



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC  
LICENCIATURA DE INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA**

**EMISIÓN DE ÓXIDO NITROSO DEL SUELO EN UN SISTEMA  
SILVOPASTORIL, DEBIDO AL PARCHE DE ORINA DE BOVINOS EN LA  
ÉPOCA DE LLUVIAS**

**TESIS**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA**

**QUE PRESENTA**

**FELIPE JAIMES AVILÉS**

**DIRECTORA DE TESIS**

**DRA. FRANCISCA AVILÉS NOVA**

TEMASCALTEPEC DE GONZÁLEZ, MÉXICO; SEPTIEMBRE 2022.

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue medir la emisión de Óxido Nitroso ( $N_2O$ ) en el suelo simulando un sistema silvopastoril, debido al parche de orina de bovinos, al incrementar la concentración de Nitrógeno Ureico por el consumo de follaje de *Leucaena leucocephala*, donde en el rancho “El Peñón” municipio de Temascaltepec se simuló un sistema silvopastoril y se expusieron a dieta 3 becerras estabuladas de raza cruzada con las mismas características de peso y edad, la dieta se conformó por extracto basal (forraje) y leguminosa (guaje) donde cada ternera recibió la dieta a diferentes niveles de inclusión de la leguminosa, conformada por tres tratamientos: T1: Pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) + 0% de guaje (*Leucaena Leucocephala*), T2: Pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) + 15% de guaje (*Leucaena Leucocephala*), T3: pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) + 30% de guaje (*Leucaena Leucocephala*), esto se ofreció por semana y media, durante la dieta a través de masaje vulvar se estimularon las becerras para la captación de orín, mismo que se irrigó en la pradera experimental donde constó con 12 cámaras captadoras de gas y 12 micro-parcelas, se midió tamaño de la mancha de orín y se utilizó un modelo estadístico completamente al azar, en la base de datos también se incluyeron los resultados de análisis de suelo de cada muestreo de gas (pH), la dieta se sometió a un análisis mismo que nos arrojó un 22% de PC en la leguminosa. De acuerdo con los resultados obtenidos en el experimento tuvimos que las mayores emisiones de  $N_2O$  se produjeron en el día 4 (Tratamiento 1=  $4.198 \text{ g ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , Tratamiento 2=  $5.692 \text{ g ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  y Tratamiento 3=  $5.492 \text{ g ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ), reduciendo en las demás fechas de muestreo hasta un mínimo promedio. EL uso de diferentes porcentajes de inclusión de follaje de árboles leguminosos (*Leucaena*) no tuvo un efecto sobre las emisiones de  $N_2O$ . En este trabajo los flujos de  $N_2O$  estuvieron influenciados por las condiciones del suelo como el pH y la humedad del suelo más que por el nivel proteico de la dieta y su efecto sobre la

concentración de N de la orina.

## CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1.	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero .....	4
2.2.	Cambio climático y la ganadería .....	4
2.3.	Emisiones de GEI en México .....	5
2.4.	Emisiones por sector en México .....	6
2.5.	Origen y Suelos en México.....	8
2.6.	Suelos del Estado de México. ....	11
2.6.1.	Degradación de los Suelos en México. ....	12
2.7.	Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O) Gas de Efecto Invernadero. ....	25
2.8.	Formación del N <sub>2</sub> O. ....	26
2.9.	Fuentes de Emisión de N <sub>2</sub> O.....	27
2.10.	Estrategias de Mitigación de N <sub>2</sub> O.....	28
2.11.	Parche de Orina .....	28
2.12.	Mediciones de N <sub>2</sub> O en suelos.....	29
2.13.	Medición de N <sub>2</sub> O en suelo pastoreado por bovinos leche. ....	30
2.14.	Balances de nitrógeno en sistemas de producción bovina. ....	30
2.15.	Gramíneas y Leguminosas arbóreas forrajeras. ....	31
2.16.	Composición Química de la <i>Leucaena Leucocephala</i> . ....	32
2.17.	Sistemas Silvopastoriles. ....	34
2.18.	Manejo de un SSP. ....	35
2.19.	Interacciones en el SSP. ....	36

2.20. Ciclo del Nitrógeno.....	37
2.21. Dinámica del nitrógeno en el suelo. ....	42
2.22. Ciclo del carbono. ....	43
2.23. Técnicas de cuantificación de gases de efecto invernadero en suelos. ....	45
III. HIPÓTESIS .....	49
IV. OBJETIVOS .....	50
4.1. Objetivo General .....	50
4.2. Objetivos Específicos .....	50
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
5.1. Sitio Experimental.....	51
5.2. Pradera Experimental. ....	52
5.3. Características de los Animales para la obtención de la orina. ....	53
5.4. Tratamientos .....	54
5.4.1. Recolección de la <i>Leucanea</i> para la dieta.....	55
5.4.2. Elaboración de la dieta. ....	57
5.5. Cámaras Estáticas para medir el Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O).....	58
5.6. Desarrollo de Experimento. ....	60
5.6.1. Etapa 1. Ordenamiento de la Pradera.....	60
5.6.2. Etapa 2. Colección de Orina. ....	61
5.6.3. Análisis de Orina en laboratorio .....	62
5.6.4. Etapa 3. Aplicación de los tratamientos y medición Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O). ....	63
5.6.5. Tiempos de Colecta de muestra de Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O).....	63
5.6.6. Periodo de Muestreo. ....	63
5.6.7. Medida de pH del suelo.....	65
5.6.8. Análisis en Cromatografía .....	66
5.6.9 Variables de Estudio .....	68
5.6.10. Diseño experimental y análisis estadístico.....	70

<b>VI.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>71</b>
<b>6.1.</b>	<b>Emisiones promedio de N<sub>2</sub>O desde el suelo (g ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)</b> .....	<b>71</b>
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>76</b>
<b>VIII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA</b> .....	<b>77</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Emisiones de GEI por el sector Agricultura, sector forestal y cambio de uso de suelo (AFOLU por sus siglas en inglés).	6
Cuadro 2.	Servicios ecosistémicos y funciones del suelo.	9
Cuadro 3.	Superficie de las diferentes texturas de los suelos del Estado México.	10
Cuadro 4.	Superficie de las fases químicas y físicas de los suelos en Edo. México.	11
Cuadro 5.	Erosión hídrica de acuerdo a la entidad federativa en superficie y miles de hectáreas, año 2002.	17
Cuadro 6.	Erosión eólica de acuerdo a la entidad federativa en superficie y miles de hectáreas, año 2002.	18
Cuadro 7.	Porcentaje nutricional de la <i>leucaena leucocephala</i> , fibra, proteína y azúcares simples en periodo de lluvia.	31
Cuadro 8.	Porcentaje nutricional de la <i>leucaena leucocephala</i> , fibra, proteína y azúcares simples en periodo no tan lluvioso.	31
Cuadro 9.	Proceso de Amonificación.	37
Cuadro 10.	Proceso de Nitrificación.	38
Cuadro 11.	Dietas experimentales.	52
Cuadro 12.	Contenido de N Ureico en la orina por tratamiento.	60

Cuadro 13.	Emisiones promedio de óxido nitroso ( $N_2O$ ) en los días de medición en suelos.	69
Cuadro 14.	Valores mínimos, máximos, media y desviación estándar de pH en suelo de los diferentes tratamientos.	71
Cuadro 15.	Valores promedio de pH y desviación estándar a través del periodo de muestreo.	71

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Causas de la degradación y su contribución al porcentaje de superficie de suelo degradado.	12
Figura 2.	Tipos de erosión y Km2 en México.	14
Figura 3.	Mapa de México con los grados de erosión.	15
Figura 4.	Mapa de México con las formas de erosión.	15
Figura 5.	Principales causas de degradación del suelo 2002 en México.	20
Figura 6.	Prevención de la desertificación y rutas de conducción.	21
Figura 7.	Indicadores de calidad de suelos basados en presión, estado y respuesta.	22
Figura 8.	Uso del suelo a nivel nacional en el año 1997.	23
Figura 9.	Interacción de un SSP	35
Figura 10.	Ciclo del Nitrógeno.	36
Figura 11.	Bacterias Nitrosificantes y nitrificantes.	40
Figura 12.	Ciclo del Carbono.	42
Figura 13.	Proceso de fotosíntesis de las plantas.	43
Figura 14.	Mapa del Estado de México con Ubicación del municipio de Temascaltepec.	49
Figura 15.	Ubicación de la Pradera Experimental en la localidad de “El Peñón” municipio de Temascaltepec.	50
Figura 16.	Rancho el Peñón donde se llevó a cabo el experimento.	50
Figura 17.	Becerra en confinamiento en adaptación a dieta.	51
Figura 18.	Colecta del guaje en el árbol.	53
Figura 19.	Separación de las hojas del guaje.	53
Figura 20.	Separación de ramas de guaje.	54

Figura 21.	Separación de retoños del guaje.	54
Figura 22.	Secado del guaje.	54
Figura 23.	Guaje henificado.	54
Figura 24.	Inclusión del guaje al forraje.	55
Figura 25.	Elaboración de la dieta.	55
Figura 26.	Pínula de guaje henificado.	55
Figura 27.	Cámara estática.	56
Figura 28.	Colocación de las cámaras estáticas captadoras de gas.	57
Figura 29.	Medición de callejones.	57
Figura 30.	Cámara estática tapada con sus 3 broches.	57
Figura 31.	Establecimiento de la pradera experimental con las 12 cámaras estáticas.	58
Figura 32.	División y medición de microparcels.	58
Figura 33.	Colección de orina de los animales por tratamiento.	59
Figura 34.	Muestreo de gas N <sub>2</sub> O.	61
Figura 35.	Colecta de gas en la jeringa.	62
Figura 36.	Introducción del gas en el vial.	62
Figura 37.	Agrupación de las 4 tomas de gas por cámara.	62
Figura 38.	Toma de muestra de suelo en diferentes partes de la microparcels.	63
Figura 39.	Equipo de cromatografía de gases.	64
Figura 40.	Jeringa Hamilton 81556 para insertar gas al cromatógrafo.	64
Figura 41.	Secado de muestras de suelo para la realización de pH.	66
Figura 42.	Preparación de las muestras secas y pesadas de suelo con agua destilada y agitadores para realizar pH.	67
Figura 43.	Calibración del potenciómetro.	67

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Emisiones mundiales de GEI de los sistemas agroalimentarios por etapa del ciclo de vida y emisiones cápita	4
Gráfico 2.	Entidades federativas dedicadas a la ganadería en el año 1994.	23
Gráfico 3.	Flujo de emisión de $N_2O$ $g\ ha^{-1}\ día^{-1}$ durante el periodo de muestreo.	70
Gráfico 4.	Relación entre flujo de emisión de $N_2O$ y pH del suelo a través de los días de muestreo.	73

## I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, a nivel mundial las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero han generado una serie de cambios ambientales, como aumento en la temperatura media de la tierra, teniendo por consecuencia un aumento en la frecuencia de fenómenos climáticos extremos como el aumento de las precipitaciones globales, así como cambios en la intensidad o frecuencia de fenómenos atmosféricos como tormentas, inundaciones y sequías, cada vez con más gravedad se ven estas manifestaciones ambientales. (Hernández Tapia *et al.*, 2019).

El sector agropecuario es uno de los principales emisores de N<sub>2</sub>O, entre ellos la ganadería que por medio de la orina provee a los suelos grandes cantidades de Nitrógeno (N) generándose así el origen de las emisiones de N<sub>2</sub>O. Existen muchos factores que varían las emisiones en los suelos, entre ellos están la disponibilidad de N, Carbono y pH en suelos, además de tipos de pasturas, temperatura, humedad, contenido de oxígeno, entre otros. (Berger-Berretta, 2011).

El N<sub>2</sub>O ha sido responsable por el 5% del GEI total a lo largo de los últimos 100 años y presenta un potencial de calentamiento global de 310 veces al de CO<sub>2</sub>. (Núñez Ramos *et al.*, 2020).

De las emisiones globales de N<sub>2</sub>O de origen antrópico se considera que un 65 % pertenecen al sector pecuario. Sin embargo, si se toman en cuenta exclusivamente las emisiones agrícolas, la ganadería es responsable de 75 a 80 % de las emisiones de N<sub>2</sub>O. En el 2003 en México se estimó que es responsable del 1.4 % de las emisiones globales de GEI que representan aproximadamente 665 304.92 billones de kg en equivalentes de CO<sub>2</sub> (Gg de CO<sub>2</sub>e), dentro de los cuales el sector agropecuario tuvo una participación del 12 % del total de emisiones nacionales.

La fermentación entérica así como el manejo del estiércol fueron las principales fuentes de emisión dentro del sector agropecuario, con 51 208.13 y 13 735.52 Gg de CO<sub>2</sub>e, respectivamente.

Con relación a los gases, el CH<sub>4</sub> contribuyó con 68.1 %, el N<sub>2</sub>O con 31.4 % y el CO<sub>2</sub> con 0.5 % de las emisiones totales del sector. (Hernández Tapia *et al.*, 2019).

La ganadería a nivel mundial es una de las actividades principales que realiza el ser humano en todas las escalas. Es una fuente de alimento principal y se considera una de las principales actividades responsables de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que durante los últimos años han estado teniendo actividad degradadora de las capas superficiales atmosféricas de la tierra, generando así una serie de cambios climáticos de mayor impacto a nivel global, como lo son las sequías, inundaciones, derretimiento de los casquetes polares que es problema de gravedad total que tenemos que atacar a la brevedad.

La responsabilidad de estos gases generados es atribuida principalmente a los procesos digestivos, ya que por medio de la ingesta y procesamiento de los alimentos el animal libera por medio de excretas (orín, heces y eructos) estos gases como el CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>.

Los sistemas pastizales se consideran uno de los principales que ayudan con las emisiones de estos gases a la hora de crear asociaciones (Gramíneas/Leguminosas) de especies arbóreas, arbustivas y de pastos que proporcionándose adecuadamente ayudan a reducir este tipo de emisiones de GEI.

En los sistemas de producción extensivos del sur del Estado de México se busca la implementación de sistemas Silvopastoriles con la presencia de *Leucaena Leucocephala*, ya que la eficiencia alimenticia es muy baja por que la mayor cantidad de nitrógeno es excretado, además de que se buscan estrategias de la utilización de esta leguminosa en los niveles adecuados para evitar el incremento de GEI principalmente el N<sub>2</sub>O que se considera un gas con mayor retardo en la atmosfera con potencial de contaminación 300 veces mayor el CO<sub>2</sub>.

De aún lado a esto la bibliografía es carente en este tema de gran importancia, para poder comprender procesos que se desarrollan con los GEI en el sector pecuario, principalmente la relación que existe entre el animal, planta y suelo, así

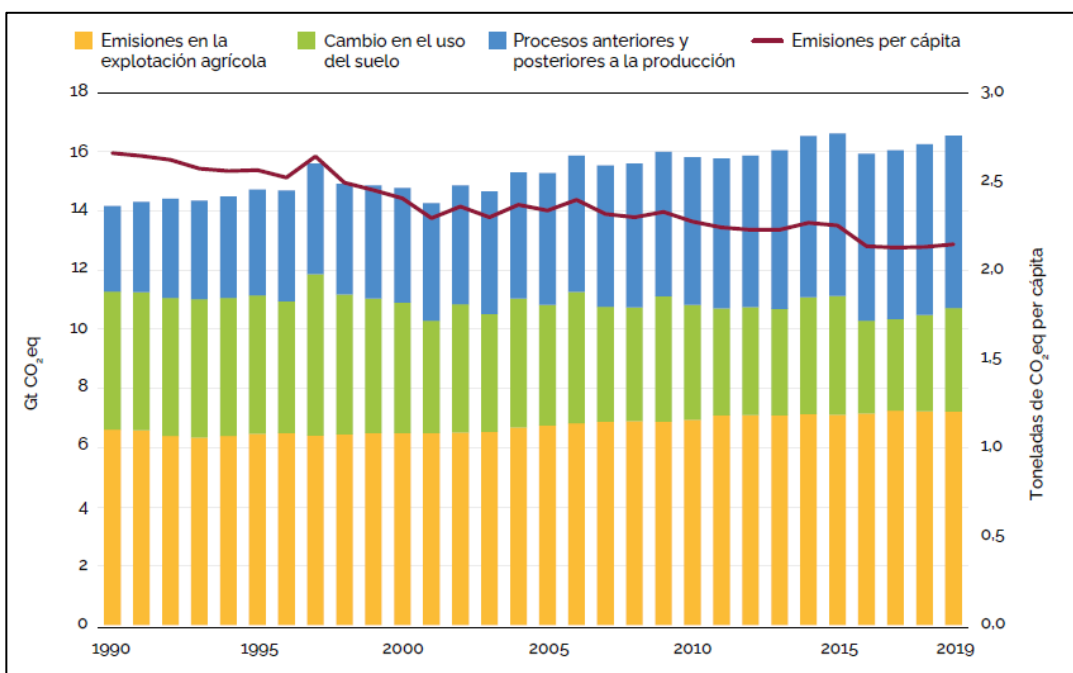
como la forma en como poder intervenir para la colaboración de la mitigación de estos, además dar a conocer más a fondo de las cualidades que poseen los SSP y sus beneficios con la ganadería y relación que estos tienen con el medio ambiente, la alimentación y la emisión de los GEI por sectores, creando conciencia de la magnitud de este tema.

Por lo tanto el objetivo de este trabajo fue la medición de la emisión de Óxido Nitroso ( $N_2O$ ) en el suelo de un sistema silvopastoril, debido al parche de orina de bovinos, al incrementar la concentración de Nitrógeno Ureico por el consumo de follaje de *Leucaena leucocephala*.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Las emisiones de GEI antrópicas a nivel mundial específicamente en el año 2019 se calcula que fueron alrededor de 54 000 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> según la (Osorio, 2021), mismas que de estas 17 000 millones de toneladas equivalentes al 31% de CO<sub>2</sub> procedían de los sistemas agroalimentarios. Por lo que estos sistemas generaron 21% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, 53% de metano y 78% de óxido nitroso como se muestra en la gráfica 1.



**Gráfica 1. Emisiones mundiales de GEI de los sistemas agroalimentarios por etapa del ciclo de vida y emisiones cápita.**

Fuente: Osorio (2021).

### 2.2. Cambio climático y la ganadería

El cambio climático global es uno de los principales problemas ambientales que enfrenta la sociedad mundial y que trae consigo el incremento de la temperatura

media planetaria, como consecuencia del aumento -de origen antrópico- de los GEI, sobre todo dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, metano CH<sub>4</sub> y óxido de nitrógeno N<sub>2</sub>O, en cuya dinámica el suelo como almacén de carbono orgánico ejerce una función clave. El efecto señalado irá creciendo en las próximas décadas y de ahí la preocupación mundial por este fenómeno. El óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) es un gas efecto invernadero que interviene directamente en el cambio climático (CC), su permanencia en la estratósfera genera la destrucción de la capa de ozono provocando que ésta se vuelva cada vez más fina (CATIE, 2015).

De acuerdo con la FAO, la ganadería en Latinoamérica ha tenido un crecimiento acelerado, el cual ha convertido a esta región en el mayor exportador de carne bovina y de ave en el mundo, lo que representa alrededor de 45% del PIB agrícola de esta zona; no obstante, este crecimiento requiere un enfoque sustentable, puesto que la ganadería está teniendo un impacto negativo al medio ambiente (FAO, 2017).

Entre los impactos negativos al medio ambiente se encuentran: alteraciones al relieve, desecación de humedales, deforestación, disminución de la biodiversidad, erosión y compactación de suelos, uniformidad genética de los pastizales y sabanas, cambio en el curso de los ríos, emisiones de gases, uso creciente de maderas para cercas y corrales, y la contaminación de aguas, tanto superficiales como subterráneas, y de los suelos por el uso de fertilizantes y plaguicidas (Acosta, 2007).

### **2.3. Emisiones de GEI en México**

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, por sus siglas (INEGYCEI), nos dice que la última actualización en México durante el año 2019 se emitieron alrededor de 736.63 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> e), lo cual deriva a la suma de emisiones de CH<sub>4</sub> N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, HFCs (hidrofluorocarbonos), PFCs (perfluorocarbonos), (NF<sub>3</sub>) trifluoruro de nitrógeno y SF<sub>6</sub> (hexafloruro de azufre), multiplicados por su potencial de calentamiento global (INECC, 2021).

## 2.4. Emisiones por sector en México

(Osorio, 2021) nos dice que el sector energético, es el sector en México que más contribuye a las emisiones con un 64% debido al consumo de combustibles fósiles, enseguida el sector agrícola, sector forestal y por último el cambio de uso con el 19%, el sector de procesos industriales y uso de productos con un 10% y finalmente el sector de residuos con un 7%. Existen actividades que permiten transforman en oxígeno, entre ellas está la reforestación y la permanencia de tierras forestales de cultivo o praderas que absorben el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y lo transforman en oxígeno, en el año 2019 se tuvo una absorción (eliminación de CO<sub>2</sub>) de -201.94 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, por lo que las emisiones netas (emisiones menos absorciones) del país fueron de 534.69 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> e.

**Cuadro 1. Emisiones de GEI por el sector Agricultura, sector forestal y cambio de uso de suelo (AFOLU por sus siglas en inglés).**

	Emisiones de GEI (Gg de CO <sub>2</sub> e) 2019		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Potencial de calentamiento	1	28	265
EMISIONES NETAS (Gg de CO <sub>2</sub> e)	295,777.936	175,558.468	41,190.822
CATEGORIA / FUENTE / SUBFUENTE DE EMISIÓN			
<b>[3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra</b>	-200,408.923	103,683.696	35,591.490
<b>[3A] GANADO</b>		102,105.894	8,166.306
[3A1] Fermentación entérica		82,287.306	
[3A1a] Bovino		78,458.330	
[3A2] Gestión del estiércol		19,818.588	8,166.306
[3A2a] Bovinos		11,898.000	7,244.547
<b>[3B] Tierra</b>	<b>-192,753.93</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

[3B1] Tierra forestales	-191,483.32	0.00	0.00
[3B1a] Tierras forestales que permanecen como tal	-188,251.66		
[3B1b] Tierras convertidas a tierras forestales	-3,231.66		
[3B2] Tierra de cultivo	-12,362.59	0.00	0.00
[3B2a] Tierras de cultivo que permanecen como tal	-18,191.38		
[3B2b] Tierras convertidas a tierras de cultivo	5,828.78		
[3B3] Praderas	10,234.20	0.00	0.00
[3B3a] Praderas que permanecen como tal	-553.24		
[3B3b] Tierras convertidas en praderas	10,787.44		
[3B4] Humedales	107.73	0.00	0.00
[3B4a] Humedales que permanecen como tal			
[3B4b] Tierras convertidas en humedales	107.73		
[3B5] Asentamientos	110.53	0.00	0.00
[3B5a] Asentamientos que permanecen como tal			
[3B5b] Tierras convertidas en asentamientos	110.53		
[3B6] Otras tierras	639.53	0.00	0.00
[3B6a] Otras tierras que permanecen como tal			
[3B6b] Tierras convertidas en otras tierras	639.53		

México es un actor clave reconocido por la comunidad internacional en la lucha contra el cambio climático, fue el primer país en desarrollo en contar con una Ley General de Cambio Climático que reconoce la corresponsabilidad del sector público y de la sociedad para actuar frente a este fenómeno global, esta legislación desarrolla el derecho a un medio ambiente sano como un derecho humano, reconocido por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2021).

## **2.5. Origen y Suelos en México.**

El suelo tiene un proceso de formación que comienza con la desintegración de la roca madre que esta se localiza en la corteza terrestre y por medio de la lluvia se ocasiona el rompimiento físico y químico, la exposición al sol, el viento y por medio de las plantas (Las raíces) con la actividad mecánico-biológica. Los primeros colonizadores del sustrato rocoso son las cianobacterias y los líquenes en caso de la actividad biológica y esos colonizadores de sustratos liberan ácidos orgánicos débiles como: Ácido Carbónico que se encarga de disolver lentamente la roca madre, las raíces y su crecimiento aceleran la

ruptura de las rocas, así también se considera a las plantas como principal colaborador a la formación del suelo, calculándose que 1 cm de suelo tarda en formarse alrededor de 100-400 años. En México gracias a la topografía variada existen gran cantidad de suelos, teniendo así 26 de los 32 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, Leptosol con el 28.3%, Regosoles con el 13.7%, Phaeozem 11.7%, Calcisol 10.4%, Luvisol 9%, Vertisol 8.6%, Cambisol 4.3%, Arenosol 1.8%, Solonchark 1.8%, Kastañozem 1.8%, Gleysol 1.5%, Fluvisol 1.3%, Chernozem 1.3%, Andosol 1.3% y otros grupos 3.3% (Semarnat., 2007).

Según (ENASAS, 2021) el 95% de los alimentos que se consumen en el mundo son provenientes de los suelos, que es el soporte estructural y funcional de todos los ecosistemas terrestres, sustrato que lo utilizamos para la producción de alimentos, siendo así la agricultura la actividad y la relación inherente entre la humanidad y los ecosistemas por diferentes factores como socioeconómicos, culturales y ecológicos, mismos que se relaciona la salud de los suelos agrícolas por esta actividad humana en diferentes tipos de sistemas, desde tradicionales hasta sistemas altamente tecnificados, como a continuación lo muestra el cuadro 2 de servicios ecosistémicos y las funciones del suelo.

**Cuadro 2. Servicios ecosistémicos y funciones del suelo.**

SERVICIO ECOSISTEMICO	FUNCIÓN DEL SUELO
Servicio De Soporte	
Formación del Suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meteorización de minerales primarios y liberación de nutrientes</li> <li>• Transformación y acumulación de materia orgánica</li> <li>• Desarrollo de la estructura</li> <li>• Desarrollo de carga superficial por retención e intercambio de iones</li> </ul>

Producción primaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medio para la germinación de semillas y desarrollo de raíces</li> <li>• Fuente de nutrientes y agua para las plantas</li> </ul>
Ciclo de nutrientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformación de materiales orgánicos por los organismos del suelo</li> <li>• Retención y liberación de los nutrientes en superficies con carga</li> </ul>
Servicio de Regularización	
Regularización de la calidad de Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtrado y amortiguamiento de sustancias</li> <li>• Transformación de contaminantes</li> </ul>
Regulación del Suministro de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulación de infiltración de agua en el suelo y flujo de agua en el perfil de los suelos</li> <li>• Drenaje de excesos de agua fuera del suelo en agua superficial</li> </ul>
Regulación del clima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulaciones de emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub></li> <li>• Captura de CO<sub>2</sub></li> </ul>
Regulación de la erosión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retención de suelo en la superficie de las áreas</li> </ul>

Fuente: (ENASAS, 2021).

## 2.6. Suelos del Estado de México.

En el Estado de México predominan diferentes tipos de suelos debido a la topografía diversa y a la variedad de climas, pero de los suelos más dominantes que se pueden apreciar destacan el Andosoles con 4,799.08 km<sup>2</sup>, Feozems con 4,727.18, Regosoles con 2,656.83, Vertisoles con 2,414.85 y Cambisoles con 1,960.47 km<sup>2</sup>.

A continuación, se muestran 2 cuadros de superficies de las fases y texturas de los suelos del estado de México:

**Cuadro 3. Superficie de las diferentes texturas de los suelos del Estado México.**

<b>Texturas</b>	<b>Superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
Fina	3,560.72
Media	17,209.25
Gruesa	951.31

**Cuadro 4. Superficie de las fases químicas y físicas de los suelos en Edo. México.**

<b>Fases químicas y físicas</b>	<b>Superficie (Km<sup>2</sup>)</b>
Dúrica	1,574.59
Dúrica Profunda	1,275.57
Lítica	4,671.79
Lítica Profunda	2,936.39
Pedregosa	605.25
Gravosa	702.69
Petrocálcica	9.80
Ligeramente Salino	65.19
Moderadamente Salino	5.04

Sódica	464.01
Sin Fases	9,409.30

En la parte suroeste del estado de México encontramos los suelos Feozems, el sur de la zona de Tejupilco hacia Guerrero y Michoacán, en seguida los Leptosoles en la zona de Texcoco límites con Guerrero y en el Distrito de Coatepec de Harinas y Valle de Bravo, la zona de Jilotepec donde dominan los Vertisoles y Feozems (Erasto Domingo Sotelo Ruíz *et al.*, 2006).

### **2.6.1. Degradación de los Suelos en México.**

Según (González *et al.*, 2016) define en términos generales la erosión del suelo como la eliminación acelerada de la capa superior del suelo de la superficie de la tierra por agua, el viento o la labranza. La desertificación está relacionada con el proceso de la erosión y el cambio climático, la pérdida de la biodiversidad, lo que acentúa los índices de pobreza y migración, disminución de la productividad del suelo e incrementa la frecuencia de eventos extremos como lluvias torrenciales, abandono de tierras por efectos de la sequía y desertificación.

(Hernández *et al.*, 2021) nos dice que en México, la superficie continental es de casi dos millones de kilómetros cuadrados, de esos únicamente el 10% se utiliza en el sector agrícola, el resto tiene aptitudes para ser utilizadas en cultivos permanentes, aprovechamiento forestal, pastoreo, o bien, como refugios de vida silvestre. Se encuentra degradado mayoritariamente por un manejo inadecuado al menos 45% del territorio nacional, en la figura 1 nos dice las causas

de degradación de suelos con su respectivo porcentaje.



**Figura 1. Causas de la degradación y su contribución al porcentaje de superficie de suelo degradado.**

Fuente: (Hernández *et al.*, 2021).

(INEGI, 2014) describe los tipos de erosión de las siguientes 3 formas:

### 1.\_ Erosión antrópica

Esta pasa cuando el agente causal directo es el humano, debido a que se modifica el paisaje natural de manera salvaje e irreversible (Como la construcción de carreteras, presas, asentamientos urbanos, líneas de transmisión, gasoductos, etc.). De tal forma, 2,387.50 km<sup>2</sup> (0.12%) de la superficie nacional es la que se encuentra afectada por este tipo de erosión.

### 2.\_ Erosión hídrica

Cuando el agente causal de erosión es el agua, esta resulta, en sus formas de torrente, lluvia, arroyadas, granizadas, crecida de ríos y el efecto del riego. El agua es un agente erosivo muy enérgico. A nivel nacional, de superficie territorial se encuentra afectado por ese tipo de erosión 1'027,611.50 km<sup>2</sup>, equivalente (52.86%).

### 3.\_ Erosión eólica

Este tipo de erosión ocurre cuando el agente causal de esta es el viento, en tales formas como remolino, tolvaneras o tornados. La superficie nacional afectada es de 46,779.32 km<sup>2</sup> (2.41%).

La erosión acelerada del suelo, agravada por las perturbaciones antropogénicas, es un proceso destructivo, ya que reduce la profundidad efectiva de enraizamiento, destruyendo el más básico de todos los recursos naturales, agota la fertilidad, degrada la estructura del suelo y agrava la desertificación, de tal manera, el suelo agrava el agotamiento del carbono orgánico del suelo (COS) debido a la reducción en la producción de biomasa y bajas cantidades de residuos que se integran al suelo, en la figura 2 podemos observar los tipos de erosión y km<sup>2</sup> en México (González *et al.*, 2016).

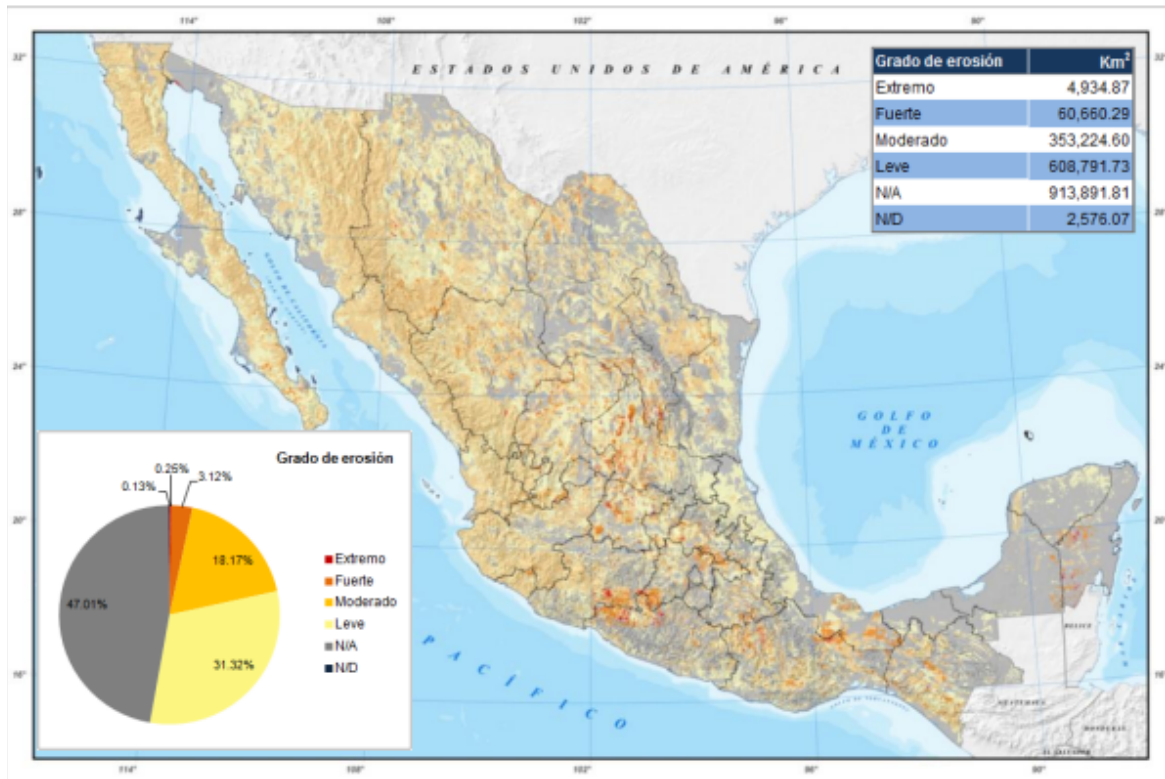


**Figura 2. Tipos de erosión y Km<sup>2</sup> en México.**

Fuente: INEGI, (2014).

(Hernández *et al.*, 2021) define el concepto de desertificación como la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, debida a factores de origen climático y actividades antropogénicas y en esta un 59% de la superficie del país se presenta una desertificación. Las principales causas son el sobrepastoreo, el cambio de uso de suelo, la deforestación, la labranza pos-cosecha y el mal manejo del suelo.

La eliminación del carbono orgánico del suelo (COS) se da por el proceso de erosión, es uno de los pocos procesos del suelo que lo puede eliminar en grandes cantidades, por consecuencia sus efectos pueden ser dramáticos. Debido a esto, la importancia de la degradación del suelo en general y la de la erosión en particular, en la dinámica del carbono y las posibles emisiones de gases de efecto invernadero, no se puede dejar a un lado, de tal manera el control de la erosión del suelo es fundamental para el uso sostenible de los suelos agrícolas, pecuarios y forestales, así como la mejora de la calidad del medio ambiente, en la figura 3 y 4 se muestra los grados y formas de erosión en México. (González *et al.*, 2016).



**Figura 3. Mapa de México con los grados de erosión.**  
Fuente: INEGI (2014).



**Figura 4. Mapa de México con las formas de erosión.**  
Fuente: INEGI (2014).

Los procesos de la degradación del suelo la (SEMARNAT) los define como un fenómeno presente en todo el mundo, este con diferentes niveles e impactos en la sociedad. Estos procesos involucran la reducción de su complejidad biológica, las funciones de regulación directamente relacionadas con el bienestar humano, como son la productividad agrícola y el mantenimiento de la calidad del agua y el aire y la capacidad para producir bienes.

El sobrepastoreo, causado por la ganadería extensiva, según la (SEMARNAT, 2002) es un factor de presión que acelera la degradación del suelo. Por consecuencia afecta de manera directa debido al pisoteo frecuente y de manera indirecta a través de la pérdida o degradación de la cubierta vegetal que lo deja expuesto a los agentes erosivos (agua y viento). En los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos de los ecosistemas la degradación del suelo tiene efectos negativos.

Según (CONtextogadero, 2021) en la actualidad, aproximadamente 109.8 millones de hectáreas del territorio nacional, equivalente a un 56% de la superficie, están destinadas a la producción ganadera, por tal motivo es imperante convertirla en una actividad sustentable, de lo contrario sería la principal fuente de degradación de los suelos. Del total de suelos dedicados a la ganadería en México, el 43% está degradado por sobrepastoreo, actividad que además es responsable del 10.3% de las emisiones de gases efecto invernadero en el territorio nacional.

(Reyes, 2000) define el termino de desertificación como uno de los grandes problemas ambientales en el mundo, la desertificación afecta a una superficie que representa entre un 80% y 97% del total de su territorio se estima en México, llevando así a provocar la disminución de los rendimientos agrícolas, pecuarios, forestales y la pérdida de la diversidad biológica. Sonora es uno de los estados más severamente afectados por la desertificación dentro del territorio nacional. El estado obedece a las propias características climáticas del mismo, que determinan una alta fragilidad de sus suelos, así como a su manejo inadecuado por parte del hombre en los sectores. Estudios determinan que casi la totalidad de la superficie varios estados está afectada por procesos erosivos en diferentes niveles de gravedad, y todo parece indicar que las perspectivas de dicho problema son hacia su agravamiento, en el Cuadro 5 y 6 nos presentan los estados con sus diferentes formas de erosión por entidad.

**Cuadro 5. Erosión hídrica de acuerdo a la entidad federativa en superficie y miles de hectáreas, año 2002.**

	<i>Deformación de terreno</i>		<i>Pérdida de suelo superficial</i>		<i>Fuera de sitio</i>		<i>Superficie estatal afectada</i>	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Miles de ha	%
Aguascalientes	20	3.7	110.67	20.5	0	0	130.66	24.1
Baja California	2.7	0.04	3.93	0.1	0	0	6.58	0.1
Baja California Sur	1.1	0.02	1.14	0.02	0	0	2.20	0.03
Campeche	0	0	0	0	0	0	0	0
Coahuila	108.3	0.7	495.53	3.3	0	0	603.85	4.0
Colima	5.7	1.1	109.61	20.2	0	0	115.31	21.3
Chiapas	42.5	0.6	324.71	4.5	0	0	367.18	5.1
Chihuahua	35.3	0.1	2 915.07	11.9	0	0	2 950.42	12.0
Distrito Federal	0.7	0.9	15.77	17.9	0	0	16.52	18.8
Durango	208.4	1.7	2 608.14	21.5	0	0	2 816.59	23.2
Guanajuato	104.4	3.5	598.01	20.2	1.79	0.1	704.19	23.8
Guerrero	351	5.6	1 643.62	26.2	0	0	1 994.65	31.8
Hidalgo	10.9	0.5	120.73	5.9	0	0	131.61	6.5
Jalisco	182.7	2.4	1 723.26	22.8	6.52	0.1	1 912.51	25.3
México	158.0	7.5	382.92	18.2	0	0	540.94	25.7
Michoacán	243.0	4.3	1 292.23	22.8	0	0	1 535.22	27.1
Morelos	12.3	2.6	51.64	11.0	0	0	63.93	13.7
Nayarit	5.0	0.2	482.55	17.8	0	0	487.59	18.0
Nuevo León	102.8	1.6	564.42	9.0	0	0	667.21	10.6
Oaxaca	231.7	2.5	1 436.73	15.7	0	0	1 668.44	18.3
Puebla	105	3.1	232.42	6.9	0	0	337.46	10.1
Querétaro	11.6	1.0	148.93	13.2	2.42	0.2	162.92	14.4
Quintana Roo	0	0	0	0	0	0	0	0
San Luis Potosí	80.0	1.3	352.25	5.9	33.46	0.6	465.68	7.8
Sinaloa	41.7	0.8	821.60	15.4	0	0	863.27	16.2
Sonora	162	0.9	2 150.64	12.0	0	0	2 312.60	12.9
Tabasco	0.6	0	55.59	2.4	0	0	56.15	2.4
Tamaulipas	119.7	1.6	496.50	6.6	4.13	0.1	620.37	8.3
Tlaxcala	21.2	5.4	50.87	13.0	0	0	72.02	18.4
Veracruz	2.8	0.04	57.17	0.8	6.12	0.1	66.13	1.0
Yucatán	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacatecas	289.3	3.9	757.31	10.2	6.87	0.1	1 053.51	14.2
<b>Superficie nacional afectada</b>	<b>2 660.4</b>	<b>1.4</b>	<b>20 003.97</b>	<b>10.5</b>	<b>61.3</b>	<b>0.03</b>	<b>22 725.7</b>	<b>11.9</b>

Fuente: SEMARNAT.

**Cuadro 6. Erosión eólica de acuerdo a la entidad federativa en superficie y miles de hectáreas, año 2002.**

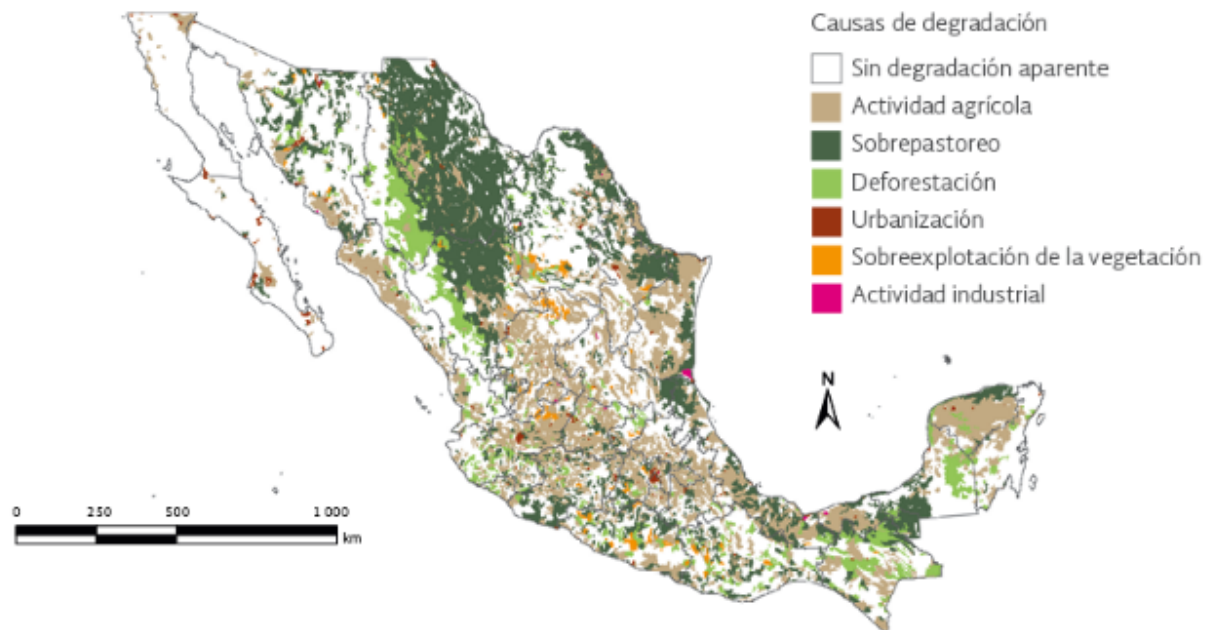
	<i>Deformación de terreno</i>		<i>Pérdida de suelo superficial</i>		<i>Fuera de sitio</i>		<i>Superficie estatal afectada</i>	
	Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%	Miles de ha	%
Aguascalientes	0	0	66.4	12.3	0	0	66.4	12.3
Baja California	0	0	19.6	0.3	0	0	19.6	0.3
Baja California Sur	0	0	83.4	1.2	0	0	83.4	1.2
Campeche	0	0	0	0	0	0	0	0
Coahuila	29.9	0.2	2 038.7	13.6	0	0	2 068.7	13.8
Colima	0	0	15.1	2.8	0	0	15.1	2.8
Chiapas	0	0	0	0	0	0	0	0
Chihuahua	0	0	6 367.2	25.9	636.7	2.6	7 003.9	28.5
Distrito Federal	0	0	2.1	2.4	0	0	2.1	2.4
Durango	0.5	0	2 097.9	17.3	81.3	0.7	2 179.7	17.9
Guanajuato	0	0	242.5	8.2	0	0	242.5	8.2
Guerrero	0	0	53.0	0.8	0	0	53.0	0.8
Hidalgo	2.5	0.1	109.2	5.4	0	0	111.7	5.5
Jalisco	0	0	204.6	2.7	0	0	204.6	2.7
México	0	0	99.5	4.7	0	0	99.5	4.7
Michoacán	0	0	183.5	3.2	0	0	183.5	3.2
Morelos	0	0	20.0	4.3	0	0	20.0	4.3
Nayarit	0	0	9.7	0.4	0	0	9.7	0.4
Nuevo León	0	0	1 187.8	18.9	0	0	1 187.8	18.9
Oaxaca	0	0	43.8	0.5	0	0	43.8	0.5
Puebla	43.1	1.3	280.3	8.4	0	0	323.4	9.6
Querétaro	0	0	82.9	7.3	0	0	82.9	7.3
Quintana Roo	0	0	0	0	0	0	0	0
San Luis Potosí	0	0	449.1	7.5	0	0	449.1	7.5
Sinaloa	2.7	0.1	22.6	0.4	0	0	25.3	0.5
Sonora	0	0	1 279.2	7.1	0	0	1 279.2	7.1
Tabasco	0	0	0	0	0	0	0	0
Tamaulipas	0	0	1 021.3	13.7	0	0	1 021.3	13.7
Tlaxcala	0	0	101.5	26.0	0	0	101.5	26.0
Veracruz	0	0	47.9	0.7	0	0	47.9	0.7
Yucatán	0	0	0	0	0	0	0	0
Zacatecas	4.8	0.1	1 194.6	16.1	0	0	1 199.4	16.2
<b>Superficie nacional afectada</b>	<b>83.4</b>	<b>0.04</b>	<b>17 323.4</b>	<b>9.1</b>	<b>718.1</b>	<b>0.4</b>	<b>18 124.9</b>	<b>9.5</b>

Fuente: SEMARNAT.

Según (Cotler *et al.*, 2020) nos dice que cerca de la mitad de los suelos mexicanos se encuentran degradados y este efecto causa autosuficiencia alimentaria, además la autosuficiencia y la seguridad alimentaria se limitan por el deterioro de la calidad de los suelos por la pérdida de fertilidad y su erosión, lo cual afectaría principalmente a pequeños agricultores que dependen de sus rendimientos para su subsistencia, pudiendo incrementar su pobreza alimentaria, la pérdida de nutrientes, reducción de la productividad agrícola y elevación de costos de producción es a consecuencia de la erosión de suelos, así mismo el deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas; en función de la resiliencia de los suelos, así mismo la erosión puede ocasionar impactos con diferentes eventualidades, efectos acumulativos que se traducen en una menor capacidad de soporte, nutrición y disponibilidad de agua hacia las plantas.

La ganadería en México tiene repercusiones en los suelos si este no se administra de buena forma, el pisoteo es resultado del pastoreo, esta práctica intensiva aumenta la degradación de los pastizales, así como incrementa la erosión del suelo, esto principalmente en zonas áridas. Lugares donde se practica la ganadería, muchos de estos desechos provenientes de la misma superan la capacidad de absorción de la tierra y el agua, teniendo como resultando en contaminación del suelo por la acumulación de residuos así como del agua subterránea y en la pérdida de biodiversidad. De los principales daños de la ganadería a la ecología identificados y puntualizados a nivel mundial, son las cantidades de emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> que se liberan a la atmósfera, ya que estos gases de efecto invernadero (GEI) colaboran al principal problema ambiental que es el calentamiento global. Los sistemas silvopastoriles (SSP) y la ganadería sostenible se recomiendan ampliamente por que resultan buenas estrategias para disminuir el impacto de la ganadería sobre el medio ambiente. Por ejemplo, uno de los muchos beneficios que estos ofrecen es que los sistemas silvopastoriles benefician a la biodiversidad, creando autopistas verdes y corredores biológicos para el tránsito de especies facilitando el flujo génico entre las distintas poblaciones (Aguilar, 2021).

(SEMARNAT, 2003) nos dice que las actividades humanas de muy diversa índole contribuyen a la degradación de los suelos. La agricultura mecanizada, el sobrepastoreo y el desarrollo urbano e industrial son los cambios en el uso del suelo más importantes en México, en la figura 5 nos indica las principales causas de degradación del suelo en México.



**Figura 5. Principales causas de degradación del suelo 2002 en México.**

Fuente: SEMARNAT (2003).

El (INECC, 2007) menciona que un tema crítico cuando se considera la seguridad alimenticia del país es la degradación del suelo y la consecuente reducción en la capacidad para proveer alimento para una población que cada día es creciente. Teniendo en cuenta si se toma en consideración solamente el 19% del territorio mexicano que es apto para la agricultura y menos del 24% de esa superficie tiene posibilidades de irrigación. Conocer las condiciones del suelo, su distribución, extensión y tendencias en el proceso de degradación es de importancia estratégica, además de conocer los resultados de mantenimiento de su calidad y las políticas de restauración.

Conocer los indicadores de suelo tiene mucha importancia, ya que son necesarios para:

- ✓ Constante monitoreo en la calidad del suelo de los efectos a largo plazo de las prácticas agropecuarias y forestales.
- ✓ Para mejorar la calidad del suelo hacer la evaluación del impacto económico de prácticas de manejo.
- ✓ De los terrenos nacionales examinar el avance de la desertificación y aridificación.

- ✓ De las áreas montañosas de las cuencas, hacer el diagnóstico de la calidad de los terrenos, así como los de captación de agua, de los terrenos agrícolas, forestales y de uso pecuario.
- ✓ Para dirigirse al tema de calidad del suelo agrícola, se debe examinar la efectividad de las políticas diseñadas.
- ✓ De acuerdo a las políticas de calidad de suelo, se debe mejorar el análisis incluyendo además de sólo valores ambientales también considerar factores sociales y económicos.

De acuerdo con la (SEMARNAT, 2003) nos dice que la desertificación se pueden agrupar alrededor de las variaciones climáticas y de las actividades humanas. La baja humedad del suelo (aridificación) pertenece al primer grupo ahí se pueden encontrar, los patrones de precipitación cambiantes y la elevada evaporación; de acuerdo al segundo grupo se encuentra, la sobreexplotación del suelo por la actividad agrícola, el sobrepastoreo, el manejo forestal inapropiado, las tendencias del mercado, la deforestación, el uso de sistemas de irrigación inadecuados e incluso, las dinámicas sociopolíticas en las cuales la pobreza puede funcionar como causa y consecuencia de la desertificación. Dentro de las acciones para solucionar o evitar el problema de la desertificación se deben atender también los sectores ambientales, políticos y sociales, en la figura 6 nos muestra la prevención de la desertificación y rutas de conducción en forma de esquema de acuerdo a los diferentes factores.



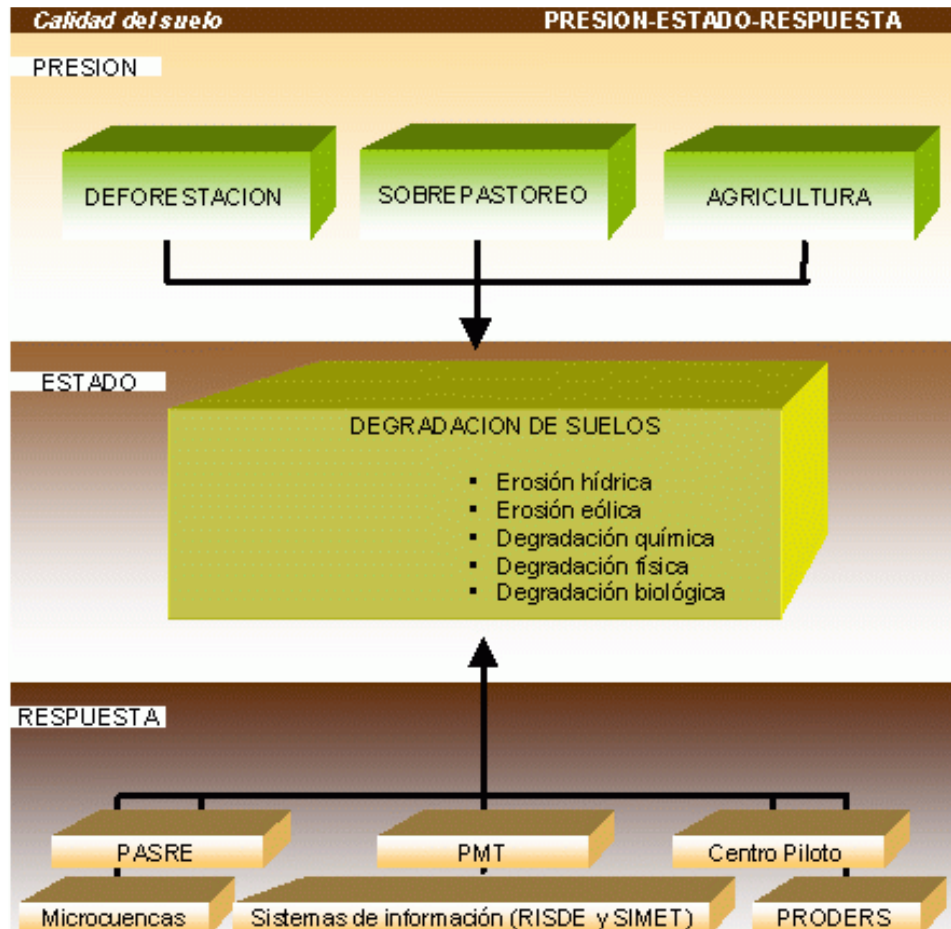
**Figura 6. Prevención de la desertificación y rutas de conducción.**

Fuente: SEMARNAT (2003).

El (INECC, 2007) define el concepto de calidad de suelos en 2 componentes, los cuales son:

1.\_ Calidad inherente, esta es resultado de las propiedades esenciales del suelo, mismas que son determinadas por los factores que participan en su formación, tales como el clima, el material parental, la topografía y la biota, incluyendo elementos traza. Esta calidad inherente de los suelos es utilizada frecuentemente en comparación de suelos para evaluar su aptitud para diferentes usos.

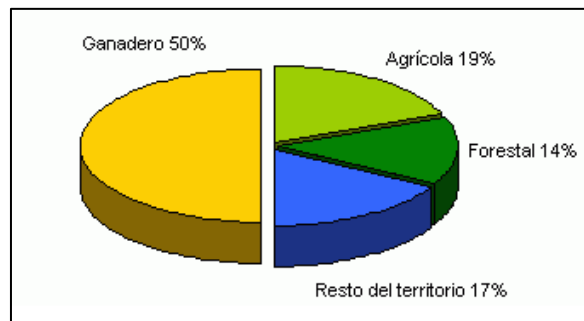
2.\_ La calidad dinámica, es aquella que se deriva de los cambios en la salud o condiciones de las propiedades del suelo, derivadas de las políticas de manejo agropecuario y el uso agrícola. En la figura 7 nos muestran los indicadores de la calidad del suelo, basándose en el modelo de presión, estado y respuesta.



**Figura 7. Indicadores de calidad de suelos basados en presión, estado y respuesta.**

Fuente: INECC (2007).

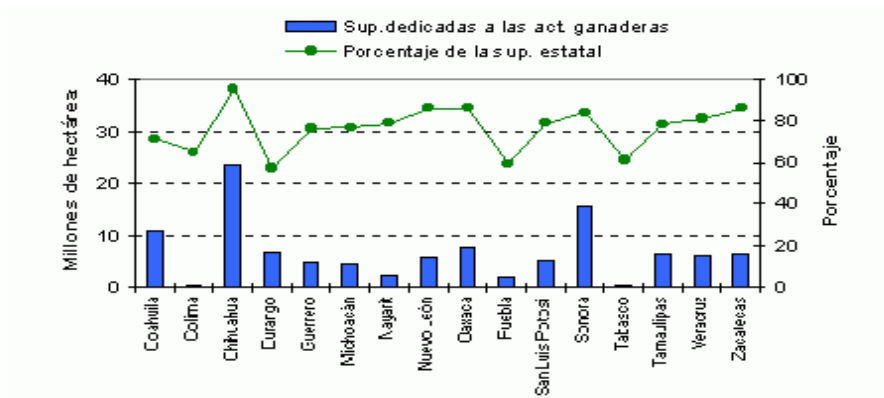
La calidad del suelo en México se afecta principalmente por el manejo indiscriminado en diferentes sectores como forestal, ganadero y agrícola, la presión tiene un papel importante, ya que esta revela que el 50% del territorio nacional es dedicado al uso ganadero, y que en conjunto el 75 % de la degradación de los suelos es consecuencia de la deforestación, el sobrepastoreo y el cambio de uso del suelo en los sectores agropecuario y urbanoindustrial (INECC, 2007), en la figura 8 se muestra el uso del suelo en México en los años 1997.



### Figura 8. Uso del suelo a nivel nacional en el año 1997.

Fuente: INECC (2007).

En México la ganadería se practica en todo el país que lo conforma tres zonas ecológicas: la del norte, que es tipo árido y semiárido, la de la zona centro que es zona templada subhúmeda y húmeda y la de la zona sur en condiciones tropicales, cálido húmedas y subhúmedas. Por consecuencia al uso inadecuado del suelo se ha provocado un cambio drástico de la composición de la flora, de los pastizales y una disminución de la permeabilidad de los suelos, lo cual tiene como consecuencia el aumento de la escorrentía y una erosión acelerada en lo suelos (INECC, 2007), la gráfica 2 muestra los estados con su superficie dedicada a la ganadería, en el año 1994.



Gráfica 2. Entidades federativas dedicadas a la ganadería en el año 1994.

Fuente: INECC (2007).

### 2.7. Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) Gas de Efecto Invernadero.

El óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) es un gas efecto invernadero que tiene actividad directamente y que forma parte de la generación del cambio climático (CC), la estancia de este gas en la estratósfera genera la destrucción de la capa de ozono y por consecuencia esta se va desgastando hasta ir perdiendo grosor. La importancia de reducir las emisiones de este gas son por los efectos que este genera y por consiguientes los cambios climáticos (Núñez Ramos *et al.*, 2020).

La formación de Óxido nitroso se da en los suelos por medio de procesos naturales de desnitrificación y nitrificación. La reducción microbiana anaeróbica del nitrato en gas de

nitrógeno ( $N_2$ ) se conoce como desnitrificación y la oxidación microbiana aeróbica del amonio en nitrato es conocida como la nitrificación. La producción intermedia gaseosa en conjunto con la reacción de la desnitrificación y un producto derivado de la nitrificación que se fuga de las células microbianas al suelo y, en última instancia, a la atmósfera se le denomina  $N_2O$ . La principal causa de control de esta reacción es la disponibilidad de N inorgánico en el suelo (De Klein *et al.*, 2006).

Las características del suelo y las condiciones climatológicas son factores principales que dependen las tasas de desnitrificación y la cantidad de  $N_2O$  emitido, además de que suelen ser variables, también influyen en la fracción molar de  $N_2/N_2O$  (Mora Ravelo *et al.*, 2005).

Durante los últimos 100 años el Óxido Nitroso ( $N_2O$ ) ha sido responsable por el 5% del GEI total y tiene una mayor actividad de calentamiento global de 310 veces respecto al  $CO_2$ . En 1994 el sector agrícola de acuerdo a la Primera Comunicación Nacional, era responsable por el 1% de dichas emisiones, este año con año el porcentaje ha ido incrementando, en el 2010 mostró un porcentaje de 19.90%, aumentando sustancialmente. El 86% del total de las emisiones de  $N_2O$ , son atribuidas a actividades agrícolas (Kú Vera *et al.*, 2010).

## 2.8. Formación del $N_2O$ .

La materia Orgánica durante el proceso de permanencia en la zona no saturada (incluyendo el suelo) y posteriormente en la zona de saturación, tiende a sufrir una serie de cambios de forma gradual, responsable por la inducción de bacterias y microbios que se encuentran en la zona, las albúminas compuestas se transforman en aminoácidos, posteriormente en amonio ( $NH_4$ ), luego en nitritos ( $NO_2$ ) y al final en nitratos ( $NO_3$ ).  $NH_4 + 2 O_2 \rightarrow NO_2 + H_2O$   $2 NO_2 + O_2 \rightarrow 2 NO_3$  – En los

Cambios que sufre la materia orgánica participan bacterias oxidantes llamadas nitrobacterias (De Miguel Fernandez y Vázquez Taset, 2006).

Muchas veces el  $N_2O$  es producido como subproducto por medio de procesos aeróbicos generado por bacterias autotróficas que tienen la capacidad de obtener energía de las reacciones o muchas veces en diferentes procesos se utiliza el carbón como medio de suplemento de la energía y nitratos como sustrato, estos microorganismos facultativos tienen la capacidad al no haber oxígeno disponible utilizar  $NO_3$  como aceptor terminal de electrones (Berger Berretta, 2011).

## **2.9. Fuentes de Emisión de $N_2O$ .**

Una de las fuentes principales de emisión de  $N_2O$  son la agricultura y la ganadería que cada año emiten 4,1 millones de toneladas de óxido nitroso, desestabilizando el círculo natural del nitrógeno a consecuencia de las malas dosis de fertilización y en la ganadería corresponde al orín y el estiércol de los animales (Criado, 2020).

En la actualidad con los censos de estimación se dice que las actividades agropecuarias son la tercera causa de generación de emisiones de GEI con una contribución del 12% a las emisiones nacionales. En el mismo ramo de estas emisiones, la mayor parte se genera por la fermentación entérica, el manejo del estiércol y por el uso de fertilizantes en los suelos agrícolas (Saynes Santillán *et al.*, 2016).

A nivel mundial una de las principales fuentes de emisión son las prácticas agrícolas que representan 8% de las emisiones totales de GEI, generan aproximadamente la mitad de las emisiones del sector agrícola. El uso de fertilizantes nitrogenados en tierras cultivadas, la quema de biomasa, orín y estiércol de bovinos son las causas principales de las emisiones en el sector agropecuario. Durante la época de acuerdo a los censos en los últimos 60 años se ha incrementado, duplicándose así la fijación de nitrógeno en diferentes formas, principalmente por fertilizantes. En la actualidad, a nivel global, cada año más de 100 Tg de nitrógeno están siendo añadidos a los suelos (Saynes Santillán *et al.*, 2016).

A nivel global la ganadería contribuye con el 14,5% de las emisiones, principalmente la producción de carne bovina representa 41% (Nieto *et al.*, 2019).

Dentro de los principales emisores de  $N_2O$  se encuentran los campos dedicados a la

agricultura, entre ellos los pastos, principalmente aquellos que son pastoreados por animales son los que más N<sub>2</sub>O emiten, aportan con el 70% del total de las emisiones que aporta el sector agrícola (Berger Berretta, 2011).

### **2.10. Estrategias de Mitigación de N<sub>2</sub>O**

La Dotación es una forma simple y directa para que el ganado disminuya las emisiones de N<sub>2</sub>O, esta reducción o disminución se logra incrementando la producción cárnica por cada animal por medio de la selección y el cruzamiento en ambos propósitos, tanto como para leche como para pie de cría (Berger Berretta, 2011).

Según (Nieto *et al.*, 2019) nos dice que la aplicación de nuevas tecnologías tiene muchas ventajas al usarse en la ganadería, principalmente son la disminución de las emisiones y así mismo también ayuda a los ganaderos a mejorar la producción de sistemas. Teniendo en cuenta que si hacemos uso de las buenas prácticas de mejora en los sistemas de producción como lo son: el ajuste de carga animal, reordenamiento del rodeo, manejo del pasto, sanidad animal y división de potreros, en efecto tienen un considerable potencial para mitigar las emisiones de GEI.

Un estudio realizado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y sus socios demuestra que las pasturas saludables para la producción pecuaria, así como también la restauración de los suelos, la agricultura silvopastoril pueden frenar significativamente estas emisiones de N<sub>2</sub>O (CIAT, 2019).

La dieta forma parte de las estrategias de mitigación del N<sub>2</sub>O, ya que como bien se sabe en la orina del animal es desechada la mayor parte de la urea, un animal adulto la cantidad de Urea excretada va depender de la ingesta que tenga de N. Se dice en algunos autores que la disminución de N<sub>2</sub>O se puede lograr reduciendo la cantidad de proteínas incluidas en la dieta (Berger Berretta, 2011).

### **2.11. Parche de Orina**

La orina del ganado se caracteriza por una de las principales excretas responsables de la liberación del N<sub>2</sub>O cuando cae en tierra degradada por el sobrepastoreo y la compactación de los suelos. El metano producido por los bovinos tiene la capacidad contaminante de alterar el clima con las liberaciones que estos hacen en su rutina

diaria de digestión. Esta orina produce Óxido Nitroso ( $N_2O$ ) que es uno de los principales factores que atenta contra el clima, el cual tiene la capacidad de calentamiento mucho mayor que el del dióxido de carbono ( $CO_2$ ), la principal causa que contribuye al calentamiento global (CIAT, 2019).

Una vez que la orina es excretada y que está presente en el suelo, la urea que se encuentra presente se hidroliza de forma rápida para convertirse en  $NH_4$  para ser oxidada y posteriormente de forma rápida desnitrificada, de acuerdo a la movilidad de N se verá en forma de respuesta inmediata las pérdidas de Óxido Nitroso (Berger Berretta, 2011).

De acuerdo con experimento que realizó (Kú Vera *et al.*, 2010) Nos dice que la excreción de orina en ganado por día fue de 12,8; 13,6; 11,97 y 12,3 kg por día  $\pm$  1,71 EEM para los cuatro tratamientos evaluados en Sistemas Pastoriles y Silvopastoriles (Pastoreo guinea; silvopastoril (SP) sin acceso a leucaena; SSP sin suplementación y SP suplementado con maíz respectivamente). No se presentaron diferencias ( $p>0,05$ ) del tipo de sistema sobre la excreción total de orina por día.

## **2.12. Mediciones de $N_2O$ en suelos.**

Existen diferentes métodos de estimaciones y mediciones de  $N_2O$  en suelos, una de ellas es utilizando las cámaras de gases de flujo cerrado de PVC para la obtención de las muestras de gases y así mismo determinar las emisiones de  $N_2O$ . Además de registrar las emisiones de  $N_2O$  también ayuda a registrar los factores climáticos, nitrógeno (N) en orina, suelo y pasto y con ayuda de un programa estadístico llamado InfoStat se analizan los datos recolectados (Núñez Ramos *et al.*, 2021).

Se pueden utilizar cámaras estáticas individuales de PVC con una base y tapa de diseño circular con un diámetro de 19.5 cm y una altura de 31.5 cm. Las cámaras pueden estar equipadas con una válvula de ventilación y un tapón de caucho (septo) en la parte superior. Se utilizan cromatógrafo de gases marca Shimadzu® modelo GC-2014 Greenhouse Gas Analyzer u otra marca a fin, equipados con un detector de captura de electrones (ECD) que cuenta con una fuente de radiación de  $^{63}Ni$  y funciona a una temperatura de  $325^{\circ}C$ . Así mismo se utilizan los viales de campo que se inyectan en el cromatógrafo utilizando una jeringa Hamilton 5 mL SYR

( $22/2^{1/2}$ ) u otro tipo. Los flujos de N<sub>2</sub>O se calculan a partir del aumento lineal o no lineal de las concentraciones dentro de la cámara a través del tiempo (Hernández Tapia *et al.*, 2019).

### **2.13. Medición de N<sub>2</sub>O en suelo pastoreado por bovinos leche.**

De acuerdo a la investigación que llevo a cabo (Núñez, Ramos P. A. *et al.*, 2021) que tuvo como objetivo cuantificar las emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de un forraje de pastoreo con bovinos de leche, nos presenta que para la investigación utilizó como pastura el bermuda grass (*Cynodon dactylon*) de Casa de Alto, República Dominicana. Donde el estudio se realizó durante el periodo junio - agosto de 2018. Usando un diseño de parcelas sub divididas completamente al azar, con tres factores, cuatro repeticiones y tres tratamientos (orina, urea, y control). Se utilizaron cámaras de PVC de flujo cerrado para la obtención de las muestras de gases y se determinaron las emisiones de N<sub>2</sub>O. Además, se registraron los factores climáticos, nitrógeno (N) en orina, suelo y pasto y se analizaron los datos con el programa estadístico InfoStat, teniendo como conclusión y resultados que las emisiones de N<sub>2</sub>O fueron en promedio de 0.56 mg L<sup>-1</sup> para el control, 1.02 mg L<sup>-1</sup> para la orina y 1.18 mg L<sup>-1</sup> para la urea. Solo el tratamiento con urea resultó estadísticamente diferente al testigo (P < 0.05). Las emisiones fueron de 5.6, 10.2 y 11.8 kg ha<sup>-1</sup> para el testigo, la orina y urea, respectivamente. Siendo las emisiones altas en comparación con los resultados obtenidos en otras investigaciones en el país, teniendo así las mayores emisiones acontecieron en las primeras semanas de muestreo, en especial las ocurridas entre los días 5 y 8, ocurriendo una reducción en los períodos siguientes por agotamiento de la fuente de N, la cual explican que podría ser causada por una reducción de la actividad biológica por muerte de organismos y reducción de la fuente, pero esto no fue evaluado en el experimento. Las emisiones en kg ha<sup>-1</sup> fueron de 5.6 en el testigo, 10.2 en orina y 11.8 en urea, estas emisiones variaron con el tipo de fertilizante aplicado, así como las condiciones edafoclimáticas, el sistema de pastoreo usado y la carga animal.

### **2.14. Balances de nitrógeno en sistemas de producción bovina.**

- 1) Del N aplicado al cultivo, sólo 30% es asimilado por plantas, el resto se pierde a través de la volatilización, desnitrificación o nitrificación (Bowen et al., 1998; Deenen y Middlekoop, 1992).
- 2) Los animales consumen el 30% del forraje de la pastura disponible (Mila, 2005).
- 3) Los bovinos del N consumido solo del 5 al 10% retienen en carne y 20-25% para razas lecheras, excretando lo demás (Whitehead, 2005)
- 4) Del N asimilado por el animal, 2% lo utiliza para deposición de músculo, para razas lecheras se usa un 2 a 3.5% diario (Whitehead, 2005; Deenen y Middlekoop, 1992).
- 5) Aproximadamente 40% del nitrógeno de la pastura no consumida se transforma en hojarasca, la cual lo devolverá nuevamente al suelo.
- 6) Las especies de leguminosas forrajeras fijan alrededor 90% de sus requerimientos nitrogenados, el 10% faltante lo toman del suelo (Guiller y Wilson, 1991; Peoples *et al.*, 1995).

Estos balances, aplicados en los sistemas de ganadería bovina, se ven modificados dependiendo de los organismos que lo intervengan como el flujo de nitrógeno (entradas y salidas del mismo), donde se modifica si el sistema productivo es en campo, donde se incluyen cultivos transitorios e inclusión de leguminosas (ya sea en pastoreo permanente, alterno o rotacional), este sistema generará mayores cantidades de N<sub>2</sub>O (0 a 2% del nitrógeno suministrado al sistema pastoril será eliminado por el estiércol en forma de N<sub>2</sub>O, sumado a que las reacciones bioquímicas del suelo transformarán del 1 a 8% del mismo nitrógeno adicionado), al tener mayores etapas de transformación y un flujo más largo a través de la cadena suelo – pastura – animal – excretas.; o un sistema estabulado, donde los flujos de nitrógeno (dentro de la producción) se guiarán hacia la producción de proteína animal y estiércol, en este sistema el flujo del N<sub>2</sub>O se centra en la producción de estiércol (0 a 2% del nitrógeno en las heces generadas), sin valorar las emisiones por elaboración del concentrado que los animales están consumiendo (Oenema *et al.*, 2005).

### **2.15. Gramíneas y Leguminosas arbóreas forrajeras.**

Las gramíneas como estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) es un tipo de pastos que se desarrollan con facilidad en cualquier superficie de cualquier región

y que en la mayoría de veces es el principal extracto basal que conforma al sistema silvopastoril en el sur del Estado de México.

Según (Elizondo Salazar , 2008) el pasto estrella africana es una planta perene que tiene un desarrollo estolonífero que cubre con mayor velocidad el suelo, este tiene un desarrollo erecto promedio de 0.62m de altura, con fácil desarrollo en cualquier tipo de suelo y regiones, así como tropicales y secos, resistente a condiciones adversa de sequía, ya que puede desarrollarse a precipitaciones pluviales mínimas. Además de la ventaja de desarrollo de esta gramínea se utiliza en sistemas de producción para la alimentación del ganado bovino, dándole un enfoque nutricional que conforma la dieta de los animales en la mayoría de los diferentes sistemas que conlleve el pastoreo.

Durante la época de secas el forraje como gramíneas suele ser muy escaso y poco nutritivo para el ganado, por lo cual las especies arbustivas leguminosas suelen ser fuente principal de nutrición para los animales en sistemas extensivos debido a su multiuso de las especies como: *Enterolobium Cyclocarpum* y *Leucaena Leucocephala*, ya que la diferente topografía y clima permiten el crecimiento de estas especies arbóreas y arbustivas que es importante fuente de alimento para el ganado debido al contenido nutricional como %PC, Grasa, FDN, FDA, etc, etc. Por lo cual el fruto también de estas especies es incorporado a los sistemas de explotación como alternativas de alimentación para el ganado debido al desempeño que estas tienen en la producción de ambos propósitos y así como en la reducción de costos de producción al hacer uso de este recurso. De acuerdo con la literatura nos dice que *E. Cyclocarpum* produce alrededor de 225- 725 kg de fruto anualmente dependiendo el sitio donde se encuentren, referente al ELN en estos frutos por los estudios se considera importante para el balance de energía y proteína en el rumen por que representa una fuente de energía fácilmente fermentable, la cual es aprovechada rápidamente por la flora microbiana para todos los procesos de síntesis (De Luna Vega *et al.*, 2017).

#### **2.16. Composición Química de la *Leucaena Leucocephala*.**

En la investigación que realizó (Verdecia, D. M. *et al.*, 2012) de acuerdo a la composición química de la *Leucaena Leucocephala* nos presentan los siguientes resultados en porcentajes de acuerdo con cada uno de los indicadores evaluados en 2 diferentes periodos.

**Cuadro 7. Porcentaje nutricional de la *leucaena leucocephala*, fibra, proteína y azúcares simples en periodo de lluvia.**

Edad	PB	FND	FAD	LAD	CEL	HCEL	Glucosa	Fructosa	Sacarosa
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(µg/g)	(µg/g)	(µg/g)
60	31,74a	43,18a	22,97a	9,06a	13,91a	20,21a	12,49a	1,88a	14,37a
120	29,22b	51,78b	26,07b	17b	9,07b	25,71b	29,03b	3,82b	32,85b
180	25, 61c	61,66c	31,48c	20,73c	10,75c	30,18c	18,19c	1,88c	20,07c
<b>EE</b>	0,610	1,83	0,853	1,18	0,487	0,989	1,664	0,222	1,874

**Cuadro 8. Porcentaje nutricional de la *leucaena leucocephala*, fibra, proteína y azúcares simples en periodo no tan lluvioso**

Edad	PB	FND	FAD	LAD	CEL	HCEL	Glucosa	Fructosa	Sacarosa
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(µg/g)	(µg/g)	(µg/g)
60	34,58a	41,07a	23,97a	6,39a	17,57a	17,11a	15,24a	0,65a	15,89a
120	29,28b	47,56b	24,49b	14,06b	10,43b	23,19b	21,92b	0,33b	22,25b
180	25,9c	49,59c	26,68c	14,53c	12,22c	22,89c	6,56c	0,39c	6,95c
<b>EE</b>	0,414	0,866	0,882	0,286	0,73	0,67	1,525	0,033	1,522

Fuente: Verdecia, D. M. *et al.*, (2012).

En conclusión con (Verdecia. *et al.*, 2012) podemos observar que en los 2

periodos la *leucaena* tuvo diferencia en la edad marcando un efecto sobre los indicadores evaluados, más recalcados en el período lluvioso, al disminuir la calidad nutritiva, al incrementarse la fracción fibrosa, decrecimiento de la proteína y aumento del contenido de metabolitos secundarios.

### **2.17. Sistemas Silvopastoriles.**

En las regiones tropicales, la implementación de sistemas silvopastoriles intensivos ha sido de mucho significado en el doble propósito de producción bovina en los diferentes sistemas, tanto extensivos como semi-intensivos, ya que la asociación gramínea- leguminosa trae múltiples beneficios, es una modalidad agroforestería, los arbustos forrajeros leguminosos principalmente la *Leucaena Leucocephala*, estudios han demostrado que son una opción para la ganadería por su alto rendimiento y calidad de forraje, además este permite incrementar el propósito de producción, siendo carne o leche, además de que también esta leguminosa posee otras características ambientales como la captura de carbono, reducción de la emisión de metano, fijación de nitrógeno atmosférico, entre otros (Bacab *et al.*, 2013).

Los bancos forrajeros son aquellos que se establecen en una parte de la parcela en forma de bloques de árboles- arbustos de alta densidad, con buen contenido proteico, energético, palatable y de buena digestibilidad usado como suplementación de los animales en tiempos de estiaje, el propósito de este es la producción de alimento en forraje de alta calidad en el rancho y la contribución a la mejora de los suelos que son dedicados al pastoreo, además de que estas especies forrajeras de leguminosas cuentan con ciertas características que son valiosas para los sistemas de pastoreo, como resistentes al ramoneo, resistentes a cualquier adversidades de clima, en especial en secas. La pastura en callejones comparte el mismo objetivo, características, propósito y las mismas especies que el banco forrajero, solo que aquí lo único que es diferente es el establecimiento en la parcela, ya que esta se establece en callejones que permita el pastoreo de los

animales en ellos y que permita también el paso de maquinaria por los callejones, estos SSP tiene como objetivo la fijación de nitrógeno por las leguminosas en el suelo con lo que mejora el crecimiento del pasto y se produce un excelente reciclaje de nutrientes, al igual que los arboles dispersos en el potrero, generando mayor confort al animal, mejor calidad de pastoreo y regulación de temperatura en el potrero así como sombra para el animal (Alianza MéxicoREDD).

Otra de las formas de poder ofrecer el material vegetativo de los SSP a los animales aparte del pastoreo es por medio de:

1. Ensilajes, incorporación de las hojas de los árboles o arbustos leguminosos en combinación con los pastos.
2. Cortando y acarreado las ramas para dárselas directo a los animales en corral y así tener más control del material vegetativo disponible.
3. Incorporación de bloques multinutricionales elaborados con el material vegetativo del follaje y fruto de los arboles- arbustos, combinado con alimento concentrado

Los SSP es una forma de hacer ganadería en los potreros combinando los pastos con hierbas, árboles y arbustos, una asociación benéfica para la producción animal y amigable con el medio ambiente (Ruiz P. R. *et al.*, 2010).

### **2.18. Manejo de un SSP.**

- El tiempo de aprovechamiento de la parcela en SSP depende del manejo y las actividades que se incorporen y se realicen con el ganado.
- El inicio del periodo de uso es el primer paso que se realiza en el sistema, el periodo de establecimiento debe ser mínimo de 8 meses entre la primera utilización para asegurar que resista al ramoneo.
- La poda de uniformización es otra actividad que se realiza con la finalidad de darle la altura y la forma suficiente a los árboles para que los animales puedan disponer con mayor facilidad del follaje.
- La frecuencia de uso es otra actividad de importancia que se realizará y será la que asegure el objetivo de acuerdo con la especie establecida y los tiempos de recuperación de la misma, además los factores climáticos también dependerán de

la frecuencia de uso

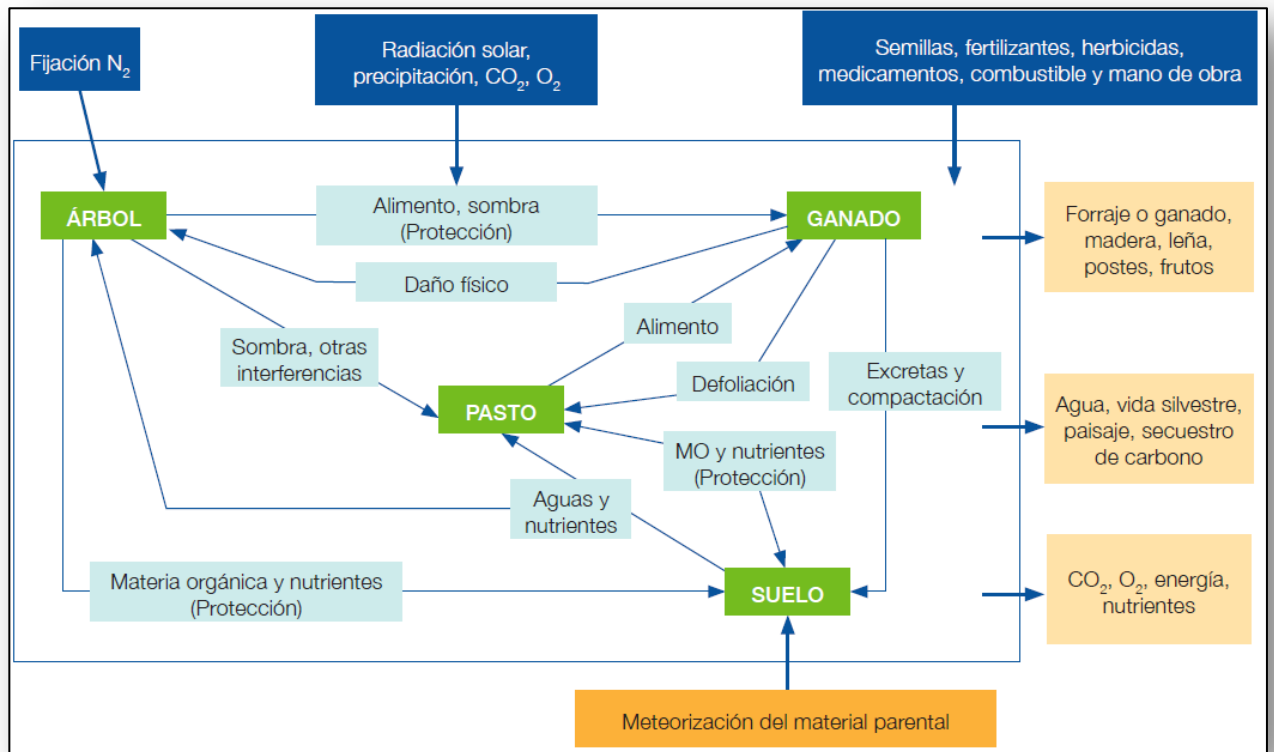
- La fertilización que también forma parte de las actividades que se realizan en estos sistemas para asegurar una buena producción de follaje y extracto basal para el animal (Alianza MéxicoREDD).

Los SSPi son una alternativa para la ganadería tropical, ya que la asociación se realiza con pastos mejorados con alta producción de biomasa bajo modelos de rotación con cargas intensivas y ayuda de cerco eléctrico, esto con la finalidad de llevar el control de las parcelas divididas y hacer más eficiente el consumo de la comida generada por gramínea y leguminosa. El modelo rotacional intensivo nos ofrece el pastoreo en cierta área en periodos de tiempo corto pero bien aprovechados con periodos de recuperación alargados, las altas densidades de árboles leguminosos tiene beneficios en la asociación, como:

- Ahorro de fertilizantes nitrogenados
- Mejor retención del agua en el suelo
- Mayor durabilidad del pasto introducido
- Actúa como barreras rompe vientos
- Mitiga el calor en los animales en periodos altos de temperaturas reduciendo el estrés calórico
- Uno de los beneficios importantes que sería en la producción de biomas y cantidad de proteína consumida por los animales (Bacab *et al.*, 2013).

### **2.19. Interacciones en el SSP.**

En los sistemas silvopastoriles (árboles en potreros, cercas vivas y otras modalidades), existen interacciones positivas y negativas entre los componentes árbol, pasto, suelo y ganado. Lo importante es entender las interacciones (en otras palabras los efectos), entre los componentes del sistema para implementar un diseño y manejo que permita maximizar la expresión de los efectos positivos y minimizar los negativos.



**Figura 9. Interacción de un SSP.**

Fuente: Villanueva *et al.*, (2018)

## 2.20. Ciclo del Nitrógeno.

(CICEANA) nos dice que el nitrógeno (N<sub>2</sub>) es el elemento que se encuentra en forma libre (estado gaseoso) y en mayor abundancia en la atmósfera (78 %.). Se coloca entre los principales elementos biogeoquímicos; sin embargo, es tan estable, que apenas se combina con otros elementos, el nitrógeno regresa de nuevo al ciclo por medio de los desechos (tanto restos orgánicos, como productos finales del metabolismo), ya que gracias a que las bacterias fijadoras los

“retoman”, es que pueden finalmente ser asimilados por las plantas.

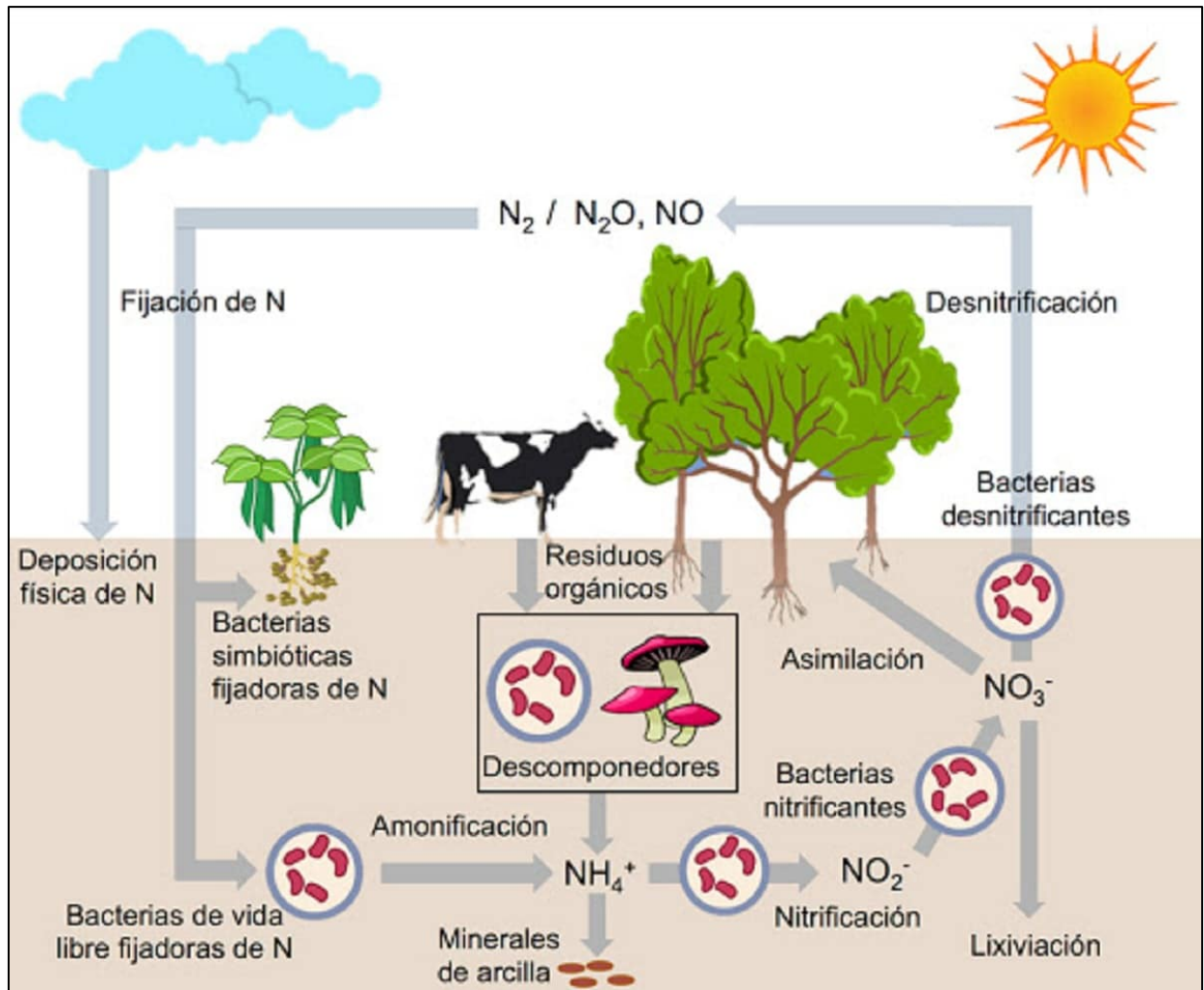


Figura 10. Ciclo del Nitrógeno.

Proceso de circulación del nitrógeno en la atmósfera y recirculación, contando con las 3 etapas:

**Amonificación:**

Compuestos nitrogenados encontrados en el suelo como materiales orgánicos proteínas, ácidos nucleicos, etc., son degradados a compuestos simples por organismos que se encuentran presentes en el suelo como la asociación de

bacterias y hongos que metabolizan y liberan los compuestos nitrogenados en amoniaco (Iñón N.).

**Cuadro 9. Proceso de Amonificación.**

Materia Orgánica	AMONIFICACIÓN		
<p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Suelo</p> <hr style="width: 50%; margin: auto;"/> <p style="text-align: center;">compuestos Nitrogenados</p>	<p style="text-align: center;">Se descomponen</p> <p style="text-align: center;">→</p>	<p style="text-align: center;">Proceso de Amonificación</p> <p style="text-align: center;">→</p>	<p style="text-align: center;"><b>NH<sub>3</sub></b></p> <p style="text-align: center;"><b>O</b></p> <p style="text-align: center;"><b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b></p>
	<p style="text-align: center;">Bacterias y hongos</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	<p style="text-align: center;">↑</p> <p style="text-align: center;">El exceso</p>	
	<p>Construyen sus propias proteínas</p>		

El proceso de amonificación es la conversión del nitrógeno (grupos amino –NH<sub>2</sub> o imino –NH- a ion amino (Iñón N.).

**Nitrificación:**

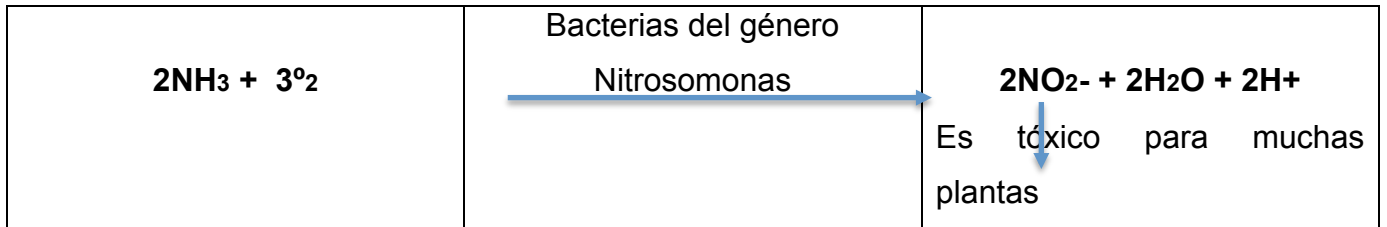
Proceso de oxidación de amoniaco o el ion de amonio por bacterias presentes en el suelo, generando energía y esta energía liberada utilizada por las bacterias, mismas que un grupo de ellas se va encargar de oxidar el amoniaco o ión de amonio a nitrito para que después otro grupo lo oxide a nitrato.

**Cuadro 10. Proceso de Nitrificación.**

<p><b>NH<sub>3</sub></b></p> <p><b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b></p>	<p>Primera reacción oxidación</p> <p style="text-align: center;">↘</p>	<p><b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b></p>	<p>Segunda reacción oxidación</p> <p style="text-align: center;">→</p>	<p><b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b></p>
	<p>Bacterias comunes del</p>			

	suelo			
--	-------	--	--	--

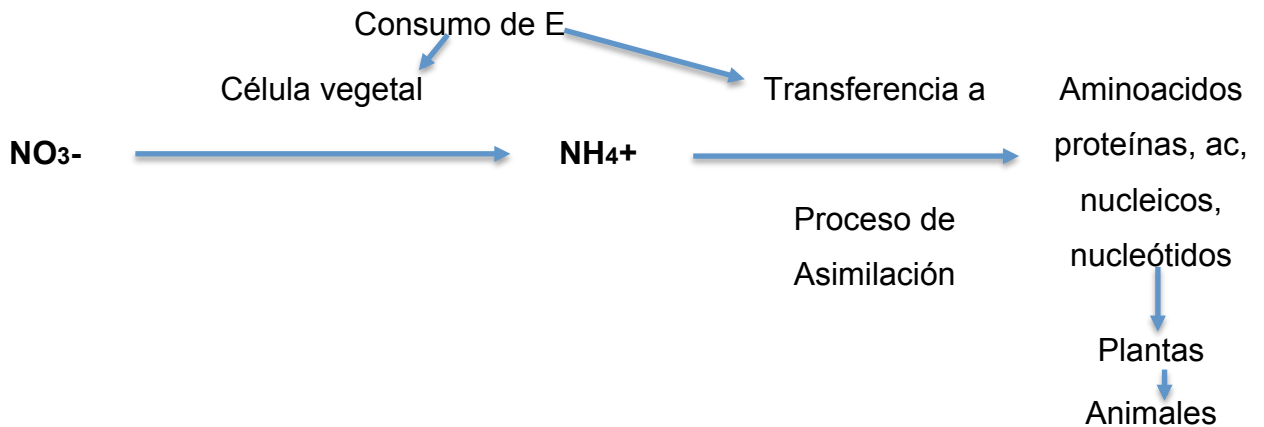
Primera reacción:



Segunda reacción:



Asimilación:



Fuente: Pacheco A. J. *et al* (2002).

### 1.\_ Fijación del Nitrógeno:

Proceso en el que el  $\text{N}_2$  se convierte en Amonio.

Manera en que los organismos pueden obtener el nitrógeno de la atmosfera.



Fijación del nitrógeno en los nódulos de las raíces

Tipos de fijación de N<sub>2</sub>:

- Fijación Biológica (microorganismos)
- Fijación por eventos naturales (Relámpagos, Flujos de lava)
- Fijación Antropogénica (Quema de combustible, fertilizantes nitrogenados, cultivo de legumbres)

## 2.\_ Toma del Nitrógeno

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> → N Orgánico

Amonio producido por el nitrógeno que fija la bacteria es incorporado en la proteína y compuesto de nitrógeno orgánico, ya sea por la planta, bacteria u organismo del suelo (Iñón N.).

## 3.\_ Mineralización del Nitrógeno

El N orgánico → NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Cuando el N se incorpora a la MO se vuelve a convertir en N inorgánico a través de la mineralización del N (desintegración). Una vez que los animales mueren las bacterias y hongos descompositores realizan su trabajo de degradación y parte del N que se encuentra en el organismo se convierte en Amonio después se pasa a nitrato por la nitrificación (Iñón N.).

## 4.\_ Nitrificación

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> → NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Proceso en que el amonio pasa a nitrato denominado nitrificación utilizando la

presencia del oxígeno.

## 5. Denitrificación



En este proceso el nitrógeno oxidado como los nitritos y nitratos pasan a convertirse en dinitrógeno y parte pequeña en N<sub>2</sub>O, proceso anaeróbico que desencadena una secuencia de reacciones:



Fuente: Pacheco A. J. *et al* (2002).



**Figura 11. Bacterias Nitrosificantes y nitrificantes.**

Fuente: (Iñón Nora).

### 2.21. Dinámica del nitrógeno en el suelo.

Las entradas y salidas de nitrógeno están presentes en todos los suelos, acompañadas de muchas transformaciones complejas y de forma continua. El nitrógeno que se encuentra presente en suelos utilizados para cultivar se compone de materiales diversos:

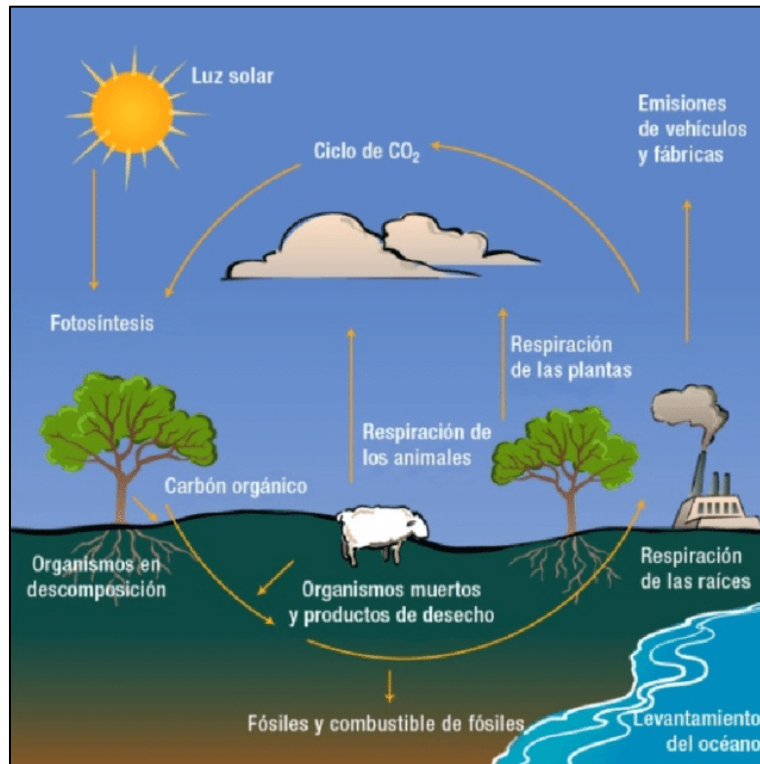
- Restos de cultivos

- Abonos verdes
- Estiércol
- Fertilizantes comerciales
- Nitratos aportados por lluvias
- Así como por la fijación de N atmosférico por ciertos microorganismos

Antes de ser utilizado por los vegetales, gran parte del nitrógeno incorporado al suelo sufre grandes transformaciones, para poder ser aprovechado. Los productos de descomposición sencillos son originados por las proteínas degradadas y por ultimo una parte del nitrógeno aparece en forma de nitrato. En esta forma puede ser apropiado tanto por los microorganismos como por las plantas superiores para construir sus estructuras proteicas, o bien ser reducido, en determinadas condiciones, a su estado elemental (Benimeli M. F. *et al.*, 2019).

## **2.22. Ciclo del carbono.**

El carbono (C) es el principal componente de la Materia Orgánica, además está involucrado en todos los procesos biológicos de los ecosistemas (Brady, 1990). El ciclo del C incluye componentes como el terrestre, acuático y atmosférico, Una cantidad de C regresa a la atmosfera a traves de la descomposición, otra va al oceano, mientras que una pequeña porción es depositada en los sedimentos (Stevenson y Cole, 1999).

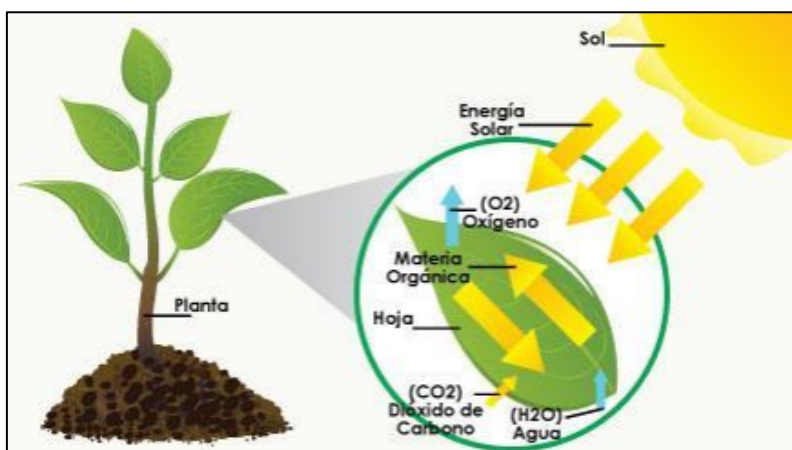


**Figura 12. Ciclo del Carbono.**

El ciclo del carbono tiene varios pasos, este inicia con:

- La fijación del dióxido de carbono atmosférico mediante la fotosíntesis que realizan las plantas y algunos microorganismos.
- En el proceso de la fotosíntesis, el CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>O reaccionan para formar carbohidratos y a la vez, liberar oxígeno, que va directo a la atmósfera.
- Alguna parte de los carbohidratos los utiliza la planta como energía y el dióxido de carbono que así se forma, se libera por medio de su estructura como son las hojas o de sus raíces.
- Los animales consumen otra parte, que por medio de sus procesos metabólicos también liberan dióxido de carbono.
- Las plantas y los animales en descomposición por medio de los

microorganismos del suelo el carbono de sus tejidos se oxida, forma dióxido de carbono y regresa a la atmósfera (Burbano O. H., 2018).



**Figura 13. Proceso de fotosíntesis de las plantas.**

Fuente: Iroz Nahuel (2018).

De acuerdo con (Iroz Nahuel *et al.*, 2018) la fotosíntesis es la responsable de absorber el CO<sub>2</sub> y la energía solar para producir oxígeno e hidratos de carbono que les permitirán a las plantas crecer.

### **2.23. Técnicas de cuantificación de gases de efecto invernadero en suelos.**

La precisión de las mediciones de GEI es crucial para actualizar y mejorar los actuales inventarios de gases de efecto invernadero que cada país necesita para desarrollar su plan de mitigación y reducción de emisiones. La mayoría de metodologías para la medición de GEI *in situ* se pueden dividir en las dos técnicas más usadas: técnicas basadas en cámaras, técnicas basadas en herramientas micro meteorológicas o Eddy Covarianza y como complemento modelación ambiental (Muñoz *et al.*, 2011; Saggar *et al.*, 2009; Jones *et al.*, 2011).

Según (Ihobe, 2013) nos dice que la cuantificación de las emisiones GEI nos ayuda a poder atribuir valores de emisión a las diversas actividades, así también conocer los objetivos en materia de reducción de las mismas, hay dos formas de

realizar el cálculo de emisiones:

La primera es por el inventario de emisiones: que es el enfoque más básico para la contabilización de las emisiones de estos GEI de una actividad y habitualmente incluye las emisiones provenientes de los consumos de combustibles fósiles o el transporte (emisiones directas). Algunas veces se suelen incluir algunas emisiones indirectas como las asociadas al consumo eléctrico para ampliar el enfoque inicial. Y en segunda tenemos por medio de la huella de carbón: Que comprende las fuentes de emisión asociadas a la organización (mismo que analiza las emisiones desde una óptica de análisis de ciclo de vida). Aquí se consideran tanto las emisiones directas como indirectas.

De dos formas se pueden estimar los flujos de los gases de efecto invernadero:

- 1.\_ El primero como cambios netos en las reservas de carbono en el tiempo (usada generalmente para la mayoría de flujos de CO<sub>2</sub>)
- 2.\_ En segunda de forma directa, como tasas de flujo del gas hacia y desde la atmósfera (usada para la estimación de gases no-CO<sub>2</sub> y algunas emisiones de CO<sub>2</sub>).

Gran parte de las emisiones de gases distintos al CO<sub>2</sub> son en producto de procesos microbiológicos (en el interior de los suelos, de los tractos digestivos de los animales y del estiércol) y de la combustión de los materiales orgánicos (Francesco *et al.*, 2015).

El inventario de emisiones es un instrumento para poder tener y llevar un registro de todas estas emisiones producidas.

La EPA por sus siglas en inglés (Agencia de Protección del Medio Ambiente) define que un inventario de emisiones es un listado actualizado y extenso de las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo por su fuente, de un área geográfica específica durante un intervalo de tiempo determinando.

Al mismo tiempo, nos dice que es una herramienta básica para poder determinar las fuentes de los contaminantes en la atmósfera, proveer información específica que permiten fijar objetivos prácticos de reducción y establecer las tendencias de las emisiones atmosféricas (Sánchez, 2012).

Las emisiones se clasifican de 2 formas según Ihobe (2013):

#### 1.\_ Emisiones directas:

Son las que están asociadas con un proceso o actividad generada dentro de la organización o sobre la que existe un control total por parte de la misma como por ejemplo (sistemas de refrigeración, calefacción, producción de energía, emisiones de combustibles, etc.).

#### 2.\_ Emisiones indirectas:

Son aquellas emisiones que no disponen de ningún control y de estas se derivan 2: Indirectas tipo II e indirectas tipo III.

Los procesos de emisión y absorción están organizados por componentes del ecosistema, según (Francesco *et al.*, 2015):

- Biomasa: la biomasa de la planta, es el principal conducto para la absorción de CO<sub>2</sub> procedente de la atmósfera, incluyendo las partes subterráneas y aéreas.
- Materia orgánica muerta: Generalmente es la mayor parte de la producción de biomasa contenida en el material vivo de la planta, mismo que este se transfiere finalmente a las reservas de materia orgánica muerta (MOM) como (madera muerta y hojarasca).

- Suelos: La materia orgánica de los suelos se transforma cuando la materia orgánica muerta se fragmenta y descompone. Adicionalmente, los suelos pueden ser fertilizados y modificados.
- Ganado: El ganado pueden ser fuentes significativas de emisiones de gases de efecto invernadero, los sistemas de producción animal, en concreto, aquellos en los que hay animales rumiantes.

### III. HIPÓTESIS

La emisión de Óxido Nitroso ( $N_2O$ ) en el suelo de un sistema silvopastoril, debido al parche de orina de bovinos, es mayor cuando la concentración de Nitrógeno Ureico incrementa al aumentar el consumo de follaje de *Leucaena leucocephala*.

## IV.OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo General

Medir la emisión de Óxido Nitroso ( $N_2O$ ) en el suelo de un sistema silvopastoril, debido al parche de orina de bovinos, al incrementar la concentración de Nitrógeno Ureico por el consumo de follaje de *Leucaena leucocephala*.

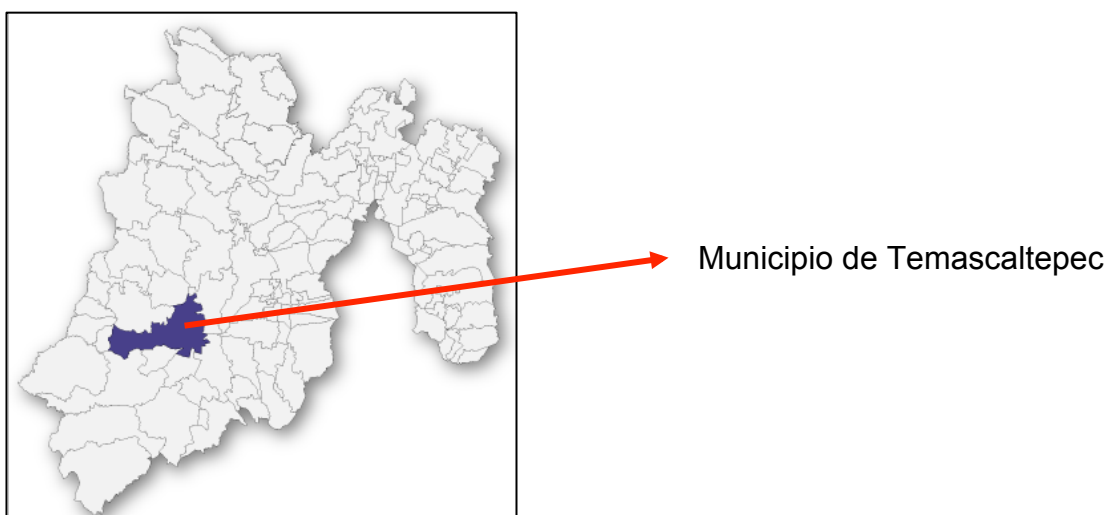
### 4.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar la emisión de  $N_2O$  del suelo debido a la concentración de nitrógeno ureico en el parche de la orina, utilizando cámaras estáticas simulando un SSP asociación gramínea- leguminosa pastoreado por bovinos
- Determinar el pH del suelo durante los periodos de muestreo
- Determinar nitrógeno ureico en orina (Kg/Ha) en la orina de bovinos alimentados con follaje de árboles leguminosos.
- Estimar el pH del suelo

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Sitio Experimental

El experimento se llevó a cabo en la zona Sur del Estado de México en el “Rancho el Peñón” ubicado en la comunidad del Peñón del municipio de Temascaltepec, a 1829 metros de altitud y clima templado con temperatura media anual que oscila entre 18-22°C, con una precipitación pluvial anual que va desde los 800-1600 milímetros en el verano.



**Figura 14. Mapa del Estado de México con Ubicación del municipio de Temascaltepec.**

El trabajo de campo se realizó durante el año 2021, analizando las muestras tomadas durante el experimento en el laboratorio de suelos de Centro Universitario Temascaltepec y el laboratorio de suelos del Colegio de Posgraduados en Texcoco México.

## 5.2. Pradera Experimental.

La medición de la emisión se realizó en una pradera naturalizada de estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) de 0.5 Ha, establecida de forma natural la cual no se fertilizó ni pastoreó.



**Figura 15. Ubicación de la Pradera Experimental en la localidad de “El Peñón” municipio de Temascaltepec.**



**Figura 16. Rancho el Peñón donde se llevó a cabo el experimento.**

### 5.3. Características de los Animales para la obtención de la orina.

El experimento se llevó a cabo con 3 becerras/vaquillas con peso Promedio de  $300 \pm 50$  kg. Peso vivo, de donde se obtuvo la orina, a través de estimulación por masaje vulvar. Estas mismas fueron confinadas en corrales con dimensiones de 4m x 4m en sombra, donde fueron equipados con comederos y bebederos individuales, con agua y sales minerales a libre acceso durante el periodo de experimentación. Los animales fueron divididos donde al azar se les estuvo proporcionando los tratamientos. Los animales se sometieron una semana a la adaptación de la dieta que la conformó el pasto estrella africana (*Cynodon Plectostachyus*) y el guaje (*Leucaena Leucocephala*).



**Figura 17. Becerra en confinamiento en adaptación a dieta.**

#### 5.4.Tratamientos

El Cuadro 11, presenta la composición de los tratamientos utilizados para la simulación del sistema silvopastoril.

**Cuadro 11. Dietas experimentales.**

Tratamientos (Orina)	Dieta
T1	Pasto estrella africana ( <i>Cynodon plectostachyus</i> ) a libre acceso + 0.0 kg Ms/ Animal/ día de Guaje ( <i>Leucaena Leucocephala</i> ).
T2	Pasto estrella africana ( <i>Cynodon plectostachyus</i> ) a libre acceso + 1.5 kg Ms/ Animal/ día de Guaje ( <i>Leucaena Leucocephala</i> ).
T3	Pasto estrella africana ( <i>Cynodon plectostachyus</i> ) a libre acceso + 3.0 kg Ms/ Animal/ día de Guaje ( <i>Leucaena Leucocephala</i> ).

Nota: En el mismo rancho se obtuvo el follaje de la *Leucaena Leucocephala* mismo que 4 semanas antes de la prueba se puso a henificar bajo la sombra.

La ración de acuerdo a los niveles se ofreció en las mañanas para el resto del día y cada mañana antes de ofrecer de nuevo la ración se pesó rechazo del día anterior para obtener consumo de Ms/día.

#### 5.4.1. Recolección de la *Leucanea* para la dieta.

Para la recolección del guaje se pasó por un proceso para poder llegar al producto final que se utilizó en la dieta, este guaje se obtuvo mismo en el rancho “El Peñón” donde se llevó a cabo el experimento.

Proceso de recolección:

- 1.\_ Colecta del guaje directo del árbol (Figura 18)
- 2.\_ Separación de hojas compuestas (Figura 19)
- 3.\_ Separación de ramas (Figura 20)
- 4.\_ Separación de retoños (Figura 21)
- 5.\_ Se puso a secar bajo la sombra en el mismo día que se cortó (Figura\_22)
- 6.\_ Después de semana y media se obtuvo la henificación (Figura 23)



**Figura 18. Colecta del guaje en el árbol.**



**Figura 19. Separación de las hojas del guaje.**



**Figura 20. Separación de ramas de guaje.**



**Figura 21. Separación de retoños del guaje.**



**Figura 22. Secado del guaje.**



**Figura 23. Guaje henificado.**

#### 5.4.2. Elaboración de la dieta.



**Figura 24. Inclusión del guaje al forraje.**



**Figura 25. Elaboración de la dieta.**



**Figura 26. Pínula de guaje henificada.**

### 5.5. Cámaras Estáticas para medir el Óxido Nitroso ( $N_2O$ ).

En el experimento se ocuparon de la ayuda de 12 cámaras estáticas individuales con base y tapa circulares, elaboradas de material de acero, donde la base fue insertada en el suelo a una profundidad de 10 cm con la intención de generar condiciones propias, evitando el paso del aire para poder llevar a cabo la toma de las muestras de  $NO_2$  con más precisión, con la ayuda de la jeringa por el tapón de caucho (septo) de la cámara, donde las muestras fueron depositadas en los viales de campo para posterior ser analizada.



Figura 27. Cámara estática.



**Figura 28. Colocación de las cámaras estáticas captadoras de gas.**



**Figura 29. Medición de callejones.**



**Figura 30. Cámara estática tapada con sus 3 broches.**

## 5.6.Desarrollo de Experimento.

### 5.6.1. Etapa 1. Ordenamiento de la Pradera.

La pradera se ordenó de manera al azar constando de una medición de cada micro parcela de 2m de largo x 1m de ancho, separadas por 1m entre cada una, siendoun total de 12 micro parcelas, cada una se dividió en 2 proporciones iguales de 1m<sup>2</sup>c/u. Una micro parcelas se utilizó para colocar las cámaras y la otra para realizar las mediciones del suelo y del forraje.



**Figura 31. Establecimiento de la pradera experimental con las 12 cámaras estáticas.**



## Figura 32. División y medición de microparcelas.

### 5.6.2. Etapa 2. Colección de Orina.

Se utilizaron 3 becerras con peso promedio de  $300 \pm 50$  kg para la colección de la orina. Se utilizó 1 vaquilla para cada tratamiento. Los bovinos fueron alimentados durante una semana por cada tratamiento y el día 8 se realizó la colecta de orina.

La colección de la orina fue en los horarios de 8:00 a 12:00, 12:00 a 16:00, 16:00 a 20:00, 20:00 a 24:00 y de 24:00 a 8:00 horas inducido a través de la estimulación por masaje vulvar, donde la orina fue depositada en una probeta graduada. Al final de cada tiempo la orina colectada fue, homogenizada y se tomó una muestra de 1000 ml para análisis de N total, N ureico y creatinina. Lo anterior para determinar la concentración de Nitrógeno ureico en la orina de bovinos de cada tratamiento.



Figura 33. Colección de orina de los animales por tratamiento.

### 5.6.3. Análisis de Orina en laboratorio

Se recolectó la orina a través de estimulación por masaje vulvar, misma que después se mandó la muestra para su previo análisis, esto con la finalidad de conocer el contenido de nitrógeno por tratamiento de acuerdo con el nivel de inclusión de la leguminosa.

Una vez que se analizó la orina por tratamientos, el expediente de laboratorio nos arrojó los siguientes resultados:

**Cuadro 12. Contenido de N Ureico en la orina por tratamiento.**

Tratamientos	Composición de la dieta	Contenido de N Ureico Kg/Ha
T1	Pasto estrella africana ( <i>Cynodon plectostachyus</i> ) a libre acceso + 0.0 kg Ms/Animal/ día de Guaje ( <i>Leucaena Leucocephala</i> ).	4.66
T2	Pasto estrella africana ( <i>Cynodon plectostachyus</i> ) a libre acceso + 1.5 kg Ms/Animal/ día de Guaje ( <i>Leucaena Leucocephala</i> ).	8.56
T3	Pasto estrella africana ( <i>Cynodon plectostachyus</i> ) a libre acceso + 3.0 kg Ms/ Animal/ día de Guaje ( <i>Leucaena Leucocephala</i> ).	23.8

#### **5.6.4. Etapa 3. Aplicación de los tratamientos y medición Óxido Nitroso ( $N_2O$ ).**

En cada micro parcela se asperjó la orina correspondiente a una mancha de orina de  $1\text{ m}^2$  y al Nitrógeno contenido en la orina (N/L) y al volumen de orina total por animal.

#### **5.6.5. Tiempos de Colecta de muestra de Óxido Nitroso ( $N_2O$ ).**

Se realizaron 3 tomas para muestra del aire, antes de iniciar la medición (previo a los tratamientos) en diferentes tiempos de 0, 20 y 30 minutos en las cámaras después de la aplicación de los tratamientos, terminando la toma estas fueron depositadas en los viales de campo para posterior ser analizadas.

#### **5.6.6. Periodo de Muestreo.**

Después de aplicar los tratamientos, se realizaron 7 muestreos en la primera semana. El primer muestreo se realizó el mismo día de aplicación del tratamiento e inmediatamente después, se realizaron 7 muestreos post- aplicación. A partir del día 7 post aplicación, se muestreó cada tercer día hasta nivel cero emisión.



**Figura 34. Muestreo de gas  $N_2O$ .**



**Figura 35. Colecta de gas en la jeringa.**



**Figura 36. Introducción del gas en el vial.**



**Figura 37. Agrupación de las 4 tomas de gas por cámara.**

### **5.6.7. Medida de pH del suelo**

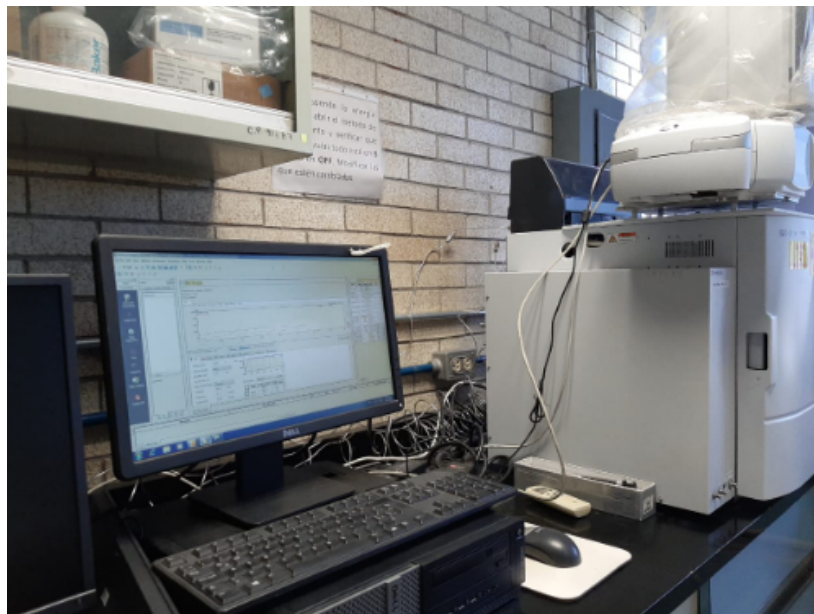
Cada muestreo se realizó al azar en las micro parcelas divididas de 1m<sup>2</sup> c/u a la cámara de medición de gas utilizando un cilindro, para determinar pH cercanas a la cámara, donde las muestras de suelo fueron depositadas en bolsas nylon ennumeradas de acuerdo a número de la cámara y el tratamiento para su control para posterior llevarse analizar a laboratorio.



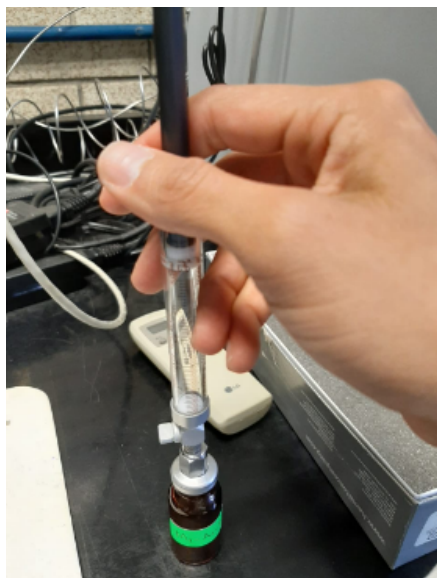
**Figura 38. Toma de muestra de suelo en diferentes partes de la microparcela.**

### 5.6.8. Análisis en Cromatografía

Las muestras recolectadas durante el experimento fueron analizadas en el Colegio de Posgraduados campus Montecillos en el área de gases del departamento de edafología.



**Figura 39. Equipo de cromatografía de gases.**



**Figura 40. Jeringa Hamilton 81556 para insertar gas al cromatógrafo.**

Para el análisis de datos de gas se utilizó un cromatógrafo de gases marca Shimadzu modelo GC-2014 Greenhouse Gas Analyzer (Fig. 24), este mismo está equipado con un detector de captura de electrones (ECD) que cuenta con una fuente de radiación de  $^{63}\text{Ni}$  y funciona a una temperatura de  $325^{\circ}\text{C}$ . El equipo se calibró usando estándares de grado analítico de la marca Scott Specialty Gases®. Con la ayuda de jeringa Hamilton 5 mL SYR (22/2" /2) las muestras de los viales de campo fueron inyectadas en el cromatógrafo. Por medio del aumento lineal o no lineal de las concentraciones dentro de la cámara a través del tiempo, los flujos de  $\text{N}_2\text{O}$  fueron calculados como lo proponen Hutchinson y Mosier (1981).

Utilizando la siguiente formula, las concentraciones de gas se convirtieron de ppm a  $\mu\text{g}$  de  $\text{N}_2\text{O}$ -N por  $\text{m}^2$  por hora:

$$\text{N}_2\text{O} - \text{N flux} = \frac{\delta\text{N}_2\text{O} * M\omega * V * 60}{A * Mvcorr}$$

Donde  $\delta\text{N}_2\text{O}$  es la pendiente de  $\text{N}_2\text{O}$  (ppm/min),  $M\omega$  es el peso molecular de  $\text{N}_2\text{O}$  ( $\text{N}_2\text{O} - \text{N} = 28 \mu\text{g}/\mu\text{mol}$ )  $V$  es el volumen de la cámara ( $\text{m}^2$ ),  $A$  es la superficie del área medida de la cámara ( $\text{m}^2$ ), 60 es el factor de conversión minutos a hora y  $Mvcorr$  es el volumen molar corregido:  $Mvcorr = 22.41 * 273.15 + \text{temp} / 273.15 * 0.8004$ , donde 22.41 es el volumen molar (L) a temperatura y presión estándar de cualquier gas, 273.15 es el factor de conversión de  $^{\circ}\text{C}$  a  $^{\circ}\text{K}$ , temp es la temperatura de la cámara ( $^{\circ}\text{C}$ ) cuando está cerrada,  $p_0$  es la presión del aire a nivel del mar (1 atm) y  $p_1$  es la presión del aire en el sitio experimental (0.8004 atm).

### 5.6.9 Variables de Estudio

El pH del suelo se analizó durante el periodo de experimento de medición de la emisión de  $N_2O$ .



**Figura 41. Secado de muestras de suelo para la realización de pH.**

1.\_ Determinación de pH en agua.

Reactivos:

-Agua Destilada

-Soluciones Reguladoras de Referencia pH de 4.0, 10.0 Y 7.00

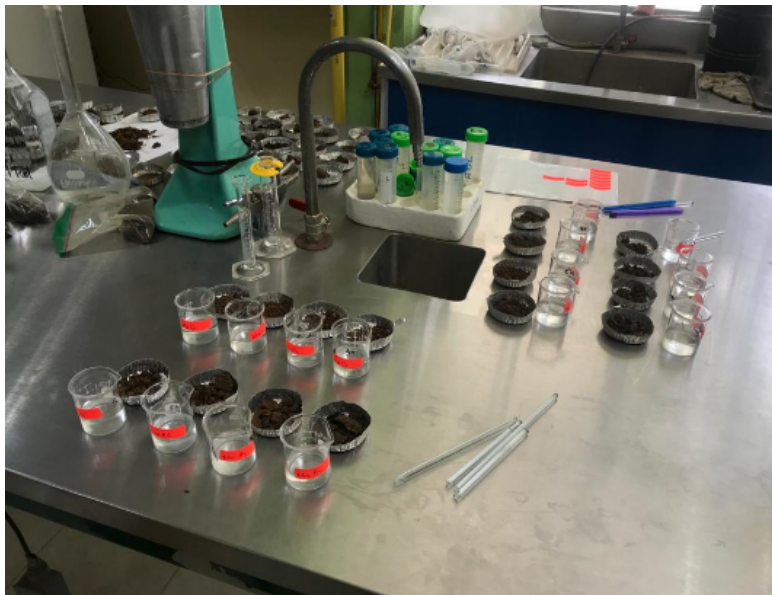
Material Y Equipo:

- Potenciómetro
- Balanza Granatária
- Charolas de Pesado
- Espátula
- Muestra de Suelo

- Vasos de Precipitados
- Varilla de Vidrio
- Piceta

Procedimiento:

1. Se pesó 10g de suelo, se vació al vaso de Precipitado y se adicionó 20 MI de agua destilada.
2. Se agitó durante 15 mn.
3. Se dejó reposar otros 15 mn.
4. Se calibró el potenciómetro con las Soluciones Reguladoras de pH.
5. Se agitó nuevamente la solución y se introdujo el electrodo.
6. Se registró del pH al momento en que la lectura se estabilizó.



**Figura 42. Preparación de las muestras secas y pesadas de suelo con agua destilada y agitadores para realizar pH.**



**Figura 43. Calibración del potenciómetro.**

### 5.6.10. Diseño experimental y análisis estadístico.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 3 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento.

La fórmula del modelo experimental es la siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

- ✓  $\mu$ = media general
- ✓  $\tau_i$ = efecto del i-ésimo tratamiento  $i=3$
- ✓  $e_{ij}$ = error experimental en la unidad j del tratamiento i

Los resultados se analizaron a través de un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey para diferencia múltiple de medias ( $P < 0.05$ ) con el paquete estadístico SAS System versión 9.4

## VI. RESULTADOS

### 6.1. Emisiones promedio de N<sub>2</sub>O desde el suelo (g ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)

Las emisiones de N<sub>2</sub>O fueron en promedio de 2.20 g ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para tratamiento A, 2.31 g ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para tratamiento B y 2.57 g ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para tratamiento C durante los 13 días de muestreo. El flujo de emisión de N<sub>2</sub>O del suelo debido al parche de orina de bovinos alimentados con diferente porcentaje de inclusión de *Leucaena* en la dieta simulando un sistema silvopastoril indicó variaciones a lo largo de los días de muestreo donde se presentaron diferencias altamente significativas (P<0.000) (cuadro 13).

**Cuadro 13. Emisiones promedio de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en los días de medición en suelos.**

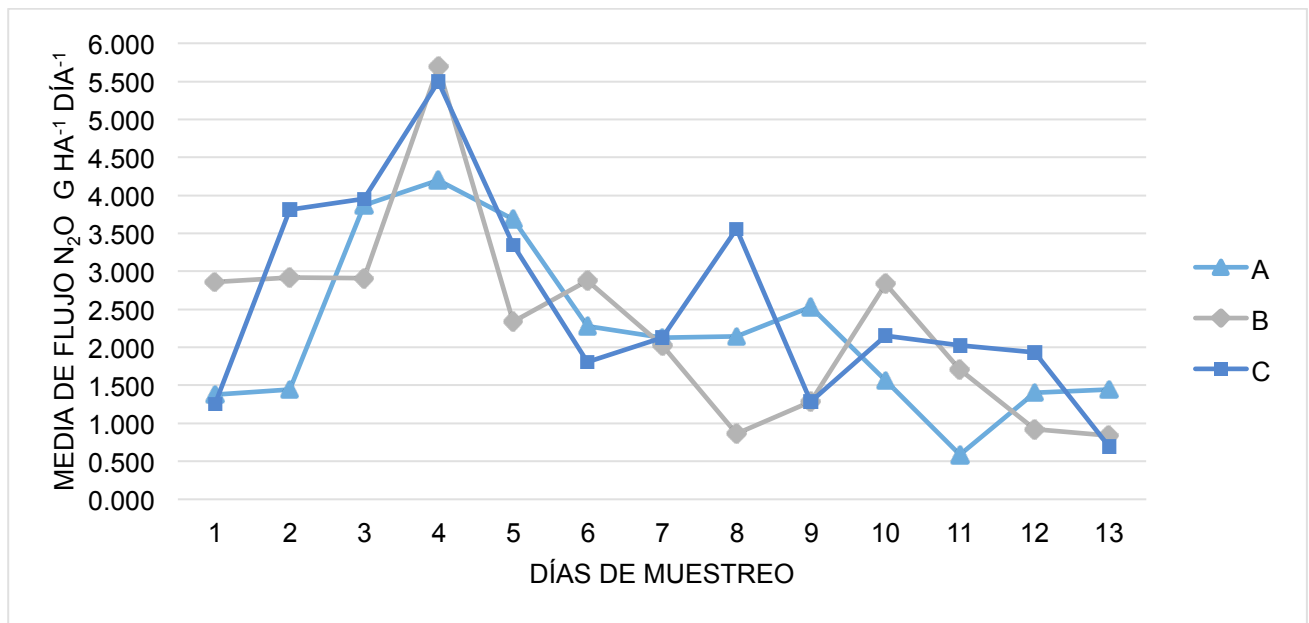
Tratam	Días de muestreo													Min	Máx.	Media
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
	<b>Media de Flujo N<sub>2</sub>O g ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup></b>															
A	1.37	1.44	3.87	<b>4.20</b>	3.69	2.28	2.12	2.14	2.53	1.56	0.59	1.40	1.44	0.59	4.20	2.20
B	2.86	2.92	2.91	<b>5.69</b>	2.34	2.88	2.03	0.87	1.28	2.83	1.70	0.92	0.83	0.83	5.69	2.31
C	1.25	3.81	3.95	<b>5.49</b>	3.35	1.80	2.13	3.56	1.28	2.15	2.02	1.93	0.69	0.69	5.49	2.57

A= 0% inclusión de *Leucaena* en dieta; B= 15% inclusión de *Leucaena* en dieta; C= 30% inclusión de *Leucaena* en dieta.

El valor mínimo de emisión por tratamiento fue Tratamiento A= 0.587, Tratamiento B= 0.834 y tratamiento C= 0.695 g ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Sin embargo, No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (P= 0.475), es decir, que no se presentaron evidencias de un efecto por el consumo de diferentes niveles de inclusión de *Leucaena* en la dieta de bovinos para la emisión de N<sub>2</sub>O por el contenido de nitrógeno ureico en el parche de orina en un Sistema Silvopastoril.

Los resultados obtenidos en este experimento fueron contrarias a las reportadas por Núñez et al. (2021) donde una mayor concentración de N aplicado al suelo podría explicar la diferencia en las emisiones de N<sub>2</sub>O (emisiones en kg ha<sup>-1</sup> fueron de 5.6 en el testigo, 10.2 en orina y 11.8 en urea).

Las mayores emisiones de N<sub>2</sub>O se produjeron en el día 4 (Tratamiento A= 4.198 g ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, Tratamiento B= 5.692 g ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> y Tratamiento C= 5.492 g ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>), reduciendo en las demás fechas de muestreo hasta un mínimo promedio.



A= 0% inclusión de *Leucaena* en dieta; B= 15% inclusión de *Leucaena* en dieta; C= 30% inclusión de *Leucaena* en dieta.

**Gráfico 3. Flujo de emisión de N<sub>2</sub>O g ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> durante el periodo de muestreo.**

Constantini *et al.* (2018), menciona que la mayor contribución de N<sub>2</sub>O se produce a partir de las excretas de animales, principalmente líquidas, es decir las deyecciones. En este trabajo, las emisiones de N<sub>2</sub>O se incrementaron al realizarse la aplicación de orina en el suelo.

### 7.1. Potencial de Hidrogeno (pH)

El efecto de aplicación de orina con diferentes niveles de concentración de N ureico sobre el pH del suelo no presentó diferencias significativas ( $P>0.05$ ) (Cuadro 14).

**Cuadro 14. Valores mínimos, máximos, media y desviación estándar de pH en suelo de los diferentes tratamientos.**

Tratamiento	Desviación			
	Min	Máx.	Media	Estándar
A	6.385	6.988	6.601 <sup>A</sup>	0.15
B	6.085	6.903	6.620 <sup>A</sup>	0.26
C	6.208	6.835	6.607 <sup>A</sup>	0.19

A= 0% inclusión de *Leucaena* en dieta; B= 15% inclusión de *Leucaena* en dieta; C= 30% inclusión de *Leucaena* en dieta.

Valores de media con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $P<0.05$ ).

Sin embargo, durante el periodo de muestreo se presentaron diferencias altamente significativas ( $P<0.000$ ) (Cuadro 15). Se muestra una diferencia en el día 3 de muestreo, ya que disminuye los valores de pH para tener un aumento los días posteriores, modificando el suelo a condiciones básicas. Durante el día de muestreo 3 y 4 se realizaron las aplicaciones de tratamientos (orina).

**Cuadro 15. Valores promedio de pH y desviación estándar a través del periodo de muestreo.**

Días de muestreo	Media	Desviación estándar
------------------	-------	---------------------

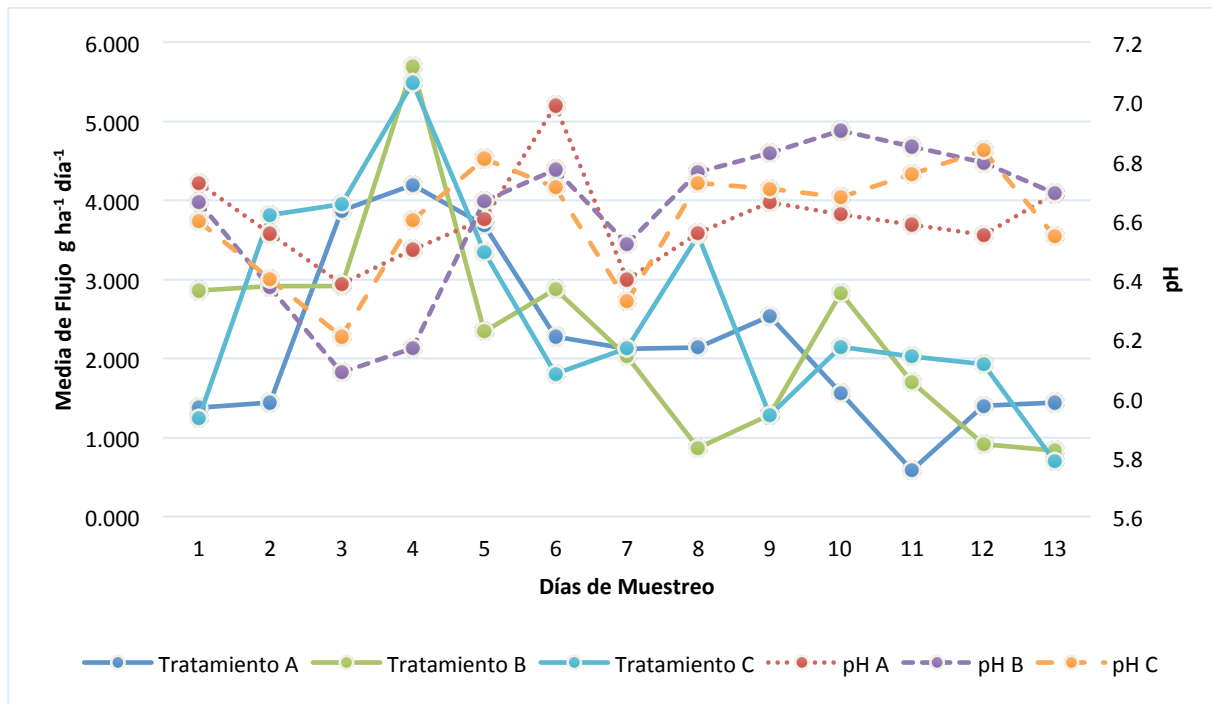
1	6.66 <sup>AB</sup>	0.06
2	6.44 <sup>ABC</sup>	0.09
3	6.22 <sup>C</sup>	0.15
4	6.42 <sup>BC</sup>	0.22
5	6.69 <sup>AB</sup>	0.10
6	6.82 <sup>A</sup>	0.14
7	6.41 <sup>BC</sup>	0.09
8	6.68 <sup>AB</sup>	0.10
9	6.73 <sup>AB</sup>	0.08
10	6.73 <sup>AB</sup>	0.14
11	6.73 <sup>AB</sup>	0.13
12	6.72 <sup>AB</sup>	0.15
13	6.64 <sup>AB</sup>	0.08

Valores de media con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ).

Shand *et al.* (2002) menciona que seguido a la deposición de orina, el pH en los primeros 20-40 cm del suelo incrementan de 1 a 3 puntos. Debido a que la mayor parte de la urea en la orina queda retenida en las capas superficiales del suelo, donde ocurre un proceso de hidrólisis y genera condiciones básicas. El incremento en el pH posterior a la aplicación de orina es normal debido a la producción de iones hidroxilos (OH) durante la hidrólisis de urea (Zaman *et al.*, 2009). En este experimento se reporta una tendencia similar en los valores de pH, al presentarse un incremento de pH en el suelo después de la aplicación de orina con diferentes niveles de concentración de N ureico.

## 7.2. Relación entre pH del suelo y flujo de emisión de N<sub>2</sub>O

La Figura 30 muestra la relación entre el pH del suelo y el flujo de emisión de N<sub>2</sub>O a través de los días de muestreo, en la cual se aprecia una relación entre el incremento del flujo de N<sub>2</sub>O por tratamiento y la disminución de pH del suelo por la aplicación de orina con diferentes concentraciones de N ureico.



**Gráfico 4. Relación entre flujo de emisión de N<sub>2</sub>O y pH del suelo a través de los días de muestreo.**

Haynes y Williams (1993) mencionan que las limitaciones en las características físicas y químicas del suelo, tales como el pH, afectan la eficiencia de transformaciones biológicas del N en el suelo, aumentando las emisiones de N<sub>2</sub>O.

## VII. CONCLUSIONES

Los resultados de esta tesis permitieron determinar que el incremento de la concentración de N ureico en el parche de orina de bovinos alimentados con follaje de árboles leguminosos en un sistema silvopastoril no tuvo efecto sobre la emisión de  $N_2O$  en el suelo. Sin embargo, la aplicación de orina produce un aumento en las emisiones de  $N_2O$  desde el suelo a partir de su aplicación, para disminuir en los siguientes días consecutivos de muestreo. Además, se determinó una tendencia negativa entre el flujo de  $N_2O$  y los valores de pH en suelo.

En este trabajo el uso de diferentes porcentajes de inclusión de follaje de árboles leguminosos (*Leucaena*) no tuvo un efecto sobre las emisiones de  $N_2O$ . Los mayores flujos de  $N_2O$  se obtuvieron a partir de la aplicación de orina, por lo tanto, se puede concluir que los flujos diarios de  $N_2O$  desde las manchas de orina, para cada sitio experimental, se encuentran más influenciados por las condiciones del suelo, como el pH que por el nivel proteico de la dieta y su efecto sobre la concentración de N de la orina.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Berger Berretta, L. (Septiembre de 2011). *Emisiones de Óxido Nitroso producidas por la actividad ganadera en el Uruguay en condiciones de pastoreo*. Recuperado el 04 de Mayo de 2021, de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1667/1/uy24-15490.pdf>
- Cereales, C. d. (2010). *IMPLANTACIÓN*. Obtenido de [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas%20artificiales/166-luz\\_implantacion.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/166-luz_implantacion.pdf)
- CIAT. (5 de Febrero de 2019). *El poder de la orina del ganado para calentar el planeta se puede restringir con la restauración de tierras*. Obtenido de <https://latinclima.org/articulos/el-poder-de-la-orina-del-ganado-para-calentar-el-planeta-se-puede-restringir-con-la>
- Criado, M. (07 de Octubre de 2020). *La producción de comida desboca las emisiones de un potente gas de efecto invernadero*. Recuperado el 01 de Mayo de 2021, de El País: <https://elpais.com/ciencia/2020-10-07/la-produccion-de-comida-desboca-las-emisiones-de-un-potente-gas-de-efecto-invernadero.html>
- De Klein, C., Novoa, R., Ogle, S., Smith, K., Rochette, P., Wirth, T., . . . Rypdal, K. (2006). EMISIONES DE N<sub>2</sub>O DE LOS SUELOS GESTIONADOS Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DERIVADAS DE LA APLICACIÓN DE CAL Y UREA. Recuperado el 01 de Mayo de 2021, de [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_11\\_Ch11\\_N2O&CO2.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf)
- De Miguel Fernandez , C., & Vázquez Taset, Y. M. (Julio-Septiembre de 2006). ORIGEN DE LOS NITRATOS (NO<sub>3</sub>) Y NITRITOS (NO<sub>2</sub>) Y SU INFLUENCIA EN LA POTABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. *Minería y Geología*, 22(3), 1-9. Recuperado el 02 de Mayo de 2021, de

<https://www.redalyc.org/pdf/2235/223517652002.pdf>

Hernández Tapia, N., Salinas Ruiz, J., Saynes Santillán, V., Ayala Rodríguez, J., Hernández Rosas, F., & Velasco Velasco, J. (2019). EMISIÓN DE N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> Y NH<sub>3</sub> A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE BOVINOS CON DIFERENTE PORCENTAJE DE PROTEÍNA CRUDA EN LA DIETA. *Revista Internacional de la Contaminación Ambiental*, 35(3), 597-608. Recuperado el 07 de Mayo de 2021, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v35n3/0188-4999-rica-35-03-597.pdf>

Kú Vera, J., Valdivia, V., Sandoval Castro, C., & Otaduy, K. (2010). MÉTODO SIMPLE PARA RECOLECCIÓN TOTAL DE ORINA DE VACAS EN PASTOREO DE GRAMÍNEAS O ARBUSTIVAS. En *Archivos de zootecnia* (Vol. 59, págs. 150-152). Recuperado el 06 de Mayo de 2021, de <https://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v59n225/art17.pdf>

Moares, J. (2006). *VENTAJAS DE ORDENAR EL RODEO Y ESTACIONAR EL SERVICIO*. Obtenido de [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/cria/76-estacionar\\_servicio.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/76-estacionar_servicio.pdf)

Mora Ravelo, S. G., Sandoval Villa, M., Gavi Reyes, F., & Sánchez García, P. (2005). Emisión de N<sub>2</sub>O con fertilización nitrogenada en fertirriego y fertilización convencional. *Revista Internacional de Contaminación*, 21(1), 23-29. Recuperado el 04 de Mayo de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/370/37021103.pdf>

Nieto, M., C.A., F., K., F., R., R., & O., B. (2019). Estrategias de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas ganaderos bovinos extensivos del sur de San Luis, Argentina. Estudio de casos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 45(3), 404-411. Recuperado el 01 de Mayo de 2021

Núñez Ramos, P. A., García Lagombra, G., & Caridad del Rosario, J. (16 de Octubre de 2020). *Mediciones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en suelo manejado bajo pastoreo con bovinos de leche*. Recuperado el 01 de Mayo de 2021, de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/573/57366066009/index.html>

Núñez Ramos, P. A., García Lagombra, G., Caridad del Rosario, J., & Asencio Cuello, V. J. (05 de Abril de 2021). Mediciones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en suelo manejado bajo pastoreo con bovinos de leche. *Terra Latinoamericana*, 39. Recuperado el 07 de Mayo de 2021

SAGARPA. (Julio de 2017). *PROGRAMA DE SANIDAD E INOCUIDAD*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/389137/COMPENDIO\\_SANIDAD\\_2016\\_10-nov-2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/389137/COMPENDIO_SANIDAD_2016_10-nov-2017.pdf)

Saynes Santillán, V., Etchevers Barra, J., Paz Pella, F., & Alvarado Cárdenas, L. (Enero-Marzo de 2016). *EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO*. (T. Latinoamericana, Ed.) Recuperado el 01 de Mayo de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57344471006.pdf>

UACH, F. d. (s.f.). *AJUSTE DE CARGA ANIMAL*. Obtenido de [http://www.fz.uach.mx/servicio/monitoreo\\_pastizales/2012/11/17/ajuste/#:~:text=Su%20prop%C3%B3sito%20es%20el%20conservar,valor%20nutricional%20de%20las%20especies](http://www.fz.uach.mx/servicio/monitoreo_pastizales/2012/11/17/ajuste/#:~:text=Su%20prop%C3%B3sito%20es%20el%20conservar,valor%20nutricional%20de%20las%20especies).

Núñez-Ramos, Pedro Antonio, García-Lagombra, Gregorio, Rosario, Joaquín Caridad del, & Asencio-Cuello, Víctor José. (2021). Mediciones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en suelo manejado bajo pastoreo con bovinos de leche. *Terra Latinoamericana*, 39, e813. Epub 05 de abril de 2021. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.813>

Costantini, A., M. G. Pérez, M. Busto, F. González, V. Cosentino, R. Romaniuk y M. A. Taboada. 2018. Emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. *Cienc. Invest.* 68: 47-54.

Shand CA, Williams BL, Dawson LA, Smith S, Young ME. 2002. Sheep urine affects soil solution nutrient composition and roots: Differences between field and sward box soils and the effects of synthetic and natural sheep urine. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(2): 163 - 171.

- Zaman M, Saggarr S, Blennerhassett JD, Singh J. 2009. Effect of Urease and Nitrification Inhibitors on N Transformation, Gaseous Emissions of Ammonia and Nitrous Oxide, Pasture Yield and N Uptake in Grazed Pasture System. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6): 1270 - 80.
- Haynes RJ, Williams PH. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, 49: 119 - 199
- Aguilar, A. A. (2021). La ganadería y la pérdida de la biodiversidad. *INECOL*, 2.
- Calderón, S. D. (2012). *Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del Plantel El Alto en Ochozaco, RECOPE*. Cartago: TEC.
- Cotler, H., Corona, J. A., & Galeana Pizaña, J. M. (Abril-Octubre de 2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *SciELO*, 8.
- D., V., Herrera, H., Ramírez, J. L., Leonard, I., Álvarez, Y., Bazán, Y., . . . Andrés , S. (2012). Valor nutritivo de *Leucaena leucocephala*, con énfasis en el. *REDVET, Revista electrónica de Veterinaria*, 13(11), 10. Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/74310/1/REDVET%20Valor%20nutritivo%202012.pdf>
- De Luna Vega, A., García Sahagún , M. L., Rodríguez Guzmán , E., Pimienta Barrios , E., & Escalante Martínez , R. (Marzo de 2017). Potencial alimenticio animal con harina de frutos de parota (*Enterolobium Cyclocarpum*, Jacq.) y capimo (*Brosimum alicastrum*, Sw). *Revista de Simulación y Laboratorio*, 4(10), 13-21.
- Elizondo Salazar , J. (2008). El pasto estrella africana: características nutricionales y aspectos de manejo. *Ventana Lechera*, 26-27.
- González, M. A., Paz Pellat, F., Cruz Gaistardo, C. O., Argumedo Espinoza, J. A., Romero Benítez, V. M., & de la Cruz Cabrera, J. C. (Julio- Septiembre de 2016). ESTUDIOS DE SÍNTESIS SOBRE EL CONOCIMIENTO DEL CARBONO EDÁFICO EN MÉXICO. *Terra Latinoam*, 34(3).
- Hernández, M. A., Bocco Verdinelli, G., Cotler Ávalos, H., Cram Heydrich, S., Lee Alardín, W. H., Ortiz García, S., . . . Siebe Grabach, C. (2021). Por una gestión sostenible del suelo. *SDSN*, 16.
- Ihobe. (2013). *7 metodologías para el calculo de emisiones de gases de efecto invernadero*. Vasco: Ihobe.
- INECC. (2007). *Ganaderización, sobrepastoreo y degradación de suelos*. México: INECC.

- INEGI. (2014). EROSIÓN DE SUELOS EN MÉXICO. *INEGI*, 8.
- Iñón, N. (s.f.). CICLO DEL NITROGENO. 74.
- Jiménez-Trujillo, J. (s.f.). Sistemas silvopastoriles y buenas prácticas para la ganadería sostenible en Oaxaca . *Alianza MéxicoREED+*, 39.
- México busca ganadería sustentable para evitar degradación de suelos. (2021). *CONtextogadero* , 2.
- Montor, T. G. (2021). *MEDICIÓN DE EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL: GRAMÍNEAS-LEGUMINOSAS ARBÓREA, PASTOREADO POR BOVINOS, EN UNA REGIÓN DE CLIMA TROPICAL*. México.
- Naranjo, A. G., Ordóñez Díaz , J. B., Mungía Barcenás , A., Venegas Mancera, N. J., Ortega Treviño, L. E., & Ordóñez Díaz , M. (1990-2018). *Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del ganado en México, 1990-2018*. México: INEGI. Obtenido de <https://rde.inegi.org.mx/index.php/2022/01/03/estimacion-de-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-provenientes-del-ganado-en-mexico-1990-2018/#:~:text=El%20promedio%20de%20estas%20emisiones,metano%20represent%C3%B3%2090.4%20por%20ciento>.
- Reyes, M. L. (Julio-Diciembre de 2001). Degradación de suelos en Sonora: el problema de la erosión en los suelos de uso ganadero. *Región y sociedad*, 13(22).
- Rincón, L. E., & Aristizábal Gutiérrez, F. A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Colomb. Biotecnol*, 285-296.
- Ruiz, R. P., Gómez Castro, H., Medina Jonapá, F. J., Hernández López, A., Guevara Hernández, F., & Ortega Reyes, L. (2010). LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES. *Integración de la ganadería y la conservación de los recursos naturales* , 28.
- SEMARNAT. (2002). Superficie Afectada por Sobrepastoreo. *SEMARNAT*, 2.
- SEMARNAT. (2003). *SUELOS*. SEMARNAT.
- Semarnat. (2007). Suelos. *Semarnat* , 36.
- SEMARNAT. (s.f.). Degradación de los suelos en México. *SEMARNAT*.
- Sotelo Ruíz, E. D., González Hernández , A., Cruz Bello, G., Moreno Sánchez, F., & Cruz Cardenas , G. (Nov./Dic. de 2011). Los suelos del Estado de México y su actualización a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2006. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(8), 71-84.
- Tubiello, F. N., D., R., Golec, C., Salvatore, M., Piersante, A., Federici, S., . . . Prospero, P.

(2015). Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, 193.

Orellana, G., Sandoval, M. L., Linares, G., García, N. E. & Tamariz, J. V. (2012). Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 3(1): 123-135.

Vela, G., López, J. & Rodríguez, M. de L. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas*. 77: 18-30

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2015. Medición de óxido nitroso en pasturas de Costa Rica. <https://www.catie.ac.cr/catie-noticias/943-miden-oxido-nitroso-en-pasturas-de-costa-rica.html>.

FAO. 2017a. Ganadería sostenible y cambio climático en América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/americas/perspectivas/ganaderia-sostenible/es/>

Acosta, Z. 2007. Impacto ambiental de la ganadería vacuna en Cuba. Principales acciones para la sostenibilidad. Artículo de revisión. *Revista de Producción Animal* 45-53.

Pacheco Ávila, Julia; Pat Canul, Roberto; Cabrera Sansores, Armando Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos *Ingeniería*, vol. 6, núm. 3, septiembre-diciembre, 2002, pp. 73-81 Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México

Burbano-Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Rev. Cienc. Agr.* 35(1): 82-96. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>

Núñez-Ramos, Pedro Antonio, García-Lagombra, Gregorio, Rosario, Joaquín Caridad del, & Asencio-Cuello, Víctor José. (2021). Mediciones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en suelo manejado bajo pastoreo con bovinos de leche. *Terra Latinoamericana*, 39, e813. Epub 05 de abril de 2021. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.813>

Aguilar, A. A. (2021). La ganadería y la pérdida de la biodiversidad. *INECOL*, 2.

Calderón, S. D. (2012). *Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del*

- Plantel El Alto en Ochomogo, RECOPE*. Cartago: TEC.
- Cotler, H., Corona, J. A., & Galeana Pizaña, J. M. (Abril-Octubre de 2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *SciElo*, 8.
- D., V., Herrera, H., Ramírez, J. L., Leonard, I., Álvarez, Y., Bazán, Y., . . . Andrés , S. (2012). Valor nutritivo de *Leucaena leucocephala*, con énfasis en el. *REDVET, Revista electrónica de Veterinaria*, 13(11), 10. Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/74310/1/REDVET%20Valor%20nutritivo%202012.pdf>
- De Luna Vega, A., García Sahagún , M. L., Rodríguez Guzmán , E., Pimienta Barrios , E., & Escalante Martínez , R. (Marzo de 2017). Potencial alimenticio animal con harina de frutos de parota (*Enterolobium Cyclocarpum*, Jacq.) y capimo (*Brosimum alicastrum*, Sw). *Revista de Simulación y Laboratorio*, 4(10), 13-21.
- Elizondo Salazar , J. (2008). El pasto estrella africana: características nutricionales y aspectos de manejo. *Ventana Lechera*, 26-27.
- González, M. A., Paz Pellat, F., Cruz Gaistardo, C. O., Argumedo Espinoza, J. A., Romero Benítez, V. M., & de la Cruz Cabrera, J. C. (Julio- Septiembre de 2016). ESTUDIOS DE SÍNTESIS SOBRE EL CONOCIMIENTO DEL CARBONO EDÁFICO EN MÉXICO. *Terra Latinoam*, 34(3).
- Hernández, M. A., Bocco Verdinelli, G., Cotler Ávalos, H., Cram Heydrich, S., Lee Alardín, W. H., Ortiz García, S., . . . Siebe Grabach, C. (2021). Por una gestión sostenible del suelo. *SDSN*, 16.
- Ihobe. (2013). *7 metodologías para el calculo de emisiones de gases de efecto invernadero*. Vasco: Ihobe.
- INECC. (2007). *Ganaderización, sobrepastoreo y degradación de suelos*. México: INECC.
- INEGI. (2014). EROSIÓN DE SUELOS EN MÉXICO. *INEGI*, 8.
- Iñón, N. (s.f.). CICLO DEL NITROGENO. 74.
- Jiménez-Trujillo, J. (s.f.). Sistemas silvopastoriles y buenas prácticas para la ganadería sostenible en Oaxaca . *Alianza MéxicoREED+*, 39.
- México busca ganadería sustentable para evitar degradación de suelos. (2021). *CONtextogadero* , 2.
- Montor, T. G. (2021). *MEDICIÓN DE EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL: GRAMÍNEAS-LEGUMINOSAS ARBÓREA, PASTOREADO POR*

*BOVINOS, EN UNA REGIÓN DE CLIMA TROPICAL.* México.

- Naranjo, A. G., Ordóñez Díaz , J. B., Mungía Barcenás , A., Venegas Mancera, N. J., Ortega Treviño, L. E., & Ordóñez Díaz , M. (1990-2018). *Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del ganado en México, 1990-2018.* México: INEGI. Obtenido de <https://rde.inegi.org.mx/index.php/2022/01/03/estimacion-de-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-provenientes-del-ganado-en-mexico-1990-2018/#:~:text=El%20promedio%20de%20estas%20emisiones,metano%20represent%C3%B3%2090.4%20por%20ciento.>
- Reyes, M. L. (Julio-Diciembre de 2001). Degradación de suelos en Sonora: el problema de la erosión en los suelos de uso ganadero. *Región y sociedad*, 13(22).
- Rincón, L. E., & Aristizábal Gutiérrez, F. A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Colomb. Biotecnol*, 285-296.
- Ruiz, R. P., Gómez Castro, H., Medina Jonapá, F. J., Hernández López, A., Guevara Hernández, F., & Ortega Reyes, L. (2010). LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES. *Integración de la ganadería y la conservación de los recursos naturales* , 28.
- SEMARNAT. (2002). Superficie Afectada por Sobrepastoreo. *SEMARNAT*, 2.
- SEMARNAT. (2003). *SUELOS*. SEMARNAT.
- Semarnat. (2007). Suelos. *Semarnat* , 36.
- SEMARNAT. (s.f.). Degradación de los suelos en México. *SEMARNAT*.
- Sotelo Ruíz, E. D., González Hernández , A., Cruz Bello, G., Moreno Sánchez, F., & Cruz Cardenas , G. (Nov./Dic. de 2011). Los suelos del Estado de México y su actualización a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2006. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(8), 71-84.
- Tubiello, F. N., D., R., Golec, C., Salvatore, M., Piersante, A., Federici, S., . . . Prospero, P. (2015). Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, 193.