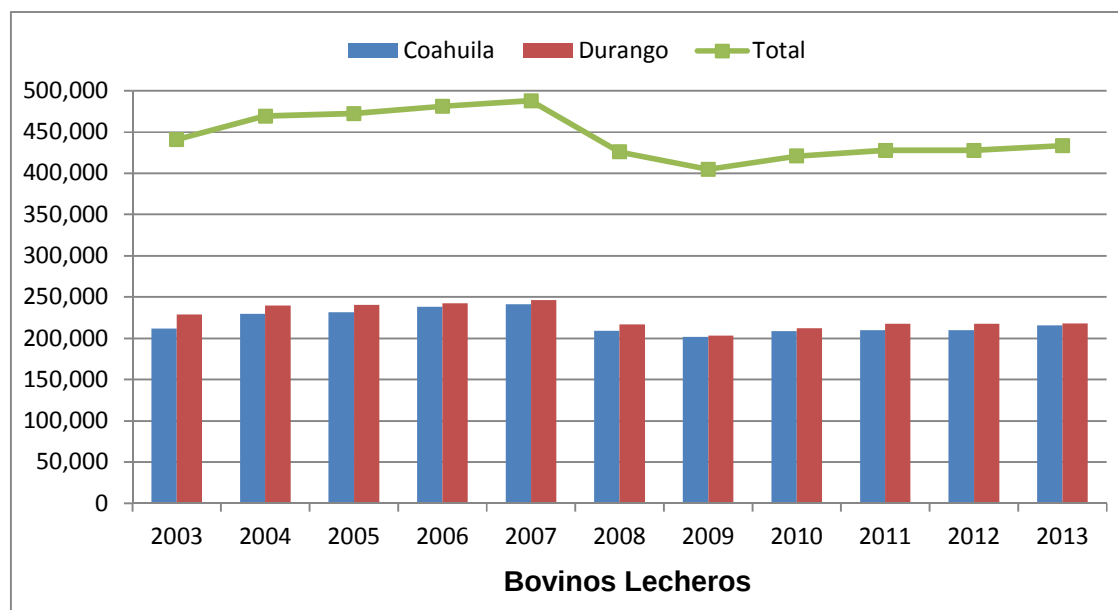


Figura 3. Inventario de ganado bovino lechero en la Comarca Lagunera (2002-2013)

Cuadro 2. Producción de leche de bovino en la Comarca Lagunera (2002-2014)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
LECHE (miles de lt.)	1,870,186	1,899,392	1,995,463	2,122,092	2,173,482	2,255,273	2,090,706	2,092,849	2,117,562	2,198,846	2,222,040	2,260,000

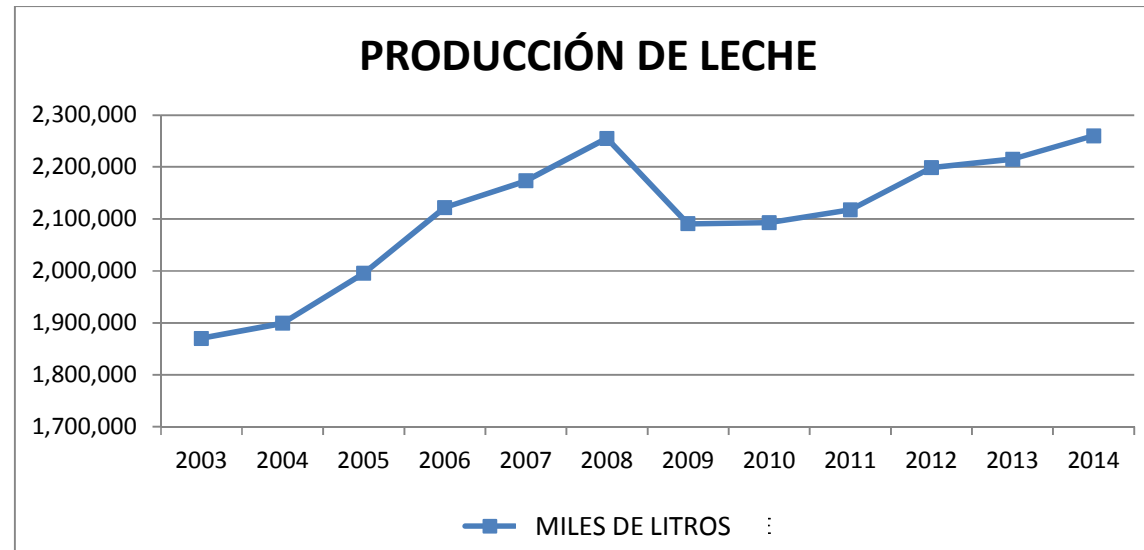


Figura 4. Producción de leche de bovino en la Comarca Lagunera (2002-2014)

Cuadro 3. Superficie de cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera (2002-2013)

	Superficie Sembrada (Ha)											
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ALFALFA VERDE	23,567	24,725	24,298.50	24,372.50	23,529.50	23,100	22,980	21,567.75	22,401.75	20,961.50	22,841.84	38,482.50
AVENA FORRAJERA VERDE	15,926.67	20,733	25,134.50	24,922.90	19,828.50	25,651.50	21,003.72	19,261	19,528.50	16,009.50	17,658.49	19,114.00
MAIZ FORRAJERO VERDE	7,224	9,022	11,524	14,165	15,859	15,238	14,844.10	14,229	15,944	24,046.25	14,733.50	26,881.17
RYE GRASS VERDE	694.5	529.5	315.75	808	580.5	1,138.50	1,346.50	1,185.50	1,345.50	1,278	2,371.91	5,039.50
SORGO FORRAJERO	31,981.46	35,602.25	33,320.47	28,265.20	36,300.63	39,399.68	38,313.25	37,926.50	36,604	35,155.68	40,245.55	25,631.52
TRIGO FORRAJERO	1,429.50	956.75	696	439	434	339	356	182.5	326	258	737	232
TRITICALE FORRAJERO	88	141	239	229.5	504	879.5	733	875	640	502	1,200.75	1,005.00
T O T A L :	80,911.13	91,709.50	95,528	93,202	97,036.13	105,746.18	99,576.57	95,227.25	96,789.75	98,210.93	99,789.04	116,385.69

Cuadro 4. Producción forrajera en la Comarca Lagunera (2002-2013)

	Volumen de Producción (Ton)											
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ALFALFA VERDE	1,741,435	1,689,184.88	1,557,509.69	1,811,929.07	1,856,580.29	1,820,981.20	1,742,149.70	1,737,928.73	1,720,559	1,542,345.14	1,729,325.42	3,265,783.52
AVENA FORRAJERA VERDE	311,064.25	493,530.09	498,548.60	622,727.63	475,686.32	651,854.33	542,560.63	552,145.63	561,269.63	303,866.28	507,093.34	644,647.30
MAIZ FORRAJERO VERDE	192,972	328,826.80	508,163	528,986	622,628	615,026.90	599,986.93	615,986.40	711,721.60	734,388.99	664,090.77	1,216,567.60
RYE GRASS EN VERDE	23,072.50	15,875.75	11,455.88	27,164.45	16,507.84	34,184.51	40,349.89	30,645.36	36,173.04	26,754	66,345.24	95,030.10
SORGO FORRAJERO VERDE	805,806.54	988,208.61	915,917.27	697,369.27	955,260.65	1,147,006.15	1,075,522.22	1,155,163.64	1,127,666.53	1,140,326.33	1,382,891.10	1,266,594.18
TRIGO FORRAJERO VERDE	47,595	30,621.44	25,663	14,643	14,811	10,354	13,128	5,858	10,785	5,738.20	21,279.42	6,044.00
TRITICALE FORRAJERO	2,615	4,835	5,913	6,992	16,237.80	24,887.25	26,687.95	18,599	19,733.70	8,926	41,060.75	39,803.00
T O T A L :	3,124,560.29	3,551,082.57	3,523,170.44	3,709,811.42	3,957,711.90	4,304,294.34	4,040,385.32	4,116,326.76	4,187,908.50	3,762,344.94	4,412,086.04	6,534,469.70

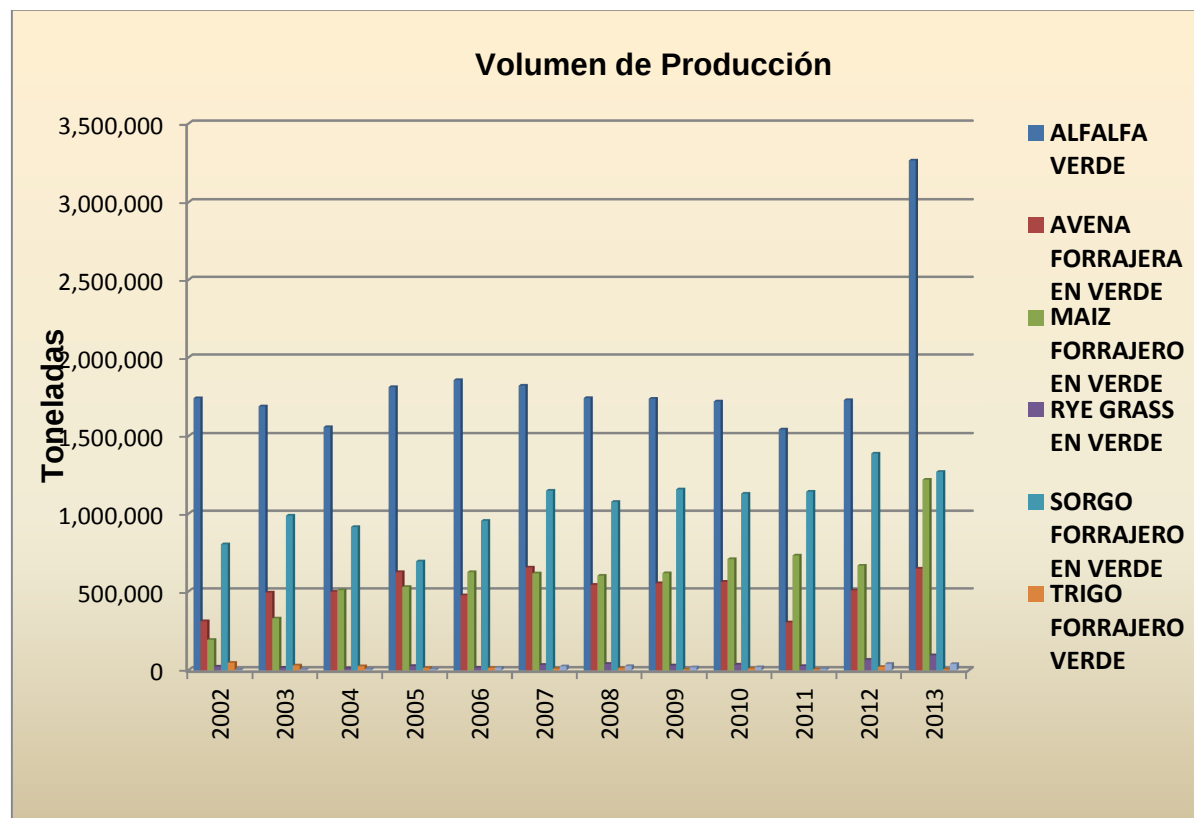


Figura 5. Volumen de producción de los principales cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera (2002-2013)

El uso estimado de fertilizantes por cada uno de los cultivos forrajeros se calculó de acuerdo a los datos de extracción de N según el volumen de producción, mostrados en la siguiente tabla: (López Calderón *et al.*, 2013)

Cuadro 5. Constantes de extracción de nitrógeno por tonelada de producto cosechado y contenido de humedad a la cosecha, utilizadas para estimar el requerimiento de nitrógeno en diversos cultivos de la Comarca Lagunera

Cultivo	kg de N por ton de producto cosechado	Contenido de humedad en la cosecha
Alfalfa verde	50.00	
Avena forrajera en verde	19.20	20%
Maiz forrajero en verde	13.90	33%
Rye grass en verde	19.00	20%
Sorgo forrajero en verde	13.40	28%
Trigo forrajero verde	19.00	20%
Triticale forrajero verde	19.00	20%
Zacate ballico	19.00	20%

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Emisión de GEI

5.1.1 Subcategoría ganadería

La estimación de producción de metano proveniente de la fermentación entérica y producción de estiércol fue de $531 \text{ gr} \cdot \text{vaca} \cdot \text{día}^{-1}$, valor muy superior al reportado por Patel *et al.* (2011) en vacas lecheras en Suecia que reporta valores que van de 282 a $321 \text{ gr} \cdot \text{vaca} \cdot \text{día}^{-1}$, dependiendo de la composición de las dietas. Las diferencias pueden deberse a la mayor intensidad del sistema de producción en la CL, ya que en Suecia el promedio de producción reportado por los autores es de 5795 litros por lactancia, mientras el valor promedio en la región rebasa los 8000 litros por lactancia.

Las emisiones de metano totales fueron en promedio de 83.445 gigagramos al año durante el periodo de 2001 al 2013, equivalentes a 1,919,228.73 toneladas de CO_2 al año, mostrando una tendencia estable debido principalmente a que los inventarios de ganado y su productividad han variado poco durante el periodo evaluado. Lo mismo puede observarse en las emisiones de óxido nitroso que fueron de 17.52 gigagramos promedio anual equivalentes a 5,181,831.55 toneladas de CO_2 durante el mismo periodo.

Las emisiones totales en equivalencias de CO_2 fueron de 7,101,060.19 toneladas al año con un precio internacional de emisiones de 111,841,699.00 euros. Este costo es inferior al valor de la producción de la leche producida, que ascienda a 364,185,403.00 euros. Éste sector enfrenta retos difíciles al tener que reducir sus emisiones de GEI al mismo tiempo que debe cubrir un aumento en la demanda de productos de origen animal debido al aumento de la población (Gerber *et al.*, 2013).

Cuadro 6. Emisiones de metano por fermentación entérica y producción de estiércol en Gg al año y su equivalencia en CO₂ en la Comarca Lagunera (2002-2013)

Año	Fermentación Entérica	Producción de Estiércol	Emisión Total	Equivalencias toneladas CO ₂
2002	52.023	33.507	85.530	1,967,188.712
2003	48.586	31.292	79.878	1,837,192.804
2004	50.216	32.343	82.559	1,898,853.182
2005	51.740	33.324	85.064	1,956,479.912
2006	52.076	33.540	85.616	1,969,169.840
2007	49.908	32.144	82.051	1,887,180.590
2008	49.944	32.167	82.111	1,888,554.886
2009	48.368	31.152	79.520	1,828,951.490
2010	49.660	31.984	81.644	1,877,814.852
2011	50.527	32.543	83.069	1,910,597.166
2012	52.255	33.656	85.911	1,975,943.156
2013	51.833	33.384	85.216	1,919,228.733

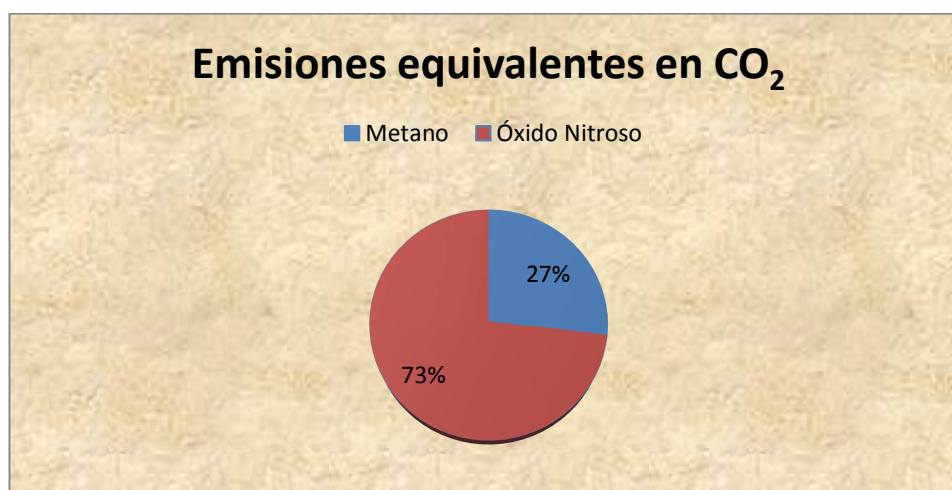


Figura 6. GEI emitidos por fermentación entérica y producción de estiércol del bovino lechero en la Comarca Lagunera (2002-2013)

Cuadro 7. Emisiones de N₂O-N por manejo de estiércol y equivalencias en óxido nitroso en Gg al año y su conversión a toneladas de CO₂ generados por el bovino lechero en la Comarca Lagunera (2002-2013)

Año	N₂O-N	Óxido nitroso	Equivalencias toneladas de CO₂
2002	11.42	17.94	5,311,321.35
2003	10.66	16.76	4,960,338.22
2004	11.02	17.32	5,126,818.48
2005	11.36	17.85	5,282,408.07
2006	11.43	17.96	5,316,670.30
2007	10.95	17.21	5,095,303.00
2008	10.96	17.23	5,099,013.54
2009	10.62	16.68	4,938,087.04
2010	10.90	17.13	5,070,015.93
2011	11.09	17.43	5,158,526.71
2012	11.47	18.02	5,334,957.95
2013	11.38	17.88	5,291,853.07

Cuadro 8. Evolución del precio internacional de las emisiones de CO₂ generadas por el bovino lechero en la Comarca Lagunera (2002-2013, Euros)

Año	CO₂ total	Precio
2002	7,278,510.06	114,636,533.43
2003	6,797,531.03	107,061,113.67
2004	7,025,671.66	110,654,328.66
2005	7,238,887.98	114,012,485.67
2006	7,285,840.14	114,751,982.27
2007	6,982,483.59	109,974,116.61
2008	6,987,568.43	110,054,202.73
2009	6,767,038.53	106,580,856.91
2010	6,947,830.78	109,428,334.84
2011	7,069,123.88	111,338,701.04
2012	7,310,901.11	115,146,692.48
2013	7,251,831.19	114,216,341.27

Las emisiones de GEI del ganado lechero en la región representan aproximadamente el 10 % de las emisiones totales por todas las especies ganaderas en el estado de Aguascalientes estimadas por López *et al* presentadas en el 2013.

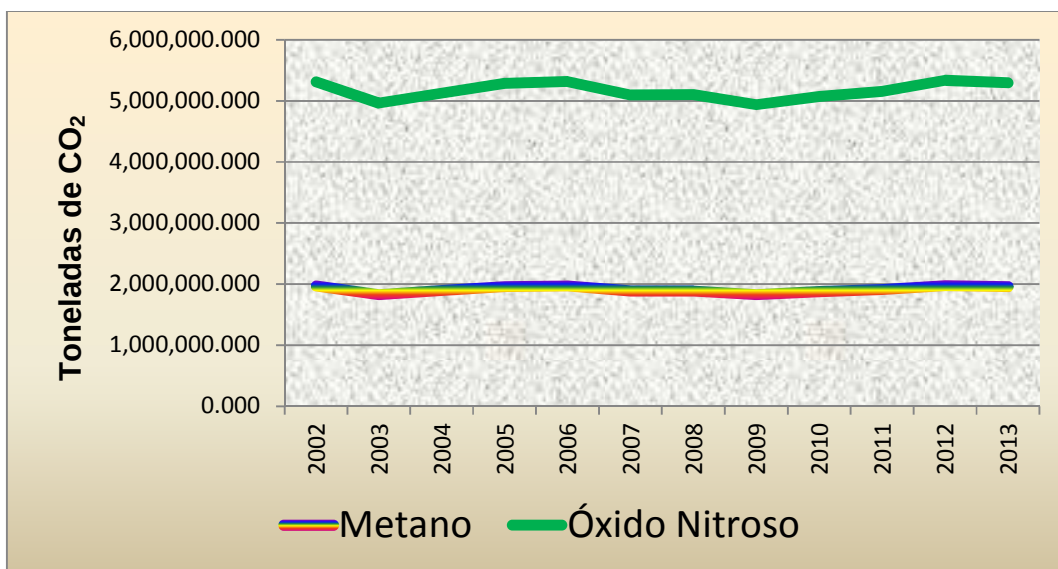


Figura 7. Emisiones equivalentes en CO₂ de metano y óxido nitroso por el ganado bovino lechero en la Comarca Lagunera (2002-2013)

5.1.2 Subcategoría agricultura

Durante el periodo de 2002 a 2013 el promedio de emisiones equivalentes de CO₂ debidas a la producción de forrajes para alimentar el ganado fue de 12,922,940.9 ton al año, como resultado de las aplicaciones estimadas de fertilizantes nitrogenados, principalmente, con un incremento durante el periodo del 132 %, al pasar de 8,291,498.7 ton en 2002 a 19,297,817.2 ton en 2013. El cultivo que contribuyó con más emisiones fue el sorgo forrajero con el 39 % del total, seguido del maíz forrajero y la avena con el 27 % y el 19 % respectivamente.

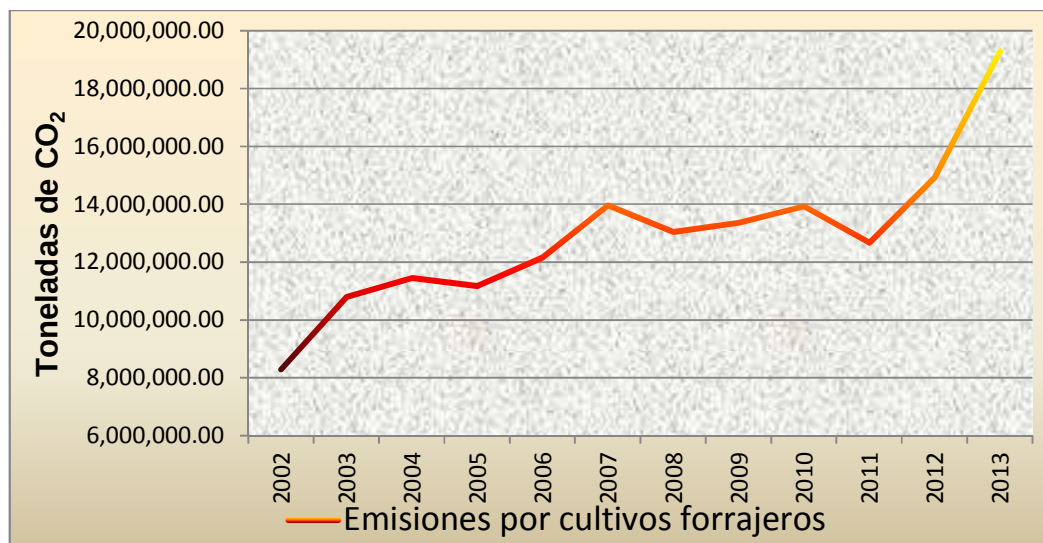


Figura 8. Emisiones equivalentes en CO₂ de óxido nitroso por los cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera (2002-2013)

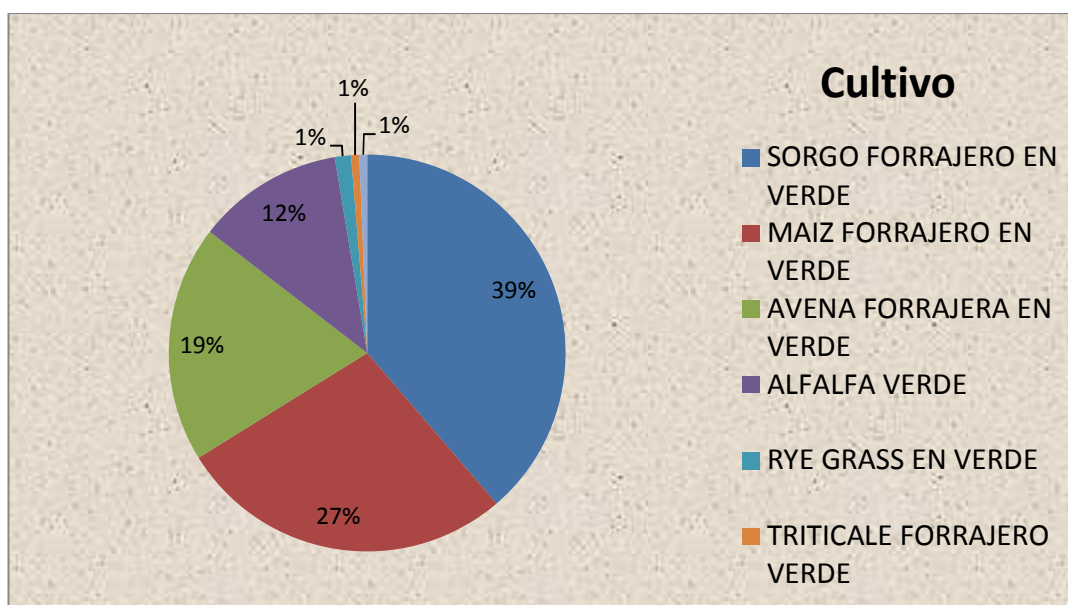


Figura 9. Participación en las emisiones de los distintos cultivos forrajeros en la Comarca Lagunera (2002-2013)

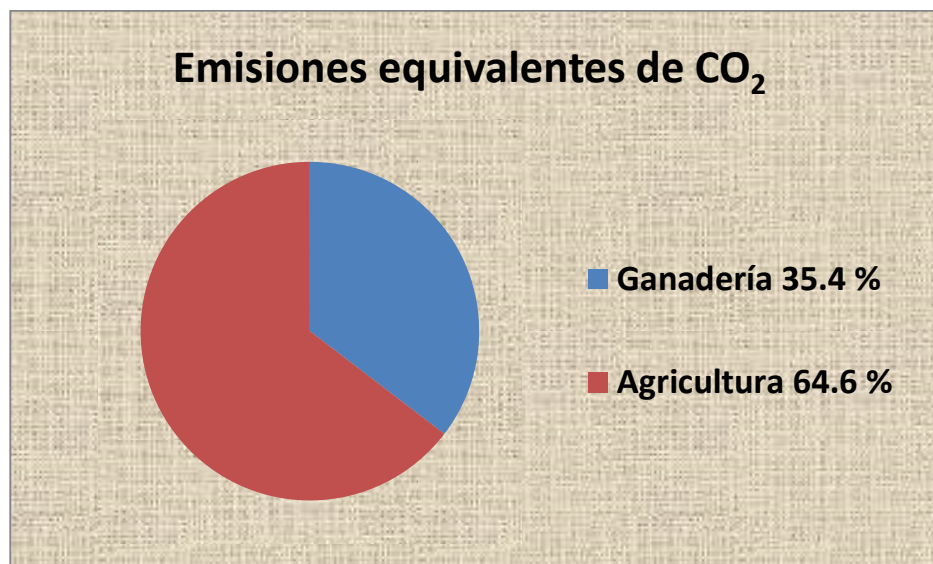


Figura 10. Participación porcentual de las emisiones de la ganadería y la agricultura en la Comarca Lagunera (2002-2013)

5.2 Huella Hídrica

El consumo de agua estimado por la ganadería de Bovino Lechero en la Comarca Lagunera para los años 2003 a 2013 es de 4,067.24 millones de $\text{m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$, con un costo de 13,219 millones de Euros, costo muy superior al valor de la producción de la leche producida.

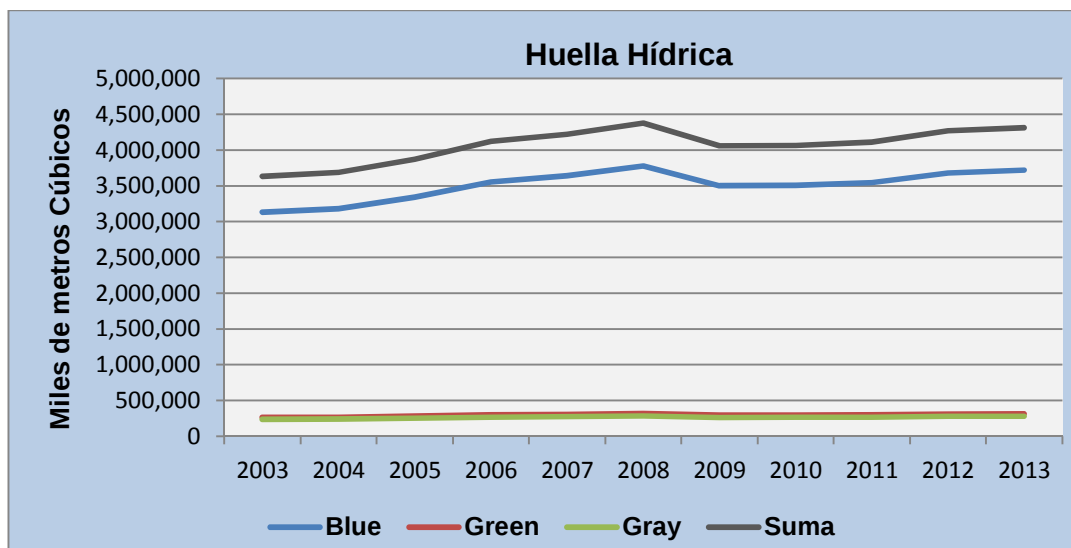


Figura 11. Evolución de la Huella Hídrica de la producción del bovino lechero en la Comarca Lagunera (2003-2013)

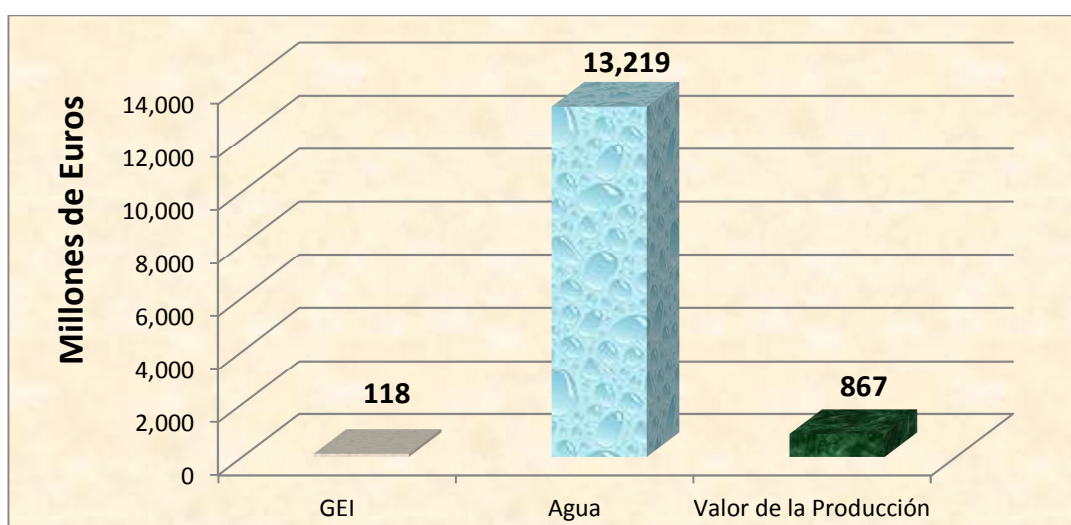


Figura 12. Comparativo de costos ambientales (gases de efecto invernadero y huella hídrica) y valor de la producción del bovino lechero en la Comarca Lagunera (2002-2014)

Es evidente que el mayor impacto ambiental de la producción de leche se da en el consumo de agua, que al ser un recurso escaso en la zona es importante buscar alternativas para mitigar el problema, teniendo como opción más viable una reconversión de las actividades económicas hacia

otras con menor impacto, así como una estratificación del sistema de producción, mudando parte de su actividad ganadera a zonas con una mayor disponibilidad de agua.

Los formuladores de políticas y los profesionales involucrados en la gestión agrícola enfrentan el reto de asegurarse de que las medidas que se han establecido para garantizar que los terrenos agrícolas proporcionen suficiente apoyo y regulación de los servicios de los ecosistemas, y que el impacto negativo sobre el bienestar humano derivado de la disminución en el estado de ecosistemas sea limitado (Kumar *et al.*, 2011).

La bioenergía puede jugar un papel fundamental para la mitigación, pero hay cuestiones a considerar, tales como la sostenibilidad de las prácticas y la eficiencia de los sistemas de bioenergía (Smith *et al.*, 2014). Posibles intervenciones para reducir emisiones deberán estar basadas en tecnologías y prácticas que mejoren la eficiencia de la producción a nivel de hato. Esto incluye el uso de alimentos de mejor calidad y con dietas balanceadas para reducir las emisiones entéricas y del estiércol (Gerber *et al.*, 2013). Prácticas de manejo del estiércol que aseguren la recuperación y reciclaje de nutrientes y energía contenidos en él y mejoras en la eficiencia del uso de energía en la cadena de suplementos puede contribuir en la mitigación (Gerber *et al.*, 2013).

Algunas tecnologías prometedoras tales como aditivos alimenticios, vacunas y métodos de selección genética tienen un gran potencial para reducir las emisiones pero aún deben desarrollarse en el futuro para ser opciones viables para mitigación (Gerber *et al.*, 2013). Algunas opciones para reducir la emisión de GEI son las siguientes: (Smith *et al.*, 2014).

CH4: Mejora de los piensos y aditivos alimenticios para reducir las emisiones procedentes de la fermentación entérica; incluida la mejora de forraje, aditivos alimenticios (compuestos bioactivos, grasas),

ionóforos/antibióticos, potenciadores de propionato, inhibidores de arqueobacterias, nitrato y suplementos de sulfato.

CH₄: Razas mejoradas con una mayor productividad (emisiones tan bajas por unidad de producto) o con la reducción de las emisiones procedentes de la fermentación entérica; tecnología microbiana tales como vacunas arqueas, metanotrofos, acetógenos, defaunación del rumen, bacteriófagos y probióticos; mejora de la fertilidad.

CH₄: Manipular de ropa de cama y condiciones de almacenamiento, digestores anaeróbicos; biofiltros, aditivos dietéticos.

N₂O: Manipular las dietas del ganado para reducir N excrementos, suciedad aplicada y animal alimentado inhibidores de la nitrificación, inhibidores de la ureasa, el tipo de fertilizante, la tasa y el tiempo, manipular las prácticas de aplicación de estiércol, manejo del pastoreo.

Mitigación de la Huella Hídrica.

Reconociendo que mucha gente en la región, principalmente del sector rural, depende laboral y económicamente de la ganadería de bovino lechero, no se pretende que la actividad desaparezca por completo. Debido a que el mayor impacto de la ganadería sobre los recursos hídricos provienen de la producción de alimentos para el ganado, parece viable realizar una estratificación del sistema de producción completo y utilizar otras zonas del país con mayor disponibilidad de agua para producir los forrajes y granos. Ésta estratificación también se puede realizar con la cría del ganado, en dónde los animales en etapa no productiva (como la crianza), puedan ser llevados a otra zona y lograr su desarrollo en un sistema menos vulnerable.

Lo anterior sólo puede ser posible con la disposición de los sectores involucrados (principalmente productores) a encontrar alternativas de mitigación del problema ambiental existente. Se debe planear con detalle la metodología y la logística para poder llevar esto a la práctica.

El uso de cruasas con razas más eficientes en cuanto al uso de energía y agua es otra opción, en dónde se pueden considerar razas lecheras tales como Jersey, y en menor medida, Pardo Suizo, que al ser animales más compactos sus requerimientos para mantenimiento y crecimiento son menores. Si bien esto podría reducir el volúmen de producción de leche, pudiera compensarse esto con una aumento en las concentraciones de nutrimentos en ella, especialmente grasa y proteína.

VI. CONCLUSIONES

El impacto del ganado lechero en la Comarca Lagunera tiene un alto costo económico y ambiental. De integrar el costo económico al costo de producción, generaría una nula rentabilidad. Los productores de bovino lechero en la zona son responsables de gran parte del impacto ambiental generado por el hombre. El mayor costo ambiental y económico es generado por el uso del agua para producir leche de bovino, siendo un recurso escaso en la región. Dentro de las estrategias de mitigación se podría incluir un cobro por el uso del agua y generación de emisiones según los precios internacionales, lo cual obligaría al sector a ser más eficiente y reducir el impacto antropogénico. Otra estrategia puede ser la estratificación del sistema de producción mudando parte de la actividad a otras regiones donde el impacto ambiental sea menor.

Desde el punto de vista de emisión de gases de efecto invernadero por el ganado lechero y la producción de forrajes en la Comarca Lagunera, su impacto tiene un menor costo ambiental y económico que aquel generado cuando se considera un costo económico y ambiental por el uso del agua. Por lo anterior, y solamente considerando los gases de efecto invernadero, se observa un costo económico y ambiental menor que el valor de la producción del bovino lechero en la Comarca Lagunera, lo cual sugiere que el beneficio económico, y posiblemente social, sea mayor al problema ambiental generado.

El valor económico de la producción de bovino lechero es significativo en el desarrollo económico de la región. Sin embargo, la mayor parte del beneficio económico pudiera estar concentrado en un reducido número de familias propietarias de la mayor parte del bovino lechero. Lo anterior hace necesario estudios futuros que cuantifiquen el beneficio social de dicha actividad en la Comarca Lagunera. La cuantificación de emisiones de gases

de efecto invernadero aunado a la huella hídrica son herramientas útiles para evaluar el impacto ambiental de diferentes actividades antropogénicas, y su aplicación tiene alcances locales, regionales y globales.

VII. LITERATURA CITADA

- Alemu, A.W., J. Dijkstra, A. Bannink, J. France, E. Kebreab, 2011. Rumen stoichiometric models and their contribution and challenges in predicting enteric methane production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166: 761-778. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.054
- Cardoso, L.A. 2012. Environmental and economics impacts of livestock productivity increase in sub-Saharan Africa. *Trop Animal Health Prod.* 44:1879-1884. DOI 10.1007/s11250-012-0151-z
- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y. 2004. Water footprints of nations. Value of Water Research Report Series No. 16. Available online: [www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf]. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE.
- Chukwuocha, A.C, Ogbuagu D.H. and Okoro V.O. A Comparative Analysis of Emission of Methane from Livestock Farms in Enugu, Eastern Nigeria. *Journal of Agricultural Science and Technology A* 1 (2011) 908-912. Earlier title: *Journal of Agricultural Science and Technology*, ISSN 1939-1250
- Delgado, C. 2005 Rising demand for meat and milk in developing countries: implications for grasslands-based livestock production. In *Grassland: a global resource* (ed. D. A. McGiloway), pp. 29–39. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Enishi, O., 2007. Greenhouse gas emissions caused from livestock in Japan. *Proceedings of the 4th Workshop on Greenhouse Gas Inventories in Asia* Jakarta, (GGIAJ' 07), National Institute for Environmental Studies, Japan.
- Environmental Finance 2011 está disponible en <http://www.environmentalfinance.com/news/view/1970> al 10/11/2012

- Foley A. Jonathan, Navin Ramankutty, Kate A. Brauman, Emily S. Cassidy, James SGERber, Matt Johnston, Nathaniel D. Mueller, Christine O'Connell, Deepak K. Ray, Paul C. West, Christian Balzer, Elena M. Bennett, Stephen R. Carpenter, Jason Hill, Chad Monfreda, Stephen Polasky, Johan Rockström, John Sheehan, Stefan Siebert, David Tilman, and David P. M. Zaks. 2011. Solutions for a Cultivated Planet. *Nature* 478, 337–342. doi:10.1038/nature10452
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- IPCC 2007. Climate change 2007: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007 B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jungbluth T, Hartung E, Brose G. 2001. Greenhouse gas emissions from animal house and manure stores. *Nutr Cycl Agroecosyst*. 60:45. doi:10.1023/A:1012621627268.
- Kumar, P., Thiaw, I., Yashiro, M., Molinero, C. 2011. Food and Ecological Security: Identifying synergy and trade-offs. In UNEP Policy Series. Ecosystem Management Issue No. 4, June 2011.
- Kjellsson, J., Liu, S. 2012. Transboundary Waters. Published by Dr. McKinney. 27 March 2012
- López Calderón, M. J.; Figueroa Viramontes, U; Fortis Hernández, M., Núñez Hernández, G. 2013. Estimación del contenido de nitrógeno en los estiércoles y su balance con el requerimiento de nitrógeno de los cultivos en la Comarca Lagunera. *Agricultura Orgánica: Sexta parte*, 2013. 295-313. Torreón, Coah.

- López Santos, A., Torres González, J. A., Romo Durán, J. J. 2013. Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2005-2009 del Estado de Aguascalientes. Categoría Agricultura. Aguascalientes, Ags.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. 2010. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, Value of Water Research Report Series No. 48, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. 2012. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems* (2012) 15: 401–415. DOI: 10.1007/s10021-011-9517-8. Pp. 401-415.
- Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S., van Cleemput, O. 1998. Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle, *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 52, 225–248.
- Rota, A. and Sidahmed, 2010. Challenges and Strategies for Livestock Development. IFAD's Livestock Position Paper. Ed IFAD, Rome.
- SAGARPA, 2006. Plan rector del Sistema Producto Bovino-Leche.
- Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). 2010. Livestock in a Changing Landscape: Drivers, Consequences, and Responses. Volume 1. [Steinfeld, H., Mooney, H. A., Schneider, F. and Neville, L. E. (Eds.)]. Published by Island Press 2010.
- Steinfeld Henning, Pierre Gerber, Tom Wassenar, Vincent Castel, Mauricio Rosales, Cees de Haan. In Livestock Long Shadow. Edit FAO Rom 2006. ISBN 978-92-5-105571-7
- SIAP 2013. Población ganadera 2002-2011.

- Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E. A. Elsiddig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N. H. Ravindranath, C. W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, F. Tubiello, 2014: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel, J.C. Minx (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Thornton, Philip K. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2010) 365, 2853–2867 doi:10.1098/rstb.2010.0134
- Patel, M. Wredle, E., Börjesson, G., Danielsson, R., Iwaasa, A. D., Spörndly, E., Bertilsson, J. 2011. Enteric methane emissions from dairy cows fed different proportions of highly digestible grass silage. *Acta Agriculturae Scand Section A*, 2011; 61: 128136. ISSN 0906-4702 print/ISSN 1651-1972 online # 2011 Taylor & Francis <http://dx.doi.org/10.1080/09064702.2011.616216>
- Point Carbon, Thompson Reuters – está disponible en <http://pointcarbon.com/aboutus/pressroom> al 2011/11/10
- World Bank. 2009 Minding the stock: bringing public policy to bear on livestock sector development. Report no. 44010-GLB.Washington, DC.
- WWF. 2014. Living Planet Report 2014: species and spaces, people and places. [McLellan, R., Iyengar, L., Jeffries, B., N. Oerlemans (Eds)]. WWF, Gland, Switzerland.

VIII. ANEXO

Cuadro 9. Hoja de cálculo de emisiones de metano por fermentación entérica y producción de estiércol

Fermentación					Estiércol		
Año	Inventario	Factor	Unidad	Emisión	Factor	Unidad	Emisión
2001	446452	118	kg/head/yr	52.681	76	kg/head/yr	33.930
2002	440876	118	kg/head/yr	52.023	76	kg/head/yr	33.507
2003	411742	118	kg/head/yr	48.586	76	kg/head/yr	31.292
2004	425561	118	kg/head/yr	50.216	76	kg/head/yr	32.343
2005	438476	118	kg/head/yr	51.740	76	kg/head/yr	33.324
2006	441320	118	kg/head/yr	52.076	76	kg/head/yr	33.540
2007	422945	118	kg/head/yr	49.908	76	kg/head/yr	32.144
2008	423253	118	kg/head/yr	49.944	76	kg/head/yr	32.167
2009	409895	118	kg/head/yr	48.368	76	kg/head/yr	31.152
2010	420846	118	kg/head/yr	49.660	76	kg/head/yr	31.984
2011	428193	118	kg/head/yr	50.527	76	kg/head/yr	32.543
2012	442838	118	kg/head/yr	52.255	76	kg/head/yr	33.656
2013	439260	118	kg/head/yr	51.833	76	kg/head/yr	33.384

Cuadro 10. Hoja de cálculo de emisiones de N₂O

Año	Inventario	Excreción de N	Fracción de excreción de N	Unidad	N₂O-N	Óxido nitroso	Equivalencias toneladas de CO₂
2001	446452	70	0.37	kg/head/yr	11.56	18.17	5,378,496.53
2002	440876	70	0.37	kg/head/yr	11.42	17.94	5,311,321.35
2003	411742	70	0.37	kg/head/yr	10.66	16.76	4,960,338.22
2004	425561	70	0.37	kg/head/yr	11.02	17.32	5,126,818.48
2005	438476	70	0.37	kg/head/yr	11.36	17.85	5,282,408.07
2006	441320	70	0.37	kg/head/yr	11.43	17.96	5,316,670.30
2007	422945	70	0.37	kg/head/yr	10.95	17.21	5,095,303.00
2008	423253	70	0.37	kg/head/yr	10.96	17.23	5,099,013.54
2009	409895	70	0.37	kg/head/yr	10.62	16.68	4,938,087.04
2010	420846	70	0.37	kg/head/yr	10.90	17.13	5,070,015.93
2011	428193	70	0.37	kg/head/yr	11.09	17.43	5,158,526.71
2012	442838	70	0.37	kg/head/yr	11.47	18.02	5,334,957.95
2013	439260	70	0.37	kg/head/yr	11.38	17.88	5,291,853.07

Cuadro11. Hoja de cálculo de emisiones de los cultivos forrajeros

	Volumen Producción (Ton.)										
Cultivo	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Alfalfa verde	1,741,435	1,689,184.88	1,557,509.69	1,811,929.07	1,856,580.29	1,820,981.20	1,742,149.70	1,737,928.73	1,720,559	1,542,345.14	1,729,325.42
Avena forrajera en verde	311,064.25	493,530.09	498,548.60	622,727.63	475,686.32	651,854.33	542,560.63	552,145.63	561,269.63	303,866.28	507,093.34
Maiz forrajero en verde	192,972	328,826.80	508,163	528,986	622,628	615,026.90	599,986.93	615,986.40	711,721.60	734,388.99	664,090.77
Rye grass en verde	23,072.50	15,875.75	11,455.88	27,164.45	16,507.84	34,184.51	40,349.89	30,645.36	36,173.04	26,754	66,345.24
Sorgo forrajero en verde	805,806.54	988,208.61	915,917.27	697,369.27	955,260.65	1,147,006.15	1,075,522.22	1,155,163.64	1,127,666.53	1,140,326.33	1,382,891.10
Trigo forrajero verde	47,595	30,621.44	25,663	14,643	14,811	10,354	13,128	5,858	10,785	5,738.20	21,279.42
Triticale forrajero verde	2,615	4,835	5,913	6,992	16,237.80	24,887.25	26,687.95	18,599	19,733.70	8,926	41,060.75
T o t a l :	3,163,469.29	3,580,011.57	3,559,524.44	3,766,588.42	3,999,565.90	4,313,246.34	4,048,645.32	4,127,509.76	4,202,916.50	3,775,123.94	4,450,738.04
	Extracción de N Kg										
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Alfalfa verde	1,178,350	1,236,250.00	1,214,925.00	1,218,625.00	1,176,475.00	1,155,000.00	1,149,000.00	1,078,387.50	1,120,088	1,048,075.00	1,142,092.00
Avena forrajera en verde	1,194,486.72	493,530.09	498,548.60	622,727.63	475,686.32	651,854.33	542,560.63	552,145.63	561,269.63	303,866.28	507,093.34
Maiz forrajero en verde	885,163	1,508,328.53	2,330,944	2,426,459	2,855,995	2,821,128.39	2,752,140.05	2,825,529.62	3,264,666.98	3,368,642.30	3,046,184.36
Rye grass en verde	87,675.50	60,327.85	43,532.34	103,224.91	62,729.79	129,901.14	153,329.58	116,452.37	137,457.55	101,665	252,111.91
Sorgo forrajero en verde	3,023,386.14	3,707,758.70	3,436,521.60	2,616,529.50	3,584,137.96	4,303,567.07	4,035,359.37	4,334,173.98	4,231,004.82	4,278,504.39	5,188,607.41
Trigo forrajero verde	180,861	116,361.47	97,519	55,643	56,282	39,345	49,886	22,260	40,983	21,805.16	80,861.80
Triticale forrajero verde	9,937	18,373	22,469	26,570	61,703.64	94,571.55	101,414.21	70,676	74,988.06	33,919	156,030.85
T o t a l :	6,707,713.12	7,250,859.85	7,782,605.22	7,285,531.42	8,432,054.35	9,229,385.28	8,815,078.24	9,042,121.09	9,487,487.94	9,205,037.33	10,519,859.27

Cuadro 11 (continuación)

	Aplicación 46-00-00 Kg										
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Alfalfa verde	2,561,630	2,687,500.00	2,641,141.30	2,649,184.78	2,557,554.35	2,510,869.57	2,497,826.09	2,344,320.65	2,434,973	2,278,423.91	2,482,808.70
Avena forrajera en verde	2,596,710.26	1,072,891.50	1,083,801.30	1,353,755.72	1,034,100.70	1,417,074.63	1,179,479.63	1,200,316.59	1,220,151.37	660,578.87	1,102,376.83
Maiz forrajero en verde	1,924,266	3,278,975.07	5,067,269	5,274,910	6,208,684	6,132,887.81	5,982,913.15	6,142,455.69	7,097,102.13	7,323,135.43	6,622,139.92
Rye grass en verde	190,598.91	131,147.50	94,635.53	224,401.98	136,369.11	282,393.78	333,325.18	253,157.32	298,820.77	221,011	548,069.37
Sorgo forrajero en verde	6,572,578.56	8,060,345.01	7,470,699.12	5,688,107.61	7,791,604.26	9,355,580.60	8,772,520.37	9,422,117.34	9,197,836.57	9,301,096.50	11,279,581.32
Trigo forrajero verde	393,176	252,959.72	211,999	120,964	122,352	85,533	108,449	48,392	89,093	47,402.52	175,786.51
Triticale forrajero verde	21,602	39,941	48,847	57,760	134,138.35	205,590.33	220,465.67	153,644	163,017.52	73,737	339,197.50
T o t a l :	14,581,985.05	15,762,738.80	16,918,707.00	15,838,111.79	18,330,552.93	20,063,881.05	19,163,213.56	19,656,784.98	20,624,973.79	20,010,950.71	22,869,259.28
	Emisiones N ₂ O-N Gg al año										
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Alfalfa verde	3.20	3.36	3.30	3.31	3.20	3.14	3.12	2.93	3.04	2.85	3.10
Avena forrajera en verde	3.25	1.34	1.35	1.69	1.29	1.77	1.47	1.50	1.53	0.83	1.38
Maiz forrajero en verde	2.41	4.10	6.33	6.59	7.76	7.67	7.48	7.68	8.87	9.15	8.28
Rye grass en verde	0.24	0.16	0.12	0.28	0.17	0.35	0.42	0.32	0.37	0.28	0.69
Sorgo forrajero en verde	8.22	10.08	9.34	7.11	9.74	11.69	10.97	11.78	11.50	11.63	14.10
Trigo forrajero verde	0.49	0.32	0.26	0.15	0.15	0.11	0.14	0.06	0.11	0.06	0.22
Triticale forrajero verde	0.03	0.05	0.06	0.07	0.17	0.26	0.28	0.19	0.20	0.09	0.42
T o t a l :	18.23	19.70	21.15	19.80	22.91	25.08	23.95	24.57	25.78	25.01	28.59

Cuadro 11 (continuación)

	Emisiones N ₂ O Gg al año										
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Alfalfa verde	5	5.28	5.19	5.20	5.02	4.93	4.91	4.60	5	4.48	4.88
Avena forrajera en verde	5.10	2.11	2.13	2.66	2.03	2.78	2.32	2.36	2.40	1.30	2.17
Maiz forrajero en verde	4	6.44	10	10	12	12.05	11.75	12.07	13.94	14.38	13.01
Rye grass en verde	0.37	0.26	0.19	0.44	0.27	0.55	0.65	0.50	0.59	0	1.08
Sorgo forrajero en verde	12.91	15.83	14.67	11.17	15.30	18.38	17.23	18.51	18.07	18.27	22.16
Trigo forrajero verde	1	0.50	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0.35
Triticale forrajero verde	0	0	0	0	0.26	0.40	0.43	0	0.32	0	0.67
T o t a l :	28.64	30.96	33.23	31.11	36.01	39.41	37.64	38.61	40.51	39.31	44.92
	Equivalencias en CO ₂ Ton al año										
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Alfalfa verde	1,489,405	1,562,589.29	1,535,635.02	1,540,311.72	1,487,035.17	1,459,891.30	1,452,307.45	1,363,055.01	1,415,763	1,324,740.76	1,443,575.91
Avena forrajera en verde	1,509,801.54	623,809.77	630,153.04	787,112.25	601,255.69	823,927.68	685,783.16	697,898.36	709,430.87	384,079.43	640,953.38
Maiz forrajero en verde	1,118,823	1,906,489.79	2,946,255	3,066,984	3,609,906	3,565,836.20	3,478,636.64	3,571,399.24	4,126,457.95	4,257,880.17	3,850,301.35
Rye grass en verde	110,819.65	76,252.90	55,023.80	130,473.72	79,288.90	164,191.81	193,804.78	147,192.90	173,742.93	128,502	318,663.19
Sorgo forrajero en verde	3,821,484.96	4,686,514.88	4,343,677.92	3,307,228.28	4,530,261.33	5,439,601.86	5,100,593.99	5,478,288.23	5,347,884.98	5,407,923.25	6,558,270.85
Trigo forrajero verde	228,604	147,078.01	123,262	70,332	71,139	49,731	63,055	28,137	51,801	27,561.18	102,207.30
Triticale forrajero verde	12,560	23,223	28,401	33,583	77,991.87	119,536.09	128,185.04	89,333	94,783.04	42,873	197,219.12
T o t a l :	8,478,382.74	9,164,906.70	9,837,019.64	9,208,730.71	10,657,907.20	11,665,713.70	11,142,039.89	11,429,016.41	11,991,949.04	11,634,938.49	13,296,840.75

Cuadro 12. Hoja de cálculo de la Huella Hídrica

Huella Hídrica	AÑO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	LECHE (miles de lt.)	1,870,186	1,899,392	1,995,463	2,122,092	2,173,483	2,255,273	2,090,707	2,092,850	2,117,562	2,198,846
Blue	1,675	3,132,561	3,181,482	3,342,400	3,554,504	3,640,584	3,777,583	3,501,934	3,505,524	3,546,917	3,683,067
Green	141	263,696	267,814	281,360	299,215	306,461	317,994	294,790	295,092	298,576	310,037
Gray	126	235,643	239,323	251,428	267,384	273,859	284,164	263,429	263,699	266,813	277,055
Suma		3,631,901	3,688,620	3,875,189	4,121,102	4,220,904	4,379,741	4,060,152	4,064,315	4,112,306	4,270,159