



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**EL IMPACTO DEL EXTRACTO DE *YUCCA* SOBRE LA EMISIÓN DE GASES  
INVERNADERO EN RUMIANTES**

**Tesina**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

**PRESENTA**

PMVZ. ALDO ÁLVAREZ GÓMEZ

Asesores

**DRA. MONA MOHAMED MOHAMED YASSEEN ELGHANDOUR**

**DR. ABDEL FATTAH ZEIDAN MOHAMED SALEM**



Toluca, Estado de México, junio 2020.

# Índice

	Páginas
1. Resumen.....	4
2. Introducción.....	5
3. Revisión de literatura.....	12
3.1 Generalidades.....	12
3.2 Caracterización de la planta <i>Yucca</i> .....	12
3.3 Utilización de la <i>Yucca</i> .....	13
4. Alimentación animal.....	14
4.1 Rumiantes.....	14
5. Gases y partículas de efecto invernadero.....	15
5.1 Rumiantes y gases de efecto invernadero.....	17
5.2 Fuentes de Emisión.....	17
6. Justificación.....	19
7. Hipótesis.....	20
8. Objetivos.....	21
9. Material y métodos.....	22
9.1 Búsqueda de información.....	22
9.2 Recopilación de Información.....	23
9.3 Cita de literatura.....	23
10. Resultados y discusión.....	24
10.1 La <i>Yucca</i> y sus componentes secundarios.....	24
10.2 Modo de acción de la <i>Yucca</i> sobre las emisiones de gases.....	26

<b>10.3 Amoníaco y emisión de metano.....</b>	<b>27</b>
<b>10.4 <i>Yucca</i> sobre reducción de emisiones de rumiantes.....</b>	<b>28</b>
<b>10.5 <i>Yucca</i> y reducción de emisiones en no rumiantes.....</b>	<b>33</b>
<b>10.5.1 Aves de corral.....</b>	<b>34</b>
<b>10.5.2 Equinos.....</b>	<b>35</b>
<b>10.5.3 Conejo.....</b>	<b>35</b>
<b>10.5.4 Granja Porcina.....</b>	<b>36</b>
<b>10.6. <i>Yucca</i> y reducción de emisiones de la acuicultura.....</b>	<b>36</b>
<b>11. Conclusión.....</b>	<b>39</b>
<b>12. Implicaciones y recomendaciones.....</b>	<b>40</b>
<b>13. Bibliografía.....</b>	<b>41</b>

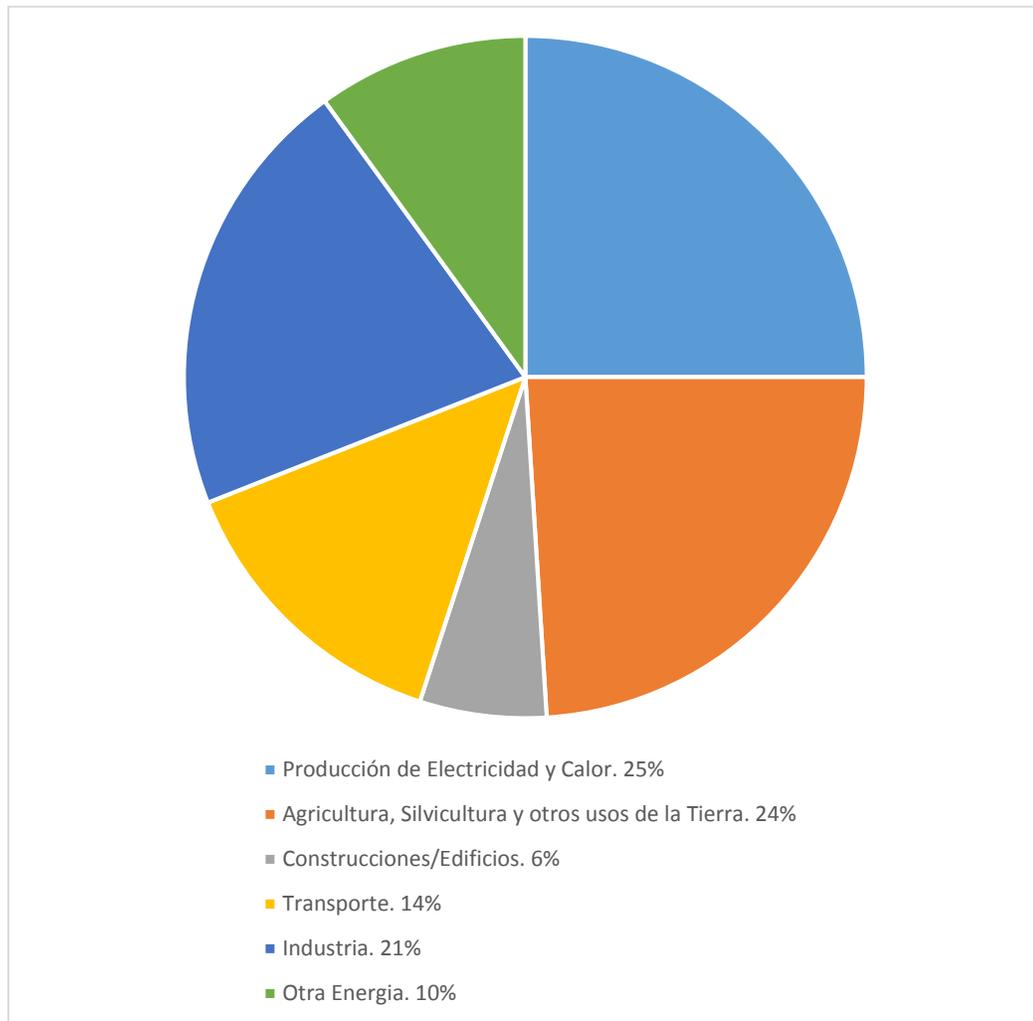
## 1. Resumen

Para no forzar la huella ambiental más allá del umbral es importante crear un equilibrio entre minimizar los impactos ambientales y la intensificación de la producción de ganado y acuicultura. Con el fin de garantizar una productividad ganadera sostenible. Para garantizar esto, es importante también reducir la huella de carbono por medios sostenibles. Dicha opción debe ser natural y asequible. La *Yucca schidigera* ha demostrado que es capaz de reducir la concentración aérea de amoníaco en corrales y reduce la emisión de olor a amoníaco del estiércol al unirlo. En rumiantes, la *Yucca* tiene la capacidad de reducir la emisión de metano, disminuir la emisión de óxido nitroso al aumentar la eficiencia del nitrógeno y reducir el nitrógeno urinario y fecal. En la acuicultura, el extracto de *Yucca* podría usarse para el tratamiento del agua para reducir la concentración de nitrógeno amoniacal total en agua dulce y marina. La inclusión de la *Yucca* en la dieta de los peces también reduce la concentración total de nitrógeno amoniacal. Por lo tanto, para reducir la huella ambiental del ganado, la *Yucca* se puede incluir en la dieta del ganado vacuno, ovejas, cabras, caballos, conejos, peces y camarones con un resultado positivo.

**Palabras clave:** *Yucca schidigera*, acuicultura, gases de efecto invernadero, metano, nitrógeno amoniacal, calidad del agua, ganadería.

## 2. Introducción

Los sectores de fabricación, agricultura y generación de electricidad juntos representan la mayor contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero. El sector de manufactura y electricidad representa 21 y 25% de gases respectivamente, mientras que el sector agrícola emite 24% en general (IPCC, 2014) -Figura 1.



**Fig. 1.** Producción de gases de efecto invernadero por sector (IPCC, 2014)

En la búsqueda de alcanzar el objetivo de desarrollo sostenible, que en parte promueve prácticas de agricultura sostenible, entre otros objetivos como el combatir la falta de alimento, la seguridad alimentaria y la mejoría de la nutrición.

Consecuentemente, reduciendo la huella ambiental a través de la disminución de la producción de metano, dióxido de carbono, fósforo, amoníaco, óxido nitroso, nitrógeno fecal, y nitrógeno urinario de la acuicultura, rumiantes, monogástricos y especies cultivadas tales como: camarones, peces, y crustáceos; se seguirá buscando una solución porque por el momento no son ecológicos. Sin embargo, se espera que la creciente demanda de carne y productos lácteos en los países en desarrollo duplique las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero y amoníaco del ganado para el año 2050 (Du *et al.*, 2018). Por lo tanto, se identifican métodos y estrategias para crear un equilibrio entre minimizar los impactos ambientales y la intensificación en rumiantes, no rumiantes y acuicultura (Richards *et al.*, 2018). Porque ayudará a lograr una productividad animal sostenible que reduce la huella ambiental al tiempo que satisface las necesidades nutricionales. Las naciones altamente pobladas, como India y China, son importantes consumidores de proteínas de origen animal. Curiosamente, la producción nacional de estos aún no puede satisfacer su demanda, lo que los obliga a obtener productos animales de otras naciones en desarrollo y desarrolladas. Desafortunadamente, conduce a la transferencia de un enorme impacto ambiental al resto del mundo (Du *et al.*, 2018) y se espera que aumente.

De hecho, se anticipa que un aumento significativo de emisiones de CO<sub>2</sub> se generará de Asia, África y América Latina en un aumento de 37, 32 y 21% respectivamente en 2050 (Frank *et al.*, 2018), probablemente debido al crecimiento de la población, las respuestas a satisfacer la demanda interna de proteínas animales y la necesidad de exportar productos derivados de animales. Es importante tener en cuenta que las economías no agrícolas también sufrirán las consecuencias de estos impactos ambientales. Debido a la interdependencia ecológica de nuestro clima (CTA, 2008). Sin una acción efectiva, la creciente demanda de productos de origen animal; es probable que empuje el entorno global cerca o más allá de un umbral insostenible (Pelletier y Tyedmers, 2010; Bodirsky *et al.*, 2014; Campbell *et al.*, 2017).

A nivel mundial, el sector ganadero produce aproximadamente el 15% de todos los gases de efecto invernadero antropogénicos (7.1 de 49 Gt CO<sub>2</sub>-eq/año), los

rumiantes contribuyen (5.7 Gt CO<sub>2</sub>-eq/año) de gases de efecto invernadero y el metano representa aproximadamente el 44% de estas emisiones (Gerber *et al.*, 2013). En todo el mundo, aproximadamente el 4% del N antropogénico en sistemas agrícolas se devuelve a la atmósfera como óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (Crutzen *et al.*, 2008), y afecta la capa de ozono estratosférico (Ravishankara *et al.*, 2009). La emisión de amoníaco tiene un efecto negativo en el entorno local, como la neblina atmosférica y la deposición de nitrógeno que afectan la salud humana y la eutrofización (Behera *et al.*, 2013, Gu *et al.*, 2014, Kanter, 2018). Las emisiones de gases de efecto invernadero de los rumiantes contribuyen significativamente a la degradación del medio ambiente y el costo de esta degradación es dañino para el medio ambiente y la salud humana. Económicamente, se estima que los daños causados por los gases de efecto invernadero provocados por los rumiantes al ecosistema y la salud humana son de aproximadamente US \$679 mil millones y US \$13 mil millones respectivamente (Goedkoop *et al.*, 2008; Weidema, 2009).

Se han sugerido varios métodos, tanto del lado de la demanda como de la oferta, para las técnicas de mitigación. Por el lado de la demanda (Smith *et al.*, 2013; Ripple *et al.*, 2014; van Vuuren *et al.*, 2018), presentaron reducciones en el número de rumiantes y cambiaron dietas basadas en productos animales en países desarrollados y emergentes. Por el contrario, la sugerencia del lado de la oferta para mitigar las emisiones incluye opciones estructurales y técnicas. Las opciones estructurales están en forma de cambios en los sistemas de manejo de la producción animal y de cultivos, mientras que la opción de técnica incluye digestores anaeróbicos y suplementos de alimentación animal (Frank *et al.*, 2018). Existe un interés creciente en el uso de productos de origen vegetal en la producción animal como suplemento alimenticio. Ahora, este interés renovado entre el producto de origen vegetal y el ganado no es novedoso (Adegbeye *et al.*, 2018) solo se debe a la salud, la promoción del crecimiento, el beneficio de la digestibilidad y su capacidad para mitigar los gases de efecto invernadero. Los productos basados en plantas como *Salix babylonica* (Elghandour *et al.*, 2017), *Azadirachta indica* y *Carica papaya* (Akanmu y Hassan, 2017) se han utilizado para estudios de mitigación con resultados positivos. El jarabe y el polvo de *Yucca schidigera* son de interés para

nutrición animal (Tenon *et al.*, 2017). Esto se debe al compuesto bioactivo que, si se usa en cantidades adecuadas (Adegbeye *et al.*, 2018), como la saponina y el resveratrol, tiene la capacidad de modular las emisiones de metano y nitrógeno en la industria ganadera. Esta planta es nativa del suroeste de los Estados Unidos y México (Štochmal'ová *et al.*, 2015). Por lo tanto, esta revisión se centrará en la contribución de *Yucca schidigera* a la reducción de emisiones en monogástricos, rumiantes y acuicultura (Tabla 1).

**Tabla 1:** Efecto de *Yucca schidigera* en ganadería y acuicultura.

Fuente	Dosis	Animales/Organismos	Efectos	Referencias
Saponina de <i>Yucca schidigera</i>	15, 30 y 45g/kg de sustrato DM	Vaca Lechera	8.49%, 15.50% y 25.83% de reducción en metano y 81.51, 97.35 y 99.84% de reducción en amoníaco.	Holtshauen <i>et al.</i> (2009)
Extracto de <i>Yucca schidigera</i>	2, 4, 6, 8mg.ml	<i>In vitro</i>	23, 46, 61 y 69% de disminución en el metano.	Rira <i>et al.</i> (2015)
Extracto de <i>Yucca schidigera</i>	650µg/ml	<i>In vitro</i>	15.22% de reducción en metano y 30.21% de nitrógeno amoniacal.	Narvaez <i>et al.</i> (2012)
Sarsapogenina de <i>Yucca schidigera</i>	1.2, 1.8, 2.4 y 3.2g/l	<i>In vitro</i>	17.89, 34.06, 40.20 y 51.94% de reducción del metano del sustrato de almidón de patata soluble. 17.05, 30.42, 35.12 y 49.86% de reducción en el metano del almidón de maíz como sustrato.	Lila <i>et al.</i> (2003)

Fuente	Dosis	Animales/Organismos	Efectos	Referencias
Saponina de <i>Yucca schidigera</i>	No específico	<i>In vitro</i>	22.3% y 29.99% de reducción en nitrógeno metano y amoniaco.	Jayanegara <i>et al.</i> (2014)
Extracto de <i>Yucca schidigera</i>	1.5 kg/ton	Oveja awassi preñada	33.89% de reducción de nitrógeno amoniaco en el estiércol y 75% de reducción de la emisión de N <sub>2</sub> O.	Yurtseven <i>et al.</i> (2018)
Sarsapogenina de <i>Yucca schidigera</i>	0.5 y 1% / sarsapogenina DM	<i>In vitro</i>	8.39 y 12.75% de reducción de metano y 12.5 y 13.66% de reducción de nitrógeno urinario.	Lila <i>et al.</i> (2005)
Saponina de <i>Yucca schidigera</i> (40mg saponina/g)	240 ppm	Ovino	12,52% de reducción de nitrógeno amoniaco y 14,70% de nitrógeno urinario.	Santoso <i>et al.</i> (2006)
Extracto de <i>Yucca schidigera</i>	0.1%	Awassi preñada	62.72% de reducción en el consumo de N <sub>2</sub> O / kg de materia seca y 11.53% de reducción de metano.	Yurtseven and Al (2018)
Extracto de <i>Yucca schidigera</i>	110 mg/kg	<i>In vitro</i>	Reducción de metano	Xu <i>et al.</i> (2010)

Fuente	Dosis	Animales/Organismos	Efectos	Referencias
<i>Yucca schidigera</i>	0.12 g/kg	Pollos de engorda	15.29% de reducción en la concentración de amoniaco.	Cabuk <i>et al.</i> (2004)
Producto de <i>Yucca schidigera</i>	3 g/h/d	Caballo	22.27% de reducción en el nivel de amoniaco.	Warren y Codner (2012)
Extracto de <i>Yucca schidigera</i>	250 mg/kg dieta	Conejo	Reducción del 33% del nitrógeno amoniacal de ceca.	Hussain <i>et al.</i> (1996)
Extracto de <i>Yucca schidigera</i>	125 ppm	Cerdo	Reducción del 22% en la concentración de amoníaco aéreo.	Colina <i>et al.</i> (2001)
<i>Yucca schidigera</i>	0, 0.75, 1, 1.5 g/kg DM	Acuicultura	Reducción de 20,88, 20 y 33,78% en nitrógeno amoniacal total.	Guroy <i>et al.</i> (2014)
<i>Yucca schidigera</i>	150 mg/kg	Dieta de tilapia del nilo	34.82, 34.02 y 47.61% de reducción de TAN, NH <sub>4</sub> y NH <sub>3</sub> en 36 horas	Hassan <i>et al.</i> (2017)

Fuente	Dosis	Animales/Organismos	Efectos	Referencias
Extracto de <i>Yucca schidigera</i>	1 y 2 ml/L	Agua de lago	1 ml / l redujo la concentración de amoníaco de 1.2 mg / l en aproximadamente un 100%, mientras que 2 ml / l redujo 1.8 mg / l en 100% en 48 horas	Yu <i>et al.</i> (2015)

### 3. Revisión de Literatura

#### 3.1 Generalidades

La *Yucca* manejada como planta forrajera en sistemas integrados tiene un alto potencial para la producción de proteína de alto valor nutritivo. La hoja de *Yucca* contiene altas cantidades de ácido cianhídrico que para los rumiantes no presenta problema gracias al proceso de detoxificación de estos elementos por los microorganismos del rumen. En contraste, para animales monogástricos la hoja de *Yucca* debe ser secada al sol o ensilada en condiciones anaeróbicas para reducir su toxicidad a tal punto que no cause problemas en los animales monogástricos.

Los datos disponibles indican que el follaje de la *Yucca*, al ser suministrado a los rumiantes en forma fresca o como heno, actúa como fuente de proteína sobrepasante. Por tanto, puede ser una alternativa a las fuentes proteicas convencionales como son las harinas de soya, de maní y de pescado.

La *Yucca* es un cultivo con alta producción de tubérculos (tallos modificados) como fuente de carbohidratos y follajes para la elaboración de harinas con alto porcentaje de proteínas. Las características de este cultivo permiten su total utilización, las hojas para su propagación vegetativa, su follaje para producir harinas y sus tubérculos para el consumo en la alimentación, en la que se emplea en diferentes platillos, para la elaboración de casabe, en la agroindustria y la exportación.

La *Yucca* es un arbusto de entre 2-3 m de altura, provisto de raíces tuberosas alargadas. Hojas alternas largamente pecioladas, limbo 3-5 partido, segmentos de entre 8-15 cm de longitud. Flores en racimos ramificados, fruto en cápsula de alrededor de 1.5 cm de diámetro. Natural de América del Sur. Actualmente su cultivo se haya extendido por regiones tropicales de todo el mundo.

La necesidad de implementar sistemas prácticos de alimentación animal, involucra la producción de materias primas que cumplan ciertos requisitos para los productores como son: elevadas producciones por hectárea, adaptabilidad al medio, fuente de nutrientes (energía, proteína, fibra, minerales y vitaminas) y manejo de costos accesibles.

### 3.2 Caracterización de la planta *Yucca*

**Tubérculo:** Es la parte más utilizada y apreciada a escala comercial. Una hectárea de *Yucca* puede proporcionar en promedio 25 toneladas de tubérculos frescos, que se pueden convertir en 9.96 toneladas de producto seco que suministran 30 megacalorías de energía metabolizable. El almidón de las raíces es el principal alimento animal que ofrece la *Yucca*. Normalmente, el contenido de MS de la raíz fluctúa entre 34 y 38%, y el de almidón entre 75 y 80%. De una producción de 25 t, se obtienen 9.5 de MS y 7 de almidón. Un pequeño porcentaje de la MS está constituido por proteínas (menos de 3%) y por fibra (menos de 4%).

**Parte aérea o forraje de *Yucca*:** Es la porción de la planta que crece desde la superficie del suelo hacia arriba y se divide en tallo y hojas (pecíolo y lámina foliar), que se pueden obtener de dos formas:

- Cultivo destinado a la producción de tubérculos. Cuando se realiza la cosecha de tubérculos se obtiene aproximadamente de 4 – 10 toneladas de forraje fresco.
- Cultivo destinado a la producción de forraje. Este recibe el nombre de *Yucca forrajera*. No se le da importancia a la producción de tubérculos, las cuales quedan como un subproducto y sirven para alimentación animal. Tanto los tubérculos como el follaje de *Yucca* (hojas, pecíolos y tallos tiernos) son productos primarios de la planta que se pueden utilizar como alimento para animales. Aunque la variedad, condiciones del suelo y ambiente afectan la relación porcentual de cada uno de esos órganos o partes respecto de la planta madura.

### 3.3 Utilización de la *Yucca*

Al utilizar *Yucca* en alimentación animal es importante conocer el tipo de nutrimento que aporta, en qué cantidades se encuentra y en qué parte de la planta se concentra en mayores proporciones. Igualmente, se debe conocer cuáles son los factores que influyen negativamente en la salud de los animales y cuál es el método de eliminarlos o minimizarlos, de manera que no afecte su bienestar. Las raíces de

*Yucca* son fuente de carbohidratos que aportan energía proveniente del almidón, mientras que el forraje de *Yucca* es fuente de proteína, fibra y pigmentantes. El forraje de *Yucca* aporta pigmentación, ya que contiene una considerable concentración de xantófilas totales (605 mg/kg) y xantófilas pigmentantes (508 mg/kg).

## **4. Alimentación animal**

### **4.1 Rumiantes**

La inclusión de productos de rumiantes con base en *Yucca* llegan hasta un 80% del total de la dieta. Es necesario tener en cuenta que se deben cubrir los requerimientos de los animales. Para una mejor disponibilidad del almidón presente en las raíces de *Yucca*, se recomienda ofrecer en forma de harina y a razón de 4 kg/animal/día. Se puede adicionar urea mezclada con la harina de *Yucca* en proporción del 4%; es decir, por cada kilogramo de harina de *Yucca* se puede adicionar 40 g de urea. El uso del forraje puede representar hasta un 80% del consumo total de la ración. El uso del ensilado no está limitado para esta especie. Se puede suministrar de diversas formas: (Gil Llano *et al.*, 2015).

- En fresco: con previo oreo de 12 horas, se puede picar y adicionar con otros forrajes.
- Ensilaje: se recomienda cosechar el producto y dejarlo orear (5 horas) y picarlo. Al momento de ensilar, adicionarle melaza a razón del 8% como fuente de carbohidratos o en mezcla con otros productos que aporten energía.
- En forma seca: picado y secado en patios de cemento para adicionarle otras materias primas.
- Otra alternativa es la elaboración de bloques nutricionales, utilizando harina de tubérculos de *Yucca* como energizante.

## 5. Gases y partículas de efecto invernadero

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** Este gas de efecto invernadero se encuentra en concentraciones relativamente bajas en la atmósfera, aproximadamente un 0.03%. A pesar de sus bajos niveles, se trata del mayor causante del calentamiento global. Actualmente, existen cerca de tres trillones de toneladas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, un 27% superior al nivel anterior a la Revolución Industrial. A finales del siglo XIX, los niveles de dióxido de carbono eran de 280 partes por millón (ppm); ahora las concentraciones están alrededor de 380 ppm. Algunos científicos advierten que si la cantidad de dióxido de carbono que hay en la atmósfera supera las 450 ppm, la temperatura de la Tierra podría dispararse de manera descontrolada.

Las fuentes naturales del dióxido de carbono incluyen plantas en descomposición y materia animal, incendios forestales naturales y volcanes. Las principales fuentes antropogénicas de CO<sub>2</sub> proceden de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) y de la deforestación.

**Metano (CH<sub>4</sub>):** El metano es un gas de efecto invernadero muy potente. Con la dinámica actual de emisiones, en 100 años una tonelada de metano podría calentar el planeta 23 veces más que una tonelada de dióxido de carbono. La atmósfera tiene una concentración de metano de 1,774 partes por billón (ppb), lo que supone un aumento del 59% de la concentración de metano anterior a la Revolución Industrial. Sin embargo, hay 220 veces menos metano que dióxido de carbono en la atmósfera.

El metano se crea por la descomposición de la materia orgánica que procede en gran parte de los vertederos, el ganado bovino y el resto del sector ganadero.

Los hidratos de metano, combinación congelada de metano y agua, se encuentran en grandes cantidades en el mar. Es posible que un cambio climático continuo pudiese liberar esas reservas congeladas de metano y añadir repentinamente mucho metano a la atmósfera, lo que agravaría los efectos de los gases de efecto invernadero, al tiempo que provocaría un calentamiento global sin precedentes.

El metano de origen entérico se produce de manera natural como parte del proceso digestivo del ganado, siendo un subproducto de la descomposición microbiana de los alimentos ocurrida principalmente en el rumen. Por lo general, una vaca adulta produce 500 litros de metano al día, cantidad que depende en gran parte de su dieta. Además de sus implicaciones en el calentamiento global, la producción de metano por parte del ganado bovino representa una pérdida de aproximadamente el 6% de la energía bruta aportada por los alimentos, energía que podría destinarse a la producción de leche. Por lo tanto, mejorar la eficiencia del uso energético de los nutrientes consumidos en vacas lecheras mediante la reducción de las emisiones de metano es de creciente interés.

**Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O):** El óxido nitroso es el único óxido de nitrógeno que actúa como gas de efecto invernadero. De seguir como hasta ahora, el óxido nitroso tendría en un siglo un efecto de calentamiento global aproximadamente 300 veces superior al del dióxido de carbono. Sin embargo, como el metano, el óxido nitroso se encuentra en concentraciones mucho menores que el dióxido de carbono en la atmósfera, que en la actualidad son de 319 ppb, un 18% superior al período anterior a la Revolución Industrial.

El óxido nitroso es emitido por las bacterias del suelo. La agricultura y el uso de fertilizantes con base de nitrógeno, junto con el tratamiento de los residuos animales, aumentan la producción de óxidos nitrosos. Algunas industrias, como la del nylon, la quema de combustible de motores de combustión interna también libera óxido nitroso a la atmósfera (Addis *et al.*, 2001)

**Partículas en suspensión (Humo negro):** Las partículas en suspensión o humo negro, no son un gas de efecto invernadero, ya que son sólidas y calientan la atmósfera de diferente manera que un gas. Sin embargo, provocan un efecto invernadero significativo. De hecho, se estima que el humo negro podría ser el responsable del 25% del calentamiento global.

El humo negro está formado por partículas microscópicas originadas por la combustión incompleta de la materia orgánica, especialmente de combustibles fósiles. Debido a que por el calentamiento global se puede acelerar el derretimiento de la nieve y el hielo, el humo negro desempeña un papel muy destacado en el cambio climático del Ártico. De hecho, podría ser el responsable de más del 90% del calentamiento de esa zona. El control y la reducción de las emisiones de humo negro son particularmente importantes. Sobre todo, debido al calentamiento que ha sufrido el Ártico, a un ritmo que dobla el que ha afectado al resto del mundo en los últimos 100 años.

## 5.1 Rumiantes y gases de efecto invernadero

La producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) por los rumiantes se deriva de manera natural de su proceso digestivo, pero constituye una pérdida de energía y contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), por lo que ha aumentado el número de investigaciones a fin de reducir la metanogénesis ruminal. Esta última está influenciada por varios factores, entre los que destacan: consumo de alimento, composición, digestibilidad de la dieta y procesamiento previo del alimento. Entre las estrategias para mitigar las emisiones de  $\text{CH}_4$  que se han propuesto, la manipulación dietética-nutricional parece ser la de mayor potencial, simplicidad y factibilidad.

## 5.2 Fuentes de emisión

Las emisiones del sector ganadero tienen su origen en cuatro procesos: fermentación entérica, gestión del estiércol, producción de los piensos y consumo de energía.

- La fermentación entérica hace referencia al metano que se genera durante la digestión de los rumiantes. La calidad de la alimentación se relaciona muy estrechamente con las emisiones entéricas. Por ejemplo, dietas con una

proporción elevada de ingredientes con alto contenido en fibra se relacionan con mayores emisiones entéricas.

- El estiércol da lugar a emisiones de metano y óxido nitroso. El metano se genera durante la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. El óxido nitroso es un producto de la descomposición del amoníaco contenido en el estiércol. Los distintos sistemas de gestión del estiércol dan lugar a diferentes niveles de emisiones. En términos generales, las emisiones de metano son más elevadas cuando el estiércol se almacena y se trata en sistemas líquidos (como estanques o lagunas). Por otra parte, los sistemas de almacenaje y tratamiento sólidos tienden a favorecer la emisión de óxido nitroso.

Existen distintas emisiones relacionadas con la producción de los piensos. Las emisiones de dióxido de carbono provienen de la expansión de pastizales y tierras de cultivo usadas para la alimentación animal en zonas naturales y bosques, de la fabricación, procesado y transporte de fertilizantes y pesticidas para dichos cultivos. Por otra parte, el uso de fertilizantes nitrogenados y la aplicación de estiércol causan emisiones de óxido nitroso. El consumo de energía tiene lugar a lo largo de toda la cadena de producción. La fabricación de fertilizantes, el uso de maquinaria agrícola, el procesado y transporte de los cultivos para la alimentación animal generan emisiones de GEI. Dichas emisiones se contabilizan como parte de la producción de piensos. Existe también un consumo energético en las propias granjas debido a la ventilación, iluminación, climatización, etc. Por último, el procesado, envasado, empaquetado y transporte de los productos animales consume energía y genera emisiones.

Las emisiones ligadas a la fermentación entérica representan cerca del 44% del total del sector (ligeramente por debajo de las 3.5 Gt de CO<sub>2</sub>-eq). La producción de piensos y dietas animales es la segunda fuente en importancia con 3.3 Gt de CO<sub>2</sub>-eq, equivalentes al 41% del total. La gestión del estiércol causa alrededor del 10%, o 0.8 Gt de CO<sub>2</sub>-eq. El consumo de energía en la granja y posteriormente saliendo de la granja genera 0.4 Gt de CO<sub>2</sub>-eq, prácticamente el 5% del total.

## 6. Justificación

El alimento y la nutrición afectan directamente la productividad y la salud de un animal y pueden influir en gran medida en las emisiones de GEI por unidad de producto. Alimentos de baja digestibilidad afectan la absorción de nutrientes y resultan en una baja productividad de los animales. Para los rumiantes, una gran fracción de las emisiones de GEI es el resultado de la producción de metano entérico en el rumen. Mientras que las emisiones entéricas totales podrían ser menores con alimentos de baja digestibilidad, también lo sería la producción global; como resultado, la intensidad de las emisiones tendería a ser mucho más alta. Hay varias formas en que la calidad y digestibilidad del alimento se puede mejorar en los sistemas de producción.

El mecanismo del efecto antiprotozoario de *Yucca schidigera* es que las saponinas forman complejos irreversibles con el colesterol. Por lo tanto, las reducciones en el número de protozoarios del rumen se observan cuando saponinas son alimentadas y en sistemas de fermentación ruminal *in Vitro* son causados por la reacción de saponinas con el colesterol en la membrana celular de protozoos, causando ruptura de la membrana, lisis celular y la muerte. *Yucca schidigera* apoya el crecimiento de bacterias beneficiosas.

## 7. Hipótesis

Las características nutritivas de la *Yucca* por su contenido de proteína, carbohidratos y xantofilas lo hacen un ingrediente que proporcionado en las dietas de ganado y acuícola podría reducir las emisiones de efecto invernadero, ayudando a la productividad de los animales; esta acción también podría repercutir en proveer un ambiente más amigable para los propios operarios de las instalaciones pecuarias. Es por ello que se propone a la *Yucca* como componente importante de las buenas prácticas de alimentación, que son indispensables para optimizar el rendimiento animal.

## **8. Objetivos**

### **Objetivo general**

Proporcionar información detallada y actualizada en crear un equilibrio para reducir los impactos ambientales, pero sin desvanecer la producción ganadera y acuicultura, dicha opción debe ser natural. Por lo que se pretende dar a conocer la *Yucca*.

### **Objetivos específicos**

- Analizar la *Yucca* en la alimentación animal para la reducción de los gases intestinales, disminución en la producción de amoníaco y metano; Gracias a su componente químico que es la saponina.
- Indagar en diferentes literaturas como emitimos GEI en una gran variedad de formas: Como es el incremento del uso de combustibles fósiles, la mayor demanda energética, producción ganadera y agrícola intensiva, etc.

## 9. Material y Métodos

- Equipo de cómputo (Computadora de escritorio/Laptop)
- Internet.
- Libreta.
- Bolígrafo.
- Libros y artículos científicos (Físicos y digitales).
- Buscadores electrónicos médicos y científicos.
- Páginas web.
- Bases de datos ELSEVIER. Español (México)
- Repositorios institucionales
- Memoria USB.

Se hará una revisión de la literatura durante los meses de abril a junio de 2019, se revisarán artículos científicos, libros digitales, páginas web médicas y científicas, así como gubernamentales, esto con el fin de obtener la información más actualizada y precisa sobre el tema.

### 9.1 Búsqueda de información

Gracias a la ayuda de palabras clave (*Yucca shidigera*, acuicultura, gases de efecto invernadero, metano, rumiantes, alimentación animal, ganadería). Fui buscando en varias literaturas y artículos información del tema, en donde me arrojaban diferentes autores más prolíferos de distintas universidades y localidades, para así complementar mi investigación. Siguiendo un marco teórico estricto, que tiene por objeto poner al alcance la información que dé respuesta a las preguntas ocasionales o permanentes del tema en cuestión, usando fuentes confiables de alto valor científico reconocido.

## 9.2 Recopilación de información

Indagar información que ha sido evaluada por especialistas en la materia y validada por la comunidad científica en libros, revistas científicas, literatura gris (memorias o informes internos no editados), manuales, videos, entre otros. Con la ayuda de herramientas tecnológicas como laptop, computadora de escritorio, memoria USB. Para tener una cantidad basta de conocimientos reales y actuales para el desarrollo de esta investigación bibliográfica

## 9.3 Cita de literatura

Debido a la recopilación de información ampliamente investigada, se citó en sistema APA cada uno de los autores, libros, revistas científicas, buscadores webs científicos, documentos, de donde se haya obtenido información para resolver las problemáticas de dudas existentes sobre este tema y así llegar a la total comprensión del mismo, evitando la condición de plagio.

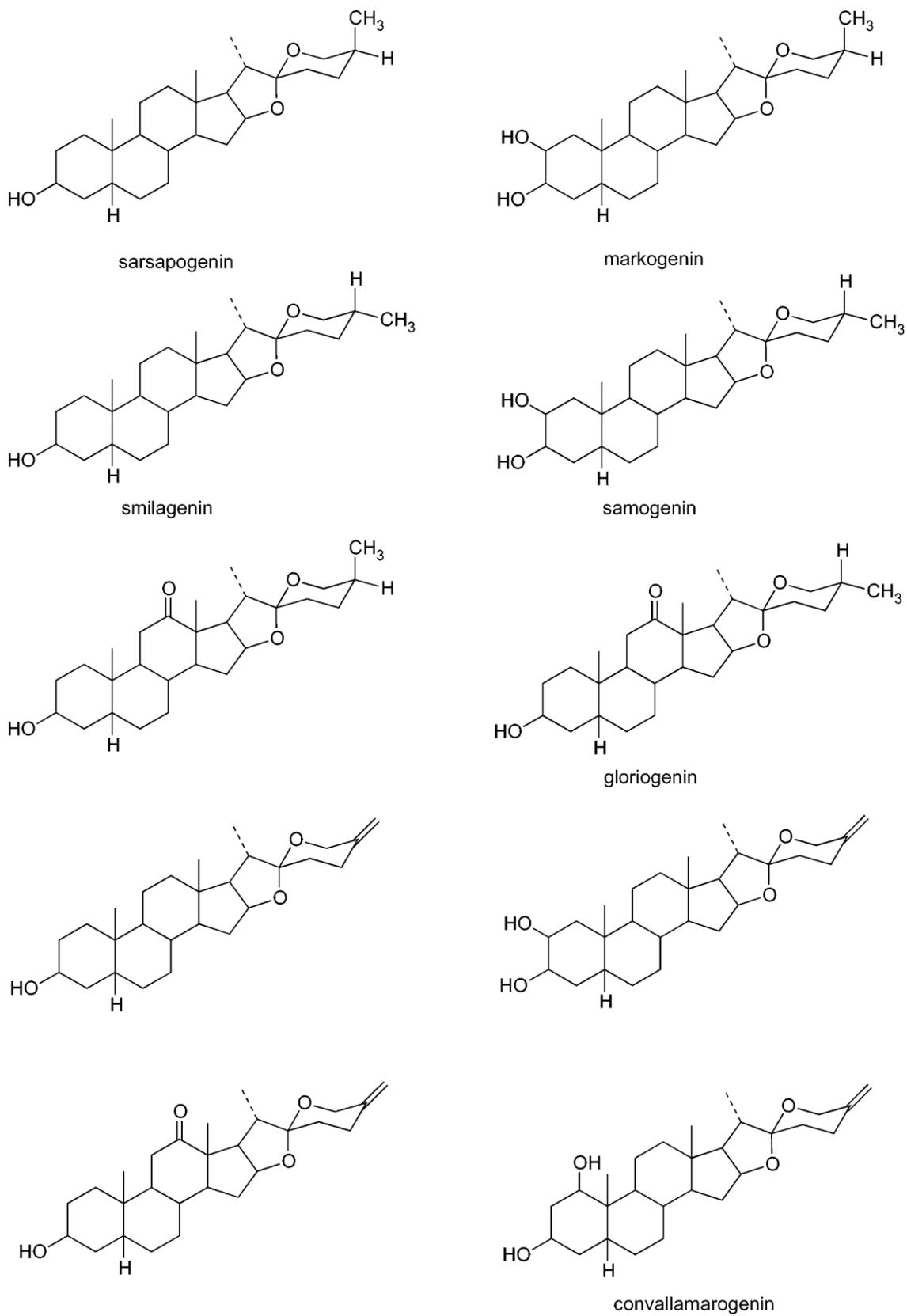
## 10. Resultados y discusión

La *Yucca* se emplea en la alimentación animal como fuente de proteína y de xantofilas (pigmentos naturales) aunque se usa con limitaciones en las dietas de los monogástricos a causa del contenido de fibra. En la utilización de las hojas de *Yucca* y residuos industriales de *Yucca* en la alimentación de bovinos, se enfatiza su composición química y valor nutritivo, su uso como medio para suministrar urea a bovinos, su utilización para el ganado de engorda y alimentación de ganado lechero. Se concluye que las hojas de *Yucca* pueden sustituir parcial o totalmente a los cereales, melaza y caña picada en la alimentación de ganado. Los residuos industriales de *Yucca* pueden usarse como fuente energética si se suplementa con fuentes apropiadas de proteína y si no se le adicionan costos de transporte al producto. La planta de *Yucca* puede sustituir al maíz y al sorgo en dietas de novillos y los tubérculos secos pueden sustituir al arroz en dietas suministradas a vacas lecheras.

La inclusión de la *Yucca* en pequeñas cantidades en la dieta de los rumiantes, mejoran la calidad del pienso, se puede reducir la emisión de metano.

### 10.1 La *Yucca* y sus componentes secundarios.

La *Yucca* es una planta que se utiliza como aditivo para piensos y contiene saponinas y glicocompuestos. Las saponinas son glucósidos tensioactivos que existen en plantas en diferentes formas y estructuras (Vincken *et al.*, 2007) como los grupos hidroxilo, hidroximetilo, carboxilo y acilo, así como las variaciones en el enlace y la cantidad de cadenas de azúcar (Patra y Saxena, 2009), que dan como resultado diversas respuestas biológicas tanto *in vivo* como *in vitro*; según su porción de aglicona y cuerpo de azúcar combinado de la estructura (Hassan *et al.*, 2010). Las saponinas comprenden un núcleo liposoluble con cualquiera de las estructuras esteroides o triterpenoides (Cheek *et al.*, 2014) - Figura 2, que poseen propiedades anfifílicas o propiedades hidrofílicas y lipofílicas (Liu *et al.*, 2018). Esta planta contiene glucósidos, sarsapogeninas y polifenoles esteroideos, incluido el resveratrol y otros estilbenos (*Yucca* A, B, C, D y E) - (Chrenková *et al.*, 2012).



**Fig. 2.** Estructuras químicas de la yuca saponina (*Piacente et al., 2005*).

## 10.2 Modo de acción de la *Yucca* sobre las emisiones de gases.

La saponina, como el principal componente químico del extracto de *Yucca*, está presente en forma esteroidea, que se une físicamente al amoníaco, reduciendo el nivel de amoníaco libre (Sahoo *et al.*, 2015). El extracto de saponina de las plantas se ha utilizado como agente para controlar la fermentación del rumen porque se ha sugerido que inhibe la producción de metanógenos, protozoos y metano, así como la disminución del amoníaco (Mao *et al.*, 2010). Se ha comprobado que los protozoos albergan una población activa de arqueas metanogénicas tanto en sus superficies externas como internas (Finlay *et al.*, 1994; Newbold *et al.*, 1995). Un mecanismo común para reducir el metano por la saponina es su acción para reducir la población de protozoos. Las actividades antimicrobianas de la *Yucca* contra los protozoos se deben a que la saponina se adhiere al colesterol o al esteroide lipídico en la membrana celular, lo que ocasiona la curvatura de la membrana celular, la formación de poros o la rotura de la balsa lipídica (Sampedro y Valdivia, 2014) y la eventual descomposición de la célula lisis y muerte (Cheeke, 2000; Saeed *et al.*, 2018). Sin embargo, se debe tener cuidado con la búsqueda de la reducción de protozoos, especialmente en áreas con alta incidencia de contaminación por micotoxinas. Esto se debe a la función de los protozoos como agente degradador de las micotoxinas (Zebeli y Metzler-Zebeli, 2012), que tiene implicaciones económicas y sanitarias crónicas para los rumiantes si se absorbe excesivamente.

La saponina de *Yucca* podría reducir el metano entérico mediante la inhibición de los metanógenos (Carulla *et al.*, 2005) o la supresión de los genes que controlan la metanogénesis sin cambiar la población de metanógenos (Guo *et al.*, 2008). El extracto de *Yucca* también podría ayudar a reducir el metano al inhibir la producción de H<sub>2</sub> (Xu *et al.*, 2010), lo que sucede por la inhibición de bacterias celulolíticas y hongos como las saponinas esteroidales (Wang *et al.*, 2000). La yuca también podría ayudar a mejorar la digestibilidad de las proteínas o el uso de nitrógeno amoniacal en el rumen por microbios que reducirían excreción de nitrógeno urinario. La fracción de glicocomponentes en la *Yucca* ayuda a reducir la producción de amoníaco al unirse a ella (Benchaar *et al.*, 2008; Khalifa *et al.*, 2014). Además, el

amoníaco puede ser mitigado por la *Yucca* mediante el control o la reducción de la acción o actividad de la ureasa, lo que resultaría en una liberación lenta del amoníaco (Muhammad *et al.*, 2002).

### 10.3 Amoníaco y emisión de metano.

Las naciones desarrolladas y en desarrollo contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero, aunque en diferentes proporciones según los parámetros con los que se midieron, como la emisión por producto animal o la emisión total. En las regiones del mundo donde es más cálido y más húmedo, se espera que aumenten las emisiones de óxido nitroso (Trenberth, 2011) y quizás otros gases de efecto invernadero también como el metano. La emisión de metano es muy peculiar a la producción de rumiantes y su producción en sistemas intensivos es alta. Se produce como un producto metabólico de la fermentación del rumen o la fermentación anaeróbica de la materia orgánica, principalmente estiércol y producto de desecho que tiene condiciones anaeróbicas con la presencia de metanógenos. Además, el alto contenido de proteínas en la dieta generalmente conlleva pérdidas significativas como nitrógeno fecal, nitrógeno urinario y nitrógeno gaseoso (Agle *et al.*, 2010) que contaminan recursos ambientales como cuerpos de agua, ríos, aguas subterráneas, etc., aire y suelo.

El nitrógeno perdido a través de la orina, que está presente a medida que la urea se convierte rápidamente en  $\text{NH}_4$ , comparado con el del nitrógeno fecal que es menos susceptible a la descomposición (Philippe *et al.*, 2011) y las pérdidas por evaporación (Bussink y Oenema, 1998). Por lo tanto, reducir la emisión de N en la orina es de suma importancia. El nitrógeno que se produce en el estiércol animal se transforma en  $\text{NH}_3$  mediante procesos de mineralización y nitrificación, convierte el  $\text{NH}_3$  en nitrito ( $\text{NO}_2$ ) y luego en nitrato ( $\text{NO}_3$ ). Una mayor desnitrificación da como resultado  $\text{N}_2$  y un subproducto de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (Philippe *et al.*, 2011) que es peligroso para la atmósfera. En acuicultura, las operaciones de estanques de peces inducen emisiones, principalmente como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxígeno, amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), metano, óxido nitroso y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) (Efole Ewoukem *et al.*, 2013).

Los productos de la *Yucca* son ricos en saponinas, glicocompuestos y se consideran seguros para su uso en la producción ganadera y se han utilizado como aditivos para piensos en alimentos para animales domesticados. Reducir la huella ambiental es esencial para la producción ganadera sostenible. Sin embargo, parece que la emisión de metano y amoníaco es una preocupación importante para los rumiantes y los investigadores monogástricos, respectivamente, mientras que el óxido nitroso es una preocupación para ambos. El popular fitoquímico en la *Yucca* se conoce como saponina y tiene la capacidad de controlar la producción de metano, que es una preocupación en la mayoría de los rumiantes y el amoníaco, que es una preocupación en los no rumiantes, mientras que ayuda a controlar las emisiones de óxido nitroso, ya sea mejorando la eficiencia de digestión de proteínas en el ganado que reduce su producción en forma de nitrógeno urinario y urea.

#### 10.4 *Yucca* sobre reducción de emisiones de rumiantes.

Bovinos, búfalos, ovinos y caprinos emiten 4.6, 0.6 y 0.5 Gt de CO<sub>2</sub> eq/año respectivamente (Gerber *et al.*, 2013), mientras que la producción de carne de res, carnero y leche contribuye con el 80% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (Ripple *et al.*, 2014) y el 75% de las emisiones de NH<sub>3</sub> (Behera *et al.*, 2013) en el sector ganadero. La manipulación dietética, el uso de extractos de plantas, levaduras, semillas de plantas, metabolitos secundarios de las plantas, ácidos orgánicos y sustancias químicas (nitrato y sulfato) (Elghandour *et al.*, 2019) se han utilizado para manipular las emisiones de gases de efecto invernadero de los rumiantes *in vivo* e *in vitro*. Además, el tipo de alimento consumido, suplementos / aditivos, concentración de cada ingrediente, influye en la velocidad de digestión y los metabolitos generados a través de él (Faniyi *et al.* 2019) informaron que la dieta y los microbios del rumen influyen en la productividad de los animales, la digestión de los piensos y los rumiantes ambientales. Huella; y la huella ambiental no rumiante (Holtshausen *et al.* 2009) observaron que la *Yucca* a los 15, 30, 45 g / kg influye en la reducción de las emisiones de metano y amoníaco de los rumiantes. Hubo una reducción de 8.49, 15.50 y 25.83% en la producción de metano para los

suplementos de 15, 30 y 45 g / kg de *Yucca*, respectivamente. El nitrógeno amoniacal se redujo en 81.51, 97.35 y 99.84% para 15, 30 y 45 g / kg respectivamente. El motivo de la disminución en la producción de metano puede atribuirse a la reducción en los protozoos que se debe a la saponina; ya que aproximadamente el 25% de los metanógenos se asocian simbióticamente con protozoos ciliados. Newbold *et al.*, 1995, Patra 2012 y Adegbeye *et al.* 2018 reportaron la relación positiva entre la concentración de saponina y su actividad antimicrobiana. A la dosis apropiada, se ha demostrado que las saponinas contienen plantas que suprimen la población de protozoos (Sirohi *et al.*, 2009). La reducción del amoníaco podría deberse a que la saponina ha inhibido el crecimiento de bacterias productoras de H<sub>2</sub> que son bacterias celulolíticas (Wallace *et al.*, 1994; Wang *et al.*, 1998). La reducción del nitrógeno amoniacal podría ayudar a reducir la cantidad de nitrógeno que se excreta junto con la orina y las heces.

En un ensayo *in vitro* de (Rira *et al.* 2015) el uso de saponina de *Yucca* en dosis de 2, 4, 6, 8 mg / ml resultó en una disminución de aproximadamente 23, 46, 61 y 69% en el metano producido. Patra y Saxena 2009 informaron la capacidad de reducción del metano de la *Yucca*, que se atribuye a la naturaleza esteroidea de la saponina en los metanógenos (Rira *et al.*, 2015). Otro estudio *in vitro* de Takahashi *et al.*, 2000 utilizando extracto de *Yucca* redujo el NH<sub>3</sub>-N en 31.84%. Esto podría deberse a que los glucocomponentes de *Yucca shidigera* muestran una actividad de unión al amoníaco y otros gases nitrosos perjudiciales y suprimen la liberación de estos gases a la atmósfera. Lyons, 1992, Pen *et al.*, 2007 durante su experimento mostraron una reducción del 19.61% en el nitrógeno amoniacal de las ovejas cuando se alimentaban con extracto de *Yucca*. Narváez *et al.*, 2012 con sus estudios *in vitro* mostraron que 650 µg / ml de extracto de *Yucca* dieron como resultado 15.22 y 30.21% reducción de metano y nitrógeno amoniacal. El ensayo *in vitro* de Lila *et al.*, 2003 utilizando 1.2, 1.8, 2.4 y 3.2 g/L de sarsapogenina disminuyó la producción de metano cuando fermentó almidón de patata soluble en 20.98, 31, 47.73 y 58.04% respectivamente en 6 horas. Una evaluación adicional mostró que en 24 horas el metano disminuyó en 17.8, 34.0, 40.2 y 51.9% para 1.2, 1.8, 2.4 y 3.2 g/L respectivamente. La incubación durante 24 horas del almidón de maíz, que es

característica de la dieta del ganado de alta producción, con sarsapogenina, redujo la producción de metano en 17.05, 30.42, 35.12 y 49.86 para la suplementación de 1.2, 1.8, 2.4 y 3.2 g/L. Esta reducción puede atribuirse a la actividad antiprotozoaria de la sarsapogenina ya que no se pudo detectar el protozoo después de 24 horas de incubación en toda la suplementación. La falta de protozoos redujo el intercambio que se produjo entre ambos organismos. Del mismo modo, también podría deberse a la reducción en la producción de gas hidrógeno. Se observó que la producción de gas hidrógeno se redujo, lo que puede atribuirse a la eliminación selectiva de bacterias productoras de hidrógeno por la sarsapogenina, tales como; bacterias celulolíticas (Wang *et al.*, 2000).

Singer *et al.*, 2008 mostraron que 50, 100 y 150 g de extracto de *Yucca/vaca/día* dieron como resultado una reducción del 10.3, 22.6 y 30.6% en nitrógeno amoniacal. Esta reducción en el nitrógeno amoniacal del rumen puede deberse a la mejora en el crecimiento de bacterias, lo que reduce su concentración o la reducción de la proteólisis de las bacterias del rumen a través de la actividad antiprotozoaria de la *Yucca* (Wallace *et al.* 1994). Por lo tanto, la reducción de amoníaco y protozoos es una solución doble para la contaminación ambiental, ya que la baja población de protozoos también reducirá el intercambio de hidrógeno entre especies entre protozoos y metanógenos. Por lo tanto, el uso mejorado de amoníaco por parte de los rumiantes reducirá la excreción de amoníaco no absorbido en forma de urea a través de la orina o como nitrógeno en las heces en el medio ambiente. Budan *et al.*, 2013 en sus estudios utilizaron jarabe de *Yucca* liofilizado administrando 80 g/vaca lechera/día para reducir los protozoos, amoníaco y metano en un 33.1%, 23.5% y 4.7% respectivamente. Jayanegara *et al.*, 2014 realizaron un ensayo *in vitro* con saponina de *Yucca*, ésta redujo el NH<sub>3</sub> en un 29.99%. Podría deberse a la reducción de los protozoos que podría haber reducido su intensidad de depredación o disminuir la actividad de los microbios del rumen que podrían haber contribuido a la proteólisis (Wang *et al.*, 2000). Una evaluación adicional mostró que la emisión de metano ruminal también se redujo en un 22.3%. Esto puede deberse a las saponinas esteroideas que causaron un cambio en la permeabilidad de la

membrana celular al formar complejos con colesterol en las membranas celulares protozoarias y provocar la lisis celular (Pen *et al.*, 2008).

La producción fecal es una de las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en el ganado. La mala gestión del estiércol en el lugar de almacenamiento generará metano si cumple con una condición anaeróbica y provocando también contaminación del aire en forma de olor. Además, las emisiones de estiércol están influenciadas por su contenido mineral, como el carbono y el nitrógeno, la duración del almacenamiento (Yurtseven *et al.*, 2018). Por lo tanto, la mejora en el uso de minerales por parte de los animales reduciría su excreción en las heces. El estudio de Yurtseven *et al.* 2018 sobre el efecto de la saponina de *Yucca* sobre las ovejas *Awassi* grávidas a razón de 1.5 kg de Extracto de *Yucca* por tonelada de ración, dio como resultado un incremento del 53.06% en la digestibilidad del nitrógeno, una reducción del 33.89% en la cantidad de nitrógeno en la producción de estiércol. La ventaja de esto es que la reducción de N en la producción de estiércol reduciría la carga de óxido nítrico que el ganado genera. Un estudio adicional mostró que la emisión de N<sub>2</sub>O del mismo estiércol de animales suplementados con *Yucca* fue menor ( $p < 0.04$ ) en comparación con el control 5.04 frente a 20.8 ppm/ml. Esta es una reducción del 75% en la emisión de N<sub>2</sub>O. La reducción en la emisión puede atribuirse al bajo nivel de nitrógeno en las heces o la mejora de la eficiencia del nitrógeno.

La sarsapogenina, un glucósido esteroideo que está presente en los extractos de *Yucca schidigera*, podría influir en las emisiones de los rumiantes. Por ejemplo, Lila *et al.* 2005 mostraron que el 0.5 y el 1% de la sarsapogenina en materia seca de la dieta de novillo redujo la producción de metano en un 8.3% y un 12.7% respectivamente. De manera similar, las pérdidas de nitrógeno en la orina fueron 12.5% y 13.6% más bajas cuando se complementaron con sarsapogenina 0.5 y 1%. Respectivamente Lovett *et al.*, 2006 redujeron los protozoos del rumen en un 18.6 y un 33.9% con la adición de 25 y 50 g/cabeza /vaca de extracto de *Yucca*. La relación entre la población de protozoos y el metano mostró que una reducción en los protozoos conduce a una disminución en la producción de metano.

Alrededor del 75% del nitrógeno consumido por las vacas lecheras se excreta en las heces y la orina (Tamminga 1992; Patra 2012). Esto impacta negativamente al medio ambiente al aumentar la emisión de óxido nitroso a la atmósfera (Boadi *et al.*, 2004). Además, el uso deficiente de amoníaco por parte de los microbios del rumen es un factor importante en el aumento de las pérdidas de nitrógeno en la orina (Tamminga, 1992). El nitrógeno urinario se degrada más rápido que el nitrógeno fecal, debido a que se convierte en amoníaco porque la orina se convierte rápidamente en amoníaco y después en urea por la ureasa que está presente en el ambiente y las heces (Santoso *et al.*, 2006). Por lo tanto, reducir la producción de nitrógeno en la orina podría ser un medio para reducir la contaminación ambiental. Santoso *et al.*, 2006 mostraron que el uso de 240 ppm de *Yucca schidigera* en una dieta para ovino basada en ensilaje tuvo una reducción del 12.5% en nitrógeno amoniacal y hubo una reducción del 14.7% en nitrógeno urinario. Esta es una indicación del uso eficiente de nitrógeno en el cuerpo. La reducción de la pérdida de N en la orina puede contribuir a reducir los impactos ambientales de los rumiantes, ya que el N contribuye a la contaminación ambiental como el amoníaco en el aire; y como nitrato en aguas subterráneas (Santoso *et al.*, 2006).

En muchas naciones del África subsahariana, el sudeste de Asia y Medio Oriente, es común alimentar a los rumiantes con subproductos de cultivos como paja, etc., además de concentrado. Blummel *et al.*, 2005 informaron que la producción de metano aumenta en la dieta basada en paja. Además, la digestibilidad deficiente se asocia con una dieta con alto contenido de fibra, como paja, etc. y la mayoría de los nutrientes no digeridos se distribuyen en las heces, lo que conllevaría un aumento del sustrato que los microbios u otros procesos biológicos podrían utilizar aún más. Liberando productos como metano, óxido nitroso y amoníaco. En el estudio de Yurtseven y Al (2018) se utilizó 0.1% de extracto de *Yucca* en la dieta de la Oveja *Awassi* alimentada con una ración que contenía 30% de paja de trigo. Esto dio lugar a una reducción del 62.7% en la ingesta de N<sub>2</sub>O g/kg de materia seca y una reducción del 11.5% en CH<sub>4</sub>, g/kg de peso vivo. Estudios *in vitro* de Xu *et al.*, (2010) demostraron que hubo una reducción en el metano producido de los forrajes: Alfalfa, Fescue, Orchard, Bermuda y Switch en 9.17, 7.01, 11.80, 12.88, 2.40%

respectivamente cuando se usaron 110 mg/kg de extracto de *Yucca schidigera*. Estudios adicionales demostraron que cuando se utilizaron forrajes: concentrado de alfalfa, festuca, huerto, Bermudas e interruptor 50:50, hubo una reducción de metano de 9.67, 7.80, 11.40, 6.33 y 4.70%.

### 10.5 *Yucca* y reducción de emisiones en no rumiantes.

El amoníaco proveniente del estiércol de ganado causa contaminación del aire para las personas que residen en el área de las granjas e incluso va más lejos, ya que el movimiento del aire podría ir y contaminar el suelo y las aguas superficiales, lo que reduce la disponibilidad de agua potable y produce eutrofización. Este amoníaco que causa la contaminación del aire es una partícula fina con un diámetro aerodinámico de menos de 2.5  $\mu\text{m}$  y tuvo un efecto negativo en la salud humana (Miller *et al.*, 2007). Incluso los efectos negativos también fueron en animales y con consecuencias económicas. En muchos países desarrollados y en desarrollo, la comercialización de aves de corral, conejos y caballos se realiza en un sistema intensivo de confinamiento. En este sistema, el ganado recibe dietas que son de alto valor proteico en comparación con lo que consume su contraparte en pastoreo. Estas proteínas no se usan todas en el sistema del cuerpo animal. Por lo tanto; algunos de ellos se distribuyen en el nitrógeno fecal, nitrógeno urinario o en forma de urea en las heces como en las aves de corral. Colmenero y Broderick, 2006 informaron la relación lineal entre el nivel de proteína bruta en la dieta y la excreción de urea urinaria. Esto implica que mejorar la eficiencia del nitrógeno o reducir la proteína cruda en la dieta podría hacer mucho. En la reducción de la producción de amoníaco monogástrico el extracto de *Yucca* se podría usar como aditivo para piensos, para controlar el amoníaco ambiental en el alojamiento del ganado en confinamiento (Hussain *et al.*, 1996). Esto se debe al alto contenido de saponina de las ramas y hojas en polvo (Kucukkurt *et al.*, 2016) que podría excretarse junto con las heces y unir el amoníaco, lo que impide su liberación en el estiércol, de esta manera se impide que los microorganismos tengan acceso a él. Reduciendo así los niveles ambientales de amoníaco (Hussain *et al.*, 1996).

### 10.5.1 Aves de corral

Durante la descomposición, los microbios alteran la composición química del estiércol y también en el proceso que elimina los malos olores (desodorización) (Matusiak *et al.*, 2016). A pesar de su capacidad para alterar la estructura química que produce un olor contaminante, la hierba de *Y. schidigera* podría ayudar a reducir los olores fecales y las emisiones de amoníaco que emanan de las granjas y las regiones circundantes (Vlckova *et al.*, 2017). La *Yucca* se aplica para absorber productos químicos nocivos y volátiles, como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno, a fin de reducir su acumulación en el aire o en el ambiente animal (Singer *et al.*, 2008). El sulfuro de hidrógeno, el disulfuro de dimetilo y el trisulfuro de dimetilo que emanan de las granjas avícolas tienen efectos secundarios sobre la salud de los humanos y las aves (Wadud, 2011). Por lo tanto, reducir su emisión tiene beneficios tanto para la salud como para el medio ambiente. Matusiak *et al.* 2016 mostraron que 48 horas de exposición del estiércol de ave a la *Yucca schidigera* redujo la emisión de olor a amoníaco y sulfuro de hidrógeno en un 39.2 y un 39.1%, respectivamente. Esto demuestra que la *Yucca* puede reducir el compuesto oloroso volátil del estiércol de aves de corral. Cabuk *et al.*, 2004 mostraron que 0.12 g/kg de *Yucca* agregada a la dieta de pollos de engorde redujo la concentración de amoníaco en los establecimientos avícolas en un 15.2%. Por lo tanto, la *Yucca* podría incluirse en la dieta de las aves de corral para reducir el olor a amoníaco común en las aves de corral. Chepete *et al.* 2012 utilizando polvo de *Yucca* en aves de corral mostraron que la tasa de emisión de amoníaco fue significativamente menor en la suplementación de 100 ppm. Se recomendó la dosis industrial en comparación con la media del amoníaco emitido por el estiércol de aves suplementadas a .50 y 200 ppm de polvo de *Yucca*. El resultado mostró que la emisión de amoníaco a partir de 100 ppm redujo significativamente la tasa de emisión de amoníaco en un 44% y un 28% respectivamente en el primer y segundo día. Esta reducción podría deberse a la capacidad de unión del amoníaco con la *Yucca* o la reducción en los microbios responsables de descomponer la materia orgánica para liberar amoníaco. Sin embargo, una determinación precisa ha demostrado que el extracto de *Yucca* se enlaza con una cantidad insignificante de

amoníaco (Killeen, 1996). Por lo tanto, la posibilidad de modulación de los microbios responsables de descomponer el nitrógeno en amoníaco.

### **10.5.2 Equinos**

En equinos se han utilizado varios insumos para reducir la emisión de metano, como el biochar, la enzima celulasa, la enzima xilanas, la levadura, la cáscara de soja (Elghandour *et al.*, 2019). En la actualidad, hay aproximadamente ocho millones de toneladas de estiércol producidas cada año por más de un millón de caballos en Alemania (Garlipp *et al.*, 2011). Esta enorme cantidad es realmente una fuente de preocupación ambiental. En condiciones anaeróbicas, dicho estiércol causaría emisiones de metano y de óxido nitroso debido al carbono y el nitrógeno que contienen. Se ha realizado un trabajo limitado en caballos con *Yucca*. Sin embargo, Warren y Codner (2012) informaron que la adición del producto de *Yucca* (De-Odorase®, Alltech Inc.) a 3 g/h-/d en la dieta basal de los caballos redujo el nivel de amoníaco emitido por el excremento equino del establo 0.22 vs. 0.16 ppm que es 27.2% de reducción.

### **10.5.3 Conejo**

El conejo tiene similitud digestiva con los caballos porque ambos fermentan en la parte posterior del intestino debido a su ciego funcional. Hussain *et al.* 1996 experimentaron en conejos que había alimentado con urea a los que les administraron *Yucca* a 250 mg/kg de dieta, resultó en una reducción del 33% en nitrógeno de amoníaco cecal. Esta disminución de nitrógeno puede atribuirse a la reducción de la actividad de la enzima ureasa que redujo la conversión de urea en amoníaco (Ellenberger *et al.*, 1985) o la modificación del microbiota colónica (Bingham *et al.* 1978). Por lo tanto, la *Yucca* actuó inhibiendo la actividad de la ureasa. Esta reducción también, reduciría la cantidad de conversión de nitrógeno excretado a través de las heces. En contraste, Chrenková *et al.* (2012) suplementaron con 5 g y 20 g/100 kg de alimento no encontraron efecto sobre el nitrógeno de amoníaco cecal del conejo.

#### 10.5.4 Granja Porcina

Las productoras de cerdos son fuentes importantes de emisiones de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) (Philippe *et al.*, 2011). Una reducción adicional parece necesaria para evitar efectos nocivos en los ecosistemas. De hecho, las condiciones cálidas y la alta densidad animal llevan a un aumento de la emisión de  $\text{NH}_3$ . El estudio preliminar de Colina *et al.*, 2001, con 125 ppm de extracto de *Yucca* en cerdos redujo la concentración de amoníaco aéreo en 3.6 vs. 2.8 ppm, lo que representa una reducción del 22%.

#### 10.6 *Yucca* y reducción de emisiones de la acuicultura.

China, Unión Europea y Estados Unidos son los mayores emisores de  $\text{NH}_3$  con 15.2, 3.8 y 3.7 Tg  $\text{NH}_3$  / año, respectivamente (Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., 2005; Agencia Europea de Medio Ambiente, 2010; Zhang *et al.*, 2010). Los peces son criados con fines comerciales con la misma premisa que las aves de corral, caballos, ganado ovino, cabra. También excretan productos de desecho como otros animales terrestres que contaminan el medio ambiente y contaminan el agua. En un sistema de acuicultura, el amoníaco proviene de la excreción del organismo acuático (Walsh y Wright, 1995) y de la mineralización del nitrógeno orgánico en heces, alimentos no consumidos y otras materias orgánicas (Avnimelech y Ritvo, 2003), mientras que el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) en los estanques de peces se producen a partir de una mineralización incompleta de la materia orgánica (Efole Ewoukem *et al.*, 2013). La carga excesiva de nitrógeno de los estanques de cultivo es una preocupación para los agricultores y los ambientalistas, ya que puede convertirse en amoníaco y volverse tóxico para los animales acuáticos (Páez-Osuna, 2001). Las prácticas de manejo deficientes, como la sobrealimentación y la fertilización excesiva, conducen a la acumulación de materia orgánica en el agua y la degradación de dichos resultados en metabolitos como el amoníaco y el nitrógeno (Martínez-Córdova *et al.*, 1998). Además de los desechos fecales de peces, crustáceos, camarones y otros organismos acuáticos cultivados; lo cual no es saludable cuando su acumulación es demasiado. El

amoníaco y el nitrato en niveles más altos son tóxicos para los peces, los camarones y otros organismos acuáticos (Alcaraz *et al.*, 1999). Para eliminar la concentración de amoníaco, la zeolita ha demostrado ser útil en el sistema de agua dulce (Yu *et al.*, 2015), pero es altamente ineficiente en agua salada y agua de mar debido a la alta concentración de iones que inhibe su absorción de amoníaco (Burgess *et al.*, 2004). Otros medios para reducir el amoníaco son a través del intercambio de agua (Santacruz-Reyes y Chien, 2010). Sin embargo, dicha práctica contamina las vías fluviales costeras (Read y Fernandes, 2003), además de la contaminación del agua, la exposición de organismos acuáticos como los peces y crustáceos a un alto nivel de amoníaco causó un aumento de la ventilación branquial, hiperexcitación, convulsiones y mortalidad (Thurston *et al.*, 1981; Maltby, 1995). Además, el compuesto de nitrógeno es un nutriente que podría causar un aumento en la producción de algas, lo que resultaría en una reducción de oxígeno en el agua (Gupta *et al.*, 2015). Por lo tanto, reducir el nitrógeno de las aguas residuales de las piscifactorías es importante para el medio ambiente ya que no hay alternativas eficientes para eliminar el amoníaco en la maricultura (Santacruz-Reyes y Chien, 2010).

El nitrógeno amoniacal total (TAN) es una combinación de  $\text{NH}_3$  (no ionizado) y  $\text{NH}_4^+$  (ionizado) (Hassan *et al.*, 2017) y se usa para medir la concentración de amoníaco en el agua, y solo el  $\text{NH}_3$  se considera la forma más tóxica del TAN. Se excreta libremente a través de las branquias de los peces (Silva *et al.*, 2013). Güroy *et al.* 2014 mostraron que 0, 0.75, 1, 1.5 g / kg de materia seca de la suplementación con *Yucca* redujeron el TAN en 20.8, 20 y 33.7% respectivamente. La adición de 150 mg / kg de *Yucca* a la dieta basal de tilapia del Nilo (Hassan *et al.*, 2017) dio como resultado una reducción de 34.8, 34.0 y 47.6% de TAN,  $\text{NH}_4$  y  $\text{NH}_3$  en 36 horas. La reducción de la TAN podría explicarse por la teoría de la inhibición de la ureasa o la unión del amoníaco con una fracción del extracto de *Yucca* que incluye dos ingredientes activos: la fracción de saponina esteroidea, que tiene propiedades tensioactivas, y la fracción de glicocomponentes, que se une al amoníaco (Cheeke, 2000, y Ayasan *et al.*, 2005). El ensayo *in vitro* (Santacruz-Reyes y Chien 2009) utilizando un extracto comercial que contiene 30% de *Yucca schidigera* en agua

dulce mostró que con 72 y 108 mg / L de extracto, la concentración inicial de 1 mg / L de nitrógeno amoniacal se redujo en un 80% y 100% en 24 horas, 3 mg / l de TAN se redujeron en 83% y 100% en 60 horas, mientras que 9 mg / l de TAN se redujeron en 50% y 55.56% en 96 horas. Además, la suplementación con *Yucca* resultó en una disminución del 34% (111 vs 77) en la fracción de nitrógeno amoniacal total reducido en comparación con el control. Esta reducción podría deberse al efecto de unión de los compuestos de *Yucca*.

La alimentación es el aspecto más importante a considerar en el cultivo de camarón (Yang *et al* 2015). La alimentación no consumida es probablemente la principal fuente de contaminación en los estanques de acuicultura (Martínez-Córdova *et al.*, 2002). Yang *et al.*, 2015 mostraron que en un período de crianza de 14 semanas de camarones blancos (*Litopenaeus vannamei*) 2 y 3% de extracto de *Yucca* redujeron el TAN en aproximadamente 15.3 y 30.7% respectivamente. El contenido de nitrógeno en nitrito de ambos y el 3% de tratamiento con *Yucca* se redujo en aproximadamente 30.6 y 25.3% respectivamente. Esta reducción de estos metabolitos contaminantes es una evidencia de la capacidad de la *Yucca* para mejorar la calidad del agua y reducir la contaminación ambiental del agua. El estudio (Santacruz-Reyes y Chien 2010) con 18, 36 y 72 mg / L resultó en una reducción del 91.6% en el TAN dentro de las 12 horas en un sistema que contiene *Marsupenaeus japonicus*, que es la postlarva de camarón. Además, Santacruz-Reyes y Chien 2012 estudiaron con 18, 36 y 72mg / L usando extracto de *Yucca* en la fuente piogénica TAN (efluente del sistema de cultivo de camarón) que resultó en 78.7, 99.7 y 99.7% de TAN en 12 horas respectivamente. En 24 horas, la reducción de 18 mg / l de *Yucca* aumentó a 88.1%, mientras que el contenido de amoníaco en otros tratamientos se mantuvo como en 12 horas. Sin embargo, Yu *et al.*, 2015 usando agua del lago Koumoundourou utilizando 1 ml / L y 2 ml / L de Yu gregada a los tanques. Yu10-Am6 (2 ml / L de Yu y 6 mg / L de amoniacal) y Yu5-Am3 (1ml / L de Yu y 3 mg / l de amoniacal) redujeron la concentración de amoníaco de 1.8 a 0 mg/L y de 1.2 a 0 mg/L respectivamente dentro de 48 horas.

## 11. Conclusión

La emisión de gases de efecto invernadero de los rumiantes, granjas porcinas, casetas avícolas, etc. Contribuye significativamente a la degradación del medio ambiente y las consecuencias de esta degradación compromete al medio ambiente y la salud humana. La *Yucca* tiene un efecto sobre el metabolismo del nitrógeno, incluidas las emisiones de amoníaco y la generación de óxido nitroso, puede reducir el metano, el nitrógeno amoniacal total en el agua y el óxido nitroso en un rango de 8.49% -69%, 50% -100% y 75% respectivamente. La *Yucca* ha demostrado que su inclusión en la dieta, en la producción fecal y en el agua dulce para la cría de peces podría ayudar a reducir / inhibir las emisiones de metano, gas amoníaco y óxido nitroso.

En términos generales al incluir la *Yucca* en cualquiera de sus formas o productos en programas de alimentación animal se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- La concentración de nutrientes.
- La presencia del ácido cianhídrico y glucósidos cianogénicos.
- El deterioro acelerado que sufren la raíces después de la cosecha.

la *Yucca* se encuentra en todas partes del trópico, la cosecha del forraje es fácil y eficiente y puede también ser utilizada para la alimentación humana en caso de necesidad. Los resultados del uso del follaje de la *Yucca* en dietas de melaza y urea fueron muy alentadores.

## 12. Implicaciones y recomendaciones.

La emisión y deposición del ganado y la acuicultura contaminan el agua, el aire y el suelo. La mayoría de estas contaminaciones se producen a través de la contaminación entérica, fecal y urinaria como resultado de un subproducto metabólico o producto de la contaminación microbiana. Los hallazgos de esta revisión muestran que la *Yucca schidigera* tiene un efecto positivo en la reducción de metano, amoníaco, nitrógeno fecal y nitrógeno urinario y la emisión de óxido nitroso. Esto promete mejorar la sostenibilidad de la producción ganadera y acuícola porque la *Yucca* que es un producto de origen vegetal se usa para eliminar el problema creado por la producción pecuaria, acuícola y otros sectores. Por lo tanto, la *Yucca* podría ayudar a mejorar nuestra calidad del agua en la acuicultura, la eficiencia de nitrógeno de la proteína derivada de animales que incluso podría ayudar a reducir la proteína cruda agregada a la dieta debido a una mejor eficiencia. Se deben realizar estudios adicionales en el ganado utilizando una proteína cruda baja calidad con suplementos de *Yucca schidigera* para determinar su beneficio en condiciones de proteínas deficientes.

### 13. Bibliografía

- Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación, Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y La Agricultura.
- Emisiones de gases de efecto invernadero en el sector ganadero Dr. Juan Heberth Hernandez-Medrano Departamento de Reproducción - FMVZ – UNAM Division of Animal Science – University of Nottingham 6to. Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático 17 octubre 2016.
- Preston, T. R., Rodríguez, L., Van-Lai, N., Y Chau, L. (1998). El follaje de la *Yucca (Manihot esculenta Cranz)* como fuente de proteína para la producción animal en sistemas agroforestales. In Conferencia electrónica de la FAO sobre “Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica”. Vietnam: UTA Foundation, College of Agriculture and Forestry Thu Duc, sf <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/afris/espanol/document/agrofor1/presto24.htm>.
- Saynes Santillán, V., Etchevers Barra, J. D., Paz Pellat, F., Y Alvarado Cárdenas, L. O. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34, 83-96.
- Benaouda, M., González Ronquillo, M., Molina, L. T., Y Castelán Ortega, O. A. (2017). Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8, 965-974.
- Benavides, R. A. M., Guerrero, H. S., Ceballos, J. R. U., Y Atzori, A. S. (2016). Efecto de la edad al primer parto y los días abiertos en un bovino doble propósito sobre la huella hídrica y de carbono. *RIAA*, 7, 107-119.
- Uso de la *Yucca* en la Alimentación animal, Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la investigación y al Desarrollo de la *Yucca*, CLA YUCCA, Jorge Luis Gil, Zootecnista, Asistente de investigación en Uso de la *Yucca* en Alimentación Animal, Clayuca. Nidia Betancourth, febrero de 2006, Colombia.

- Buitrago, J. A. (1990). La *Yucca* en la alimentación animal (No. 85). CIAT.
- Ganadería y Gases de efecto invernadero. marta Alfaro Ing. Agr. Ph. D. Camila Muñoz Méd. Vet. Ph.D. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Emisión y Mitigación de gases con efecto invernadero en sistemas ganaderos bovinos. Francisco Salazar Sperberg y Marta Alfaro Valenzuela Ingenieros Agrónomos, Ph.D. Grupo Ganadería y Medio Ambiente INIA.
- Ballesteros, H. B., & Aristizabal, G. L. (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático. Bogotá DC: nota técnica del IDEAM.
- Adebeye, MJ, Elghandour, MM, Faniyi, TO, Pérez, NR, Barbabosa-Pilego, A., Zaragoza-Bastida, A. y Salem, AZ (2018). Impactos antimicrobianos y antihelmínticos del comino negro, la papaya y las semillas de mostaza en la producción y la salud del ganado. *Sistemas agroforestales*, 1-14.
- Agle, M., Hristov, A. N., Zaman, S., Schneider, C., Ndegwa, P., and Vaddella, V. K. (2010). The effects of ruminally degraded protein on rumen fermentation and ammonia losses from manure in dairy cows. *Journal of dairy science*, 93, 1625-1637.
- Akanmu, A. M., and Hassen, A. (2018). The use of certain medicinal plant extracts reduced *in vitro* methane production while improving *in vitro* organic matter digestibility. *Animal Production Science*, 58, 900-908.
- Alcaraz, G., Chiappa-Carrara, X., And, V. E., and Vanegas, C. (1999). Acute toxicity of ammonia and nitrite to white shrimp *Penaeus setiferus* postlarvae. *Journal of the World Aquaculture Society*, 30, 90-97.
- Avnimelech, Y., and Ritvo, G. (2003). Shrimp and fish pond soils: processes and management. *Aquaculture*, 220, 549-567.
- Ayasan, T., Yurtseven, S., Baylan, M., and Canogullari, S. (2005). The effects of dietary *Yucca schidigera* on egg yield parameters and egg shell quality of laying Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). *International Journal of Poultry Science*, 4, 159-162.
- Behera, SN, Sharma, M., Aneja, VP y Balasubramanian, R. (2013). Amoníaco en la atmósfera: una revisión sobre las fuentes de emisión, la química

atmosférica y la deposición en cuerpos terrestres. *Ciencia ambiental e investigación de la contaminación*, 20, 8092-8131.

- Benchaar, C., McAllister, T. A., Y Chouinard, P. Y. (2008). Digestion, ruminal fermentation, ciliate protozoal populations, and milk production from dairy cows fed cinnamaldehyde, quebracho condensed tannin, or *Yucca schidigera* saponin extracts. *Journal of Dairy Science*, 91, 4765-4777.
- Bingham, R., Harris, D. H., and Laga, T. (1978). *Yucca* plant saponin in the treatment of hypertension and hypercholesterolemia. *Journal of applied nutrition*.
- Boadi, D., Benchaar, C., Chiquette, J. y Massé, D. (2004). Estrategias de mitigación para reducir las emisiones entéricas de metano de las vacas lecheras: revisión de actualización. *Canadian Journal of Animal Science*, 84, 319-335.
- Bodirsky, B. L., Popp, A., Lotze-Campen, H., Dietrich, J. P., Rolinski, S., Weindl, I., ... and Biewald, A. (2014). Reactive nitrogen requirements to feed the world in 2050 and potential to mitigate nitrogen pollution. *Nature communications*, 5, 3858.
- Budan, A., Freuze, I., Bellenot, D., Wident, M., Fievez, V., Tessier, N., ... and Guilet, D. (2012). Potential of extracts from saponin-containing plants to decrease *in vitro* methane and ammonia productions in ruminants. *Emissionsof Gasand Dust from Livestock*, 182.
- Burgess, R. M., Perron, M. M., Cantwell, M. G., Ho, K. T., Serbst, J. R., and Pelletier, M. C. (2004). Use of zeolite for removing ammonia and ammonia-caused toxicity in marine toxicity identification evaluations. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 47, 440-447.
- Bussink, DW y Oenema, O. (1998). La volatilización del amoníaco de los sistemas de producción de lácteos en zonas templadas: una revisión. *Ciclos de nutrientes en agroecosistemas*, 51, 19-33.
- Cabuk, M., Alcicek, A., Bozkurt, M., and Akkan, S. (2004). Effect of *Yucca schidigera* and *natural zeolite* on broiler performance. *Int. J. Poult. Sci*, 3, 651-654.

- Campbell, B. M., Beare, D. J., Bennett, E. M., Hall-Spencer, J. M., Ingram, J. S., Jaramillo, F., ... and Shindell, D. (2017). Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society*, 22.
- Carulla, JE, Kreuzer, M., Machmüller, A. y Hess, HD (2005). La suplementación de taninos de *Acacia mearnsii* disminuye la metanogénesis y el nitrógeno urinario en ovejas alimentadas con forraje. *Revista australiana de investigación agrícola*, 961-970.
- Cheeke, P. R. (2000). Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition. In *Saponins in food, feedstuffs and medicinal plants* (pp. 241-254). Springer, Dordrecht.
- Cheok, CY, Salman, HAK y Sulaiman, R. (2014). Extracción y cuantificación de saponinas: una revisión. *Food Research International*, 59, 16-40.
- Chepete, HJ, Xin, H., Mendes, LB, Li, H. y Bailey, TB (2012). Emisión de amoníaco y rendimiento de gallinas ponedoras afectadas por diferentes dosis de *Yucca schidigera* en la dieta. *Revista de investigación avícola aplicada*, 21, 522-530.
- Chrenkova, M., Chrastinová, L., Poláčiková, M., Formelova, Z., Baláži, A., Ondruška, L., ... Y Chrenek, P. (2012). El efecto del extracto de *Yucca schidigera* en la dieta de conejos sobre la digestibilidad de nutrientes y los parámetros cualitativos en el ciego. *Slovak Journal of Animal Science*, 45, 83-88.
- Colina, J. J., Lewis, A. J., Miller, P. S., and Fischer, R. L. (2001). Dietary manipulation to reduce aerial ammonia concentrations in nursery pig facilities. *Journal of Animal Science*, 79, 3096-3103.
- Smith, KA, Mosier, AR, Crutzen, PJ y Winiwarter, W. (2012). El papel del N<sub>2</sub>O derivado de los biocombustibles basados en cultivos, y de la agricultura en general, en el clima de la Tierra. *Transacciones filosóficas de la Royal Society B: Biological Sciences*, 367, 1169-1174.
- Adegbeye, MJ, Elghandour, MM, Monroy, JC, Abegunde, TO, Salem, AZ, Barbabosa-Pliego, A., y Faniyi, TO (2019). Posible influencia del extracto de

*Yucca* como aditivo alimentario en la emisión de gases de efecto invernadero para una cría de ganado y acuicultura más limpia: una revisión. Diario de producción más limpia, 118074.

- Du, Y., Ge, Y., Ren, Y., Fan, X., Pan, K., Lin, L., ... Y Chang, SX (2018). Una estrategia global para mitigar el impacto ambiental del auge del consumo de rumiantes en China. *Nature Communications*, 9, 4133.
- Ewoukem, TE, Hassouna, M., Robin, P., Mikolasek, O., Aubin, J. y Ombredane, D. (2013). Prueba de estimación de emisiones gaseosas de peces con entradas contrastadas.
- Elghandour, M. M., Adegbeye, M. J., Barbabosa-Pilego, A., Perez, N. R., Hernández, S. R., Zaragoza-Bastida, A., and Salem, A. Z. (2019). Equine contribution in methane emission and its mitigation strategies. *Journal of equine veterinary science*, 72, 56-63.
- Elghandour, M. M., Cardenas-Chantres, J. C., Esquivel-Velázquez, A., Barbabosa-Pliego, A., Cipriano, M., and Salem, A. Z. (2017). *In vitro* cecal gas and methane production of soybean hulls-containing diets in the presence of *Salix babylonica extract* as a fermentation modulator in horses. *Journal of equine veterinary science*, 53, 45-54.
- Ellenberger, M. A., Rumpler, W. V., Johnson, D. E., and Goodall, S. R. (1985). Evaluation of the extent of ruminal urease inhibition by sarsaponin and sarsaponin fractions. *J. Anim. Sci*, 61, 491-498.
- Gottlicher, S., Gager, M., Mandl, N., and Mareckova, K. (2010). European Union Emission Inventory Report 1990–2008 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP) (No. 7/2010).
- Faniyi, T. O., Adegbeye, M. J., Elghandour, M. M. M. Y., Pilego, A. B., Salem, A. Z. M., Olaniyi, T. A., ... and Adewumi, M. K. (2019). Role of diverse fermentative factors towards microbial community shift in ruminants. *Journal of applied microbiology*.
- Finlay, B. J., Esteban, G., Clarke, K. J., Williams, A. G., Embley, T. M., and Hirt, R. P. (1994). Some rumen ciliates have endosymbiotic methanogens. *FEMS Microbiology Letters*, 117, 157-161.

- Frank, S., Havlík, P., Stehfest, E., van Meijl, H., Witzke, P., Pérez-Domínguez, I., ... and Tabeau, A. (2019). Agricultural non-CO<sub>2</sub> emission reduction potential in the context of the 1.5° C target. *Nature Climate Change*, 9, 66.
- Garlipp, F., Hessel, E. F., and van den Weghe, H. F. (2011). Characteristics of gas generation (NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) from horse manure added to different bedding materials used in deep litter bedding systems. *Journal of Equine Veterinary Science*, 31, 383-395.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., ... and Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., and Van Zelm, R. (2009). ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, 1, 1-126.
- Guo, Y.Q., Liu, J.X., Lu, Y., Zhu, W.Y., Denman, S.E., Mc-Sweeney, C.S., (2008). Effect of tea saponin on methanogenesis, microbial community structure and expression of mcrA gene, in cultures of rumen micro-organisms. *Lett. Appl. Microbiol.* 47, 421-426.
- Musa, A. B. (2017). Ammoniacal nitrogen removal from aqueous solution using activated carbon from papaya peel as adsorbent.
- Guroy, B., Mantoglu, S., Kayalı S., Sahin, I., (2014). Effect of dietary *Yucca schidigera* extract on growth, total ammonia–nitrogen excretion and haematological parameters of juvenile striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. *Aquacul. Res.* 45, 647–654.
- Hassan, M.A., Yusuf, M.S., Badran, M.F., Griesh A.S., Zidan, R.A., (2017). Effect of *Yucca Shidigera* Extract and Or Exogenous Enzymes on Nitrogenous Compounds in Nile Tilapia Aquaculture. *Int J. Agric. Sc. Vet. Med.* 5, 55-71.

- Hassan, S.M., Byrd, J.A., Cartwright, A.L., Bailey, C.A., (2010). Hemolytic and antimicrobial activities differ among saponin-rich extracts from guar, quillaja, *Yucca*, and Soybean. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 162, 1008-1017.
- Holtshausen, L., Chaves, A., Beauchemin, K., McGinn, S., McAllister, T., Odongo, N., Cheeke, P., Benchaar, C., (2009). Feeding saponin-containing *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* to decrease enteric methane production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 2809-2821.
- Hussain, I., Ismail, A.M., Cheeke, P.R., (1996). Effects of feeding *Yucca schidigera* extract in diets varying in crude protein and urea contents on growth performance and cecum and blood urea and ammonia concentrations of rabbits. *Anim. Feed. Sci. Tech.* 62,121–129.
- Change, I. C. (2014). Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1454.
- Jayanegara, A., Wina, E., and Takahashi, J. (2014). Meta-analysis on methane mitigating properties of saponin-rich sources in the rumen: influence of addition levels and plant sources. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 27, 1426.
- Kanter, D. R. (2018). Nitrogen pollution: a key building block for addressing climate change. *Climatic change*, 147, 11-21.
- Khalifa, El, Hassanien, HA, Mohamed, AH y Hussein, AM (2014). Efectos del uso del polvo de *Yucca schidigera* como aditivo alimentario en la eficiencia productiva y reproductiva de las cabras lecheras Zaraibi. *Revista egipcia de ciencias de las ovejas y las cabras*, 65, 1-27.
- Warren, HE y Codner, L. (2012). Efecto de la *Yucca (Yucca schidigera)* sobre los niveles de amoníaco de la excreta equina en el establo. En *Forrajes y pastoreo en nutrición de caballos* (pp. 343-346). Editores académicos de Wageningen, Wageningen.
- Kucukkurt, I., Akkol, E.K., Karabag, F., Ince, S., Süntar, I., Eryavuz, A., Sözbilir, N.B., (2016). Determination of the regulatory properties of *Yucca schidigera* extracts on the biochemical parameters and plasma hormone

levels associated with obesity. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 26, 246–250.

- Lila, Z.A., Mohammed, N., Kanda, S., Kamada, T., Itabashi, H., (2003). Effect of Sarsaponin on ruminal fermentation with particular reference to methane production *in vitro*. *J. Dairy Sci.* 86, 3330-3336.
- Lila, Z.A., Mohammed, N., Kanda, S., Kurihara, M., Itabashi, H., (2005). Sarsaponin effects on ruminal fermentation and microbes, methane production, digestibility and blood metabolites in steers. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 18, 1746–1751.
- Liu, C., Qu, Y-H., Guo, P-T., Xu, C-C., Ma, Y., Luo, H-L., (2018). Effects of dietary supplementation with alfalfa (*Medicago sativa* L.) saponins on lamb growth performance, nutrient digestibility, and plasma parameters. *Anim. Feed Sci. Tech.* 236, 98–106.
- Lovett, D.K., Stack, L., Lovell, S., Callan, J., Flynn, B., Hawkins, M., O'Mara, P.P., (2006). Effect of feeding *Yucca schidigera* extract on performance of lactating dairy cows and ruminal fermentation parameters in steers. *Livest. Sci.* 102, 23–32.
- Wallace, RJ y Newbold, CJ (1992). Probióticos para rumiantes. En *probióticos* (pp. 317-353). Springer, Dordrecht.
- Maltby, L., (1995). Sensitivity of crustaceans *Gammarus pulex* L. and *Astillus aquaticus* L. to short-term exposure to hypoxia and unionized ammonia: observations and possible mechanism. *Water Res.* 29, 781–787.
- Mao, H., Wang, J., Zhou, Y., Liu, J., (2010). Effects of addition of tea saponins and soybean oil on methane production, fermentation and microbial population in the rumen of growing lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 129, 56-62.
- Martinez-Cordova, L., Campaña-Torres, A., Porchas-Cornejo, M., (2002). The effect of variation in feed protein level on the culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* Boone in low-water exchange experimental ponds. *Aquac. Res.* 33, 995–998.

- Martinez-Cordova, LR, Porchas-Cornejo, MA, Villarreal-Colemnares, H., Calderon-Perez, JA, y Naranjo-Paramo, J. (1998). Evaluación de tres estrategias de alimentación en el cultivo de camarones blancos *Penaeus vannamei* Boone 1931 en estanques de bajo intercambio de agua. Ingeniería Acuícola, 17, 21-28.
- Matusiak, K., Oleksy, M., Borowski, S., Nowak, A., Korczyński, M., Dobrzański, Z., and Gutarowska, B. (2016). The use of *Yucca schidigera* and microbial preparation for poultry manure deodorization and hygienization. Journal of environmental management, 170, 50-59.
- Miller, K. A., Siscovick, D. S., Sheppard, L., Shepherd, K., Sullivan, J. H., Anderson, G. L., and Kaufman, J. D. (2007). Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. New England Journal of Medicine, 356, 447-458.
- Nazeer, M. S., Pasha, T. N., Abbas, S., and Ali, Z. (2002). Effect of *Yucca saponin* on urease activity and development of ascites in broiler chickens. In Int. J. Poult. Sci.
- Narváez, N., Wang, Y. y McAllister, T. (2013). Efectos de los extractos de *Humulus lupulus* (lúpulo) y *Yucca schidigera* aplicados solos o en combinación con monensina sobre la fermentación ruminal y las poblaciones microbianas *in vitro*. Revista de la Ciencia de la Alimentación y la Agricultura, 93, 2517-2522.
- Newbold, C. J., Lassalas, B., & Jouany, J. P. (1995). The importance of methanogens associated with ciliate protozoa in ruminal methane production *in vitro*. Letters in applied microbiology, 21, 230-234.
- Páez-Osuna, F. (2001). The environmental impact of shrimp aquaculture: a global perspective. Environmental pollution, 112, 229-231.
- Patra, A. K. (2012). An overview of antimicrobial properties of different classes of phytochemicals. In Dietary phytochemicals and microbes (pp. 1-32). Springer, Dordrecht.

- Patra, A. K., and Saxena, J. (2009). The effect and mode of action of saponins on the microbial populations and fermentation in the rumen and ruminant production. *Nutrition Research Reviews*, 22, 204-219.
- Pelletier, N., and Tyedmers, P. (2010). Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000–2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 18371-18374.
- Pen, B., Takaura, K., Yamaguchi, S., Asa, R. y Takahashi, J. (2007). Efectos de *Yucca schidigera* y *Quillaja saponaria* con o sin  $\beta$  1–4 galactooligosacáridos en la fermentación ruminal, la producción de metano y la utilización de nitrógeno en las ovejas. *Animal Feed Science and Technology*, 138, 75-88.
- Philippe, F. X., Cabaraux, J. F., and Nicks, B. (2011). Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. *Agriculture, ecosystems & environment*, 141, 245-260.
- Piacente, S., Pizza, C. y Oleszek, W. (2005). Saponinas y fenólicos de *Yucca schidigera* Roezl: química y bioactividad. *Revisiones de fitoquímica*, 4, 177-190.
- Ravishankara, A. R., Daniel, J. S., and Portmann, R. W. (2009). Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *science*, 326, 123-125.
- Read, P., & Fernandes, T. (2003). Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture*, 226, 139-163.
- Richards, MB, Wollenberg, E. y Van Vuuren, D. (2018). Contribuciones nacionales a la mitigación del cambio climático desde la agricultura: asignación de un objetivo global. *Política climática*, 18, 1271-1285.
- Ripple, W. J., Smith, P., Haberl, H., Montzka, S. A., McAlpine, C., and Boucher, D. H. (2013). Ruminants, climate change and climate policy. *Nature Climate Change*, 4, 2.
- Rira, M., Chentli, A., Boufenera, S., and Bousseboua, H. (2015). Effects of plants containing secondary metabolites on ruminal methanogenesis of sheep *in vitro*. *Energy Procedia*, 74, 15-24.

- Saeed, M., Arain, M. A., Naveed, M., Alagawany, M., El-Hack, M. E. A., Bhutto, Z. A., ... and Chao, S. (2018). *Yucca schidigera* can mitigate ammonia emissions from manure and promote poultry health and production. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 35027-35033.
- Sahoo, SP, Kaur, D., Sethi, APS, Sharma, A. y Chandra, M. (2015). Evaluación del extracto de *Yucca schidigera* como aditivo alimenticio sobre el rendimiento de los pollos de engorde en la temporada de invierno. *Mundo veterinario*, 8, 556.
- Sampedro, J., and Valdivia, E. R. (2014). New antimicrobial agents of plant origin. In *Antimicrobial compounds* (pp. 83-114). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Santacruz-Reyes, R. A., & Chien, Y. H. (2012). The potential of *Yucca schidigera* extract to reduce the ammonia pollution from shrimp farming. *Bioresource technology*, 113, 311-314.
- Santacruz-Reyes, R. A., and Chien, Y. H. (2009). Efficacy of *Yucca schidigera* extract for ammonia reduction in freshwater: Effectiveness analysis and empirical modeling approach. *Aquaculture*, 297, 106-111.
- Santacruz-Reyes, R. A. y Chien, Y. H. (2010). *Yucca schidigera* extract—A bioresource for the reduction of ammonia from mariculture. *Bioresource technology*, 101, 5652-5657.
- Santoso, B., Mwenya, B., Sar, C. y Takahashi, J. (2006). Ruminant fermentation and nitrogen metabolism in sheep fed a silage-based diet supplemented with *Yucca schidigera* or *Y. schidigera* and nisin. *Animal feed science and technology*, 129, 187-195.
- Singer, M. D., Robinson, P. H., Salem, A. Z. M. Y DePeters, E. J. (2008). Impacts of rumen fluid modified by feeding *Yucca schidigera* to lactating dairy cows on in vitro gas production of 11 common dairy feedstuffs, as well as animal performance. *Animal Feed Science and Technology*, 146, 242-258.
- Sirohi, S. K., Pandey, N., Goel, N., Singh, B., Mohini, M., Pandey, P., & Chaudhry, P. P. (2009). Microbial activity and ruminal methanogenesis as

affected by plant secondary metabolites in different plant extracts. *Int J Environ Sci Eng*, 1, 52-58.

- Haberl, H. (2015). Competencia por la tierra: una perspectiva sociometabólica. *Ecological Economics*, 119, 424-431
- Štochmal'ová, A., Földešiová, M., Baláži, A., Kádasi, A., Grossmann, R., Alexa, R., ... Y Sirotkin, AV (2015). El extracto de *Yucca schidigera* puede promover la fecundidad del conejo y la liberación de progesterona ovárica. *Theriogenology*, 84, 634-638.
- Takahashi, J., Miyagawa, T., Kojima, Y., Y Umetsu, K. (2000). Effects of *Yucca schidigera* extract, probiotics, monensin and L-cysteine on rumen methanogenesis. *ASIAN AUSTRALASIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCES*, 13, 499-501.
- Tamminga, S. (1992). Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science*, 75, 345-357.
- Tenon, M., Feuillère, N., Roller, M., Y Birtić, S. (2017). Rapid, cost-effective and accurate quantification of *Yucca schidigera* Roezl. steroidal saponins using HPLC-ELSD method. *Food chemistry*, 221, 1245-1252.
- Thurston, RV, Russo, RC y Vinogradov, GA (1981). Toxicidad por amoníaco para los peces. Efecto del pH sobre la toxicidad de las especies de amoníaco sindicalizadas. *Ciencia y tecnología ambiental*, 15, 837-840.
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47, 123-138.
- Hristov, AN (2011). Contribución del amoníaco emitido por el ganado a las partículas finas atmosféricas (PM<sub>2.5</sub>) en los Estados Unidos. *Revista de ciencia láctea*, 94, 3130-3136.
- van Vuuren, D. P., Stehfest, E., Gernaat, D. E., van den Berg, M., Bijl, D. L., de Boer, H. S., ... Y Hof, A. F. (2018). Alternative pathways to the 1.5 C target reduce the need for negative emission technologies. *Nature Climate Change*, 8, 391.

- Vincken, J. P., Heng, L., de Groot, A., Y Gruppen, H. (2007). Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. *Phytochemistry*, 68, 275-297.
- Vlčková, R., Sopková, D., Andrejčáková, Z., Valocký, I., Kádasi, A., Harrath, A. H., ... Y Sirotkin, A. V. (2017). Dietary supplementation of *Yucca (Yucca schidigera)* affects ovine ovarian functions. *Theriogenology*, 88, 158-165.
- Wadud, S. J. (2011). Understanding the microbial ecology of chicken litter in the context of odour production. School of Civil and Environmental Engineering.
- Wallace, R. J., Arthaud, L., Y Newbold, C. J. (1994). Influence of *Yucca schidigera* extract on ruminal ammonia concentrations and ruminal microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.*, 60, 1762-1767.
- Korsgaard, B., Mommsen, T. P., & Wright, P. A. (1995). Nitrogen excretion in teleostean fish: adaptive relationships to environment, ontogenesis, and viviparity. *Nitrogen Metabolism and Excretion*, 259-287.
- Wang, Y., McAllister, T. A., Yanke, L. J., Y Cheeke, P. R. (2000). Effect of steroidal saponin from *Yucca schidigera extract* on ruminal microbes. *Journal of Applied Microbiology*, 88, 887-896.
- Warren, HE y Codner, L. (2012). Efecto de la *Yucca (Yucca schidigera)* sobre los niveles de amoníaco de la excreta equina en el establo. En Forrajes y pastoreo en nutrición de caballos (pp. 343-346). Editores académicos de Wageningen, Wageningen.
- Weidema, B. P. (2009). Using the budget constraint to monetarise impact assessment results. *Ecological economics*, 68, 1591-1598.
- Xu, M., Rinker, M., McLeod, K. R., Y Harmon, D. L. (2010). *Yucca schidigera* extract decreases *in vitro* methane production in a variety of forages and diets. *Animal Feed Science and Technology*, 159, 18-26.
- Yang, Q-H., Tan, B-P., Dong, X-H., Chi, S-Y., Liu, H-Y., 2015. Effects of different levels of *Yucca schidigera* extract on the growth and nonspecific immunity of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and on culture water quality. *Aquaculture* 439, 39–44.

- Yu, X., Dimitriou, E., Konstantinos, S., Markogianni, V., Politi, D., 2015. Effects of *Yucca Schidigera* extract on the reduction of ammonia concentration in Lake Koumoundourou. J. Ecol. Engr. 16,1-7.
- Yurtseven, S., Al S., 2018. The effectiveness of *Yucca Schidigera* for reducing methane emission in straw based ratios. International congress on domestic animal breeding, genetics and husbandry (ICABGEH-18) ANTALYA, 26 – 28 SEPTEMBER, 165-169.
- Yurtseven, S., Avci, M., Cetin, M., Öztürk, I., y Boğa, m. (2018). Emisiones de algunos gases de invernadero del abono de ovejas alimentadas con piel de granada, extracto de *Yucca* y aceite de tomillo. Ecología aplicada e investigación ambiental, 16, 4217-4228.
- Zebeli, Q., Y Metzler-Zebeli, B. U. (2012). Interplay between rumen digestive disorders and diet-induced inflammation in dairy cattle. Research in veterinary science, 93, 1099-1108.
- Zhang, Y., Dore, A. J., Ma, L., Liu, X. J., Ma, W. Q., Cape, J. N., Y Zhang, F. S. (2010). Agricultural ammonia emissions inventory and spatial distribution in the North China Plain. Environmental Pollution, 158, 490-501.