



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

***ESTUDIO DE ABUNDANCIA DE METANO EN ZONAS  
GANADERAS DE MÉXICO Y SU EFECTO CON EL MEDIO AMBIENTE***

**TESINA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**QUIMICO**

**PRESENTA**

**RICARDO CRUZ CRUZ**



**Ciudad Universitaria, CD. MX., 2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** M. en C. José Manuel Méndez Stivalet

**VOCAL:** M. en C. María Isabel Gracia Mora

**SECRETARIO:** Dra. Claudia Inés Rivera Cárdenas

**1er. SUPLENTE:** Dra. Gema Luz Andraca Ayala

**2° SUPLENTE:** M. en C. Ricardo Alfredo Gutiérrez Márquez

## **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA, EDIFICIO F, LABORATORIO 205,  
FACULTAD DE QUÍMICA**

**Asesor del tema: Dra. CLAUDIA INÉS RIVERA CÁRDENAS** \_\_\_\_\_

**SUSTENTANTE: RICARDO CRUZ CRUZ** \_\_\_\_\_

## Índice general

<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
2.1 ATMÓSFERA Y SUS REGIONES .....	7
2.1.1 Tropósfera .....	7
2.1.2 Estratósfera .....	7
2.1.3 Mesósfera .....	7
2.1.4 Ionósfera.....	7
2.1.5 Exósfera.....	8
2.2 COMPOSICIÓN DE LA ATMÓSFERA .....	8
2.3 PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR A LA ATMÓSFERA.....	9
2.3.1 Conducción.....	10
2.3.2 Convección .....	10
2.3.3 Radiación.....	10
2.4 BALANCE ENERGÉTICO DE LA TIERRA. ....	11
2.5 EFECTO INVERNADERO.....	13
2.6 GASES DE EFECTO INVERNADERO. ....	14
2.6.1 Principales gases de efecto invernadero .....	15
2.7 AUMENTO DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO .....	15
2.7.1 Efecto invernadero intensificado.....	16
2.7.2 Calentamiento global .....	16
2.7.3 Cambio climático.....	17
2.8 METANO .....	18
2.8.1 Fuentes de emisión de metano.....	18
2.9 FERMENTACIÓN ENTÉRICA (GANADO BOVINO).....	19
2.9.1 Proceso de fermentación entérica. ....	20
2.10 ESTRATEGIAS PARA LA MITIGACIÓN DE EMISIONES DE CH <sub>4</sub> . ....	22
2.10.1 Estrategias dedicadas a la metanogénesis (durante la fermentación entérica).....	23
2.10.2 Estrategias dedicadas a la modificación nutricional del ganado. ....	23
2.10.3 Uso de los residuos ganaderos .....	23
<b>3. ZONAS DE ESTUDIO</b> .....	<b>26</b>
3.1 COAHUILA .....	26
3.1.1 Región: Torreón.....	27
3.2 DURANGO .....	27
3.2.1 Región: El Oro .....	28
3.3 JALISCO .....	28
3.3.1 Región: San Miguel.....	28
3.4 VERACRUZ .....	29

3.4.1 Región: Ignacio de la Llave.....	30
<b>4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>31</b>
<b>5. OBJETIVOS.....</b>	<b>32</b>
5.1 OBJETIVO GENERAL .....	32
5.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	32
<b>6. METODOLOGÍA .....</b>	<b>33</b>
6.1 FUNDAMENTOS DE PERCEPCIÓN REMOTA.....	33
6.1.1 Percepción remota satelital.....	34
6.2 ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN .....	35
6.2.1 Instrumentación de AIRS .....	36
6.3 PROCEDIMIENTO.....	37
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>38</b>
7.1 REGIÓN DE TORREÓN (COAHUILA) .....	38
7.2 REGIÓN DE EL ORO (DURANGO) .....	40
7.3 REGIÓN SAN MIGUEL (JALISCO).....	43
7.4 REGIÓN IGNACIO DE LA LLAVE (VERACRUZ) .....	45
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>50</b>
<b>10. ANEXO.....</b>	<b>55</b>

## 1. Introducción

El estudio del medio ambiente resulta importante debido a los problemas actuales que se presentan en el mundo tales como: calentamiento global, desabasto de agua, contaminación en suelo, aire, agua entre otros, a partir de estos problemas se desarrolló una subdisciplina de la química, la química ambiental la cual trata sobre los orígenes, transporte, reacciones, efectos y destino de las especies químicas en el agua, el aire, el terreno y los ambientes vivos, a su vez no sólo debe explicar los fenómenos y problemas ambientales si no también llegar a soluciones y formas para evitarlos.

Dentro de la química ambiental existen diferentes ramas como la química acuática (química del agua), la geoquímica, química del suelo y la química atmosférica dedicada a los fenómenos químicos que ocurren en la atmósfera la cual se ve influenciada por la radiación electromagnética dando lugar a reacciones fotoquímicas que dan lugar a una variedad de productos como el smog fotoquímico.

Uno de los principales problemas de estudio de la química atmosférica son los gases de efecto invernadero (GEI), los cuales desde hace unos años el hombre está produciendo un aumento de los gases de efecto invernadero con lo que la atmósfera retiene más calor y devuelve a la Tierra aún más energía causando un desequilibrio del balance radiativo.

En pequeñas concentraciones los gases de efecto invernadero son vitales para la supervivencia en la Tierra, ya que capturan radiación infrarroja reteniendo el calor. Cada vez más grandes cantidades de GEI impiden el regreso de la energía infrarroja al espacio provocando un aumento en la temperatura en la atmósfera al cual se le llama comúnmente calentamiento global.

Las actividades agrícolas son uno de los principales contribuyentes a la emisión de gases y los consiguientes problemas ambientales mundiales. Contribuye entre un 10% y un 12% del total de las emisiones antropogénicas globales de gases de efecto invernadero, incluyendo alrededor del 50% de las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ). Algunas de las principales fuentes de emisiones de metano son la fermentación entérica y el manejo del estiércol, que representan el 53% y el 11%,

respectivamente, provenientes principalmente de animales como la vaca (rumiantes) y de animales monogástricos como el cerdo.

El metano es un gas de efecto invernadero mucho más potente en cuanto a su capacidad de calentamiento que el dióxido de carbono. Por esta razón existe cada vez más interés en cuantificar la abundancia de metano presente en la atmósfera, así como estudiar los cambios que han ocurrido a lo largo de los años. La aportación de la actividad ganadera a la abundancia de los gases de efecto invernadero, especialmente metano, ha sido discutida ampliamente durante años recientes. De esta forma se atribuye una cierta contribución a partir de la actividad ganadera al calentamiento global.

Debido a la importancia del monitoreo de metano en la atmósfera existen herramientas de libre acceso que nos permiten indagar en datos de origen satelital y de tal forma consultar y llevar acabo cálculos sobre los cambios de su abundancia en diversas partes del planeta.

## **2. Marco Teórico**

### **2.1 Atmósfera y sus regiones**

La atmósfera se puede definir como una capa de gases que rodea la superficie terrestre de manera natural. En esta se define el tiempo atmosférico, y gracias a ella existe vida sobre la Tierra. La cual está conformada por diversas regiones o capas.

#### **2.1.1 Tropósfera**

Está situada desde el nivel del suelo hasta unos 15 kilómetros de altitud, contiene el 85% de la masa total de la atmósfera, se producen importantes vientos verticales y horizontales, y gran cantidad de agua, es la zona de las nubes y las modificaciones del tiempo atmosférico (lluvias, cambios de temperatura, etc.).

#### **2.1.2 Estratósfera**

Esta capa está justo encima de la tropósfera, va desde los 15 a los 50 kilómetros de altitud, su temperatura puede llegar a los 0°C, No hay movimientos de vientos verticales, pero si hay horizontales, los cuales hacen que cualquier sustancia que llegue a esta zona se difunda por la Tierra con gran rapidez. Sus vientos alcanzan los 200 Km/h. En esta capa se puede encontrar el ozono (ozonósfera), cuya función es absorber los rayos UV y convertirlos en calor.

#### **2.1.3 Mesósfera**

Esta capa va desde los 50 a los 80 kilómetros de altitud, contiene cerca del 0.1% de masa total de aire, es la parte más fría de la atmósfera llega a los -90°C. La baja temperatura, junto con la baja densidad, determina la formación de turbulencias y ondas atmosféricas que actúan a escalas espaciales y temporales muy grandes.

#### **2.1.4 Ionósfera**

Esta capa también es llamada termósfera, está entre los 80 a los 500 kilómetros de altitud, los gases son escasos y está formada por iones. La ionósfera tiene una gran influencia con las señales de radio, una parte de la energía radiada por un

transmisor hacia esta capa, es absorbida por el aire ionizado y otra es refractada, o desviada de nuevo hacia la superficie de la Tierra. Este último efecto permite la recepción de señales de radio a distancias muchos mayores de lo que sería posible con ondas que viajan por la superficie terrestre.

### 2.1.5 Exósfera

Se encuentra más allá de los 500 kilómetros, se puede extender hasta los 9600 kilómetros de la superficie terrestre, en esta capa, la gravedad desaparece y muchos átomos escapan al espacio. Es el límite exterior de la atmósfera.



Figura 1. Representación de la distribución de las diferentes capas de la atmósfera terrestre, (Google earth, 2015)

### 2.2 Composición de la atmósfera

En cuanto a la atmósfera de la Tierra está compuesta en un 78.1% de nitrógeno, un 20.9% de oxígeno, y el restante 1% por otros gases, entre los que se encuentran el argón, el helio, y algunos gases de efecto invernadero, como el bióxido de carbono (0.035%), el metano (0.00015%), el óxido nitroso (0.0000016%) y el vapor de agua (0.7%). La mayor cantidad de estos gases se encuentran en la tropósfera y mesósfera.

**Tabla 1. Composición porcentual de la atmósfera**

Componente	% en volumen
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	78.084
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	20.946
Argón (Ar)	0.934
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0.0314
Neón (Ne)	0.00182
Helio (He)	0.000524
Metano (CH <sub>4</sub> )	0.00018

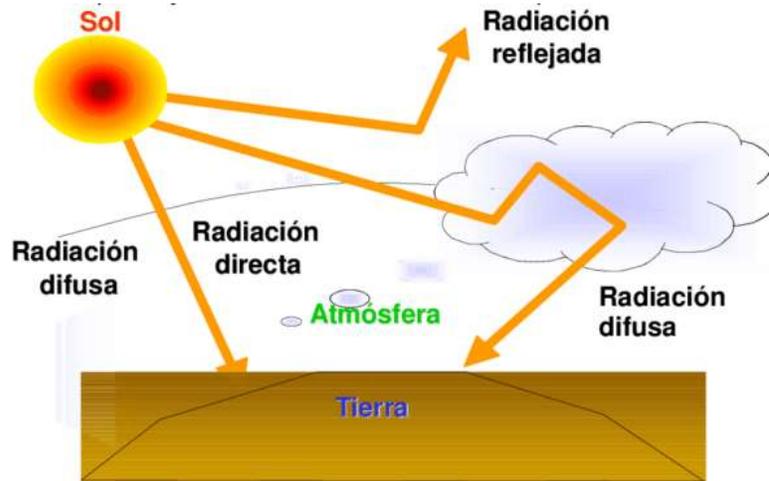
*Fuente. Figuerelo J & Dávila M, Química Física del Medio Ambiente (2001).*

### 2.3 Procesos de transferencia de calor a la atmósfera

Para poder entender el efecto invernadero, el calentamiento global y sus efectos, es necesario conocer cómo se da el proceso de calentamiento de la Tierra el cual permite la vida en él.

La Tierra y la atmósfera se mantienen calientes por la energía del Sol, la mayoría de la energía solar que entra a la Tierra se encuentra en la región del visible del espectro electromagnético. El flujo de energía que llega del Sol a la atmósfera es de  $1.36 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ , este valor es llamado también constante solar, esta energía debe de regresar al espacio, la cual está involucrada en el balance energético de la Tierra.

De la radiación solar total que entra a la atmósfera, la mitad alcanza la superficie terrestre directamente (radiación directa), o después de ser dispersada por las nubes, partículas o gases presentes en la atmósfera (radiación difusa), la mitad de la radiación es reflejada directamente hacia atrás o absorbida en la atmósfera y la energía se irradia al espacio como radiación infrarroja. De esta energía solo el 1% alcanza la superficie de la Tierra y toda es absorbida y regresada al espacio para mantener el equilibrio de calor.



**Figura 2. Flujo de la radiación solar**

Este transporte de energía, es esencial para la re-irradiación de energía, dicho transporte se puede dar por tres mecanismo principales: conducción, convección y radiación.

### **2.3.1 Conducción**

La conducción de energía se da por interacción de los átomos o moléculas cercanas de un cuerpo a otro por contacto directo, o sin que haya movimiento del cuerpo, es decir, dentro del mismo, es un medio lento para transferir energía a la atmósfera.

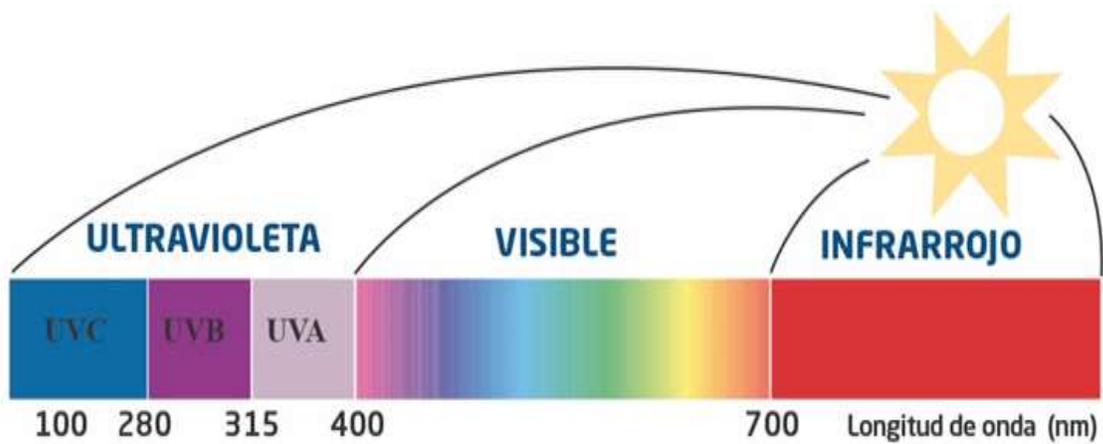
### **2.3.2 Convección**

La convección de energía involucra el movimiento de masas de aire que pueden estar calientes o frías, debido a este mecanismo ocurren las variaciones de temperatura cuando hay movimiento de grandes masas de aire en una región, es un medio más rápido de transferir energía, se da principalmente en gases y líquidos.

### **2.3.3 Radiación**

La transferencia de energía ocurre por medio de radiación electromagnética, se puede transferir sin la necesidad de un cuerpo o medio, por este mecanismo se pierde la mayor parte de la energía de la Tierra para mantener el equilibrio de calor, para regresa nuevamente al espacio. La radiación máxima que entra está en los 500 nm, abarcando un rango desde los 200-3000 nm que incluye toda la región del

visible, parte del ultravioleta e infrarrojo cercano. Mientras que la radiación máxima de salida es de 10000 nm, abarcando un rango desde los 2000 a los 40000 nm, esto quiere decir que la Tierra pierde energía por radiación electromagnética con una longitud de onda mayor a la que recibe.



**Figura 3. Espectro del Sol**

#### **2.4 Balance energético de la Tierra**

Para la vida en la tierra la energía que se recibe del Sol, la cual es cerca de la mitad de la luz que llega a la atmósfera terrestre pasa a través del aire y las nubes para llegar a la superficie donde se absorbe y luego es irradiado nuevamente en forma de calor (ondas IR). De este calor el 90% es absorbido por los gases de efecto invernadero donde el vapor de agua y en menor proporción el dióxido de carbono reabsorben la radiación y la devuelven hacia la superficie que le ayuda a calentar hasta una temperatura promedio de 15 grados Celsius, el cual es llamado balance energético de la Tierra.

La radiación solar entrante en la atmósfera está compensada por la radiación saliente, ya que si la radiación entrante fuera mayor que la radiación saliente se produciría un calentamiento y si fuera menor produciría un enfriamiento.

De la radiación que entra a la Tierra que es de  $1.36 \times 10^3 \text{ W/m}^2$  o  $343 \text{ W/m}^2$  el cual se obtiene al dividir entre 4 el valor de  $1.36 \times 10^3 \text{ W/m}^2$  el cual proviene de la fórmula

para calcular la superficie de la Tierra ( $4\pi R^2$ ), esta radiación se reparte de la siguiente manera:

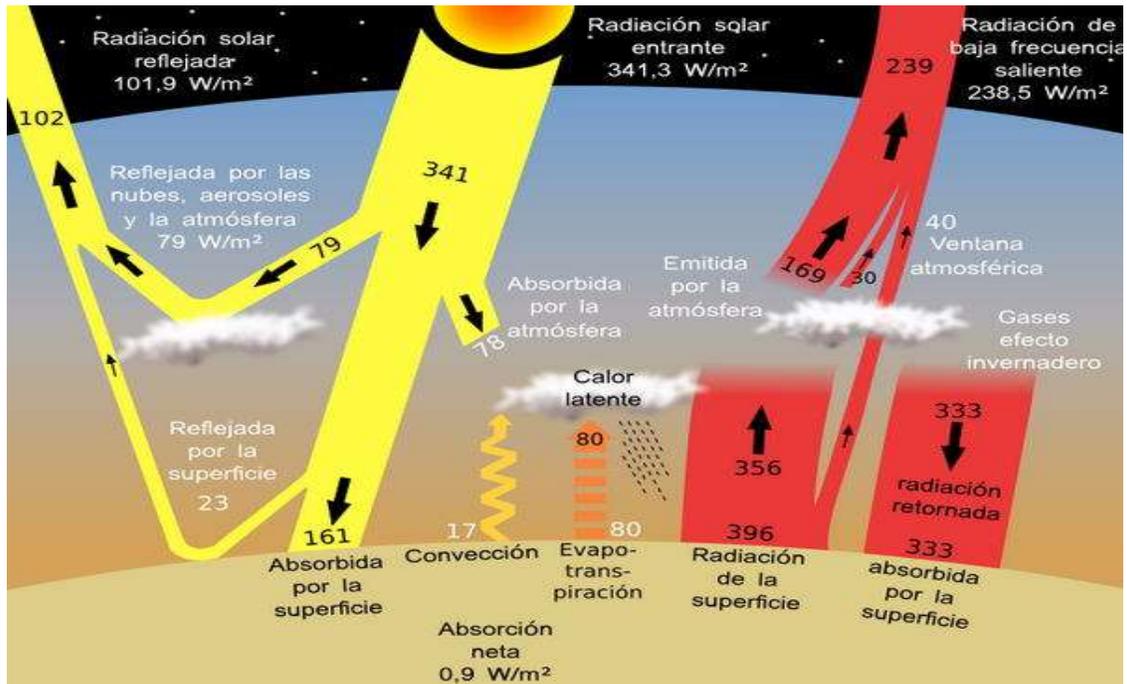
Las nubes reflejan  $71 \text{ W/m}^2$  al espacio exterior, y  $30 \text{ W/m}^2$  por la superficie y el mar, un total de  $101 \text{ W/m}^2$  de la energía recibida se refleja directamente al espacio exterior lo que equivale a un 31 %.

Las nubes absorben  $70 \text{ W/m}^2$  un 20 % del total. Esta energía sirve para calentar las nubes. Estos  $170 \text{ W/m}^2$  sirven para calentar la tierra y el mar, y representan aproximadamente el 50 % de toda la energía solar recibida por el planeta. Puede haber variaciones dependiendo del lugar en donde sea absorbida la energía.

De la energía que se emite de la superficie al espacio la Tierra al tener una temperatura superficial de unos  $15^\circ\text{C}$ , emite al exterior  $390 \text{ W/m}^2$ , la superficie de la Tierra pierde, además un promedio  $104 \text{ W/m}^2$  por la evaporación del agua. Las nubes y la atmósfera hacen una ventana atmosférica y devuelven hacia la tierra y el mar  $324 \text{ W/m}^2$ , liberando hacia el espacio  $40 \text{ W/m}^2$  de los  $390 \text{ W/m}^2$  emitidos desde la superficie. Por otra parte, las nubes y la atmósfera emiten  $200 \text{ W/m}^2$  de radiación infrarroja hacia el exterior, por lo que el total emitido es de  $240 \text{ W/m}^2$ , representan un 61 % de los  $390 \text{ W/m}^2$  emitidos por la superficie.

Haciendo el balance general de la energía que llega directamente del Sol  $341 \text{ W/m}^2$  y la que emite el planeta hacia el espacio  $101 \text{ W/m}^2$  reflejados por la nubes y la superficie  $30 \text{ W/m}^2$  reflejados directamente por la superficie,  $200$  emitidos por las nubes y la atmósfera da un total de  $341 \text{ W/m}^2$ , el balance está equilibrado.

Al igual que la energía que emite la superficie está en equilibrio se recibe  $170 \text{ W/m}^2$  del Sol y  $324 \text{ W/m}^2$  de las nubes y de la atmósfera, que suman  $494 \text{ W/m}^2$ . Se emiten  $104 \text{ W/m}^2$  por la evaporación del agua y  $390 \text{ W/m}^2$  que emite por estar a  $14^\circ\text{C}$ , que también suman  $494 \text{ W/m}^2$ .

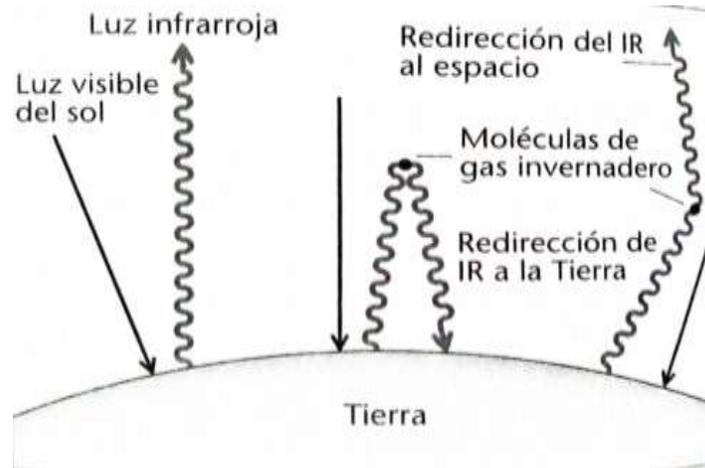


**Figura 4. Representación del balance energético de la Tierra, ( Kiehl and Trenberth, 2009)**

Por tanto, en equilibrio, la cantidad de radiación solar entrante en la atmósfera debe ser igual a la radiación solar reflejada saliente más la radiación infrarroja térmica saliente. Toda alteración de este balance de radiación, ya sea por causas naturales u originado por el hombre (antropogénico), es una alteración al balance energético y con lo cual se origina un cambio en las condiciones ambientales de la atmósfera.

### 2.5 Efecto invernadero

En el proceso de absorción y emisión de radiación en la Tierra algunos gases pueden absorber de forma temporal luz infrarroja térmica de longitudes de onda específicas, por lo cual, no toda la radiación de IR emitida por la superficie de la Tierra y la atmósfera es liberada al espacio. Después de la absorción la radiación es reemitida en todas direcciones y redirigida a la superficie de la Tierra, y es reabsorbida calentando el aire y la superficie, este proceso de reemisión de radiación IR térmico es conocido como el efecto invernadero. Dicho efecto permite mantener una temperatura adecuada para la vida en la Tierra.



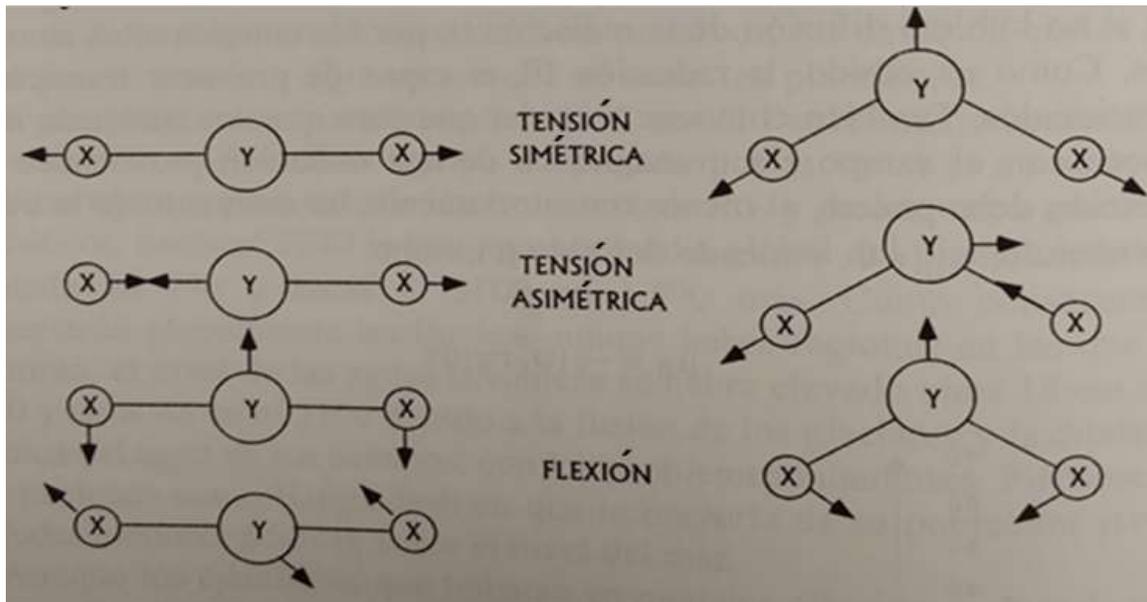
**Figura 5. Esquematización del efecto invernadero en la atmósfera (tropósfera)**

## 2.6 Gases de efecto invernadero

Es un gas atmosférico que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo. Dicho de otra manera, las energías de transición vibracional deben coincidir con la radiación de IR emitida por la tierra. Este proceso de emisión y absorción es fundamental para el efecto invernadero.

Para la región del infrarrojo los movimientos más importantes son las vibraciones de los átomos en las moléculas, dentro de los cuales destacan 3.

- **Tensión de enlace:** Es el movimiento vibratorio más simple, que se da con el movimiento oscilatorio de 2 átomos enlazados.
- **Vibración de flexión:** La cual es una oscilación entre 2 átomos X y Z enlazados a un átomo común Y, muchas frecuencias de vibraciones de flexión se encuentran dentro de la región del IR térmico.
- **Tensión antisimétrica:** Ocurre cuando hay la contracción de un enlace, es decir, un átomo se expande y el otro se contrae o viceversa.



**Figura 6. Diferentes vibraciones presentes en los gases de efecto invernadero**

### 2.6.1 Principales gases de efecto invernadero

Dentro de los principales gases de efecto invernadero se consideran: bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}_{\text{vapor}}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), HFC, PFC y el  $\text{SF}_6$ , siendo el dióxido de carbono el de mayor importancia seguido del metano. Las emisiones de gases de efecto invernadero en México se derivan de cinco sectores: uso de la energía, desechos, uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, agricultura y procesos industriales.

### 2.7 Aumento de los gases de efecto invernadero

El aumento de los gases es resultado del uso y abuso de los recursos naturales, sea a través de quema ineficiente de combustibles fósiles, a través de la tala y destrucción de los bosques y ambientes naturales o la destrucción de ecosistemas marinos y acuáticos a través de la contaminación irracional e irresponsable, se consideran factores que influyen para forzar la concentración de gases de efecto invernadero y provocar cambios en el medio ambiente.

Dentro de los principales efectos que tiene el aumento de los GEI, se encuentra el efecto invernadero intensificado y el calentamiento global y el cambio climático.

## 2.7.1 Efecto invernadero intensificado

El aumento de los gases de efecto invernadero que absorben luz IR térmica, pueden redireccionar más energía IR térmica hacia la superficie, por lo tanto aumentan la temperatura media más allá de los 15°C. Cabe destacar que el efecto invernadero no es dañino si no se aumentan la concentración de GEI, ya que es un proceso necesario para la vida.



Figura 7. Comparación entre el efecto invernadero natural y el efecto invernadero intensificado

## 2.7.2 Calentamiento global

El calentamiento global se puede entender como el incremento gradual de la temperatura del planeta como consecuencia del aumento de la emisión de ciertos GEI que impiden que los rayos del sol salgan de la tierra, bajo condiciones normales, es decir, existe una capa más gruesa de GEI que retienen más los rayos infrarrojos y hace elevar la temperatura. El calentamiento global sólo existe si la temperatura aumenta.

Un aumento de la temperatura global puede traer cambios como ya se están observando a nivel mundial, entre los cuales están:

- Aumento de los niveles del mar
- Cambios en el patrón y cantidad de precipitaciones
- Expansión de los desiertos subtropicales
- Acidificación de los océanos

El aumento de la temperatura se espera será mayor en los polos, en especial en el Ártico y que se observe un retroceso de los glaciares, hielos permanentes y hielo en los mares. Otros efectos incluirían fenómenos meteorológicos extremos más frecuentes, sequías, olas de calor, huracanes y precipitaciones fuertes. La extinción de especies debido a los cambios de temperatura y cambios fuertes en la producción de las cosechas. Se cree que si el aumento de la temperatura promedio global es mayor a 4°C comparado con las temperaturas preindustriales, en muchas partes del mundo la vida en los sistemas naturales no podrá adaptarse y, por lo tanto, no podrán sustentar a las generaciones siguientes. En pocas palabras, no habrá recursos naturales para sustentar la vida humana en las condiciones actuales.

### **2.7.3 Cambio climático**

El cambio climático se define como un cambio estable y durable en la distribución de los patrones de clima en periodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años. Puede ser un cambio en las condiciones climáticas promedio. El cambio climático puede estar limitado a una región específica, como puede abarcar toda la superficie terrestre. Cada vez se refiere específicamente al cambio climático causado por la actividad humana, a diferencia de aquellos causados por procesos naturales de la Tierra y el Sistema Solar. Se ha determinado que el aumento de la temperatura global debería limitarse a 2°C para evitar daños irreversibles al planeta y consecuencias desastrosas sobre la población mundial.

## **2.8 Metano**

El metano después del CO<sub>2</sub> y el vapor de agua, es el tercer gas de efecto invernadero más importante, dentro de las características más importantes destacan:

- La molécula posee cuatro enlaces C-H, las vibraciones de tensiones del enlace C-H ocurren fuera del IR térmico, pero la vibración de flexión del enlace H-C-H a 770 nm cerca de la ventana del IR térmico, por lo cual absorbe energía IR en esa región y puede contribuir al calentamiento de la atmósfera.
- El metano puede originar 21 veces más efecto invernadero a diferencia del CO<sub>2</sub>, esto debido a que las moléculas de metano absorben mayor cantidad de fotones del IR térmico, aunque la cantidad de CH<sub>4</sub> es mucho menor que la de CO<sub>2</sub>.

### **2.8.1 Fuentes de emisión de metano**

Existen 2 principales fuentes de emisiones de metano; fuentes naturales y las fuentes antropogénicas.

#### **Fuentes naturales**

- Pantanos
- Descomposición de materia orgánica
- Agricultura (arrozales)

#### **Fuentes antropogénicas**

- Quema de combustible (gas natural, carbón)
- Actividades agropecuarias, (Ganadería)
- Deforestación

La agricultura es una de las fuentes más importantes de metano a la atmósfera. Algunos estudios indican que el incremento térmico causado por la agricultura, es en particular debido a las deforestaciones para cultivo y los regadíos, el daño puede ser igual o superior al causado por las industrias. Este metano es producido por microorganismos que viven en condiciones anaeróbicas degradando la materia orgánica de cultivos inundados.

La ganadería es la actividad más importante en la generación de metano, debido a que los rumiantes en sus procesos digestivos emiten grandes cantidades de metano, y se puede considerar dentro de las 2 fuentes de emisiones; natural y antropogénica.



**Figura 8. Principales fuentes de emisión de metano**

### **2.9 Fermentación entérica (ganado bovino)**

Globalmente los bovinos en especial el ganado vacuno es el mayor emisor de metano con alrededor de 5,0 Gt de CO<sub>2</sub> eq, que representan el 62% de todas las emisiones. Estos emiten entre 7-9 veces más metano que ovinos y caprinos. El ganado vacuno de carne y el ganado vacuno de leche emiten cantidades similares de metano. Los cerdos, las aves de corral, los búfalos y los pequeños rumiantes tienen niveles de emisión menores, que representan entre el 7% y el 11% de las emisiones totales. (FAO, 2010). Estos emiten entre 7-9 veces más metano que ovinos y caprinos.

En México el sector agropecuario es responsable del 22% de las emisiones mexicanas de GEI, del cual la ganadería aporta el 6% de las emisiones de GEI (INECC, 2013).

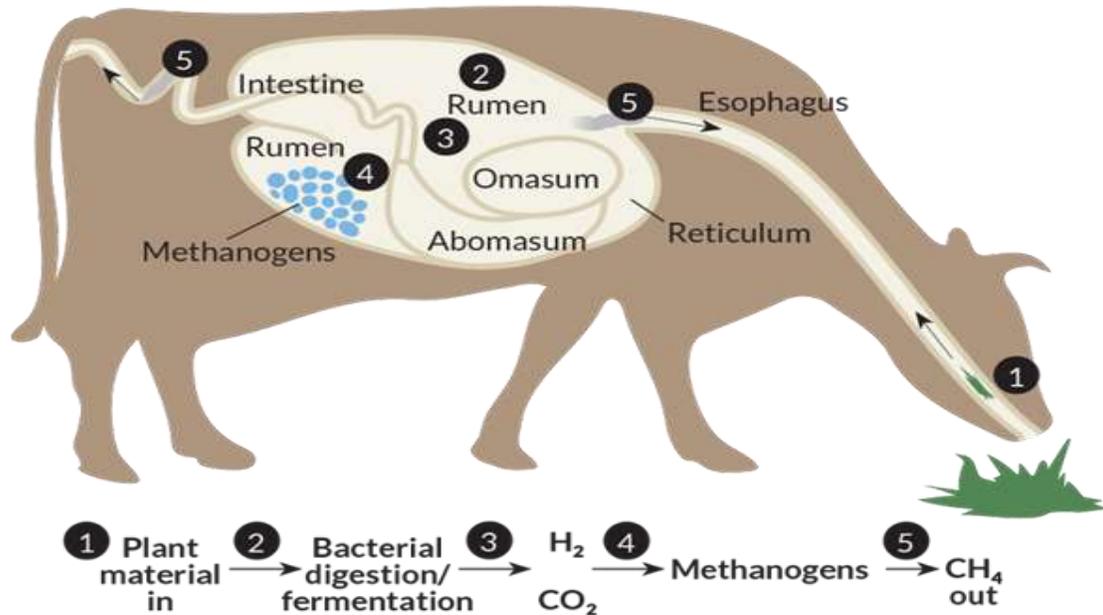


**Figura 9. Emisiones globales de CH<sub>4</sub> por especie en CO<sub>2</sub> eq, (FAO, 2010)**

### 2.9.1 Proceso de fermentación entérica

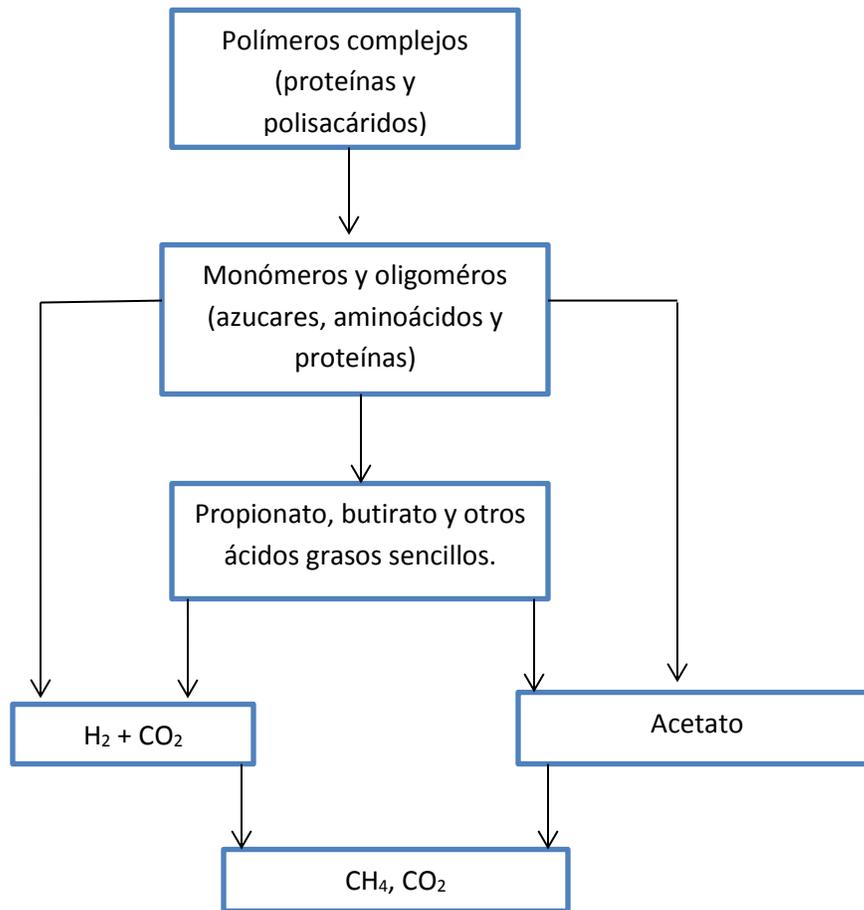
El CH<sub>4</sub> es el producto final de la fermentación que sufren los alimentos en el rumen del bovino, que en términos de energía constituye una pérdida, pero en términos ambientales contribuye a un aumento en las emisiones de CH<sub>4</sub>, por consiguiente contribuye al calentamiento de la atmósfera.

Dicho proceso comienza en rumen es un gran saco anóxico. Los rumiantes se alimentan de hierba y de otros vegetales que contienen celulosa, almidón, pectina y hemicelulosa, estos animales no poseen enzimas que puedan digerirlos y son los microorganismos presentes en el rumen, tales como bacterias, protozoarios y hongos, los que al fermentar el alimento permiten al rumiante la obtención del alimento. Donde los microorganismos que más destacan son *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobacterium formicicum* y *Methanomicrobium mobile*, que reducen el dióxido de carbono usando el hidrógeno como fuente de energía.



**Figura 10. Vista interior del proceso de fermentación entérica en un bovino**

El rumen proporciona un ambiente estable y semejante, de características anaeróbicas, con una temperatura entre 30 y 40 °C y un pH de 5.5 a 7.0. Estas son condiciones óptimas para los microorganismos involucrados, y el continuo aporte de alimento ingerido permite el desarrollo exponencial de los microorganismos. Los microorganismos convierten la celulosa, el almidón y otros nutrientes ingeridos en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y ácidos orgánicos de bajo peso molecular, como el ácido acético, el ácido propiónico y ácido butírico. Estos ácidos orgánicos, tras ser absorbidos pasan al torrente circulatorio del animal, donde se oxidan aeróbicamente produciendo energía.



**Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de producción de metano en la fermentación entérica**

### **2.10 Estrategias para la mitigación de emisiones de CH<sub>4</sub>**

Como se ha mencionado anteriormente, existen numerosos factores que afectan la producción de CH<sub>4</sub>, por lo que las alternativas para reducirlo pueden orientarse a uno de los factores, a un grupo de estos, o a implementar todo un conjunto de medidas para su control, lo que dependerá en gran parte de las condiciones en que se produzca.

### **2.10.1 Estrategias dedicadas a la metanogénesis (durante la fermentación entérica)**

Estas estrategias se enfocan a disminuir la producción de metano durante la metanogénesis, es decir, durante la fermentación entérica, están divididas en 3 grupos principalmente.

- **Disminución de CH<sub>4</sub> en el rumen indirectamente:** Estimulando la fermentación propiónica en el rumen, disminuyendo la cantidad de carbohidratos estructurales y aumentando la de carbohidratos de fácil fermentación en la dieta.
- **Evaluación de productos que inhiben directamente a las bacterias metanogénicas:** Por ejemplo, la producción de vacunas, utilizando extractos de plantas, ionóforos, antibióticos específicos, bacteriófagos y bacteriocinasas.
- **Evaluación de vías alternas para la utilización del H<sup>+</sup> producido en el rumen, con el objetivo de limitar la producción de CH<sub>4</sub>:** En los cuales han adicionando ácidos orgánicos precursores del propionato y se investigan diferentes bacterias acetogénicas que pueden usar H<sup>+</sup> y CO<sub>2</sub> en la producción de acetato.

### **2.10.2 Estrategias dedicadas a la modificación nutricional del ganado**

Modificaciones nutricionales con tendencia a compensar la reducción en el consumo de alimentos y a mantener la homeostasis. Revisar el forraje y su calidad, el uso de aditivos nutricionales que generen mayor densidad nutricional a la ración. Mantener un nivel medio de proteína degradable ajustada a la energía consumida.

### **2.10.3 Uso de los residuos ganaderos**

México es un país con liderazgo mundial y comprometido en materia de cambio climático. En 2012 instrumentó la Ley General de Cambio Climático, siendo el segundo país en el mundo en contar con una ley de este tipo y a partir de la cual se

creó un instituto de gobierno especializado en la integración y generación del conocimiento relacionado al cambio climático.

Así mismo, nuestro país ha impulsado y puesto sobre la mesa diferentes conceptos para abordar el tema de cambio climático a nivel mundial, ha incrementado la ambición de los compromisos adquiridos en la CMNUCC, ha impulsado un enfoque de género en las políticas orientadas al cambio climático y ha impulsado la mitigación de los contaminantes de vida corta debido a los daños que éstos ocasionan en la salud humana y la agricultura.

El Gobierno Federal ha realizado importantes esfuerzos para impulsar la producción de insumos y de bioenergéticos en el país. Actualmente existen diversos proyectos para la producción de etanol anhidro, biodiésel y biogás, además que se está fomentando la investigación científica y el desarrollo tecnológico para bioenergéticos de segunda generación. Por lo cual se han propuesto la opción de rellenos sanitarios el uso de residuos ganaderos. La utilización de técnicas para la generación y uso de biogás. Es una manera de reducir las emisiones de CH<sub>4</sub>.

La SAGARPA ha instrumentado diversas acciones para fomentar el uso y aplicación de la energía renovable en el sector agropecuario, a fin de generar desarrollo rural sustentable que coadyuve a disminuir los impactos negativos en el medio ambiente. Dichas acciones han sido diseñadas para producir biogás utilizando los desechos orgánicos (estiércol) producidos por los animales en las granjas porcinas, establos lecheros y corrales de engorda, mismos que son sometidos a un proceso de biodegradación anaeróbica (metanogénesis) en biodigestores del tipo laguna, el cual puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica.

En el periodo 2008–2012, el Gobierno Federal a través de la SAGARPA apoyó la construcción de 327 biodigestores y la adquisición de 137 motogeneradores a partir de biogás, para generar energía eléctrica y térmica la cual es utilizada para diversos fines productivos dentro de las explotaciones agropecuarias.

Se espera que para 2026, la generación eléctrica a partir de energías limpias debe alcanzar una participación de 35% de la generación total en dicho año. Sin embargo, los costos de generación de estas tecnologías aún resultan elevados en

comparación con otras fuentes de energía. A pesar de eso estas acciones, han sido difundidas a nivel internacional.

Por lo cual el fomento de las energías renovables conlleva múltiples beneficios: por un lado, mitiga la emisión GEI y, por el otro, contribuye a cambiar el modelo de generación de energía eléctrica, con un impacto positivo.

### **3. Zonas de estudio**

La superficie total en México es de 1 964 375 km<sup>2</sup> (196, 437 500 hectáreas) de los cuales 110 000 km<sup>2</sup> (11, 000 000 hectáreas) se utilizan para la actividad ganadera (SAGARPA, 2010), lo que equivale al 5,6% de la superficie total.

México está geográficamente dividido en 32 estados, con climas diversos desde climas cálidos a fríos, húmedos y subhúmedos calientes que cubren 23% del territorio, templado húmedo y subhúmedos (21%) y secos y muy secos (49%).

Debido a la variedad de regiones climáticas, la producción ganadera representa una de las principales actividades del sector agrícola en el país, por lo que México ofrece grandes cantidades de carne vacuna, porcina y avícola.

Dentro de los principales estados de la republica productores de ganado bovino se encuentra:

- Veracruz
- Jalisco
- San Luis Potosí
- Tamaulipas
- Chiapas
- Durango
- Sinaloa
- Coahuila
- Chihuahua
- Guanajuato

Los estados que se seleccionaron fueron: Jalisco, Veracruz, Durango y Coahuila, de estos se eligió una región ganadera para su estudio, que de preferencia se encontrara entre las de mayor producción.

#### **3.1 Coahuila**

El Estado de Coahuila tiene una extensión territorial total de 151 571 km<sup>2</sup> la cual representa el 7.7% de la superficie del país, ubicado en la región noreste del país, limitando al norte con el río Bravo, al este con Nuevo León, al sur

con Zacatecas y San Luis Potosí, y al oeste con Durango y Chihuahua, está dividido en 5 regiones principales: Región Fronteriza, Región Carbonífera, Región Centro-Desierto, Región Laguna y la Región Sur.

La Comarca Lagunera es de los principales productores ganaderos, se convertirá en el primer lugar de producción, no sólo a nivel nacional, sino en América Latina, con el desarrollo del proyecto de Su Carne, además tiene el primer lugar en producción de leche. La Comarca lagunera tiene los agostaderos más grandes donde se produce el ganado en pie, que por lo general es el que se exporta a Estados Unidos.

### **3.1.1 Región: Torreón**

Torreón está en las coordenadas 25°32'38"N 103°25'08"O, al suroeste del estado de Coahuila, conforma parte de la Comarca Lagunera, el clima es de tipo seco y semicálido con una temperatura promedio 22°C anualmente, con periodo de lluvias que va de abril a octubre y escasas de noviembre a marzo.

La alimentación del ganado se conforma básicamente por alfalfa, ensilaje de maíz y alimentos balanceados, los cuales se producen a nivel local.

### **3.2 Durango**

Está ubicado en la región noroeste del país, limitando al norte con Chihuahua, al noreste con Coahuila, al sureste con Zacatecas, al sur con Nayarit y al oeste con Sinaloa. Con 123 451 km<sup>2</sup> es el cuarto estado más extenso.

Durango se caracteriza por ser una entidad ganadera, ya que el 70 por ciento de las actividades que se realizan en el estado pertenecen a dicho rubro, esta actividad se desarrolla desde la Sierra Madre Occidental hasta las regiones áridas y semiáridas de su territorio.

La ganadería es importante en la economía rural del estado, ya que ahí inicia la cadena de producción, con la obtención de becerros. En la zona norte, los municipios de El Oro y Ocampo son los que presentan una mayor producción, en la región noroeste, Nuevo Ideal, Santiago Papasquiaro y Canatlán presentan una mayor incidencia en producción ganadera.

El sistema de producción de ganado en Durango se lleva a cabo en grandes superficies de agostadero utilizando el sistema extensivo donde la alimentación del ganado depende de la disponibilidad y calidad del forraje, lo cual es variable a través de las temporadas del año. Durante la época de lluvia existe mayor disponibilidad de forraje con buena calidad

### **3.2.1 Región: El Oro**

El Oro tiene una superficie de 3,559.0 km<sup>2</sup>, en las coordenadas 25°56'58"N 105°21'52"O. El clima predominante en el municipio es el semiseco templado el 85.73% de la superficie municipal cuenta con una temperatura promedio anual de 17.6°C. Con un promedio de precipitación pluvial anual de 585.5 milímetros. La mayor parte de la extensión del territorio se emplea para actividades del sector pecuario; seguidas por las actividades destinadas a la agricultura, la explotación forestal y zona urbana.

### **3.3 Jalisco**

Está ubicado en la región oeste del país, limitando al norte con Nayarit, Zacatecas y Aguascalientes, al noreste con San Luis Potosí, al este con Guanajuato. El estado de Jalisco es líder nacional en producción pecuaria, donde el principal tipo de ganado que existe es el ganado bovino.

Prácticamente toda la población animal se dedica a procesos productivos y sólo una parte se emplea como fuente de trabajo para diferentes actividades de preparación de suelo, siembra y transporte de cosechas entre otros productos agrícolas. Los municipios de mayor actividad ganadera son Tomatlán, Mezquitic, Talpa, Tepatitlán, Ameca, Villa Purificación, San Miguel, Chapala, Casimiro Castillo y Cuautitlan.

La productividad del ganado está sujeta en gran parte a la disponibilidad y calidad del forraje producido en el pastizal, que deberá tener condiciones suficientes para llenar las necesidades nutritivas del animal

### **3.3.1 Región: San Miguel**

San Miguel se encuentra en las coordenadas 21°01'25"N 102°24'21"O al norte del estado de Jalisco. El clima es semiseco en otoño, semicálido y seco en invierno,

con invierno ligero. La temperatura promedio anual es de 17.8° C, con una precipitación media anual de 634.5 milímetros con periodo de lluvia en los meses de julio y agosto. Es conocida por ser potencia ganadera y por la industria textil. La mayor parte del suelo tiene un uso agrícola y pecuario, se cría principalmente ganado bovino.

### **3.4 Veracruz**

Está ubicado en el oriente del país. limita al norte con Tamaulipas, al este con el golfo de México (océano Atlántico), al sureste con Tabasco y Chiapas, tiene un área de 71 820 km<sup>2</sup>. La ganadería representa la principal actividad pecuaria en más del 50% del estado, principalmente el ganado se encuentra en zonas tropicales húmedas, subhúmedas y secas, es de los principales estados aportadores de ganado.

Los municipios de mayor productividad ganadera son: Ignacio de la Llave, Tlacotalpan, Playa Vicente, Azueta, Alvarado, Xico, Cosamaloapan. La ganadería de Veracruz se encuentra dentro de las mejores del mundo, ya que, cuenta con acceso a los principales mercados.

La productividad ganadera se lleva a cabo por medio de un sistema de doble propósito, el cual trata de sacar un mayor ingreso con la venta de la carne y leche que se produce, este método es sustentable ya que trabaja en conjunto con el ecosistema debido a que no implica la utilización de agentes tóxicos, porque se utiliza el pastoreo alterno con cereales (maíz, trigo, sorgo) como forma de alimentación, con el pastoreo tradicional a base de residuos de cosechas, desperdicios de la agroindustria y suplementos de sales minerales, práctica que se utiliza más en la época en la que escasea el forraje, este sistema es fácilmente adaptable al entorno en el que se encuentren además de ser un método económico y eficaz ya que se requiere pocos insumos e infraestructura.

### **3.4.1 Región: Ignacio de la Llave**

Ignacio de la Llave se encuentra en las coordenadas 18°39'42"N 95°58'20"O en la zona centro del Estado, el clima de la región varía va desde el cálido húmedo, Tropical húmedo con lluvias frecuentes en verano de julio a septiembre.

La temperatura promedio es de 25°C, el 61.83% del terreno se utilizan exclusivamente para la explotación de la ganadería.

#### **4. Planteamiento del problema**

Este proyecto se enfoca en establecer un precedente en cuanto a la contribución de la actividad ganadera en México con respecto a la liberación de metano a la atmósfera. Primeramente se realizó una revisión bibliográfica que proveerá un panorama general sobre la información disponible con respecto a los factores que involucran que haya emisiones de metano por parte de la ganadería en México.

Por otro lado, y como segunda etapa se recabaron datos de mediciones de la columna atmosférica de metano por instrumentos a bordo de plataformas satelitales disponibles en portales de libre acceso de la NASA para poder estimar la tendencia en cuanto a cambios de la abundancia de metano en la atmósfera, y específicamente sobre zonas ganaderas en México. Los datos obtenidos abarcan un periodo que abarca del año 2006-2016.

Es posible que haya un aumento en las emisiones de metano en las zonas de estudio debido a que son regiones donde la ganadería es la principal actividad y de gran producción.

Para el estudio se hizo la siguiente consideración:

- Se considera que la abundancia de metano en las zonas de estudio, es proveniente del sector ganadero, en específico del ganado bovino, por ser el mayor emisor de CH<sub>4</sub>, por lo cual se seleccionaron regiones de estudio donde dicha actividad es la principal.

## **5. Objetivos**

### **5.1 Objetivo general**

Recabar información de la abundancia de metano en la atmósfera sobre diversas zonas ganaderas en México, para poder establecer un precedente, el cual muestre las tendencias en la abundancia de metano.

### **5.2 Objetivos particulares**

- Determinar e interpretar si hay alguna tendencia en la emisiones de CH<sub>4</sub>
- Poder establecer una relación entre la producción ganadera con las emisiones de metano de las regiones de estudio seleccionadas.
- Conocer y discutir los factores que influyen en el incremento de emisiones de metano.
- Conocer y discutir sobre las diferentes estrategias de mitigación.

## 6. Metodología

### 6.1 Fundamentos de percepción remota.

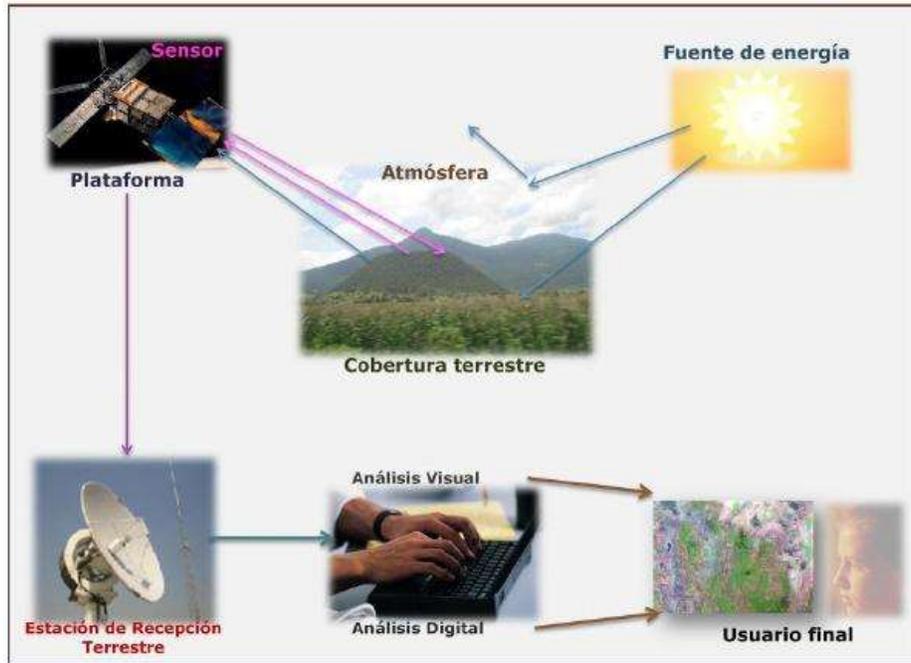
La percepción remota es una técnica que se utiliza para obtener información analizar o procesar datos de un objeto o superficie mediante un dispositivo externo sin tener contacto directo con él. Esto es posible a la relación sensor-cobertura expresada a través de la radiación electromagnética.

Para poder llevar acabo el procesamiento de datos o imágenes por medio de percepción remota conlleva una serie de elementos.

- **Radiación electromagnética:** La radiación transporta energía de un lugar a otro, proviniendo de fuentes naturales como el Sol o artificiales como radares o laser. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética pudiendo emitirla, absorberla, trasmitirla o reflejarla, estos 4 procesos ocurren en distintas regiones del espectro y con diferente intensidad, este comportamiento se llama firma espectral y característica de cada objeto. Las principales regiones de interés del espectro electromagnético para percepción remota son las que se encuentran en el visible, UV, y toda la región del IR.
- **Medio de transmisión (atmósfera):** Al obtener información mediante un sensor remoto, la señal colectada proviene de la radiación del Sol, interactuando con la atmósfera y regresando al sensor.
- **Interacción con el medio u objeto:** La interacción depende principalmente de las propiedades del medio u objeto y de la radiación incidente. Cuando la radiación interactúa con el objeto puede ser, transmitida, absorbida, reflejada o dispersada.
- **Ubicación en el sensor:** El sensor se encarga de almacenar y captar la radiación electromagnética reflejada, emitida o dispersada por la atmósfera u objeto.
- **Recepción de información:** La información que fue detectada por el sensor es transmitida a una estación de recepción y procesamientos de datos en

donde son convertidos a imágenes o datos que son más fácil de procesar por otro medio.

- **Aplicación:** La información que se obtiene permite conocer el objeto o región de estudio, con lo que se puede a llegar a resolver algún problema en particular.

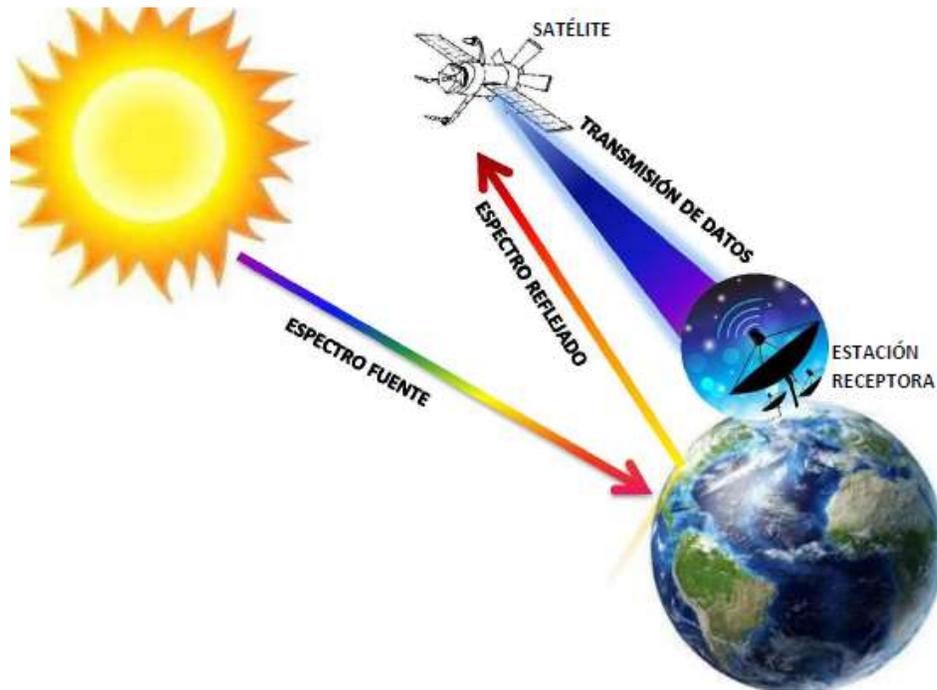


**Figura 12. Diagrama de los elementos del proceso de percepción remota INEGI (2006).**

### 6.1.1 Percepción remota satelital

Los satélites llevan instrumentos o sensores que miden la radiación electromagnética procediendo del sistema tierra-atmósfera. La intensidad de la radiación reflejada y emitida al espacio es influenciada por las condiciones en la superficie y la atmósfera, por lo tanto, las mediciones satelitales contienen información sobre las condiciones de la superficie y la atmósfera.

Los instrumentos de percepción remota de satélites de observación terrestre se nombran según: el satélite (también llamado plataforma), el instrumento (también llamado sensor).



**Figura 13. Funcionamiento de un satélite**

## 6.2 Adquisición de información

La adquisición de información se obtuvo por medio del satélite Aqua de la NASA, el cual consiste en 6 instrumentos: MODIS, CERES, AIRS, AMSU-A y AMSR-E HSB, cada instrumento está enfocado a una determinada medición, el instrumento del cual se adquirió la información fue AIRS.

AIRS utiliza tecnología de infrarrojos pasivos de vanguardia que miden la energía proveniente de la radiación reflejada o emitida por el sistema tierra-atmósfera, para crear mapas tridimensionales del aire y la temperatura de la superficie, el vapor de agua y las propiedades de las nubes cuenta con 2378 canales espectrales, AIRS tiene una resolución espectral más de 100 veces mayor que las sirenas infrarrojas y proporciona información más precisa sobre los perfiles verticales de temperatura y humedad atmosférica. AIRS también puede medir trazas de gases de efecto invernadero como el  $O_3$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  y  $CH_4$ .

Al igual se puede considerar como un sensor de gases de efecto invernadero por excelencia, cabe destacar que el vapor de agua es el gas de efecto invernadero más dominante en la atmósfera terrestre y representa aproximadamente el 60% del

efecto invernadero de la atmósfera global, superando los efectos combinados del dióxido de carbono, metano, ozono y otros gases de efecto invernadero.

### **6.2.1 Instrumentación de AIRS**

AIRS está compuesto por un instrumento de infrarrojo hiperspectral basado en el espacio y dos instrumentos de microondas multicanal AMSU-A y HSB.

Cuenta con un espejo de exploración que gira alrededor de un eje a lo largo de la línea de vuelo y dirige la energía infrarroja de la Tierra al instrumento. A medida que la nave espacial avanza, este espejo barre el suelo creando un barrido de exploración que se extiende aproximadamente 800 km a cada lado de la pista de tierra. Dentro del instrumento AIRS, la energía infrarroja se separa en longitudes de onda. Esta información se envía desde AIRS a la nave espacial Aqua, que la transmite al suelo.

La resolución espectral de infrarrojos de AIRS mejora la resolución vertical, sin embargo, se ve afectada la resolución y se degrada en presencia de nubes. La energía de microondas detectada por los instrumentos AMSU-A y HSB no es afectada por las nubes y proporciona un adecuado sondeo en todas las condiciones climáticas. Al usar un algoritmo especial de computadora, los datos de AIRS y los instrumentos de microondas se combinan para proporcionar mediciones precisas en todas las condiciones con nubes, lo que da como resultado un momento global diario del estado de la atmósfera.



**Figura 14. Instrumento AIRS (NASA)**

### 6.3 Procedimiento

El procedimiento que se siguió consistió en la obtención de datos de la abundancia de metano por medio de técnicas de percepción remota. A través del portal EARTHDATA de la NASA en la base de datos Giovanni.

Giovanni es la interfase web de la NASA que provee información de varios instrumentos a bordo de satélites para todas las zonas del mundo.

Giovanni tiene una serie de datos de:

- Precipitación
- Química atmosférica
- Temperatura de superficie
- Evaporación y evapotranspiración
- Temperatura atmosférica, entre otros

Se procesaron alrededor de 15674 datos, quitando los valores que no tenían un registro para no causar alteración en las tendencias de los gráficos que se obtuvieron, dichos valores abarcan un periodo del 2006-2016

Los datos fueron obtenidos ingresando las coordenadas geográficas en el portal, para posteriormente seleccionar la zona.

Una vez descargados los datos se procesaron por medio de Excel®, para poder realizar los promedios anuales de cada región, y posteriormente realizar el gráfico correspondiente para observar si presentan alguna tendencia.

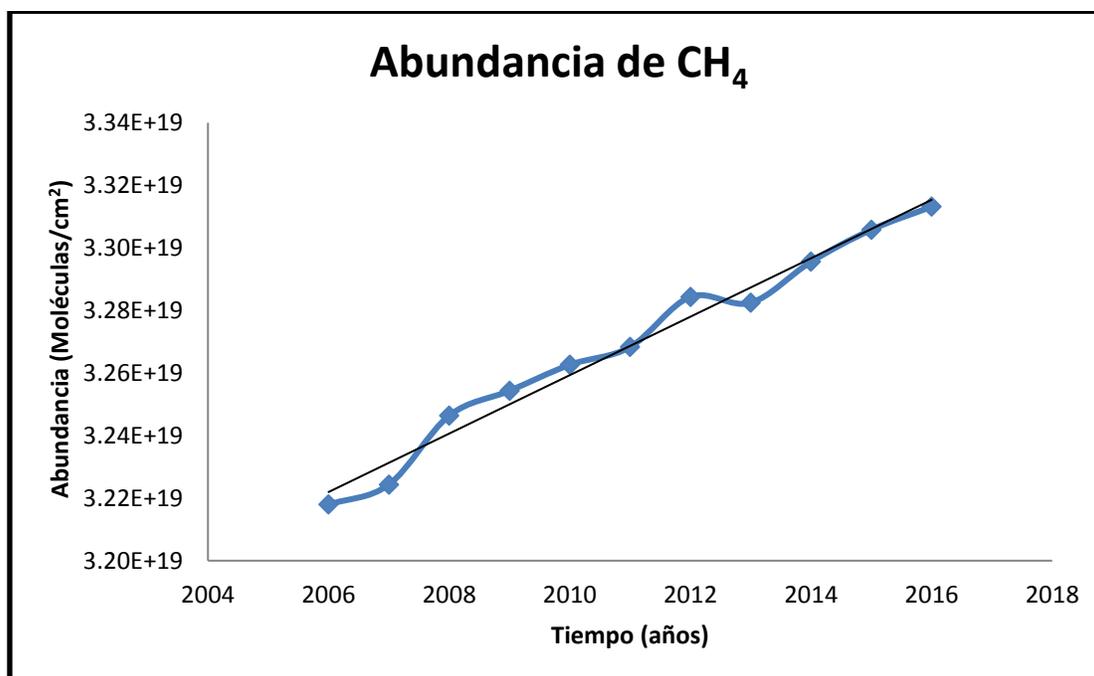
Por medio del portal del SIAP en el anuario estadístico de producción ganadera, se obtuvieron los datos correspondientes de la producción referente al ganado bovino (ganado en pie) de cada región, se realizó el gráfico correspondiente para poder observar el comportamiento de la producción ganadera y establecer si tiene relación la producción ganadera con el aumento de la abundancia de metano.

## 7. Resultados y discusión

### 7.1 Región de Torreón (Coahuila)

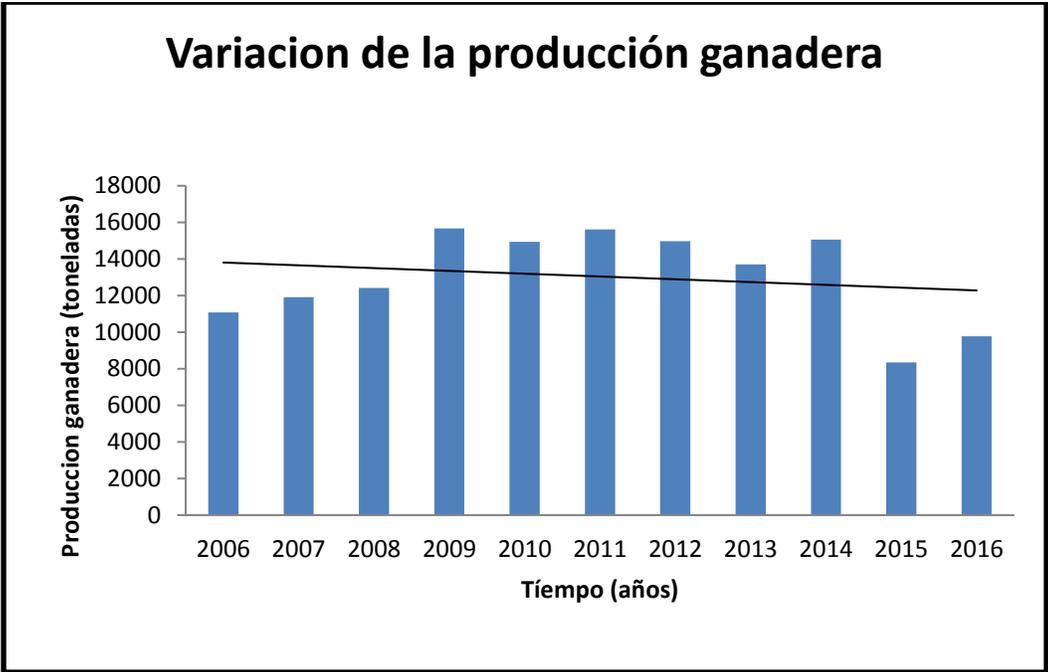
**Tabla 2.** Valores de abundancia y producción ganadera en la región de Torreón

Año	Abundancia (moléculas/cm <sup>2</sup> )	Producción anual (Toneladas)
2006	3.217x10 <sup>19</sup>	11084.85
2007	3.224x10 <sup>19</sup>	11916.01
2008	3.246x10 <sup>19</sup>	12416.24
2009	3.254x10 <sup>19</sup>	15665.54
2010	3.262x10 <sup>19</sup>	14932.98
2011	3.268x10 <sup>19</sup>	15610.08
2012	3.284x10 <sup>19</sup>	14973.57
2013	3.282x10 <sup>19</sup>	13708.88
2014	3.295x10 <sup>19</sup>	15065.16
2015	3.305x10 <sup>19</sup>	8339.95
2016	3.313x10 <sup>19</sup>	9772.26

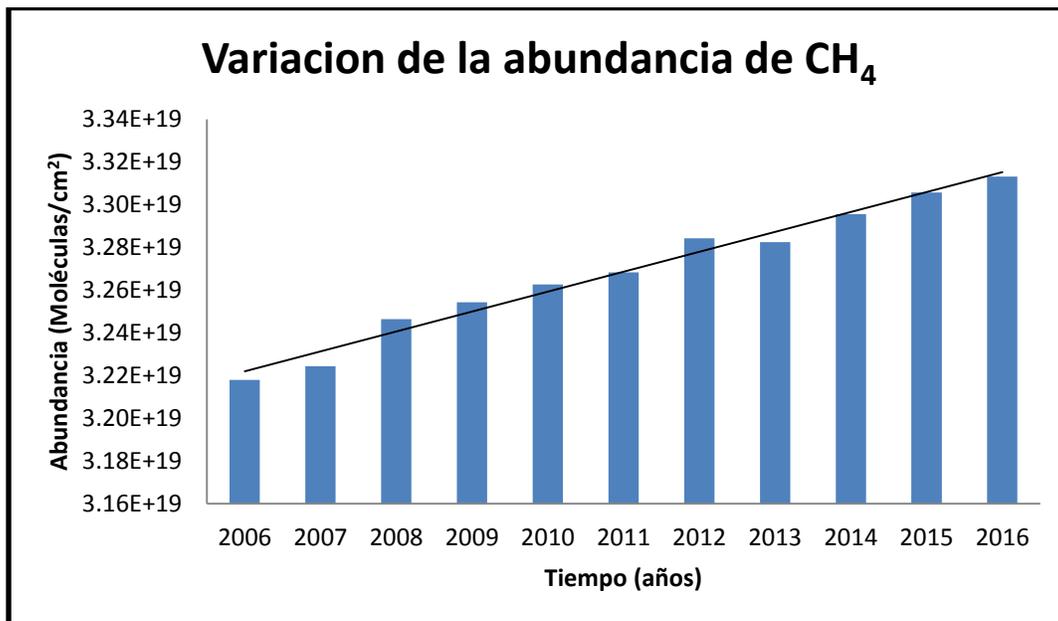


**Gráfico 1.** Tendencia de la abundancia de metano en la región de Torreón, Coahuila.

En el gráfico 1 se presenta una tendencia de aumento en la abundancia de metano conforme avanza el tiempo, en cuanto el gráfico 2 no presenta una tendencia de aumento en la producción ganadera ya que se presentan variaciones aumentando en el 2008 y siguiendo cierta constancia, pero con una disminución en el año 2015 y volviendo a aumentar en 2016, la variación de la producción es muy discontinua. En el gráfico 3 se muestra la variación de la abundancia de metano, la variación no es notable ya que se observa que aumenta la abundancia cada año. La relación que hay entre la abundancia de metano con la producción ganadera no es la que se esperaba ya que sólo coincidiría con algunos años, en donde se aprecia un aumento de la producción ganadera.



**Gráfico 2. Variación de la producción ganadera en la región de Torreón, Coahuila.**

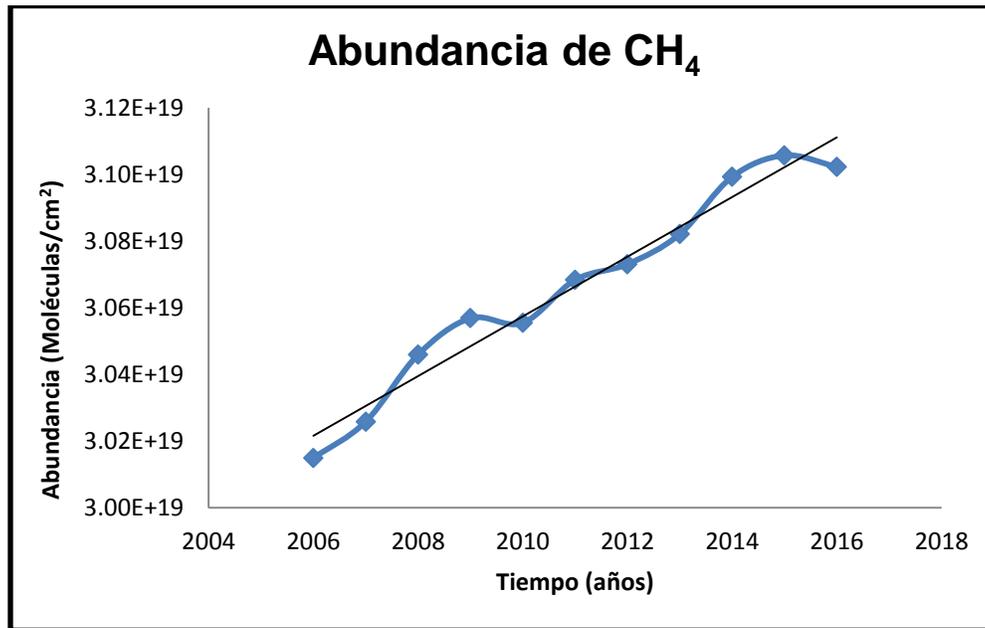


**Gráfico 3.** Variación de la abundancia de metano en la región de Torreón, Coahuila.

## 7.2 Región de El Oro (Durango)

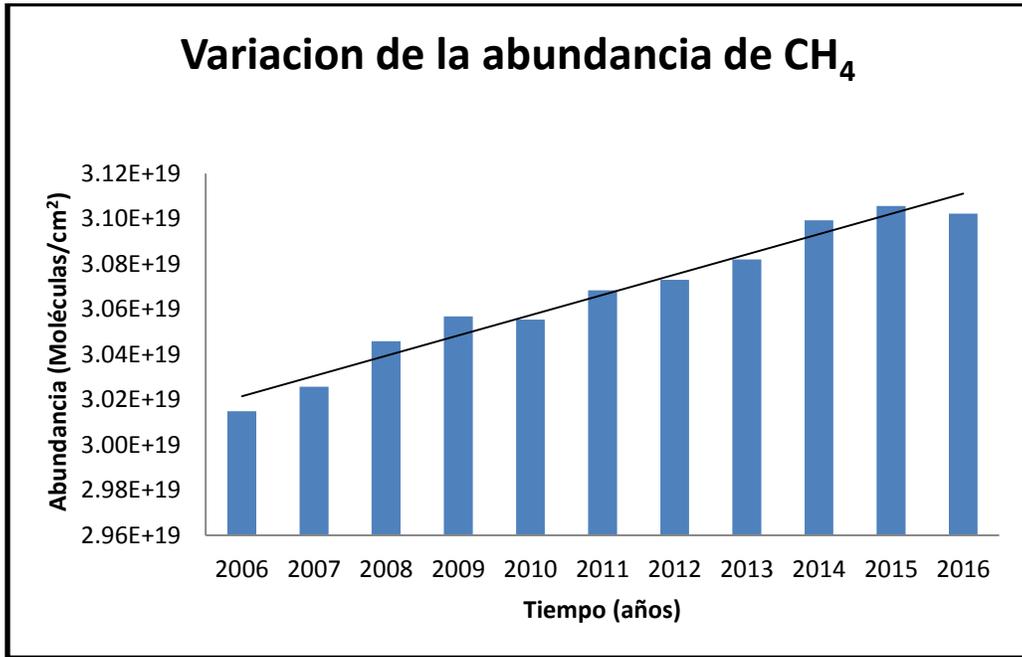
**Tabla 3.** Valores de abundancia y producción ganadera en la región de El Oro

<b>Año</b>	<b>Abundancia (moléculas/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Producción anual (Toneladas)</b>
<b>2006</b>	3.014x10 <sup>19</sup>	3623.15
<b>2007</b>	3.025 x10 <sup>19</sup>	3596.56
<b>2008</b>	3.045 x10 <sup>19</sup>	3858.95
<b>2009</b>	3.056 x10 <sup>19</sup>	3470.20
<b>2010</b>	3.055 x10 <sup>19</sup>	4013.71
<b>2011</b>	3.068 x10 <sup>19</sup>	3884.37
<b>2012</b>	3.073 x10 <sup>19</sup>	4064.21
<b>2013</b>	3.082 x10 <sup>19</sup>	2937.94
<b>2014</b>	3.099 x10 <sup>19</sup>	3700.49
<b>2015</b>	3.105 x10 <sup>19</sup>	3793.95
<b>2016</b>	3.102 x10 <sup>19</sup>	3517.46

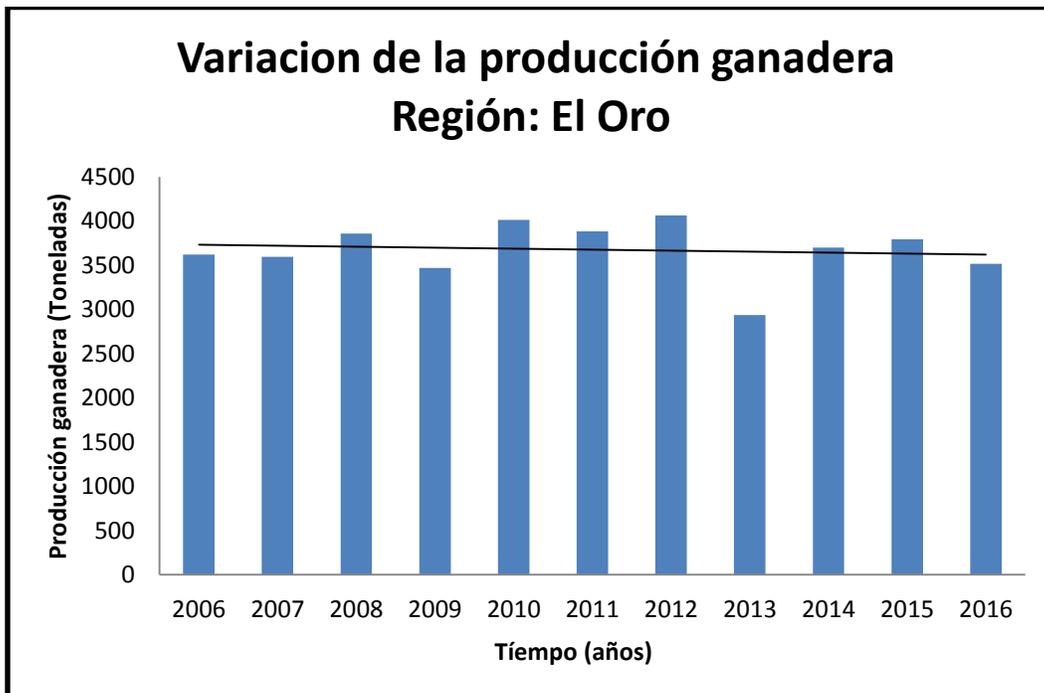


**Gráfico 4. Tendencia de la abundancia de metano en la región de El Oro, Durango.**

El gráfico 4 presenta una tendencia de aumento en la abundancia de CH<sub>4</sub>, con un ligero cambio en el año 2010, que no es significativa ya que posterior a ese año se vuelve a incrementar, en cuanto al gráfico 6 la variación de la producción ganadera es más constante, teniendo unas disminuciones en el año 2009 y 2013, aunque no tiende a ir aumentando ya que se empieza con una producción de 3623.15 toneladas y termina con una producción similar de 3517.46 toneladas. En cuanto a la variación de la abundancia no es tan grande, tiende a aumentar año con año, la relación que hay entre la abundancia de CH<sub>4</sub> y la producción ganadera es un poco más notable, pero no tan marcada como se esperaba.



**Gráfico 5. Variación de la abundancia de metano en la región de El Oro, Durango.**

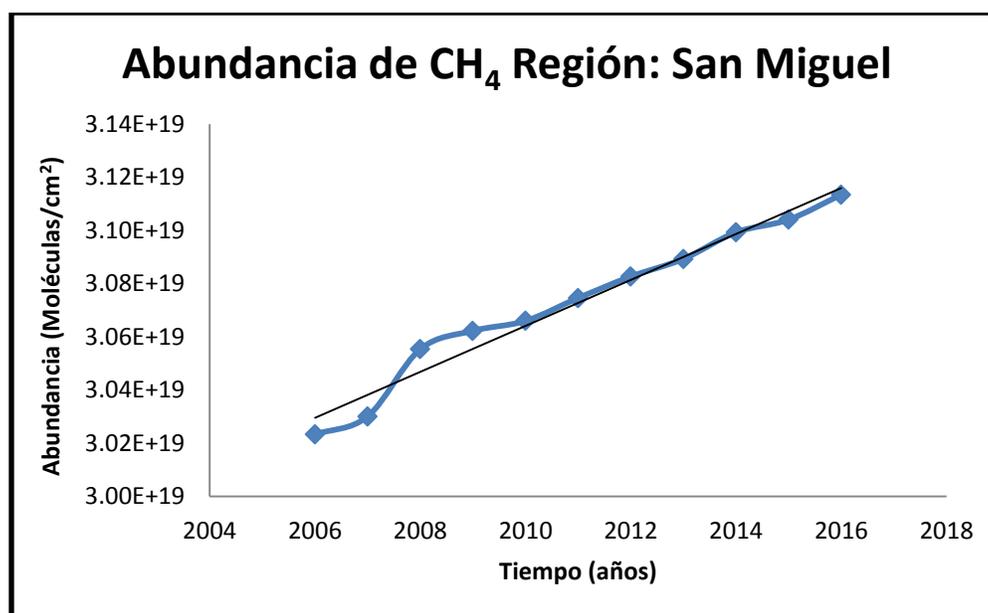


**Gráfico 6. Variación de la producción ganadera en la región de El Oro, Durango.**

### 7.3 Región San Miguel (Jalisco)

**Tabla 4.** Valores de abundancia y producción ganadera en la región de San Miguel.

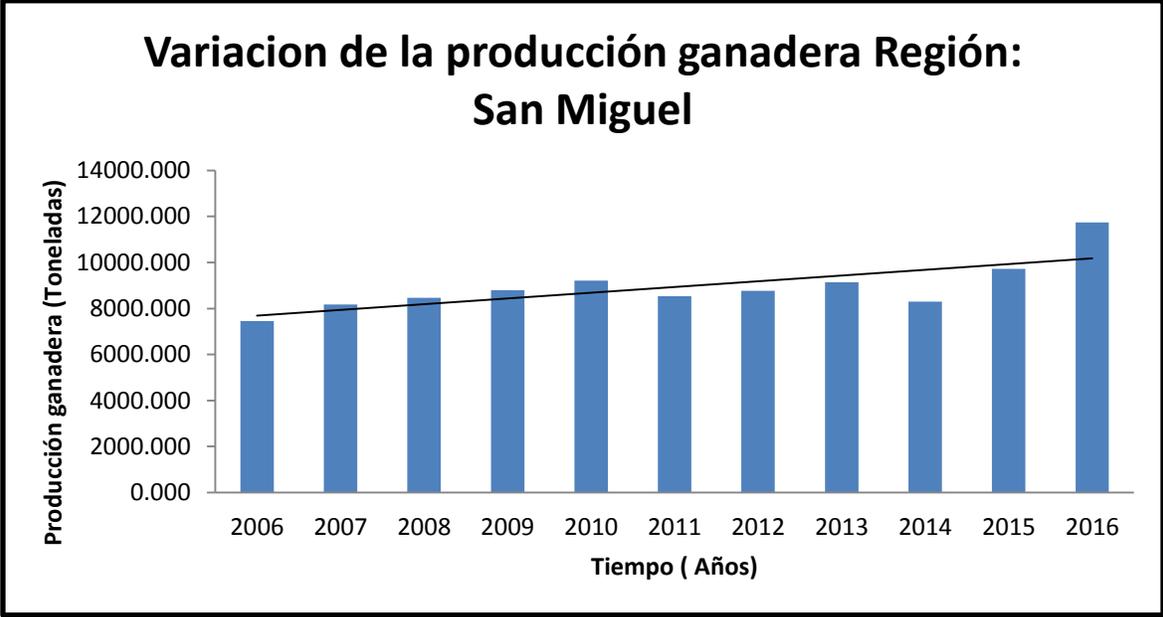
Año	Abundancia (moléculas/cm <sup>2</sup> )	Producción anual (Toneladas)
2006	3.023 x10 <sup>19</sup>	7454.32
2007	3.030 x10 <sup>19</sup>	8172.01
2008	3.055 x10 <sup>19</sup>	8468.21
2009	3.062 x10 <sup>19</sup>	8795.23
2010	3.066 x10 <sup>19</sup>	9217.50
2011	3.074 x10 <sup>19</sup>	8533.59
2012	3.082 x10 <sup>19</sup>	8771.78
2013	3.089 x10 <sup>19</sup>	9146.26
2014	3.099 x10 <sup>19</sup>	8293.36
2015	3.104 x10 <sup>19</sup>	9720.87
2016	3.113 x10 <sup>19</sup>	11746.59



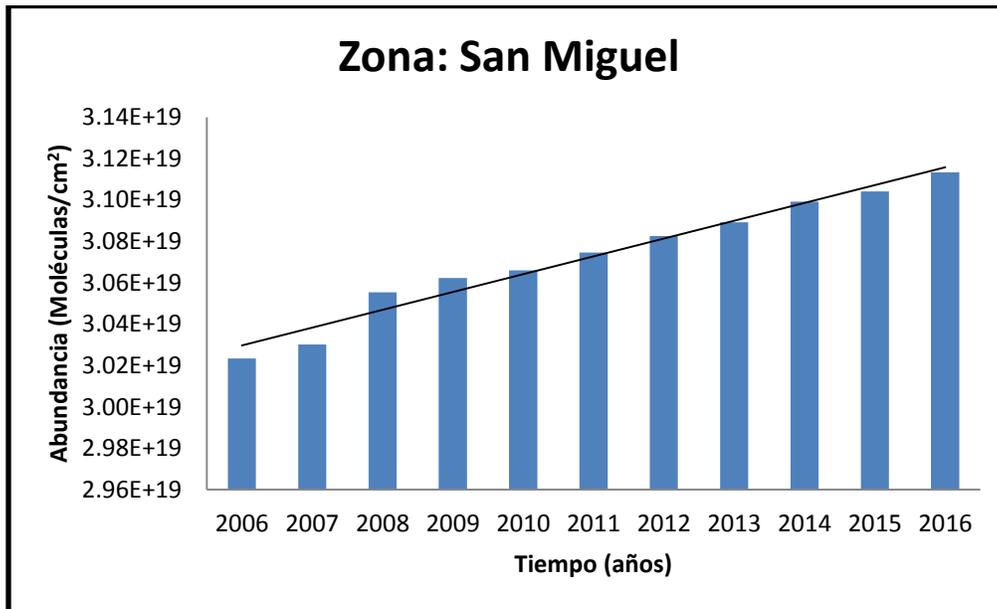
**Gráfico 7.** Tendencia de la abundancia de metano en la región de San Miguel, Jalisco.

Se puede observar en el gráfico 7 que la abundancia de metano tiene una tendencia a ir aumentando, empezando con una abundancia de 3.023 x10<sup>19</sup> moléculas/cm<sup>2</sup> en el año 2006 y terminando con 3.113 x10<sup>19</sup> moléculas/cm<sup>2</sup> en el 2016, dicho aumento

es más notable a partir del año 2008, donde el aumento es mayor y constante. En los gráficos 8 y 9 se puede apreciar mejor la variación tanto de la abundancia de metano y la producción ganadera, la variación es muy parecida, en la producción se empieza con una producción de 7454.32 toneladas en 2006 y termina con una producción de 11746.59 toneladas, por lo que si puede tener cierta influencia la producción ganadera en el aumento de metano de dicha región. La relación que hay entre la abundancia de metano, con la producción ganadera de la región es más notable, es la que se esperaba que al ir aumentando la actividad ganadera de la región aumentara la abundancia de metano.



**Gráfico 8. Variación de la producción ganadera en la región de San Miguel, Jalisco.**

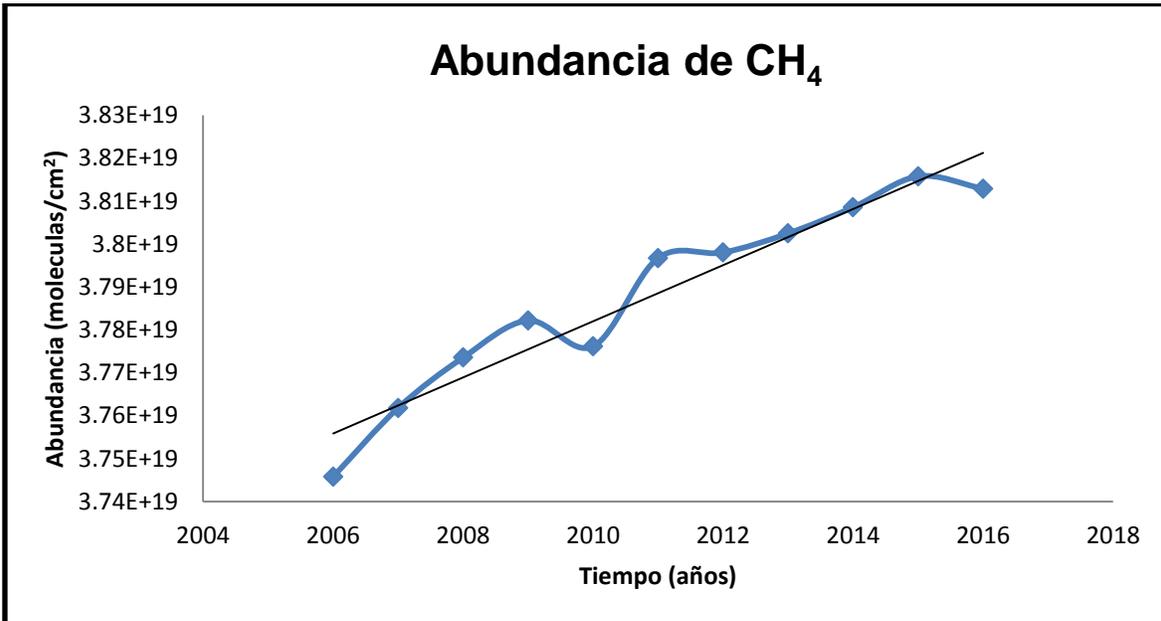


**Gráfico 9. Variación de la abundancia de metano en la región de San Miguel, Jalisco.**

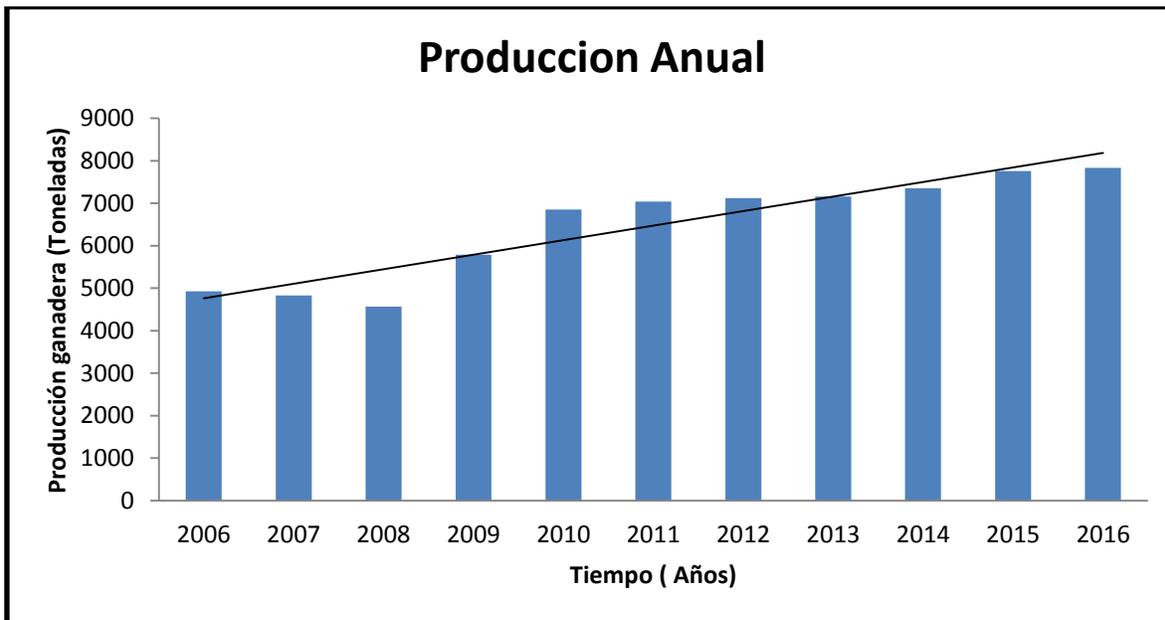
#### 7.4 Región Ignacio de la Llave (Veracruz)

**Tabla 5.** Valores de abundancia y producción ganadera en la región de Ignacio de la Llave.

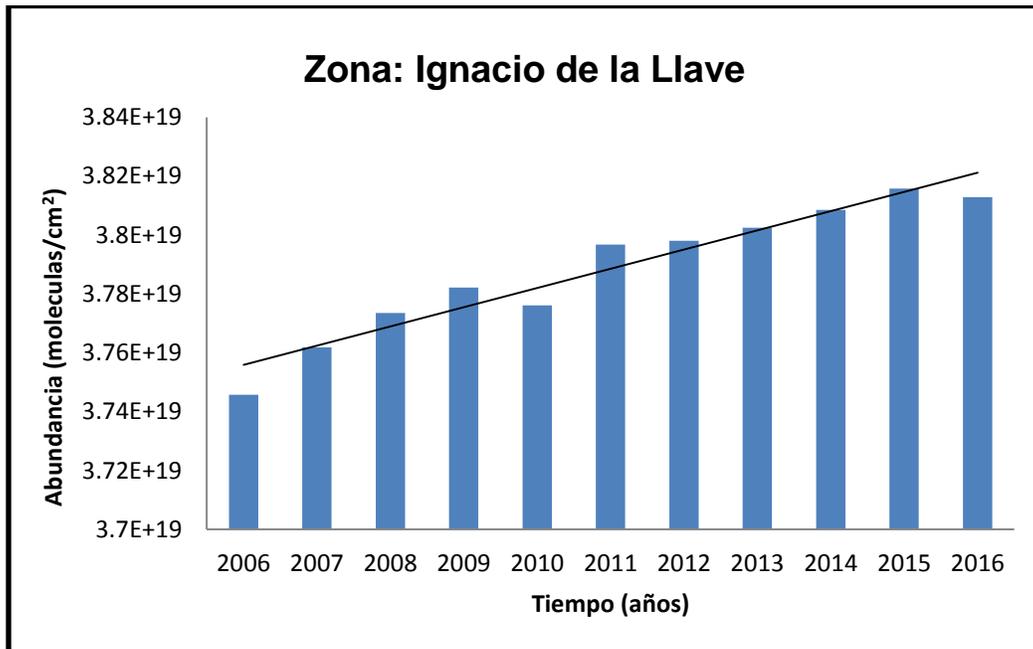
<b>Año</b>	<b>Abundancia (moléculas/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Producción anual (Toneladas)</b>
<b>2006</b>	3.745 x10 <sup>19</sup>	4928.24
<b>2007</b>	3.761 x10 <sup>19</sup>	4827.20
<b>2008</b>	3.773 x10 <sup>19</sup>	4565.03
<b>2009</b>	3.782 x10 <sup>19</sup>	5793.06
<b>2010</b>	3.776 x10 <sup>19</sup>	6855.59
<b>2011</b>	3.796 x10 <sup>19</sup>	7043.77
<b>2012</b>	3.798 x10 <sup>19</sup>	7126.03
<b>2013</b>	3.802 x10 <sup>19</sup>	7159.10
<b>2014</b>	3.808 x10 <sup>19</sup>	7354.58
<b>2015</b>	3.815 x10 <sup>19</sup>	7757.79
<b>2016</b>	3.812 x10 <sup>19</sup>	7831.55



**Gráfico 10. Tendencia de la abundancia de metano en la región de Ignacio de la Llave.**



**Gráfico 11. Variación de la producción ganadera de la región de Ignacio de la Llave, Veracruz.**



**Gráfico 12. Variación de la abundancia de metano en la región de Ignacio de la Llave, Veracruz.**

Se puede observar en el gráfico 10 que la abundancia de metano tiene una tendencia a ir aumentando, aunque presenta un ligero cambio en el año 2010 donde disminuye, pero posterior a ese año vuelve a aumentar, empezando con una abundancia de  $3.745 \times 10^{19}$  moléculas/cm<sup>2</sup> en el año 2006 y terminando con una abundancia de  $3.812 \times 10^{19}$  moléculas/cm<sup>2</sup> en el 2016. En los gráficos 11 y 12 se puede apreciar mejor la variación tanto de la emisión de metano y la producción ganadera, la variación es muy parecida, en la producción se empieza con una producción de 4928.24 toneladas en 2006 y termina con una producción de 7831.55 toneladas, por lo que si puede tener influencia la producción ganadera en el aumento de metano de dicha región. La relación que hay entre la abundancia de metano, con la producción ganadera de la región es notable, ya que ambos van de menor a mayor y es la que se esperaba que al ir aumentando la actividad ganadera de la región aumentara la abundancia de metano.

## 8. Conclusiones

- Se observa que las 4 regiones de estudio presentan una tendencia en el aumento de la abundancia de metano, por lo cual si se puede establecer un precedente de que hay un aumento en la abundancia de metano, pero que no solamente se ve influenciado por la ganadería.
- No se puede establecer una relación del todo entre la abundancia de metano y la producción ganadera porque no es la que se esperaba en todas las regiones, en 2 de las regiones El Oro y Torreón, se presentan altibajos en la producción ganadera, que no corresponderían a la tendencia de aumento de la abundancia de metano, pero si tiene influencia en las 2 regiones restantes; San Miguel e Ignacio de la Llave, ya que se termina con una producción alta, que correspondería a la tendencia de aumento de metano, se puede considerar que hay cierto aporte de la actividad ganadera, pero que pueden influir otros factores en las regiones que provoquen el aumento de la abundancia de metano.
- Aunque el principal factor de emisiones de metano es la quema de combustible, la ganadería también un aporte considerable, esto debido al incremento de la población por lo cual se requiere mayor cantidad de alimento, no solo animal, lo que no sólo provoca el aumento de metano, si no que provoca la erosión de suelos por el sobrepastoreo no sólo de ganado bovino si no de otro tipo de ganado, este efecto puede ser mayor en zonas áridas como Durango y Coahuila.
- El mal manejo de los residuos ganaderos influye también al aumento de metano, los cuales son llevados a lagunas, vertederos, o rellenos sanitarios, donde la gran mayoría no tiene la tecnología adecuada para el tratamiento de estos desechos, por lo cual las estrategias de mitigación cumplen un papel fundamental para mitigar el impacto tanto del metano como de otros gases.

- Las estrategias de mitigación de metano, referente a las actividades pecuarias, basadas en la modificación de la alimentación del ganado, es una opción viable, ya que tratan de inhibir la fermentación entérica, así como la implementación de plantas generadoras de electricidad usando como combustible los residuos de estiércol provenientes del ganado para provocar la fermentación entérica, la participación de instituciones nacionales como SAGARPA, FIRCO cumplen un papel fundamental, tanto para el desarrollo de ciencia, tecnología y difusión de temas ambientales, donde se espera que México sea uno de los principales generadores de bioenergía proveniente de estos medios.

## 9. Bibliografía

- Baird C. (2001). Química Ambiental. España: Reverte. pp. 90-190.
- Berra, Guillermo; Finster, Laura. (2002). Tecnologías para nuevos escenarios, IDIA, Emisión de Gases de Efecto Invernadero. 211-215.
- Blanco, J., Álvarez A. & Morgan H.O. 2011. Contribución de la ganadería a las emisiones de gases de efecto invernadero. Ciencia y Tecnología Ganadera 5-51.
- Carmona CJ, Bolívar MD, Giraldo AL. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Rev Col Cienc Pecu 2005; 18:1(49-63).
- Chagunda MGG, Ross D and Roberts DJ. 2009. On the use of a laser methane detector in dairy cows. Computers and Electronics in Agriculture, 68:157–60.
- Ciesla W. (1996). Cambio Climático bosques y ordenación forestal. Roma: FAO, pp.23-55.
- Díaz Castillo, A., & Sardiñas López, Y., & Castillo Corría, E., & Padilla Corrales, C., & Jordán Vázquez, H., & Alpide Tovar, D., & Arjona Ruiz, M., & Ortega García, G. (2014). Caracterización de ranchos ganaderos de Campeche, México. Resultados de proyectos de transferencia de tecnologías. Avances en Investigación Agropecuaria, 18 (2), pp. 41-61.
- Fasullo, J., Kiehl, J.T. (2009). Earth's global energy budget. Bulletin of the American Meteorological Society, 90(2), pp. 311–323
- Figueruelo J & Dávila M. (2001). Química Física del Medio Ambiente. Puebla, México: Reverte. pp. 12-30.

- Gerber P.J, Henderson B & Tempio G. (2013). Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Roma, FAO: FAO.
- Grant R. (2017). Atmospheric Chemistry From the Surface to the Stratosphere. Europe Ltd: World Scientific. pp.120-128
- González-Ávalos, E., & Longoria-Ramírez, R. (2005). Variación del pH durante los procesos anaerobios de emisión de metano por el secado y la fermentación de excretas de ganado bovino en el centro de México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 21 (4), 159-170.
- Kepler F. (2006). Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. Nature pp.187-191.
- Méndez V., Nordhausen R., Villalobos C. y Castellanos S. 2000. Informe legislativo sobre la asistencia a la 11era. Conferencia de las partes de la convención marco sobre el cambio climático (2006). Gaceta del Senado de la República Mexicana, 151 [publicación en línea] disponible: <http://www.senado.gob.mx> Consultada 28/01/2019.
- Miller, J. J. (2001). Impact of intensive livestock operations on water quality. In Proc. Western Canadian. Dairy Seminar (Vol. 13, pp. 405-416).
- OECD, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2013: The OECD strategy on development, en Active in development, París, Francia.
- Orozco-Hernández, M., & Tapia-Quevedo, J., & Míreles-Lezama, P., & Vera-Bolaños, M., & García-Fajardo, B., & Álvarez-Arteaga, G. (2015). Desarrollo agropecuario y variación climática en el Estado de México. Quivera, 17 (1), 99-119.

- Pous J. & Jutglar L. (2004). Energía Geotérmica. España: Energías Alternativas y Medio Ambiente, pp. 30-45.
- Romeo L &, Díez L &, González A &, Lara Y. (2010). Captura y Almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Zaragoza, España: Prensas Universitarias de Zaragoza, pp. 9-25.
- SAGARPA. 2012. Utilización de estiércoles. Artículo No. 7. En: [http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasapt/Utilización deestiércoles.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasapt/Utilización_deestiércoles.pdf).
- SAGARPA. 2001. Situación actual y perspectiva de la producción de leche de ganado bovino en México. 66 pp.
- Shibata M and Terada F. 2010. Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. Journal of Animal Science 81, pp.2-10.
- Solórzano Ochoa, G. (2003). Aportación de gases de efecto invernadero por el manejo de residuos sólidos en México: el caso del metano. Gaceta Ecológica, (66), 7-15.
- Tesis: Karla A. López, (2017) Localización de zonas con potencial geotérmico usando técnicas de percepción remota, en el centro-oriente de Sonora, México. UNAM
- Tesis: Réne Rensoli Samayoa (2017), Análisis de las tendencias de las concentraciones de NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> en el periodo 2000-2015 en la zona Metropolitana de la Ciudad de México y su implicación en la química atmosférica local, UNAM.
- Tesis: Abel Paredes Gómez (2014), Influencia de la circulación atmosférica sobre el transporte de biopartículas como indicadores de contaminación en la Zona Metropolitana del Valle de México, UNAM.

- Tesis: María de Jesús Alvarado López, (2016), Aplicación de la percepción remota en el diagnóstico de la pérdida de área naturales debido al crecimiento urbano en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, UNAM.
- Trenberth, Fasullo and Kiehl (2009): Earth's global energy budget. In: Bulletin of the American Meteorological Society, preprint Kiehl and Trenberth.
- Verge XPC, De Kimpe C, Desjardins RL. 2007. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. Agricultural and Forest Meteorology 142:2, pp.55–69.
- Verde Zuchetti, Gemma María; Hernández Beltrán, Antonio; López del Buen, Lorena. Cambio Climático y Ganadería Bovina Tropical. Revista de divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana. Volumen XXV. Número 3. 2012.

## **Mesografía**

- <http://www.fao.org/home/es/> Consultada 19/02/2019
- <https://www.gob.mx/firco> Consultada 18/02/2019
- <https://www.gob.mx/senasica> Consultada 15/02/2019
- <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria> Consultada 12/02/2019
- [https://nube.siap.gob.mx/cierre\\_pecuario/](https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/) Consultada 13/02/2019

- <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=AcMp&starttime=2006-01-01T00:00:00Z&endtime=2017-02-01T23:59:59Z> Consultado 30/01/2019
  
- <https://earthdata.nasa.gov/> Consultado 30/01/2019
  
- <https://www.inegi.org.mx/temas/ganaderia/> Consultada 7/02/2019
  
- <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/elementos.aspx> Consultada 15/01/2019
  
- <http://www.cualtos.udg.mx/contenido/asociacion-ganadera-local-de-san-miguel-el-alto> Consultada 5/02/2019
  
- <http://www.cnog.org.mx/> Consultada 15/01/2019

## 10. Anexo

### **Anexo. Abreviaturas y siglas.**

**AMSR-E.** Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS

**AMSU-A.** Advanced Microwave Sounding Unit

**AIRS.** Atmospheric Infrared Sounder

**CERES.** Clouds and the Earth's Radiant Energy System

**CH<sub>4</sub>.** Metano

**CO.** Monóxido de carbono

**CO<sub>2</sub>.** Dióxido de carbono

**CO<sub>2</sub> eq.** Equivalentes de dióxido de carbono

**CMNUCC.** Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático

**cm<sup>2</sup>.** Centímetro cuadrado

**FAO.** Food and Agriculture Organization.

**FIRCO.** Fideicomiso de Riesgo Compartido

**GEI.** Gas(es) de efecto invernadero.

**Gt.** Giga tonelada.

**H<sub>2g</sub>.** Hidrogeno gaseoso

**H<sup>+</sup>.** Protón

**HFC.** Hidrofluorocarburos.

**HSB.** Humidity Sounder for Brazil

**INECC.** Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

**INEGI.** Instituto Nacional de Estadística y Geografía

**IPCC.** Intergovernmental Panel on Climate Change.

**IR.** Infrarrojo

**Km<sup>2</sup>.** Kilómetro cuadrado

**MODIS.** Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer

**NASA.** National Aeronautics and Space Administration.

**nm.** Nanómetro

**O<sub>3</sub>.** Ozono

**PFC.** Perfluorocarbono.

**SAGARPA.** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural.

**SEMARNAT.** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

**SF<sub>6</sub>.** Hexafluoruro de azufre.

**SIAP.** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

**UV.** Ultravioleta.

**W/m<sup>2</sup>.** Watt por metro cuadrado