



Universidad Autónoma del Estado de México  
Facultad de Planeación Urbana y Regional

“Aprovechamiento de fósforo y nitrógeno en vacas lecheras con alto contenido de forraje y sus efectos ambientales”

## **T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
Licenciado en Ciencias Ambientales

**PRESENTA:**

Mauricio Manjarrez Chavarría

Brayanth Vilchis Álvarez

**Directora:**

**Dra. Julieta Gertrudis Estrada Flores**

**Toluca de Lerdo, México Octubre 2021**

# ÍNDICE

Índice de figuras.....	5
Índice de cuadros.....	6
Resumen.....	7
ABSTRACT.....	8
Introducción.....	9
Antecedentes.....	11
Problemáticas de la Ganadería en el Ambiente.....	12
Planteamiento del problema.....	14
Justificación.....	17
Hipótesis.....	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos.....	18
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	18
1.1. Fósforo y nitrógeno.....	18
1.2. Ciclo del fósforo y nitrógeno.....	19
1.3. Flujo de nitrógeno en sistemas de producción ganaderos.....	22
1.3.1. Fijación y asimilación de nitrógeno.....	23
1.3.2. Amonificación.....	23
1.3.3. Desnitrificación.....	24
1.3.4. Mineralización.....	24
1.3.5. Nitrificación.....	25
1.4. Fósforo y nitrógeno la dinámica en el suelo.....	25
1.5. Entradas y salidas de fósforo y nitrógeno.....	26
1.6. El exceso de nitrógeno y la problemática ambiental.....	27
1.6.1 El exceso de fósforo y la problemática ambiental.....	28
1.7. Función digestiva de los bovinos.....	29
1.7.1. La digestión ruminal.....	30
1.7.2. Adaptación para utilizar fibra.....	34
1.7.3. Utilización de alimento no convencional en la dieta de vacas echeras.....	34
1.7.4. La Importancia de los arvenses en las unidades de producción.....	35
1.7.5. El futuro de las arvenses.....	36
1.7.6. Pericón ( <i>Tagetes lucida</i> ).....	36

1.7.7.	Distribución del pericón.....	37
1.7.8.	Uso del pericón .....	37
1.7.9.	Compuestos fenólicos en el pericón .....	37
1.8.1.	Perspectiva del nitrógeno (N) y el fósforo (F).....	40
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....		44
2.1.	Figura metodológica general.....	44
2.2.	Ubicación del sitio experimental.....	45
2.2.1	Aspectos específicos de la zona de estudio.....	46
2.3.	Colecta del pericón ( <i>Tagetes lucida</i> ).....	46
2.3.1.	Secado y molido del pericón ( <i>Tagetes lucida</i> ).....	46
2.4.	Determinación de fenoles totales, taninos totales y taninos condensados. ....	47
2.4.1.	Determinación de fenoles totales.....	47
2.4.2.	Determinación de taninos totales .....	49
2.4.3.	Taninos condensados .....	52
2.5.	Material mineral o cenizas.....	53
2.6	Determinación de nitrógeno total por el método de Kjeldhal .....	56
2.7.	Elaboración de concentrados.....	58
2.8.	Experimento con vacas lecheras y análisis de datos .....	59
2.9.	Toma de muestras y análisis de laboratorio.....	61
CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....		64
3.1.	Cuadro comparativo de los experimentos .....	64
3.2.	Análisis bromatológico de los concentrados experimentales .....	65
3.3.	Composición química de los ingredientes que integran la dieta.....	67
3.4.	Contenido de taninos y fenoles por tratamiento .....	69
3.5.	Composición química de la leche de los diferentes tratamientos adicionados con <i>Tagetes lucida</i> para vacas lecheras. ....	70
3.6.	Producción de leche y peso de las vacas del experimento .....	73
3.7.	Concentración de nitrógeno y fósforo excretado en heces .....	75
CONCLUSIONES GENERALES.....		79
BIBLIOGRAFÍA.....		82

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
Figura. 1	Flujo de nitrógeno en sistemas de producción ganaderos	22
Figura. 2	Esquema del proceso digestivo bovino. Fuente: Imagen de Google	30
Figura. 3	Figura metodológica general del experimento	44
Figura. 4	Localización del sitio del se llevó a cabo el experimento con vacas lecheras	45
Figura. 5	Muestras de pericón ( <i>Tagetes lucida</i> ) en frascos	46
Figura. 6	Muestra pericón en crisoles	46
Figura. 7	Molinos Pulvex	47
Figura. 8	Molino Tommas Willys	47
Figura. 9	Molido de muestras	47
Figura. 10	Estufa para determinar cenizas	55
Figura. 11	Tratamientos colocados en botes marcados	60
Figura. 12	Vacas del experimento	62
Figura. 13	Ordeña de la vaca del experimento	62
Figura. 14	Leche recolectada	63
Figura. 15	Muestras de leche	63
Figura. 16	Potenciómetro (pH 10)	63
Figura. 17	Ekomilc (Bond)	63
Figura. 18	Secado de las heces de vaca del experimento	64
Figura. 19	Determinación de fósforo	64
Figura. 20	Análisis de nitrógeno	64

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
Cuadro 1	Cantidades de solución requerida en cada una de las muestras para determinar fenoles totales.	50
Cuadro 2	Cantidades de soluciones en cada una de las muestras para Determinar Taninos Totales.	53
Cuadro 3.	Ingredientes de cada tratamiento en kilogramos	59
Cuadro 4.	Distribución de las vacas en el cuadro latino repetido	62
Cuadro 5.	Comparativo de experimentos	65
Cuadro 6.	Análisis bromatológico de los concentrados experimentales	66
Cuadro 7.	Composición química de los ingredientes que integran la dieta	68
Cuadro 8.	Contenido de taninos y fenoles por tratamiento	70
Cuadro 9.	Composición química de la leche de los diferentes tratamientos adicionados con ( <i>Tagetes lucida</i> ) para vacas lecheras	71
Cuadro 10.	Producción de leche y peso de las vacas del experimento	74
Cuadro 11.	Concentración de nitrógeno y fósforo excretado en heces	76

## RESUMEN

La finalidad de esta tesis fue determinar los beneficios que se obtuvieron al incorporar el pericón (*Tagetes lucida*) como aditivo en el alimento a las vacas lecheras de un productor de leche a pequeña escala, en el Municipio de Almoloya de Juárez, en la localidad “El paredón”. Con el fin de obtener beneficios tanto ambientales como económicos. El proceso dio comienzo con la colecta de pericón (*Tagetes lucida*), se llevó a cabo en cuatro puntos geográficos específicos (El Cerrillo (Toluca), Tlachaloya, Ixtlahuaca e Ixtapan de la Sal) en el periodo de octubre a noviembre del 2017. Al inicio del experimento, el peso medio de las vacas fue de 440 (kg), una producción diaria de leche de 11,515 (kg) y de 1 a 4 partos por vaca. Se evaluaron 8 Vacas lecheras con diferentes tratamientos; Tratamiento 0 (T0), Tratamiento 1 (T1), Tratamiento 2 (T2), Tratamiento 3 (T3). Se incluyeron cuatro variables de alimento: soya, maíz molido, minerales para vaca (Fosforisal para vacas) y pericón (*Tagetes lucida*). Cada una de las muestras recolectadas se determinó: Fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), proteína cruda (PC); fenoles totales (FT) taninos totales (TT); taninos condensados (TC). El experimento completo tuvo una duración de cincuenta y seis días. Cada periodo experimental duró 14 días, de los cuales los primeros 11 días fueron de adaptación y los últimos tres días de evaluación. En cada día de evaluación se tomaron muestras de leche para conocer las propiedades de la leche como son: Grasa (G), proteína (P), lactosa (L), sólidos totales (ST). El análisis de los datos del experimento se realizó mediante el diseño de un cuadro latino de 4x4 se utilizó el software Minitab®. Se realizó la medición de fósforo (P) y nitrógeno (N) en heces y orina con la finalidad de conocer los efectos ambientales que presentan. Los resultados obtenidos muestran que en ambos casos no mostraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para ninguna de las variables evaluadas. En esta investigación la estrategia de alimentación si presentó una disminución notoria en las emisiones de heces y orina.

## ABSTRACT

The purpose of this thesis was to determine the benefits that were obtained when incorporating the pericón (*Tagetes lucida*) as an additive in the feed to the dairy cows of a small-scale milk producer, in the Municipality Almoloya de Juárez, in the locality “El Paredon”. In order to obtain both economic and environmental benefits. The process began with the collection of the pericón plant (*Tagetes lucida*) was carried out in four specific geographical points (El Cerrillo (Toluca), Tlachaloya, Ixtlahuaca and Ixtapan de la Sal) in the period from October to November 2017. At the beginning of the experiment, the average weight of the cows was 440 (kg), a daily milk production of 11,515 (kg) and 1 to 4 calvings per cow. 8 dairy cows were evaluated with different types of treatments: Treatment 0 (T0), Treatment 1 (T1), Treatment 2 (T2), Treatment 3 (T3). Four food variables were included: Soy, ground corn, Minerals for cow (Phosphorisa for cows) and pericón (*Tagetes lucida*). Each one of the collected samples was determined: Neutral Detergent Fiber (NDF), Acid Detergent Fiber (FAD), Crude Protein (PC); Total Phenols (FT) Total Tannins (TT); Condensed Tannins (TC). The entire experiment lasted fifty-six days. The experimental period lasted 14 days, of which the first 11 days were adaptation and the last three days of evaluation. On each evaluation day, milk samples were taken to know the properties of the milk such as: Fat (G), protein (P), lactose (L), total solids (ST). The analysis of the data of the experiment was carried out by means of the design of a 4x4 Latin square, the Minitab® software was used. Phosphorus (P) and nitrogen (N) were measured in feces and urine in order to know the environmental effects they present. The results obtained show that in both cases they did not show significant differences ( $P > 0.05$ ) for any of the variables evaluated. In this research, the feeding strategy did present a noticeable decrease in feces and urine emissions.

## Introducción

En este trabajo se plantea la importancia que tiene la elaboración de la dieta con un alto contenido de forraje, el efecto que han tenido los concentrados elaborados y suministrados a las vacas en el experimento, los cuales contienen: maíz molido, soya y rastrojo de maíz, más el aditivo pericón (*Tagetes Lucida*) en vacas lecheras. Lo que se pretende es conocer el aprovechamiento de fósforo (P) y nitrógeno (N) en vacas lecheras que beneficien las condiciones de vida del animal. El aporte cuantitativo de minerales es esencial para mantener la salud de los animales y su rendimiento productivo. En las vacas lecheras la productividad y su manejo se limitan a la disponibilidad de nutrientes dentro del sistema. Para incrementar nutrientes y mejorar la productividad de los bovinos (Fiedls, 2004).

Un aspecto importante que tienen las vacas es la saliva que en condiciones normales de alimentación es rica en fosfatos, su presencia permite la neutralización de los componentes acidificantes del rumen, indispensable para asegurar la función y la producción de biomasa bacteriana. Para que las bacterias ruminales elaboren en forma óptima productos finales, tales como ácidos grasos volátiles y proteína bacteriana, es necesario garantizar sus requerimientos nutricionales. Este es el rol que cumplen los minerales en la fermentación ruminal, y por ende en la utilización del alimento, haciendo más eficiente el aprovechamiento de los principales nutrientes. Los rumiantes que no reciben alimentación con concentraciones minerales adecuadas padecen desórdenes nutricionales, pudiendo presentar alteraciones leves y transitorias, difíciles de diagnosticar con exactitud y que se manifiestan afectando principalmente el crecimiento y la característica productiva y reproductiva (FAO, 2013).

La FAO (2013) señala que se han cuantificado dos fuentes principales de donde el animal obtiene el fósforo (P) orgánico: la cual prohíbe todo tipo de proteínas, y a la vez fuentes de fósforo para la alimentación de rumiantes, se descartan las harinas de sangre, carne, hueso y sus variantes. De las no rumiantes encontramos



mayormente la harina de pescado. Como el aporte que realiza es muy bajo, y debido a su alto costo, la hacen inaccesible como fuente de fósforo.

En cuanto a las fuentes vegetales los forrajes de alta calidad tienden a ser en general buenas fuentes de calcio y relativamente bajos en fósforo (P) en especial las leguminosas, no así algunos granos y subproducto, en el caso particular de los minerales, es conveniente utilizar datos de análisis de los alimentos, debido a que son muchos los factores que pueden afectar la concentración de calcio © y fósforo (P). De manera directa en el suelo suelen presentar un impacto directo si hay un exceso de nutrientes, es un factor muy importante para considerar en especial si el área cumple alguna función especial de aprovechamiento.

Uno de los beneficios más aprovechables que proporcionan las vacas lecheras es el estiércol en base a lo que consumen, esto se aprovecha en las tierras de cultivo, el estiércol proporciona un beneficio ecológico al depositar los nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P) en el suelo; el nitrógeno del estiércol se encuentra principalmente en forma de amoníaco y las plantas lo usan como nutriente. A pesar de ello, la valoración del estiércol como fertilizante orgánico, comparada con la de fertilizantes químicos, es mínima. Por sus características orgánicas, el estiércol aumenta la capacidad de retención de agua, el intercambio catiónico y la filtración de agua al subsuelo, y reduce la erosión. Además, la fracción líquida del estiércol ayuda a disminuir las pérdidas de nitrógeno (N), carbono y azufre en sus formas gaseosas, en el suelo así puede reducir el uso de fertilizantes químicos. Como hace referencia Chakwizira (2015), Si bien el resto del nitrógeno (N) en el estiércol, orina, nitrógeno lixiviado y volatizado se mueve dentro del sistema donde una parte es asimilada por los animales, el suelo y las plantas, pero el resto, que es conocido como nitrógeno excedente, se puede encontrar en diferentes formas químicas como amoníaco, amonio, nitrato, o nitrito y, por tanto, un impacto ambiental.

## Antecedentes

La ganadería es la principal usuaria de la tierra que ocupa más de 3,900 millones de hectáreas que representan casi 30% de la superficie terrestre (Pérez 2008). La intensidad con el que se explota el suelo en ganadería es variable, el 51% son pastizales extensivos de productividad baja, el 36% pastizales de productividad alta y el 13% es cultivado de forma intensiva. (FAO 2006). En conjunto, las actividades ganaderas contribuyen con 18% al total de emisiones antropogénicas de gases invernadero de los cinco sectores reportados: energía, industria, residuos, uso del suelo, cambio del uso del suelo y agricultura (FAO, 2006).

Dentro de la ganadería se emiten gases de efecto invernadero mediante heces, orina y gases animales de los cuales se emiten los siguientes gases: metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso  $\text{N}_2\text{O}$ , amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y  $\text{CO}_2$ . En función de manejo de dichos residuos y aplicación a la agricultura. La ganadería afecta el balance de carbono de la tierra que se usa para alimento animal y contribuye, de forma indirecta, a la liberación de enormes cantidades de carbono a la atmósfera. Además, los combustibles fósiles empleados en los procesos productivos, desde la producción de alimento animal, hasta el mercadeo de productos, también emiten gases de invernadero (Pérez, 2008).

Por otro lado, la cadena alimentaria ganadera está siendo más intensiva en el uso de combustibles fósiles y en la medida en que la producción de rumiantes basada en recursos locales para la alimentación tiende a sustituirse por la intensiva basada en alimentos transportados a muy largas distancias, habrá un cambio de la energía impulsada por la fotosíntesis, a los combustibles fósiles, con el consiguiente incremento en el  $\text{CO}_2$ .

A continuación, se describen los gases, que se emiten en la ganadería;

a) Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) al tomar en cuenta la deforestación para el establecimiento de pastos y la degradación de los pastizales, las emisiones de la

ganadería constituyen alrededor de 9% del total global datos que estima según la (FAO, 2009).

b) Metano ( $\text{CH}_4$ ): La importancia de la ganadería en la emisión de metano ( $\text{CH}_4$ ) se reconoce de tiempo atrás; la fermentación entérica y las excretas representan 80% de las emisiones agrícolas de metano ( $\text{CH}_4$ ) y alrededor de 35-40% del total de metano ( $\text{CH}_4$ ) de origen antropogénico. Con el declive de la producción ganadera de rumiantes y la tendencia general hacia una mayor productividad en este sector, es improbable que la importancia de la fermentación entérica se incremente aún más en el futuro. Sin embargo, las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) de las excretas animales, aunque mucho menor en términos absolutos, son considerables y en rápido crecimiento (FAO, 2009).

c) Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ): las actividades ganaderas contribuyen a la emisión de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), el más potente de los tres gases invernadero, con casi dos terceras partes del total global de emisiones antropogénicas de este gas y con 75 %-80% de las emisiones agrícolas. El óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se genera en el manejo aeróbico de residuos ganaderos.

d) Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ): Las emisiones globales a la atmósfera de nitrógeno (N) de origen antropogénico se han estimado recientemente en unos 47 millones de toneladas. Un 94% es producido por la agricultura, y la ganadería contribuye con 68% de esta participación, sobre todo por las excretas almacenadas y aplicadas a la agricultura. Se considera que la contaminación resultante principalmente eutrofización y olores es más un problema local o regional que global (Pérez, 2008).

### **Problemáticas de la Ganadería en el Ambiente.**

Pérez (2008) refiere que la ganadería ocupa 78% de la tierra agrícola y cerca de 33% de la tierra con cultivos. Pese a que los sistemas intensivos que son los responsables de la mayor parte del crecimiento del sector, su influencia en la tierra de cultivo es sustancial y los problemas asociados a la producción pecuaria no se pueden entender cabalmente si no se incluye al sector agrícola de cultivos en el

análisis. A medida que el sector ganadero se desarrolla, sus requerimientos de tierra crecen y el sector sufre una transición geográfica que involucra cambios en la intensidad del uso de la tierra y en los patrones de distribución geográfica.

Una de las tantas problemáticas según la FAO (2006) tiene que ver con la contaminación de cuerpos de agua por heces y orina de los animales lo que genera eutrofización del agua llevando a una pérdida de fauna y del funcionamiento de los ciclos naturales. Se pretende reducir las emisiones a nivel local que generan los bovinos, se deben de tomar en cuenta ya que representan una fuente puntual de contaminación y tiene efectos negativos en el ambiente.

La expansión de la agricultura y ganadería intensiva se han establecido mayoritariamente en áreas con escasez de agua. El agua es contaminada por excretas ganaderas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas, e indirectamente por escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo son algunos de los factores indicados en estudios realizados (EPA, 2006).

Uno de los elementos como lo es el fósforo (P) en el agua no se considera directamente tóxico, no se han establecido niveles estándares en el agua potable. Sin embargo, el fósforo tiene un impacto ambiental importante en los recursos hídricos porque vertido directamente en las corrientes o aplicado en dosis excesivas en el suelo, estimula el proceso de eutrofización el cual aumenta las plantas acuáticas, disminuye el oxígeno disuelto y varía el pH, afectando así la calidad del agua como lo señalan Fernández y Marcos (2000).

Aunque no se ha reportado la concentración de nitrógeno (N) y fósforo (P) en los distintos cuerpos de agua, estos son transportados mediante lixiviados o arrastrados a mantos acuíferos depende de la precipitación (duración), la percolación (los suelos arenosos presentan altas tasas de percolación) y la pendiente del suelo por donde se desplazan las escorrentías (Nelson, 1999)

Las descargas a la atmósfera provenientes del estiércol incluyen polvo, olores y gases producto de la digestión anaeróbica y descomposición aeróbica. El polvo se

presenta principalmente en operaciones ganaderas en confinamiento en zonas áridas. Cuando la vegetación es completamente removida, se forma una capa de estiércol y el movimiento del ganado produce enormes nubes de polvo. El olor no presenta riesgos a la salud, pero la mayoría de la gente encuentra inaceptable los olores emitidos por el estiércol en zonas urbanas (Miner *et al.*, 2000).

La producción de ganado bovino es una fuente importante de contaminación de suelos debido a las excretas y a la orina que se filtran al mismo provocan que se generen óxido nitroso el cual se produce en el suelo con estiércol mediante la nitrificación microbiana en condiciones aeróbicas la desnitrificación el que generalmente produce más, según la (EPA) Agencia de Protección al Ambiente de E.U de acuerdo con estudios realizados un punto importante es la eutrofización que presentan los cuerpos de agua, debido a que son depositadas por escorrentía el cual es el principal medio de transporte, lo que implica que altere las condiciones sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Se pretende evaluar cuál es la cantidad de fósforo y nitrógeno que de las vacas lecheras desechan. Una de las consecuencias principales radica en una alimentación inadecuada, que tiene efectos negativos en el ambiente (EPA, 2006).

## **Planteamiento del problema**

La producción de ganado bovino es una fuente importante de contaminación de suelos debido a las excretas y a la orina que se filtran al mismo provocan que se genere óxido nitroso el cual se produce directamente en los suelos con estiércol mediante la nitrificación microbiana en condiciones aeróbicas y la desnitrificación parcial en condiciones anaeróbicas, de acuerdo con la EPA (2008) de acuerdo con estudios realizados. Uno de los parámetros a considerar es la adecuada alimentación de vacas lecheras, con la finalidad de conocer las concentraciones de

fósforo (P) y nitrógeno (N) presentes en las dietas. Estos elementos son importantes y esenciales para los rumiantes ya que forma parte de los aminoácidos que componen las proteínas requeridas para el funcionamiento de organismos. En los animales la cantidad excretado dependerá del consumo de materia seca, la concentración proteica y la digestibilidad de la dieta.

Experimentos que miden la excreción del fósforo con concentraciones variables de este elemento en la ración, confirma que la excreción total se puede predecir bastante bien al sustraer el contenido de fosforo en la leche de aquel consumido en la dieta. Los animales requieren proteína para mantenimiento de la preñez, crecimiento y lactación. Además, los microorganismos presentes en el rumen requieren también nitrógeno para su crecimiento. Durante la fermentación de los alimentos en el rumen, el fosforo suplido en exceso de lo requerido por los animales es excretado principalmente como urea en la orina. La orina es rápidamente convertida a amoníaco por actividad de la urea en el medio.

Señalando puntualmente que el fósforo (P) y nitrógeno (N) son un nutriente muy importante para la producción de cultivos y la alimentación del ganado que produce leche. Debido a que tres cuartas partes del fósforo (P) total en todas sus formas químicas se emplean como fertilizantes, entre sus tantas aplicaciones importantes son como relleno de detergentes, nutrientes suplementarios en alimentos para animales, ablandadores de agua, aditivos para alimentos y fármacos, agentes de revestimiento en el tratamiento de superficies metálicas, aditivos en metalurgia, plastificantes, insecticidas y aditivos de productos petroleros.

Uno de los factores que puede ser positivo en las áreas de cultivo y a la vez negativo para el ambiente es el estiércol que es una excelente fuente de nutrientes. Los suelos que regularmente reciben estiércol requieren menos fertilizante químico, tienen mayor contenido de materia orgánica, experimentan menor escorrentía y erosión y además presentan mejores condiciones físicas y biológicas que aquellos que no lo reciben, pero a la vez es negativo por que emanan gases que son nocivos para la salud como para el ambiente. En rumiantes, típicamente de 95 a 98% de la excreción total de fósforo (P) se da en las heces (Horst, 1986; NRC, 2001; Bravo *et*

*al.*, 2003). El fósforo fecal se puede clasificar en las siguientes tres fracciones: fósforo (P) de origen dietético, no disponible para absorción; fósforo (P) de origen endógeno, una fracción que puede considerarse como pérdidas inevitables; y fósforo (P) de origen dietético y endógeno, excretado como resultado de la homeostasis del fósforo o eliminación cuando hay un exceso. Tomando en consideración la mayor parte de las emisiones de metano provenientes del estiércol se producen bajo condiciones anaeróbicas durante el almacenamiento y es muy poca la emisión después de la aplicación en el suelo; el estiércol de los rumiantes en pastoreo no produce cantidades significativas de metano porque en gran medida permanece en presencia de oxígeno (Spiekers *et al.*, 1993; Knowlton *et al.*, 2001; NRC, 2001; Bravo *et al.*, 2003).

Un uso eficiente de los componentes de la dieta, donde se controle el consumo de proteína reduce la entrada de nitrógeno (N) y por ende la excreción de este en la orina y estiércol. De esta forma se minimizan las pérdidas en suelo, agua y aire lograr un equilibrio entre consumo y producción de nitrógeno (N) a juicio de Pardo (2008). Es necesario contar con un sistema que permita conocer la cantidad de nitrógeno que ingresa y que sale de las unidades de producción. En este sentido, el balance de nutrientes es una herramienta agroambiental que le permite identificar sistemas de manejo optimizados que disminuyan los costos productivos con un menor efecto ambiental.

El balance de nitrógeno (N) hace más evidente las diferencias entre entradas y salidas de nitrógeno en los sistemas de producción de leche. Así se cuantifica la cantidad de nitrógeno que ingresa, fundamentalmente en forma de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, animales de reemplazo y alimentos; y que sale del sistema en la venta de estiércol, leche y animales vendidos como desecho, para abasto como becerros para engorda o animales finalizados o como pie de cría en la forma de terneras vendidas (Ryan *et al.*, 2011).

El nitrógeno (N) se mueve dentro del sistema donde una parte es asimilada por los animales, el suelo y las plantas, pero el resto, que es conocido como nitrógeno

excedente, se puede encontrar en diferentes formas químicas como amoníaco, amonio, nitrato, o nitrito (Chakwizira *et al.*, 2015).

El óxido nitroso se produce directamente en los suelos con estiércol mediante la nitrificación microbiana en condiciones aeróbicas y la desnitrificación parcial en condiciones anaeróbicas. Los organismos desnitrificantes pueden reducir el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) en nitrógeno (N) a tasas que dependen de las condiciones del suelo (EPA, 2010).

## **Justificación**

La alimentación adecuada de vacas lecheras representa un reto desde el punto de vista ambiental, ya que debe ser adecuada y equilibrada para que los desechos de estas reduzcan el impacto en la generación de algunos componentes que pueden considerarse altamente contaminantes para el medio. La inclusión de plantas con un importante componente en metabolitos secundarios puede ayudar a mejorar la fermentación ruminal, aprovechar adecuadamente el forraje y concentrado proporcionado a las vacas y por lo tanto aprovechar mejor los nutrientes, de tal manera que reduzcan los contenidos de algunos elementos como el fósforo (P) y nitrógeno (N) que estén presentes en las heces que pueda contribuir a la contaminación. Este trabajo se pretende contribuir a la mejora de la dieta de las vacas y a su vez tener un efecto significativo en el ambiente, debido a que al paso del tiempo se ha convertido en una problemática en las diferentes escalas y es de suma importancia en el sector local, aunado a que las emisiones en bovinos es un asunto que día a día va en aumento y se requiere de medidas concretas que ayuden a mitigar tal problema, tomando como referencia los estudios que se han realizado, con la finalidad de tomarlos como base y con ello poder generar nuevas alternativas factibles y viables.



## **Hipótesis**

Mediante la elaboración e implementación de dietas con alto contenido de forraje y el pericón (*Tagetes lucida*) como aditivo a las vacas lecheras, se medirá la cantidad de fósforo (P) y nitrógeno (N) que se aprovecha y si cumple una tendencia ambiental positiva.

## **Objetivo general**

Evaluar el efecto de la inclusión del pericón (*Tagetes lucida*) en una dieta con alto contenido de forraje sobre la productividad animal y el contenido de fósforo (P) y nitrógeno (N) en las heces.

## **Objetivos específicos**

- Evaluar la calidad nutritiva del concentrado elaborado con soya, maíz molido, rastrojo y pericón (*Tagetes lucida*) con diferentes niveles de inclusión por medio de análisis bromatológicos.
- Determinar el contenido de fósforo (P) y nitrógeno (N) en heces de las vacas alimentadas con las dietas experimentales.
- Identificar áreas críticas y de oportunidad en el uso del fósforo (P) y nitrógeno (N), mediante la eficiencia en los tratamientos de alimentación elaborados para las vacas lecheras y detectar el beneficio ambiental.

# **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Fósforo y nitrógeno**

El fósforo es un elemento químico de número atómico 15 y su símbolo es (P), es no metal, perteneciente al grupo de los metales, entre sus características principales destaca que es un sólido puro e incoloro. Es muy reactivo y se oxida espontáneamente en contacto con el oxígeno. Algunas de sus aplicaciones, de manera general son funciones biológicas, que es un componente esencial de

huesos, cartílago y exoesqueleto. Juega un papel central en el metabolismo celular y energético. Según la FAO (2015) menciona que las principales características del fósforo (P), es el segundo mineral más importante después del calcio, en cuanto a la aportación mineral que tiene en huesos y carne. Como componente de estas sustancias con importancia biológica, así como fuentes dietéticas y de absorción.

El nitrógeno es un elemento químico con número atómico 7, su símbolo es (N) y pertenece al grupo de los no metales y su estado habitual en la naturaleza es gaseoso, este tiende a tener un aspecto incoloro. Es un constituyente esencial de numerosas moléculas vegetales, entre las que se encuentran proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, enzimas y clorofila, entre otras. Los seres vivos cuentan con una gran proporción de nitrógeno en su composición química (García, 2017). Este elemento es esencial para la vida y desempeña un papel central en la organización y el funcionamiento de los ecosistemas del mundo. En muchos ecosistemas terrestres y acuáticos, la disponibilidad de nitrógeno es un factor clave que determina la naturaleza y la diversidad de la vida vegetal, la dinámica de las poblaciones herbívoras y sus predadores y una serie de procesos ecológicos vitales, como la productividad vegetal y el ciclo del carbono y los minerales del suelo (Vitousek *et al.*, 1997).

La manera en que se ha suministrado el nitrógeno (N) en la agricultura, puede ser por: fertilizantes inorgánicos, fijación bacteriana, estiércol animal, residuos de cultivos y mineralización. Además, el nitrógeno (N) se está aplicando a tasas más altas de las que el ecosistema puede manejar, causando molestias por olor y contaminación del agua, lo que ha llevado a la intoxicación animal y humana.

## **1.2. Ciclo del fósforo y nitrógeno**

El ciclo de nutrientes en la explotación ganadera debe optimizarse reciclando en la propia explotación las excreciones, consiguiendo un ciclo cerrado y con menores externalidades. Controlando las pérdidas en todo el ciclo productivo mediante el buen manejo del ganado que se encuentra en el sitio, teniendo en cuenta las condiciones específicas de la explotación en: alimentación, clima, superficie

forrajera y tipo de suelo. En la agricultura, existen tres fuentes principales de emisión: el óxido nitroso ( $N_2O$ ) procedente del suelo por aplicación de fertilizante que tiene un porcentaje del (52%), otro elemento es el metano ( $CH_4$ ) que debido a la fermentación entérica de los rumiantes tiende a tener un porcentaje del (32%) y el óxido nitroso ( $N_2O$ ) y metano ( $CH_4$ ) derivados del manejo de estiércoles con un porcentaje de (16%) esto contribuye a la contaminación atmosférica. La gestión de las explotaciones, y en especial la dieta y el manejo de fertilizantes y estiércoles, se han identificado como los factores más importantes que determinan la huella de carbono (Prado *et al.*, 2010).

Los ciclos biogeoquímicos del fósforo (P) y del nitrógeno (N) son sistemas dinámicos que suceden a través de la biosfera, cuyos mecanismos de transformación depende de la disponibilidad de estos elementos para diferentes formas de vida. La diversidad y actividad de las poblaciones microbianas posee un papel importante en la dinámica de los nutrientes y por tanto el desafío de comprender, como responden a las condiciones ambientales. La actividad microbiana en los suelos depende tanto de la condición del recurso y de sus propiedades químicas, físicas y biológicas que se encuentran en el medio.

Uno de los puntos importantes en el ciclo del fósforo es entender de qué manera llega este mineral al animal y también cuáles son los mecanismos por el que se desecha este mineral mediante diferentes mecanismos que permita que se volatilice o por medio de la escorrentía.

El fósforo es un componente esencial de los organismos y forma parte de los ácidos nucleicos (ADN y ARN); Estos almacenan la energía química de los fosfolípidos que forman las membranas celulares de los huesos y dientes de los animales hacen que tengan una mejor calidad. El fósforo se encuentra disponible en plantas, en proporciones de un 0,2%, aproximadamente. En los animales hasta el 1% de su masa corporal puede ser fósforo. Su reserva fundamental en la naturaleza es la corteza terrestre en la que se encuentra disponible y de las que obtienen los organismos.

Empezando con la fotosíntesis y en la respiración celular que son procesos vitales que permiten la existencia de vida. El fósforo (P) es uno de los principales factores limitantes del crecimiento para los ecosistemas, debido a que este elemento está en la corteza terrestre y en los depósitos de rocas marinas porque su ciclo se desarrolla en el movimiento entre los continentes y los océanos. El fósforo se encuentra en fosfatos como lo son; sales de calcio, hierro, aluminio y manganeso los cuales tienden a ser muy importantes para el desarrollo de los seres vivos que lo consumen. La lluvia disuelve los fosfatos presentes en los suelos y los pone a disposición de los vegetales y al consumirlos los seres vivos se ven beneficiados en obtener este elemento y poder desarrollarse de la mejor manera posible, en nuestro caso con las vacas lecheras hacen que tengan un mejor aporte en su estructura, masa corporal y beneficiando en su crecimiento y en su calidad de vida (García, 2015).

Un aspecto importante es el lavado de los suelos y el arrastre de los organismos vivos estos tienden a fertilizar los océanos y mares. Una cierta parte del fósforo (P) que está incorporado a los peces es extraído por aves acuáticas las cuales lo trasladan a la tierra por medio de la defecación. Otra parte el P que se encuentra en los organismos acuáticos va al fondo de las rocas marinas cuando estos mueren y tienden a descomponerse. Pereira (2011) menciona que las bacterias fosfatizantes que se encuentran en los suelos transforman los cadáveres y excrementos en fosfatos disueltos, que son absorbidos por las raíces de los vegetales obteniendo el mineral en su desarrollo.

Con los compuestos de fósforo que se recogen directamente de los grandes depósitos acumulados en algunos lugares de la tierra, se abonan los terrenos de cultivo para obtener una mejor producción, a veces en cantidades desmesuradas, originándose problemas de eutrofización.

El ciclo del nitrógeno es uno de los procesos biológicos y abióticos que se basa en el suministro a los seres vivos. Es uno de los ciclos biogeoquímicos importantes en que se basa el equilibrio dinámico de composición de la biosfera. En los organismos inicia en las plantas que no pueden usar el nitrógeno (N) en forma de gas, sino que

se debe transformar en nitrato en el suelo, mediante un proceso que se llama fijación de  $N_2$ . Este proceso se lleva a cabo de forma continua dentro de los agroecosistemas. Es decir, los sitios de producción agropecuaria que funcionan como ecosistemas, en los que se pueden analizar los sistemas de producción de alimentos en su totalidad, donde se incluyen el conjunto de entradas, salidas y la interacción entre sus partes (Toshiyuki-Nagumo y Ryusuke-Hatano, 2000).

### 1.3. Flujo de nitrógeno en sistemas de producción ganaderos.

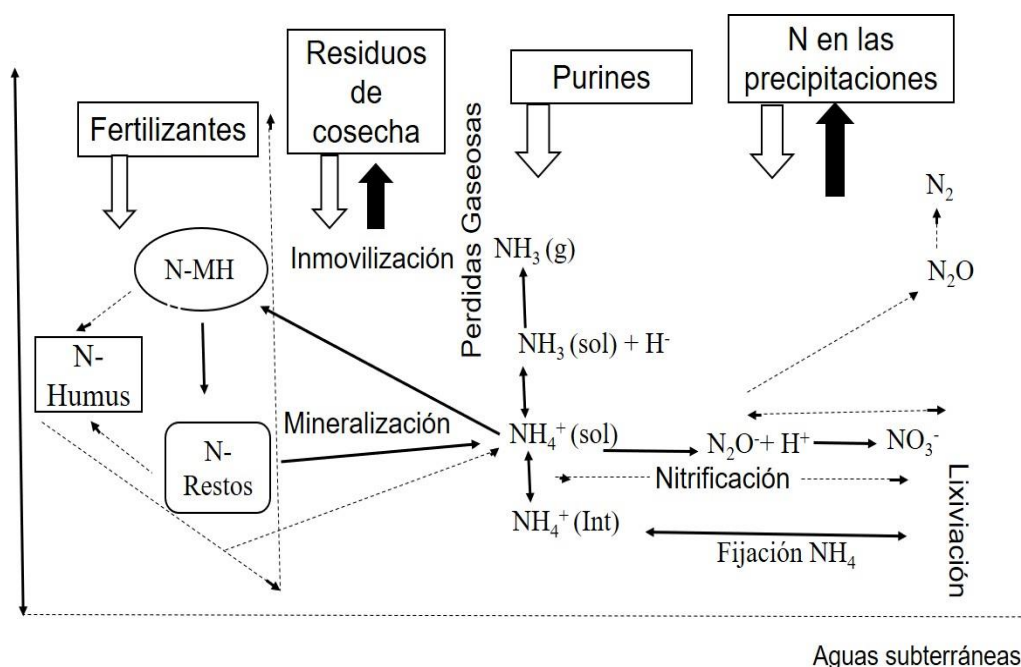


Figura 1. Fuente: Adaptado de Mohar, (2007).

El flujo de N en los sistemas de producción ganadero depende del equilibrio entre las entradas y salidas de nitrógeno. Las entradas más comunes son suplementos alimenticios, fertilizantes químicos, forrajes no cultivados en los sistemas de producción y la adquisición de nuevos animales, mientras que las salidas, son los productos final leche y carne, aunque en los países desarrollados se exportan forrajes y estiércol excedente (Jiménez-Castro y Elizondo-Salazar, 2014).

El resto del nitrógeno se pierde por lixiviado o volatilizado, otra parte se mueve dentro del sistema donde una parte es asimilada por los animales, el suelo y las

plantas. La otra parte conocida como nitrógeno (N) excedente se puede encontrar en diferentes formas químicas: amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) determinado por la gestión de recursos de los diferentes sistemas (Ryan *et al.*, 2011).

### 1.3.1. Fijación y asimilación de nitrógeno

El primer paso en el ciclo de nitrógeno es la fijación del nitrógeno atmosférico ( $\text{N}_2$ ) para incorporarse a la composición del suelo y de los seres vivos, como el ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o los iones nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (aunque el amonio puede ser usado por la mayoría de los organismos vivos, las bacterias del suelo derivan la energía de la oxidación de dicho compuesto. Las bacterias *Azobacter* y *Clostridium* se nombran las fijadoras de nitrógeno en manera no simbiótica. Las bacterias que llevan a cabo fijación simbiótica incluyen *Rhizobia* esta bacteria obtiene alimento de la planta y ésta a cambio, recibe compuestos nitrogenados en abundancia (FAO, 2021).

- Fijación abiótica. La fijación natural ocurre por procesos químicos espontáneos, como la oxidación que se produce por la acción de los rayos solares, que forma óxidos de nitrógeno a partir del nitrógeno atmosférico.
- Fijación biológica de nitrógeno. Es un fenómeno fundamental que depende de la habilidad metabólica de ciertos organismos, llamados diazótrofos en lo que se refiere a la habilidad para tomar el nitrógeno (N) y reducirlo a nitrógeno orgánico que se consume por medio de los organismos en el ambiente.

### 1.3.2. Amonificación

La amonificación con urea es una técnica química que le permite al ganadero hacer un mejor uso de los residuos de cosecha al incrementar su valor nutricional. El tratamiento con urea ha demostrado que mejora el valor nutritivo de los forrajes de baja calidad por el efecto del ion amonio en los carbohidratos de la pared celular, siendo el efecto final un aumento de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca

(DIVMS) en vacas lecheras, de la digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN), del contenido de nitrógeno y del consumo de materia seca (MS) y la productividad de vacas lecheras. Con varios niveles de urea encontrando diferencias favorables en el contenido de proteína cruda (PC) (Castellano, 2017).

### **1.3.3. Desnitrificación**

Cuando los suelos se saturan de agua, el oxígeno es excluido del suelo y se comienza a dar una descomposición anaeróbica. Algunos organismos aeróbicos tienen la capacidad de obtener el oxígeno del dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) con la liberación de nitrógeno (N) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). El flujo combinado de estos gases representa una gran pérdida económica de nitrógeno para los sistemas ganaderos. Este proceso depende de la temperatura, contenido de humedad del suelo, oxigenación, concentración de carbono, pH y concentración de  $\text{NO}_3^-$ . Existe una gran población de organismos desnitrificantes en los suelos arables y se encuentran en grandes cantidades en la vecindad de las raíces. Sin embargo, las condiciones deben ser muy favorables para que estos microorganismos cambien de una forma de respiración aeróbica a un tipo de metabolismo.

### **1.3.4. Mineralización**

Es la conversión de nitrógeno orgánico a amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) a través de la actividad de microorganismos no específicos, bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Este proceso se acelera con un incremento en la temperatura y aumenta con una adecuada humedad y una buena disponibilidad de oxígeno. Cabe señalar que cuando una planta o animal se descomponen los residuos contienen el nitrógeno y se encuentra en forma inorgánica. Las bacterias, o en algunos casos los hongos, transforman el nitrógeno orgánico en amonio, un proceso denominado la mineralización o amonificación.

### **1.3.5. Nitrificación**

Consta de un proceso que se divide en tres etapas. En la primera etapa las bacterias transforman el nitrógeno en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) por lo que pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas. En la segunda etapa el amonio se oxida y se forma nitrito ( $\text{NO}_2$ ). En la tercera etapa mediante la oxidación se forma nitrato, ( $\text{NO}_3$ ). Cabe señalar que el proceso por el cual se transforma el nitrógeno es mediante los animales al realizar la transformación del nitrógeno vegetal en productos a través de la ganadería es generalmente un proceso ineficiente en comparación con el que realizan las plantas, con un rendimiento que varía entre el 5 y el 40% según el tipo de producción y de alimento. Las proteínas de los alimentos en general son degradadas rápidamente por los microbios para obtener energía en vacas lecheras (Peyraud y Astirraga, 1998).

### **1.4. Fósforo y nitrógeno la dinámica en el suelo**

La productividad y dinámica de los ecosistemas terrestres está limitada a la disponibilidad de nutrientes. El nitrógeno (N) en los organismos inicia en las plantas que no pueden usarlo en forma de gas, sino que se debe transformar en nitrato ( $\text{NO}_3$ )<sup>-1</sup> en el suelo, mediante un proceso que se llama fijación de nitrógeno (N). Este proceso se lleva a cabo de forma continua dentro de los agroecosistemas. Es decir, los sitios de producción agropecuaria que funcionan como ecosistemas, en los que se pueden analizar los sistemas de producción de alimentos en su totalidad, donde se incluyen el conjunto de entradas, salidas y la interacción entre sus partes que junto con el fósforo (P) determinan el crecimiento vegetal. Para incrementar la disponibilidad de estos nutrientes y mejorar la productividad de los cultivos, se introducen al suelo fertilizantes químicos, aunque su utilización es crítica para la producción de alimentos, así como para la alimentación para las vacas lecheras, hoy en día se ha convertido en una práctica costosa y que acarrea serias consecuencias tanto a seres vivos como ambientales (Fiedls, 2004).

La principal contribución a la dinámica del fósforo (F) en los suelos, está dada por los procesos de mineralización e inmovilización microbianos, que poseen un papel



esencial especialmente en la rizósfera. Estos procesos están influenciados por una combinación de factores como las especies vegetales, el tipo de suelos y los factores ambientales (Richardson y Simpson, 2011).

La dinámica de Nitrógeno (N) en la biosfera comprende principalmente la fijación de Nitrógeno ( $N_2$ ), la mineralización, la nitrificación, la desnitrificación y la oxidación anaeróbica, procesos dados principalmente por microorganismos presentes en el suelo).

### **1.5. Entradas y salidas de fósforo y nitrógeno**

El manejo y el cuidado de los derivados de vacas lecheras, como lo son los productos comestibles leche y carne con el objetivo de disminuir la contaminación por nitrógeno (N) y fósforo (P) que se hallan en las heces y la orina dentro de los sistemas ganaderos. Los balances de nutrientes diferencia de ingresos provenientes por insumos consumidos, respecto a egresos a través de productos que permiten comprender su dinámica, conocer su potencial para ser retenidos y ciclados dentro del propio sistema, y estimar la magnitud de repercusión en el ambiente.

A medida que la actividad ganadera se intensifica hasta llegar a producciones mayores donde el ganado pastorea muy pocas horas por día, o permanece estabulado, los residuos de los animales producen grandes impactos en el ambiente. Estos residuos, provenientes en su mayoría de heces y orina, aportan principalmente fósforo (P) y nitrógeno (N) al ambiente, resultando ser los principales contaminantes de aguas superficiales y subterráneas. Por lo siguiente, la infiltración de nitratos en aguas subterráneas puede causar su contaminación en niveles de riesgo para la salud humana y animal. Los nitritos en aguas superficiales y el fósforo (P) excedente, que migran por escorrentía, pueden ser causa de eutrofización de lagos y lagunas, y esto conlleva a un crecimiento excesivo de algas, la disminución del oxígeno disuelto, variabilidad del pH y subsiguiente muerte de invertebrados, peces y otros animales acuáticos (Fernández Marcos, 2000).

El nitrógeno (N) es el nutriente más ampliamente utilizado en la fertilización agrícola, ya que las formas más disponibles en el suelo son generalmente insuficientes para satisfacer los requerimientos de los cultivos. Los requerimientos de proteína varían dramáticamente entre edades y especies. Los animales requieren proteína para mantenimiento y producción en diferentes etapas tal como: preñez, crecimiento y lactación. Además, los microorganismos presentes en el rumen requieren también N para su crecimiento (Elizondo-Salazar, 2006).

Durante la fermentación de los alimentos en el rumen, el N suplido en exceso de lo requerido por los animales es excretado principalmente como urea en la orina. La urea en la orina es rápidamente convertida a amoníaco por actividad de la ureasa en el medio, con las consecuencias ambientales negativas que serán descritas posteriormente. Las altas concentraciones de urea en sangre, el producto final del metabolismo del N, son indicativos de ineficiencia en el uso de la PC de la dieta por las vacas de leche (Broderick y Clayton, 1997).

Es importante el contenido total de un mineral en un ingrediente particular o en una ración completa para una dieta implementada en ciertos animales. Ningún elemento se absorbe o se utiliza en su totalidad y alguna cantidad siempre se pierde en los procesos digestivos y metabólicos. Antes de que un nutriente esencial pueda tener valor nutricional, debe estar en una forma tal que pueda ser digerido, absorbido y transportado a la parte del cuerpo donde se le pueda utilizar (Peeler, 1972).

La regulación del metabolismo del fósforo (P) es compleja, y abarca la regulación de la absorción desde el intestino, movilización desde el hueso y secreción en la saliva. El fósforo (P) es absorbido en el intestino delgado en forma de fosfatos y esta absorción ocurre principalmente en respuesta a la necesidad de fósforo sérico, el cual aumenta la absorción de P en la dieta del animal.

## **1.6. El Exceso de nitrógeno y la problemática ambiental.**

La acumulación excesiva de nitrógeno (N) a través de los años, ha generado efectos tóxicos tanto en plantas, animales y ecosistemas, causando problemas en la calidad

del agua y en la acidez de los suelos. El exceso de N en el agua aumenta el crecimiento de organismos acuáticos, al punto que disminuyen los niveles de oxígeno, hasta causar una condición conocida como hipoxia (menos de 2 mg/l de N disuelto). En ecosistemas terrestres, el exceso de nitrógeno (N) atmosférico puede acelerar el crecimiento de especies exóticas o acelerar el crecimiento de árboles causando una ruptura o desbalance en el ecosistema (Nadelhoffer, 2001).

La acumulación de nitrógeno (N) puede ocurrir por excesos de nitratos en las aguas subterráneas. La entrada de los nitratos a las aguas subterráneas tiende un resultado de procesos naturales y el efecto directo o indirecto de actividades humanas, en las que se incluyen, la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, fertilización excesiva con nitrógeno (N), deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos. El problema con los nitratos es que son contaminantes móviles en el agua subterránea que no son adsorbidos por los materiales del acuífero y no precipitan como un mineral. Estos dos factores, permiten que grandes cantidades de nitrato disuelto permanezcan en el agua subterránea. Debido a su naturaleza soluble, los nitratos tienden a viajar grandes distancias en la superficie, específicamente en sedimentos altamente permeables o rocas fracturadas y esto los hace más susceptibles (Heaton, 1985).

### **1.6.1 El exceso de fósforo y la problemática ambiental.**

El fósforo (P) se encuentra principalmente en el suelo adherido a los minerales hierro (Fe), aluminio (Al) y calcio (Ca) o en materia orgánica y tiene interacción con las bacterias del suelo, residuos de cosecha y materia orgánica en descomposición. Este elemento se mueve con el agua de escorrentía, y la erosión es el principal mecanismo de transporte de P hacia las aguas superficiales. El agua en el suelo también contiene pequeñas cantidades de P disuelto, esencial para ser tomado por las plantas. Debido a que el balance entre los diferentes reservorios está

fuertemente a favor de la forma orgánica y forma mineral del suelo, la lixiviación raramente se da en el fósforo (P) (Van Horn 1998).

Al igual que en suelos de baja fertilidad, el P es usualmente el nutriente limitante en los sistemas acuáticos, en donde la baja capacidad de buffer impide almacenar este elemento. Si el fósforo (P) llega a una fuente de agua donde es limitante, el crecimiento de algas y otros microorganismos acuáticos se estimulará rápidamente, aumentando la demanda de oxígeno hasta que el P o el oxígeno sean limitantes. En dado caso que el oxígeno escasea o se acabe, todos los organismos aeróbicos del ecosistema serán afectados. Cuando la tasa de mortalidad de estos organismos aumente, la demanda de oxígeno en el sistema aumentará aún más. Mayores tasas de mortalidad resultarán en requerimientos mayores de oxígeno para descomposición, hasta que se vuelva limitante. Cuando esto sucede, el sistema pasa a ser un sistema anaeróbico (Walker, 2000).

## **1.7. Función digestiva de los bovinos**

En primer plano se tiene que conocer como es el funcionamiento digestivo de los rumiantes ya que este paso permite entender como llevan a cabo el aprovechamiento, pero también en ciertos casos presenta deficiencias de fósforo (P), por lo general tiene consecuencias en la salud del animal. Una de las instituciones que juega un papel clave en cuanto a apoyos y a estudios en el sector agropecuario como hace alusión SAGARPA (2018) la cual plantea una de las definiciones más concreta de cada una de las partes que integra el sistema digestivo de la vaca y cuáles son sus funciones se puede ver en la figura 2 (Bell y Bauman, 1997).

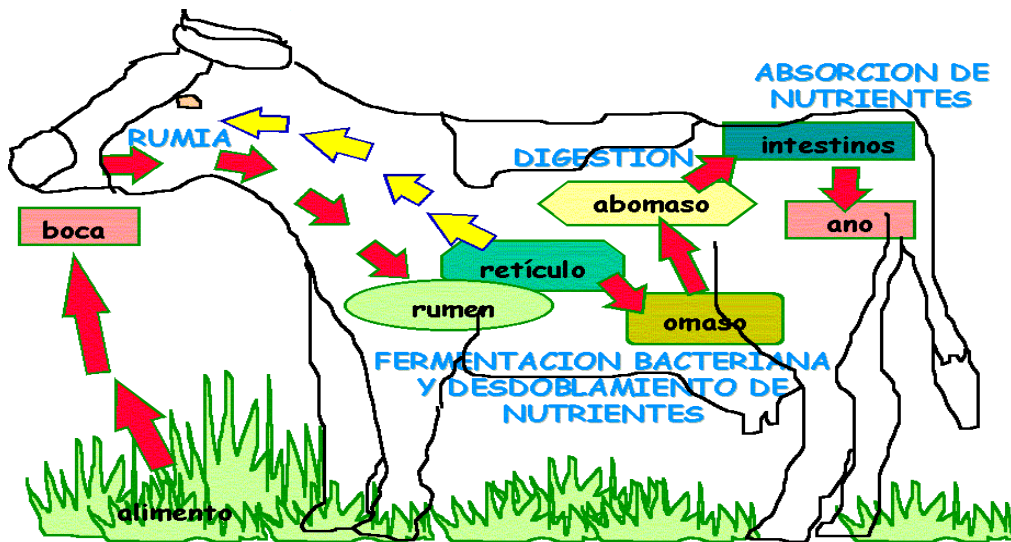


Figura.2 Proceso digestivo bovino. Fuente: Imagen de Google.

### 1.7.1. La digestión ruminal

La digestión de la vaca comienza cuando ingresa el primer bocado de pasto, mastica sólo lo suficiente para tragar la comida. Otro de los elementos que entra en juego es la lengua, es el órgano principal de la boca, y su trabajo es la aprehensión de los alimentos. Lo que hace es jalar el pasto y otros alimentos hacia la boca. En cuanto al mecanismo de trituración, el autor da un dato importante el cual lo argumenta de la siguiente manera: “Los dientes de la vaca no se conforman por incisivos superiores ni caninos, ningún rumiante los posee” (SAGARPA, 2018).

Las vacas lecheras son rumiantes, animales que digieren los alimentos en dos etapas: primero los consumen y luego realizan la rumia, proceso que consiste en remoler el material semidigerido y volverlo a masticar para deshacerlo. Dentro de estos rumiantes en este caso las vacas lecheras tienen una característica distintiva de los rumiantes es su aparato digestivo poligástrico compuesto por cuatro divisiones: El rumen o panza, el retículo o reddecilla y el omaso o libro y por el abomaso o estómago propiamente dicho, los cuales mediante la rumia y la utilización de estas cuatro cámaras, el estómago de los rumiantes es capaz de aprovechar los carbohidratos estructurales como son: celulosa, hemicelulosa y pectina presentes en las plantas (Van Soest, 1994).

Las vacas lecheras se caracterizan por su capacidad para alimentarse de pastos y forrajes, ya que pueden degradar los hidratos de carbono estructural, como celulosa, hemicelulosa y pectina, muy poco digestible para especies no-rumiantes o de estómago simple. A partir de esta diferencia fundamental, la fisiología digestiva de la vaca lechera adquiere características particulares, debido a que la degradación del alimento se realiza, mayoritariamente, por digestión fermentativa, y no por la acción de enzimas digestivas, los procesos fermentativos tienen lugar por diferentes tipos de microorganismos a lo que la vaca aloja en sus divertículos estomacales (Gutiérrez, 2015).

Se clasifica el proceso digestivo en nueve pasos, el primero se presenta al tragar alimento esto se realiza mediante el movimiento de la mandíbula y con ello el maxilar superior es más amplio que el maxilar inferior, lo que permite a la vaca poder mover su mandíbula inferior de un lado a otro para usar los molares del mismo lado a la vez, con el fin de masticar el alimento. Este mecanismo funciona gracias a que los movimientos laterales de la mandíbula permiten que los molares puedan pulverizar la comida como si fueran cinceles. El segundo paso comienza con la entrada de alimento cuando el alimento ya masticado es tragado, pasa al esófago, que es un tubo pequeño con más o menos 1 m de longitud. La saliva y el alimento masticado crean una mezcla que baja hasta el rumen, pasando por el esófago. El alimento vuelve del esófago hasta la boca para repetir la masticación. Un punto muy importante que hay en las vacas es que el estómago está dividido en 4: retículo, rumen, omaso y abomaso (García, 2008)

La proteína consumida por los rumiantes se degrada por las bacterias y protozoarios en el retículo-rumen. Una parte de la proteína del alimento escapa al rumen, pero el resto es degradado en péptidos, aminoácidos libres, que son atacados por enzimas y finalmente, se liberan en amoníaco. Estos subproductos se utilizan para la síntesis de proteína por los microorganismos ruminales. La proteína microbiana más la proteína que escapa al rumen llamada proteína sobre pasante o de sobrepaso ruminal proveen de aminoácidos al animal, cuando la degradación de la proteína es rápida, los microorganismos ruminales no pueden utilizar todos los péptidos o

aminoácidos y amoniaco liberados y entonces más proteína es degradada que sintetizada, constituyendo una pérdida de proteína en forma de amoniaco. Debido a la toxicidad potencial del amoniaco sobre los tejidos, el hígado puede remover esencialmente todo el amoniaco que le llega y utilizarlo en la síntesis de aminoácidos, urea u otros compuestos nitrogenados los cuales se presentan mediante heces y orina (Broderick, 1996)

Cabe señalar que las vacas tienen 4 sub-estómagos. Esto quiere decir que el estómago de la vaca está dividido en 4: retículo, rumen, omaso y abomaso se aprecia en la figura 2. El estómago de la vaca y el de todos los rumiantes está dividido en 4 partes, ya que, de esta forma, la comida se procesa varias veces, y así consiguen obtener todos los nutrientes posibles de la hierba y aprovechar de la mejor manera la energía y proteínas de esta.

#### - Retículo-rumen

Uno de los principales es el retículo y el rumen son dos compartimentos diferentes; sin embargo, se suelen llamar retículo-rumen porque ambos están en el estómago y presentan mucha similitud.

Ambos ocupan el mayor espacio del estómago de la vaca, pues ocupan dos tercios del espacio total. El rumen está dividido en 3 sacos, el craneal, el dorsal y el ventral. Las divisiones las crean unas bandas musculares muy fuertes llamadas pilares. Los alimentos ingeridos pasan entre 40 a 72 horas en el retículo-rumen. Los pilares se contraen y se relajan durante un ciclo que tarda casi un minuto en terminar. El rumen se encuentra lleno de miles de papilas en su interior, que tienen la función de absorber los productos finales de la fermentación ruminal, específicamente el amoniaco y los ácidos grasos volátiles.

Para entender mejor cómo es el estómago de la vaca, el rumen es como un gran lago que está atravesado por un río el resto del tracto digestivo. El retículo rumen retiene las partículas fibrosas del bolo alimenticio, lo que incrementa el tiempo en que son sometidas a la fermentación microbial.

El retículo y el rumen están uno frente al otro, y se separan por la apertura del esófago, llamada cardias, el rumen constituye una ventaja evolutiva importante porque permite al animal el consumo de alimentos fibrosos y de nitrógeno no proteico (NNP). Sin embargo, desde el punto de vista de la utilización de la proteína verdadera de la dieta, el sistema es ineficiente. En vacas lecheras que consumen concentrados ricos en proteínas la eficiencia de conversión del nitrógeno del alimento en nitrógeno en la leche oscila entre 18 y 32% (Pereira *et al.*, 2011).

#### - Omaso

El omaso es otra parte del estómago de la vaca, y se compone por muchos pliegues musculares. Es de un gran tamaño aproximadamente del tamaño de un balón de fútbol. Su función es absorber agua en grandes cantidades, de esta manera se consigue que el agua no diluya el ácido que secreta el abomaso (Pereira *et al.*, 2011).

#### - Abomaso

El abomaso es el denominado cuarto estómago de la vaca. Su función es secretar enzimas y ácido clorhídrico. Se forma por muchos pliegues divididos en dos secciones distintas. En el fondo ocurre la secreción de ácido clorhídrico y de enzimas que ocupan un medio ácido. En la región pilórica ocurre la acumulación del alimento digerido, para posteriormente pasar al duodeno (Pereira *et al.*, 2011)

#### - Intestino delgado

El intestino delgado comienza en el duodeno. Su forma es como la de un tubo largo y delgado, y, aparte del duodeno, tiene dos secciones más, el yeyuno y el íleon.

Se le llama intestino delgado debido a su diámetro, no por su longitud, a pesar de que mide alrededor de 46 metros. Su diámetro está entre 1 y 4.5 centímetros.



En su interior posee papilas microscópicas que conforman la superficie enorme del intestino delgado. En esta parte del sistema digestivo de una vaca ocurre la absorción de la mayoría de los nutrientes. Aquí se digieren los carbohidratos, las grasas y proteínas (Pereira *et al.*, 2011).

#### - Intestino grueso

Se compone primeramente por el ciego, una sección donde ocurre otra fermentación microbial después de la digestión ácida que ocurrió en el abomaso y la digestión enzimática que produjo el intestino delgado. Luego se encuentra el colon, que tiene como función principal absorber los últimos nutrientes y agua, para formar finalmente las heces (Pereira, 2011).

### **1.7.2. Adaptación para utilizar fibra**

Se denomina fibra a la estructura química que le da rigidez a las plantas y es uno de los principales componentes de los tallos de los forrajes. Es un hidrato de carbono compuesto por celulosa y hemicelulosa. La estructura de la pared celular permanece inaccesible para los animales monogástricos. Sin embargo, esta estructura es degradada por la población microbiana ruminal, permitiéndole al rumiante obtener energía. El N en el alimento de los rumiantes proviene principalmente de los aminoácidos que constituyen las proteínas y de fuentes de nitrógeno no proteico (NNP). Los componentes nitrogenados no proteicos no pueden ser utilizados por los monogástricos, pero si pueden ser utilizados por las bacterias ruminales para la síntesis de proteína. La proporción mayor de aminoácidos disponible para el rumiante se origina en la proteína bacteriana sintetizada en el rumen (Santini, 2004).

### **1.7.3. Utilización de alimento no convencional en la dieta de vacas lecheras**

Debemos de considerar que en cualquier sistema de producción a pequeña y mediana escala es muy importante hacer un monitoreo continuo de la calidad

nutricional de los ingredientes adquiridos para elaborar las raciones. Esto generalmente se hace con la finalidad de que las dietas que se elaboren para el ganado verdaderamente contengan los nutrimentos necesarios para satisfacer los requerimientos nutricionales y así poder lograr el impacto deseado en las ganancias de peso.

Las vacas lecheras de alto potencial para producción lechera también tienen altos requerimientos para energía y proteína. Considerando que las vacas pueden comer solo cierta cantidad cada día, los forrajes solos no pueden suministrar la cantidad requerida de energía y proteína. El propósito de agregar concentrados a la ración de la vaca lechera es de proveer una fuente de energía y proteína para suplementar los forrajes y cumplir con los requerimientos del animal. Así los concentrados son alimentos importantes que permiten formular dietas que maximizan la producción lechera (Cardenas, 2010).

#### **1.7.4. La importancia de los arvenses en las unidades de producción**

La época de lluvia es una oportunidad idónea para aprovechar la gran disponibilidad de forraje que se da a lo largo y ancho de la franja del territorio mexicano, las arvenses son un claro ejemplo. En México es común que en los campos tradicionales se cultiven muchas veces de manera intencionada, las plantas arvenses juegan un papel muy importante en los sistemas agrícolas tradicionales, como son las milpas o los huertos familiares. Además, las arvenses son importantes porque sus raíces forman una malla, la cual evita que el suelo se desprenda y por lo tanto disminuye el riesgo de erosión; también guardan humedad, dan sombra y participan en el ciclo de nutrientes.

Algunas de ellas sirven incluso de “plantas trampa” al alimentar a herbívoros que se pueden convertir en plaga, pueden alojar insectos benéficos o repeler a los parásitos, por lo que favorecen interacciones beneficiosas para el agroecosistema. Debido a que los sistemas agrícolas tradicionales se desarrollan en variadas condiciones ecológicas como: altitud, suelo, humedad, temperatura, biológicas y

culturales en las prácticas agrícolas, es frecuente que las plantas que ahí se cultivan evolucionen y se adapten a las condiciones particulares de cada lugar. Los estudios que se han desarrollado para entender la variación morfológica de las plantas hembra o glabras y el posible efecto que podría tener la selección humana, muestran diferencias significativas en varios atributos. La comparación entre poblaciones rurales y arvenses de esta especie muestra que, las últimas, son plantas con poca vellosoidad, más suaves, con hojas grandes y de crecimiento más abundante (Esqueda, 2010).

### **1.7.5. El futuro de las arvenses**

El objetivo de la agricultura es proporcionar una seguridad alimentaria a las poblaciones humanas y, con el paso del tiempo, gracias a esta práctica se han podido mantener mayores poblaciones junto con el grupo de animales que conforman el ganado. En este proceso, desde la década de 1960, se han desarrollado diversas técnicas agrícolas y biotecnológicas para incrementar aún más la producción de alimentos y simplificar el cultivo impulsando el monocultivo, el cual se ha erguido como el sistema agrícola más importante a nivel mundial. Esto ha llevado al sacrificio de tal vez centenas de arvenses, que durante miles de años habían sido utilizadas como alimento, medicina y forraje. Este último, tiene una fuente potencial alimenticia para incluir en las dietas del ganado ya que tienen características propias que la hacen ser un buen aditivo y aumentar la cantidad de materia orgánica útil en el agroecosistema (Esqueda, 2010).

### **1.7.6. Pericón (*Tagetes lucida*)**

Se le conoce en náhuatl como cuahuyauhtli, yahuhtli, que significa hierba de las nubes. Planta herbácea perenne ramificada pertenece a la familia de las compuestas, aromática que crece en abundancia en algunos parajes, pero en otros es muy escasa e incluso ya no se le llega a encontrar. Esta planta semi leñosa es perenne, es decir, que no muere; en invierno se seca la parte superior de la planta,

pero en junio vuelve a rebrotar desde la base para desarrollar tallos de tamaño variable de 30 hasta 90 cm (Perdomo y Mondragón, 2009).

### **1.7.7. Distribución del Pericón (*Tagetes lucida*)**

En el Valle de México se conoce hasta los 2900 m, pero es más bien esparcida. En el Bajío se registra de los 800 a 2700 m, crece en lugares de clima templado (Perdomo y Mondragón, 2009).

### **1.7.8. Uso del Pericón (*Tagetes lucida*)**

El pericón tiene una gran variedad de usos entre los que destacan el uso medicinal: El té como tónico, ¡se recomienda contra diarrea, disentería, empacho, vómito, asma, tifoidea, varices y resfriado; se usa también como antihelmíntico, abortivo, emenagogo y carminativo; Se utiliza y se cultiva como ornamental. Además, se utiliza como insecticida, para fines ceremoniales y religiosos y para condimentar bebidas y licores (CONABIO, 2016).

### **1.7.9. Compuestos fenólicos en el pericón (*Tagetes lucida*)**

Los compuestos fenólicos son moléculas que tienen uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo aromático. Junto con las vitaminas, los compuestos fenólicos se consideran importantes antioxidantes en la dieta, por ejemplo, se encuentran presentes en frutas, hortalizas, raíces y cereales. Miles de compuestos fenólicos se encuentran en las plantas, y se clasifican en diferentes tipos de grupos funcionales, como se indica en este trabajo. Los compuestos fenólicos juegan una serie de funciones metabólicas en las plantas, en el crecimiento y reproducción, y en la protección contra patógenos externos y el estrés, como la radiación UV y los depredadores. Ellos son responsables del color y las características sensoriales de las plantas y alimentos, por ejemplo, la astringencia de frutas y hortalizas (Pañarriet, 2014).

## **1.8. Marco legal ambiental que regula las emisiones de ganado**

A continuación, se presentan algunas normas que suelen ser representativa para el manejo de estiércol generado por el ganado en confinamiento, varían mucho entre países y regiones; y su propósito es disminuir el impacto negativo en el ambiente y utilizarlo como una fuente de oportunidad para el entorno. Las regulaciones de la calidad del agua y del suelo son por lo general de ámbito local pueden tener repercusiones importantes en cuestiones ambientales. Cabe señalar que la normatividad regula puntos muy específicos de las practicas que se realizan con los bovinos por lo tanto las normas que se citana a continuación manejan criterios muy específicos.

Las regulaciones o normas para el manejo de estiércol generado por el ganado en confinamiento varían mucho entre países y regiones, y su propósito es disminuir el impacto negativo en el ambiente. Las regulaciones de la calidad del agua y del suelo son por lo general de ámbito local y nacional, mientras que los tratados son del ámbito transfronterizo, pues las emisiones locales pueden tener repercusiones importantes en cuestiones ambientales (Rowland y Molina, 1975).

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPYGIR) considera como residuos de manejo especial a aquellos generados en actividades agrícolas y ganaderas. La ley estatal de ganadería establece que las localidades con alta concentración de ganado bovino deben implantar programas obligatorios de manejo de estiércol. Sin embargo, la falta de vigilancia por las autoridades ambientales ha resultado en un abuso en la descarga de desechos a cuerpos de agua en granjas porcinas, principalmente porque las autoridades estatales delegan la responsabilidad de analizar las descargas, en el lugar donde se realizó la evaluación, el estiércol se utiliza para las tierras de cultivo y también para el biodigestor que se encuentra en la casa (Pérez, 2001).

El trato y la atención inadecuada relacionada con las maniobras para la movilización de los animales de laboratorio, contribuye a elevar los factores de estrés que los

hacen susceptibles a contraer enfermedades. Que en virtud de lo anterior y como consecuencia del proceso de globalización en el que México se encuentra inmerso, es necesario establecer criterios uniformes que permitan regular eficientemente la operación de las actividades relacionadas con la producción, cuidado, manejo y uso de los animales de laboratorio, a fin de favorecer el bienestar de éstos, protegiendo al mismo tiempo su salud.

En cuanto a la normatividad mexicana que regula el vertido residuos fosfatados en cuerpos de agua y suelo destaca, la Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente prohíbe descargar a cuerpos de agua, estiércol o aguas residuales sin previo tratamiento. La Comisión Nacional del Agua establece los parámetros para las descargas residuales en aguas y bienes nacionales con base en las normas NOM-001-1996 y NOM-002-ECOL-1996.

Análisis en materia zoonosanitaria, proporcionan mejores condiciones zoonosanitarias y por lo tanto favorecen la calidad de los servicios ofrecidos, que es inminente la participación de los particulares en las actividades zoonosanitarias como responsables de las mismas.

Artículo 7 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEEGEPA) con atribuciones de la Secretaría y Coordinación entre las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal de las condiciones ambientales.

En lo que respecta a la contaminación de los mantos freáticos por las filtraciones y descargas del estiércol proveniente de las explotaciones ganaderas, la Ley de Aguas Nacionales, designa a la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) para establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos. En este sentido, es la CONAGUA (Comisión Nacional de Agua) quien establece los parámetros que deberán cumplir las descargas, la

capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes (Última reforma: 24 de marzo de 2016).

### **1.8.1. Perspectiva del nitrógeno (N) y el fósforo (P)**

En lo que respecta a este estudio, se han realizado investigaciones que han abordado el tema, pero con un enfoque diferente, se tomarán como referencia para llevar a cabo nuestro estudio. Cuyo objetivo es conocer cuál es el aprovechamiento del nitrógeno y fósforo en vacas lecheras utilizando dieta con alto contenido de forraje y los beneficios que presenta en las vacas. Los estudios más relevantes con respecto al tema son los que se mencionan a continuación. Los estudios datan del año 2001 al año 2007 tienen aportaciones importantes que pueden servir como referencia para el experimento.

El manejo de nutrientes es un área de reciente interés, como forma de disminuir la contaminación por nitrógeno (N) y fósforo (P) en los sistemas ganaderos de leche y carne. El balance de nutrientes, que es la diferencia de ingresos provenientes por insumos respecto a egresos a través del producto permite comprender su dinámica, conocer su potencial para ser retenidos dentro del propio sistema, y entender la magnitud del daño ambiental que se pueden provocar sino es manejado de manera correcta.

A medida que la actividad pecuaria se intensifica hasta llegar a producciones donde el ganado pastorea muy pocas horas por día, o directamente permanece estabulado, los residuos animales producen grandes impactos en el ambiente. Estos residuos, provenientes en su mayoría de heces y orina, aportan principalmente fósforo y nitrógeno, resultando ser, respectivamente, los principales contaminantes de aguas superficiales. Como hace mención Correa (2001) la infiltración de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en aguas subterráneas puede causar su contaminación en niveles de riesgo para la salud humana y animal en aguas superficiales y el fósforo excedente, que migran por escorrentía, pueden ser causa de eutrofización de lagos y lagunas crecimiento excesivo de algas,

disminución del oxígeno disuelto, variabilidad del pH y subsiguiente muerte de invertebrados, peces y otros animales acuáticos.

Dada la importancia del nitrógeno (N) y fósforo (F) en la contaminación de los recursos hídricos, los balances de nutrientes permitirán conocer el potencial de riesgo ambiental, convirtiéndose en indicadores claves de la sustentabilidad de los sistemas agro. Estos balances, o desbalances como los denominan algunos autores, representarán, entonces, las ineficiencias del sistema productivo. En el desbalance entre los requerimientos animales de ciertos nutrientes y su aporte vía alimentación, radica una fuerte pérdida que llega a los efluentes en valores del 70 al 80%, tanto del nitrógeno (N) como del fósforo (P) provenientes de los alimentos consumidos, la utilización de fertilizantes es otro de los factores para tener en cuenta. En cuanto al procedimiento realizado se menciona a continuación.

El primer paso, en cada zona, consistió en tomar contacto con las asociaciones de productores y cooperativas lecheras para organizar una reunión informativa con los productores previamente elegidos. En el segundo paso, se contactaron personalmente los productores que habían aceptado participar. Finalmente, 17 fueron entrevistados y completaron las encuestas. El diseño de encuestas pretendió recolectar la máxima información confiable en cada uno de los predios, para el período 2003-2004, con el fin de caracterizar los sistemas según: uso del suelo, actividades agropecuarias desarrolladas, estructura de los rodeos y sus parámetros productivos, recursos forrajeros, cultivos de cosecha y rendimientos, insumos utilizados para las distintas actividades agro ganaderas y manejo de los residuos producidos por la ganadería (Gaucheron, 2005).

La información obtenida permitió realizar los cálculos de los balances de nutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) por diferencia entre ingresos y egresos cuantificables de cada mineral en el establecimiento estudiado. En el cálculo de los egresos se consideró el nutriente exportado a través de la leche y de la carne producida por el tambo. Las vías de ingreso de nitrógeno (N) consideradas fueron las precipitaciones, fertilizantes, fijación biológica por leguminosas y alimentos importados del exterior para consumo de los animales; y para el P fertilizantes y



alimentos importados del exterior. Los valores bibliográficos de referencia sobre contenido de nutrientes están expresados sobre la base de materia seca y se consideraron adecuados para estimaciones regionales del potencial de nutrientes.

Los cationes calcio  $(Ca)_2^+$ , magnesio  $(Mg)_2^+$ , sodio  $(Na)^+$  y potasio  $(K)^+$ , desempeñan un papel importante en la estructura y la estabilidad de las micelas de caseína. Una buena comprensión de las propiedades de los minerales de la leche es importante para la investigación fundamental y el desarrollo de productos lácteos, en los cuales esta fracción interactúa compleja, dinámica y fuertemente con la fracción proteica. La nutrición constituye la vía más efectiva y rápida para alterar la composición química de la leche. Aunque los cambios, muchas veces, no sean tan evidentes, éstos pueden haber ocurrido significativamente. Por ejemplo, la concentración total de proteína puede permanecer constante, pero con alteraciones importantes en la relación entre la caseína y el nitrógeno no-proteico. De la misma manera, pueden suceder cambios sustanciales en la composición de los ácidos grasos sin ningún cambio aparente en el porcentaje total de grasa de la leche (Gaucheron, 2005).

Los requerimientos de fósforo (P) de vacas lactantes se estiman utilizando un enfoque factorial. Los requerimientos se calculan como la suma de P absorbido utilizado para mantenimiento, lactación, crecimiento y gestación. El fósforo (P) absorbido se divide luego por un coeficiente de absorción intestinal del dietético para estimar la necesidad de P en la dieta. Utiliza un 64% para forrajes, 70% para concentrados y 75 a 90% para suplementos minerales, como los coeficientes de la absorción. El requerimiento para lactancia se calcula como 0.9 g/kg de leche, sin importar el contenido de grasa o proteína. El requerimiento para crecimiento se calcula utilizando una ecuación alométrica y solamente se aplica a animales en crecimiento. El requerimiento de P para gestación es significativo únicamente durante el último trimestre de la gestación. Se utiliza una ecuación exponencial para calcular el requerimiento de fósforo (P) de acuerdo con los días de gestación, con valores obtenidos que oscilan entre 1.9 g/d para 190 días hasta 5.4 g/d para 280 días de preñez. La cantidad absorbible requerido para gestación durante los últimos 60 días de preñez es de 2.5 g/d como promedio (Correa, 2001).

El balance es la diferencia entre las entradas y las salidas esperadas de venta de leche y animales. Los sistemas ganaderos con un balance positivo significativo, donde las entradas son mayores que las salidas, concentran nutrientes que posteriormente pueden convertirse en un riesgo para la calidad del agua. (Correa, 2001). En su mayoría los estudios que se hallan para considerar como base son de fechas ya atrasadas, pero son tomadas como referencia, ya que otorgan un aporte considerable en la información que se ha reportado y contribuye para poder hacer una comparación con los estudios que se llevan a cabo en años recientes generando datos que sean de utilidad en días actuales.

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Figura metodológica general

En este capítulo se describen las etapas en las que se realizó la investigación y se muestran en la Figura 3. También se presenta la metodología que se utilizó para llevar a cabo el experimento.



Figura 3. Esquema metodológico general

## 2.2. Ubicación del sitio experimental

El estudio se realizó en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). En cuanto al experimento en campo se llevó a cabo en la propiedad del señor Esteban. El lugar se ubica en “El Paredón” perteneciente al municipio de Almoloya de Juárez, Estado de México. Su localización geográfica se encuentra entre los siguientes paralelos  $19^{\circ}22'34.57''$  de latitud norte; los meridianos  $99^{\circ}50'53.50''$  de longitud oeste, a una altitud de los 2656 msnm. Se encuentra rodeada por los siguientes municipios; Al norte esta Ixtlahuaca y San Felipe del Progreso, al Sur Zinacantepec, al oriente Temoaya y Toluca y al poniente, con Villa Victoria y Amanalco de Becerra (Figura 4). El lugar donde se desarrolló la evaluación de las vacas lecheras. El municipio de Almoloya de Juárez comprende una superficie de 483.77 km<sup>2</sup>, representando el 7.52% de la superficie del Estado de México, su territorio presenta un desnivel en alturas que va desde los 2,538 y los 2,900 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2015).

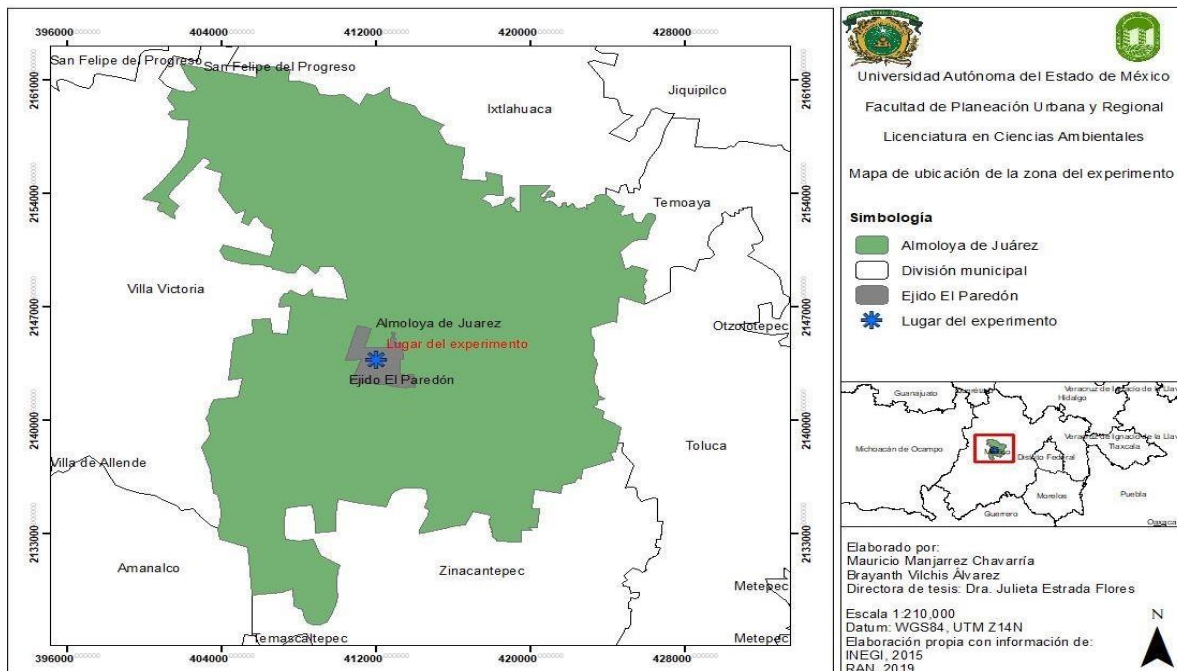


Figura 4. Localización del sitio del se llevó a cabo el experimento con vacas lecheras.

### 2.2.1 Aspectos específicos de la zona de estudio

En las zonas altas al sur y norte del municipio se cuenta con pastizales inducidos, entre los que destacan los matorrales inermes, así como algunas especies de hongos y pericón (*Tagetes lucida*). El pericón utilizó en la dieta de vacas lecheras que como parte de nuestro experimento. Desafortunadamente las áreas ocupadas por la vegetación antes mencionada han disminuido durante los últimos años, para ser incorporadas a los terrenos de cultivo o para usos urbanos, alterando ecológicamente el entorno municipal (INEGI, 2015).

### 2.3. Colecta del Pericón (*Tagetes lucida*)

Esta planta crece en periodo de lluvias, después de ello se mantiene seca a lo largo del año. La colecta del pericón fue en diferentes puntos geográficos como el valle de Toluca y sur del Estado de México (El Cerrillo, Almoloya de Juárez, Tlachaloya, Ixtlahuaca e Ixtapan de la Sal) durante los meses de septiembre a octubre del 2017. Al llevar a cabo la colecta, se observaba que las plantas tuvieran un buen tamaño, color y forma, y que estuviera en un estado fenológico adulto en floración. Se recolectó una cantidad de 250 kg de pericón que fue lo requerido para la evaluación. Se realizó un pool de todas las muestras colectadas (Figura 5 y 6).

#### 2.3.1. Secado y molido del pericón (*Tagetes lucida*)



Figura 5. Muestras de pericón (*Tagetes lucida*) en frascos



Figura 6. Muestras de pericón en crisoles

## **2.4. Determinación de fenoles totales, taninos totales y taninos condensados.**

Los taninos son compuestos polifenólicos que se clasifican ampliamente en dos grupos principales: Taninos hidrolizados; formados por un núcleo central de hidratos de carbono al que se unen los ácidos carboxílicos fenólicos mediante enlaces éster. Taninos condensados; formados por oligómeros de dos o más flavan-3-oles, como la catequina o la correspondiente galocatequina. Los taninos están presentes en muchos recursos alimenticios no convencionales y alternativos: el follaje de los árboles, los subproductos, las leguminosas de los pastos y las semillas de variedades coloreadas de leguminosas (Makkar, 2003).

### **2.4.1. Determinación de fenoles totales**

El método más común utilizado para determinar fenoles totales es el de Folin Ciocalteu. Este análisis se basa en la oxidación de fenoles y la reducción de un agente para formar cromóforos. A continuación, se describe a detalle el método:

Reactivos y soluciones:

Acetona 70%: Diluir 70ml de acetona pura con 30ml de agua destilada.

Folin-Ciocalteu (1N): Mezclar 50ml de folin con 50% de agua destilada.

Carbonato de sodio:

Ácido tánico (0.1mg/ml): Pesar 0.5mg (Esta solución siempre debe de prepararse el día que se va a utilizar)

Procedimiento:

Pesar en vasos de precipitado pequeños 200 mg de muestra (esta debe de estar molida a una porosidad de 0.5 mm).

Adicionar 10ml de acetona al 70%, y cubrir con pellet.

Colocar las muestras a baño ultrasónico durante 20 minutos, a intervalos de 10 y con descanso de 5 minutos.

Trasferir el contenido a tubos de ensayo con tapa.

Centrifugar los tubos a 3000 rpm durante 10 min.

Colectar el sobrenadante en tubos de ensayo.

En tubos de ensayo vacíos adicionar en el orden siguiente:

50µl del sobrenadante (muestra)

450 µl de agua destilada

250µl de Folin-Ciocalteu

1.25 ml de Carbonato de sodio

Agitar los tubos en vortex

Colocar los tubos en baño maría a 37°C durante 40min.

Leer absorbancia a 725 nm, contra el blanco que contendrá agua destilada en vez de muestra.

Observaciones: si es necesario, realizar diluciones del sobrenadante (muestra) en agua destilada.

### **Cuadro 1. Cantidades de soluciones en cada una de las muestras para determinar fenoles totales.**

<b>Tubo</b>	<b>Solución de ácido tánico (µl)</b>	<b>Agua destilada (µl)</b>	<b>Folin (µl)</b>	<b>Carbonato de sodio (ml)</b>
Blanco	0.0	500	250	1.25
T1	20	480	250	1.25

T2	40	460	250	1.25
T3	60	440	250	1.25
T4	80	420	250	1.25
T5	100	400	250	1.25

Fuente: Adaptado de Makkar (2003).

En Cuadro 1. Muestra las cantidades en microlitros ( $\mu\text{l}$ ) que se requieren para preparar las soluciones y desarrollar la técnica de fenoles totales (FT) con cada una de las muestras tomadas de la fase experimental.

Cálculos:

Relacionar por regresión los valores de absorbancia de la curva patrón con los de la concentración de ácido tánico. La ecuación lineal resultante es utilizada para calcular la concentración de ácido tánico de las muestras.

#### **2.4.2. Determinación de taninos totales**

Este método se distingue de los no taninos por el uso de una matriz sólida polivinilpolipirrolidona (PVPP). Este método asume que los fenoles, que se unen a las proteínas, son los mismos que los que se unen a PVPP (Makkar, 2003)

Se describe a continuación la técnica.

Reactivos y soluciones:

Acetona 70%: Diluir 70ml de acetona pura con 30ml de agua destilada.

Folin-Ciocalteu (1N): Mezclar 50ml de folin con 50% de agua destilada.

Carbonato de sodio:

Ácido tánico (0.1mg/ml): Pesar 0.5mg

Polivinilpolipirrolidona (PVPP): CAS: 9003-39-8

Procedimiento:



Pesar en vasos de precipitado pequeños 200 mg de muestra (esta debe de estar molida a una porosidad de 0.5 mm).

Adicionar 10ml de acetona al 70%, y cubrir con pellet.

Colocar las muestras a baño ultrasónico durante 20 minutos, a intervalos de 10 y con descanso de 5 minutos.

Trasferir el contenido a tubos de ensayo con tapa.

Centrifugar los tubos a 3000 rpm durante 10 min.

Colectar el sobrenadante en tubos de ensayo.

Colectar 1 ml del sobrenadante y colocarlo en un tubo de ensayo el cual contendrá 100mg de PVPP y 1 ml de agua.

Agitar en vordex y colocar en hielo (4°C) durante 15 min.

Agitar nuevamente en vordex.

Centrifugar a 3000 rpm durante 10min y colectar el sobrenadante.

En un tubo de ensayo vacío adicionar en el orden siguiente:

50µl del sobrenadante

450 µl de agua destilada

250µl de Folin-Ciocalteu

1.25 ml de Carbonato de sodio

Agitar los tubos en vordex

Colocar los tubos en baño maría a 37°C durante 40min.

Leer absorbancia a 725nm, contra el blanco que contendrá agua destilada en vez de muestra.

Observaciones: si es necesario, realizar diluciones del sobrenadante (muestra) en agua destilada.

**Cuadro 2. Cantidades de solución requerida en cada una de las muestras para determinar taninos totales.**

<b>Tubo</b>	<b>Solución de ácido tánico (µl)</b>	<b>Agua destilada (µl)</b>	<b>Folin (µl)</b>	<b>Carbonato de sodio (ml)</b>
Blanco	0.0	500	250	1.25
T1	20	480	250	1.25
T2	40	460	250	1.25
T3	60	440	250	1.25
T4	80	420	250	1.25
T5	100	400	250	1.25

Fuente: Adaptado de Makkar (2003).

En el Cuadro 2. se ve cada una de las muestras y las diferentes cantidades expresadas en microlitros (µl) que se le agregó para elaborar las soluciones y poder determinar taninos totales (TT) de las muestras recolectadas del experimento.

Cálculos: Relacionar por regresión los valores de absorbancia de la curva patrón con los de la concentración de ácido tánico. La ecuación lineal resultante es utilizada para calcular la concentración de ácido tánico de las muestras. El contenido de taninos totales es calculado como la diferencia entre los fenoles totales sin PVPP menos los fenoles totales con PVPP. Es decir:

$$\text{Fenoles totales (\%)} - \text{Taninos no fenólicos (\%)} = \text{Taninos (\%)}$$

### 2.4.3. Taninos condensados

Los taninos condensados (TC) son polímeros formados por unidades de antocianidina es un flavonoide pueden ser hidrolizados en sus constituyentes si se los trata con ácidos fuertes, a veces son conocidos como proantocianidinas. De manera precisa, la naturaleza química de los taninos condensados ha permitido un mayor monitoreo de su presencia en alimentos, puesto que para su determinación existen métodos muy sencillos y de fácil aplicación para la determinación por medio de una espectroscopia (Makkar, 2003).

A continuación, se explica cómo se desarrolla la técnica y sus respectivos materiales.

Reactivos y soluciones:

Acetona 70%: Diluir 70ml de acetona pura con 30ml de agua destilada.

Butanol-HCl: Mezclar 95ml de butanol normal con 50 ml de HCl (36%).

Ácido clorhídrico 2N: Diluir 16.6 ml de ácido clorhídrico en agua destilada y completar el volumen a 100ml.

Sulfato de amonio férrico: Disolver 2g de sulfato de amonio férrico en 100 ml de HCL 2 N.

Procedimiento:

- Pesar en vasos de precipitado pequeños 200 mg de muestra (esta debe de estar molida a una porosidad de 0.5 mm).
- Adicional 10ml de acetona al 70%, y cubrir con pellet.
- Colocar las muestras a baño ultrasónico durante 20 minutos, a intervalos de 10 y con descanso de 5 minutos.
- Trasferir el contenido a tubos de ensayo con tapa.
- Centrifugar los tubos a 3000 rpm durante 10 min.

- En otros tubos (resistentes a altas temperaturas) adicionar 500 µl de muestra.
- Adicionar 3ml de butanol- HCl.
- Adicionar 100 µl de sulfato de amonio férrico.
- Agitar los tubos en vortex.
- Tapar y colocar en digiblock a 97-100°C durante 60min. (si el digiblock no alcanza la temperatura deseada, se puede utilizar un sartén y colocar arena, calentando este en una parrilla).
- Leer absorbancia a 550nm, contra el blanco que contendrá acetona al 70% en vez de muestra.

Cálculos:

$TC (\% MS) = (Absorbancia \text{ a } 550nm \times 78.26 \times \text{factor de dilución}) / (\% MS).$

## **2.5. Materia Mineral o Cenizas**

Se entiende por cenizas los residuos no volátiles que se obtienen al llevar a cabo la incineración de un alimento. Estas constan en esencia de óxidos metálicos y son ricas de iones metálicos que representan el contenido mineral de los alimentos. A continuación, se muestra cómo se realiza la técnica de determinación de cenizas mediante el método seco, es una técnica o proceso que permite estimar la cantidad total de minerales presentes en una muestra normalmente de alimento o sus variantes. (Bolívar, 2020)

Primer paso

La muestra se procesa de acuerdo con el método estándar que en su variante puede ser nacional e internacional. Se pesa dentro de un crisol que se ha calentado y pesado previamente junto con su tapa, hasta que su masa no varíe. Así se reduce el error de la pesada a causa de la humedad o residuos inapreciables.

## Segundo paso

El crisol, con la muestra en su interior, se coloca luego en la mufla y se deja calentando a una temperatura de 500 a 600 °C por espacio de 12-24 horas. Aquí la materia orgánica de la muestra reacciona con el oxígeno para convertirse en vapor de agua, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno, amén de otros compuestos gaseosos.

## Tercer paso

El crisol, con la muestra en su interior como se ve en la (Figura 10) se coloca luego en la mufla y se deja calentando a una temperatura de 500 a 600 °C por espacio de 12-24 horas. Aquí la materia orgánica de la muestra reacciona con el oxígeno para convertirse en vapor de agua, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno, amén de otros compuestos gaseosos.

Así, el porcentaje de cenizas viene a ser:

$$\% \text{cenizas} = (M \text{ cenizas} / M \text{ muestra seca}) \cdot 100 \text{ (base seca)}$$

$$\% \text{cenizas} = (M \text{ cenizas} / M \text{ muestra}) \cdot 100 \text{ (base húmeda)}$$

Este porcentaje con base seca significa que la muestra se deshidrató antes inclusive de pesarla para su incineración.



Figura 10. Estufa para determinar Cenizas

## 2.6. Determinación de nitrógeno total por el método de Kjeldhal

La determinación del nitrógeno incluye la descomposición total de los compuestos orgánicos mediante una digestión con ácido sulfúrico concentrado y catalizadores para formar sulfato de amonio, el cual posteriormente desprende el amoniaco con la adición del hidróxido de sodio; el amoniaco se recibe en ácido bórico y se titula con la valoración de HCl 0.1N. El método más usado para la determinación del nitrógeno orgánico es el método Kjeldahl y se basa en una valoración ácido-base.

A continuación, se muestra los reactivos, el procedimiento, cálculos y preparación de las soluciones.

### Reactivos

- Ácido sulfúrico concentrado
- Pastillas catalizadoras de cobre
- Hidróxido de sodio al 40 %
- Ácido bórico al 4 %
- Ácido clorhídrico 0. 1 N
- Indicador verde de bromocresol – rojo de metilo

### MATERIALES

- Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Tubo de digestión Büchi

### PROCEDIMIENTO

a) valoración del HCL 0.1n

b) preparación de la muestra

1. Pese en balanza analítica exactamente 0.25g de muestra previamente molida sobre un papel libre de nitrógeno, anote el peso exacto
2. Envuelva la muestra en el papel para evitar perdida de muestra

3. Coloque la muestra dentro de un tubo para digestión Büchi con 3 repeticiones y 3 blancos (tubo para digestión con papel libre de N)

### C) DIGESTIÓN

1. Precaliente el digestor Büchi al nivel 10 de temperatura por lo menos 10 minutos (220V)

2. Agregue a cada tubo 1 pastilla catalizadora de cobre y 12ml de ácido sulfúrico concentrado empleando un dispensador

3. Coloque el tubo captador de gases, así como los sujetadores de seguridad

4. Introduzca los tubos en el digestor, no olvide conectar las mangueras de succión. Encienda el lavador de gases (Scrubber)

5. La digestión tarda 1 hora compruebe que las muestras estén claras y si las observa turbias déjelas en digestión 15 minutos más.

6. Después de la digestión disminuya el calentamiento a cero y deje enfriar las muestras sin apagar el lavador de gases, esto tarda aproximadamente 30 minutos

### D) DESTILACIÓN

1. Abra la llave del agua de enfriamiento y encienda el destilador Büchi, aparecerá un mensaje de espera, al término de éste, presione la tecla Pre Heatin.

2. En un matraz Erlenmeyer de 250 ml adicione 30 ml de ácido bórico al 4 % y 5 gotas de indicador verde de bromocresol – rojo de metilo, para recibir el destilado.

3. Coloque cada uno de los tubos de digestión en el destilador y pulse la tecla start (NOTA: DESTILE PRIMERO LOS BLANCOS)

4. Verifique que la muestra esté totalmente alcalinizada (la muestra se torna negra)

5. Después de cinco minutos de destilación retire el matraz y titule con ácido clorhídrico 0.1 N hasta que vire de verde a rosa (NOTA: Titule primero los blancos para tomar la referencia, anote el volumen.)

## CÁLCULOS

$\% N = (14.01) (\text{ml muestra} - \text{ml blanco}) (\text{NHCl})$

$(\text{Peso de la muestra}) (10)$

Donde:

14.01 = Miliequivalente del nitrógeno

NHCl = Normalidad del ácido clorhídrico

ml muestra = ml de HCl 0.1N gastados en el destilado de cada muestra

ml blanco = ml de HCl 0.1N gastados con el destilado de los blancos

## PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

- Hidróxido de sodio al 40 %

La solución deberá ser preparada dentro de la campana de extracción y con un baño de hielo.

Pesar 2 Kg de hidróxido de sodio y colocarlo en un vaso de plástico de 10 Lts, disolver el hidróxido de sodio con 3 Lts de agua destilada, dejar enfriar la solución y agrega 2 litros más de agua destilada

- Ácido bórico al 4 %

Pesar 40 gramos de ácido bórico y disolverlo en 960 ml de agua destilada

- Indicador verde de bromocresol – rojo de metilo



Disolución A: Disolver 0.1 g de verde de bromocresol en 100 ml de metanol.  
Disolución B: disolver 0.07g de rojo de metilo en 70ml de metanol. Mezclar las soluciones A y B.

- Pastillas catalizadoras: Kjeltabs Cu/3.5 Foss Analitic. Catálogo 1527 0018.

### 3.9. Elaboración de concentrados

Se elaboraron cuatro concentrados identificados como tratamiento T0, T1, T2, T3. En el Cuadro 3. Se describe la composición específica de cada tratamiento, y la cantidad de cada uno de los ingredientes considerado en cada tratamiento.

#### Cuadro 3. Ingredientes de cada tratamiento en kilogramos.

Tratamientos	T0	T1	T2	T3
Pericón (g/kg)	0.0	0.2	0.4	0.6
Soya (g/kg)	0.75	0.75	0.75	0.75
Maíz molido (g/kg)	5.5	5.5	5.5	5.5

Fuente: Elaboración propia.

Los ingredientes dispuestos para los tratamientos se mezclaron de manera uniforme y se colocaron en botes previamente marcados con el tratamiento correspondiente, los tambos fueron colocados en un lugar cerrado como se observa en la Figura 11.



Figura 11. Tratamientos colocados en botes marcados

A todas las vacas se les dio rastrojo de maíz mojado con melaza para mejorar la palatabilidad a libre acceso.

### 3.9. Experimento con vacas lecheras y análisis de datos

En el experimento se usó el diseño de cuadro latino, se usa cuando se tienen tres factores a evaluar en una misma unidad experimental, por ejemplo, la ingesta de varios niveles de suplemento alimenticio, aplicado a vacas de diferente edad, en diferentes tiempos. En el experimento se usó un cuadro latino 4x4 repetido Cuadro 4. El cual incluye cuatro variables alimenticias: Maíz molido, pericón y minerales (fosforisal para vacas).

A continuación, se muestra el modelo general lineal para el diseño experimental de cuadro latino utilizado en el experimento y la ecuación general.

$$Y_{hij} = \mu + Y_h + T_i + B_j + E_{hij}$$

$\mu$ =media general

$Y_h$ =Efecto debido al periodo ( $h=1,2,3,4$ )

$T_i$ = Efecto del tratamiento ( $i=1,2,3,4$ )

$B_j$ =Efecto debido a las vacas ( $j=1,2,3,4$ )

$E_{hij}$ = error experimental

Los resultados se analizaron con un análisis de varianza utilizando el paquete estadístico de MINITAB (2000), cuando se observaron diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Las variables analizadas fueron fibra neutro detergente, fibra ácido detergente, proteína cruda, materia seca, cenizas, fenoles totales, taninos condensados, taninos totales grasa, proteína, lactosa, sólidos totales y pH. Se desarrolló el experimento con 8 vacas ubicadas en "El Paredon" del municipio de Almoloya de Juárez Figura 7. Estas vacas fueron sometidas a 4 tratamientos diferentes, cada una de las vacas pasó por los diversos tratamientos, se desarrollaron en cuatro periodos. Se utilizaron 4 vacas en un experimento y las otras 4 en el otro repitiendo los mismos tratamientos para los dos experimentos. Las vacas se pesaron al iniciar y finalizar cada periodo experimental, en una báscula Gallager para ganado bovino.

**Cuadro 4. Distribución de las vacas en el cuadro latino repetido**

Cuadro latino A			
Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4
T3 2658	T0 2658	T1 2658	T2 2658
T2 2654	T3 2654	T0 2654	T1 2654
T1 8005	T2 8005	T3 8005	T0 8005
T0 5034	T1 5034	T2 5034	T3 5034
Cuadro latino B			
T2 2646	T1 2646	T0 2646	T3 2646
T1 2657	T0 2657	T3 2657	T2 2657
T0 S/A	T3 S/A	T2 S/A	T1 S/A
T3 2656	T2 2656	T1 2656	T0 2656

Fuente: Elaboración propia.

## 2.9. Toma de Muestras y Análisis de Laboratorio.

Cada periodo experimental duró 14 días, de los cuales los primeros 11 días fueron de adaptación y los últimos tres días de evaluación la Figura 12. En cada día de evaluación se tomaron muestras de leche, heces y orina se ve Figura 13,14 y 15.



Foto 12. Vacas del experimento



Foto 13. Ordeña de vacas



Figura 15. Muestras de leche



Figura 14. Leche recolectada

Posteriormente al llevar a cabo la colecta de la leche, ésta se dispuso a refrigeración durante el transporte hasta laboratorio, posteriormente se realizó el análisis de las muestras con el analizador de leche Ekomilk (bond) se ve en la Figura 17. Se evaluó el contenido de: grasa, proteína, sólidos totales, lactosa y pH para este último se utilizó el potenciómetro (pH 10), se observa en la Figura 16.

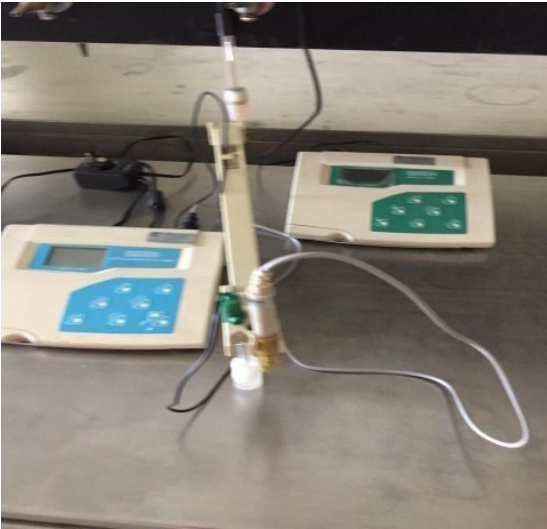


Figura 16. Potenciómetro (pH 10)



Figura 17. Ekomilk (Bond)

Las heces que se colectaron de las vacas lecheras del experimento se transportaron y se mantuvieron en refrigeración hasta su procesamiento en el laboratorio. Las muestras se colocaron en charolas de acero cubiertas con hojas de papel de estraza para protegerlas de una posible contaminación por contacto con la superficie, en un par de secadoras para suelos se puede apreciar en la Figura 18. Y se dejaron por una semana aproximadamente, se secaron a temperatura ambiente. A las heces se les determinó el contenido de fósforo se ve en la Figura 19. Y nitrógeno muestra la Figura 20.



Figura 18. Secado de muestras de las heces.



Figura 19. ~~Determinando~~  
Determinación de fósforo y nitrógeno



Figura 20. Análisis de nitrógeno

## CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En el Cuadro 5. Se muestran los resultados comparando las condiciones de las vacas antes del experimento y después de finalizado el mismo. Las variables consideradas fueron pesos y producción de leche. El peso fue diferente, ya que al inicio del experimento las vacas tenían un exceso de peso y con ello se consideraban obesas, al finalizar el experimento las vacas obtuvieron el rango de peso y se establecieron en lo de acuerdo con el peso requerido. El rendimiento de leche se mantuvo, de acuerdo con la condición corporal al inicio estaban en nivel 4 (condición obesa) y al final presentaron una condición nivel 3. La condición corporal ideal que se recomienda en las vacas lecheras es de 1.5 a 2.

### 3.1. Cuadro 5. Comparativo de experimentos

---

Variables	Antes Del Experimento	Después Del Experimento
Peso Promedio De Las Vacas	440 kg	460. 45 kg
Producción Promedio De Leche	11.51 kg	11.07 kg
Condición Corporal	4	3
Grasa en leche (g/kg)	5.50 g/kg	3.29 g/kg
Proteína en leche (g/l)	3.45 g/kg	2.72 g/kg
Lactosa (g/kg)	4.96 g/kg	3.92 g/kg
Sólidos totales (mg/l)	9.11 mg/l	7.37 mg/l
Potencial de hidrógeno (pH)	5.21	6.67

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Cuadro 6. Análisis bromatológico de los concentrados experimentales

Variables	Tratamientos				EEM	P
	T0	T1	T2	T3		
	0%	2%	4%	6%		
Fibra Detergente Neutro (FDN)	14.7 <sup>c</sup>	16.9 <sup>b</sup>	17.02 <sup>b</sup>	20.43 <sup>a</sup>	1.51	0.006
Fibra Detergente Ácido (FDA)	2.59 <sup>c</sup>	2.96 <sup>c</sup>	3.75 <sup>b</sup>	4.17 <sup>a</sup>	0.33	0.016
Proteína Cruda (PC)	11.9 <sup>b</sup>	12.6 <sup>b</sup>	13.63 <sup>a</sup>	14.30 <sup>a</sup>	0.62	0.001
Cenizas (C)	3.4 <sup>c</sup>	3.85 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	4.3 <sup>a</sup>	0.37	0.008
Materia seca (MS)	93.9 <sup>b</sup>	94.3 <sup>b</sup>	95.35 <sup>b</sup>	96.3 <sup>a</sup>	0.79	0.001

FDN= Fibra detergente neutro; FDA=Fibra Detergente ácido; T0= Tratamiento cero dieta control; T1= Inclusión de *Tagetes* al 2 %; T2= Inclusión de *Tagetes* al 4%; T3= Inclusión de *Tagetes* al 6%; EEM= Error Estándar de la Media. Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 6. presenta los resultados del análisis bromatológico realizado a los tratamientos que se les suministro a las vacas en el experimento. En el caso de la incorporación del pericón (*Tagetes lucida*), se presenta un incremento en los contenidos de FDN y FDA, especialmente en los tratamientos T2 y T3 donde se incorpora el pericón al 4 y 6 % respectivamente. Esto se debe a que el pericón es una planta con alto contenido de fibras. Díaz-Medina (2018) reportó que el contenido de FND fue de 47.86 % y 34.25% de FDA en Pericón (*Tagetes lucida*.)

La presencia de fermentación de celulosa y hemicelulosa en la dieta incrementa el número de microorganismos fibrolíticos, estimulando la digestibilidad de otras fuentes bajas en fibras menos degradables como lo es el rastrojo de maíz. En los tratamientos se observa que a mayores concentraciones de pericón (*Tagetes lucida*), aumenta la FDN. Este hallazgo es relevante porque la FDN en la dieta del



animal aporta materia seca (rastrajo de maíz). Las vacas lecheras en lactancia consumirán más forraje, el cual posee un elevado contenido energético, cuando los forrajes son altos en FDN ya que existe una relación lineal entre la digestibilidad de la fibra y su contenido de energía metabolizable. (Santini 2004).

Se observa que la mezcla de rastrojo de maíz y pericón (*Tagetes lucida*) resultó en una mayor FDN del rastrojo, la cual paso de 17.02 en el (T2) a 20.43 al (T3), cuando se incluye sólo un 60% de pericón (*Tagetes lucida*), esto sugiere que la inclusión de (TL) mejora el ambiente ruminal de las vacas lecheras, debido al aporte de proteína y carbohidratos solubles y degradables en el rumen. Por otro lado, el efecto debido a los periodos fue significativo ( $p < 0.05$ ) para todas las variables, con esto se confirma que el estado de madurez y la especie de arvenses determinan la composición química y la digestibilidad de la planta y que el manejo de estos dos factores son determinantes para lograr un efecto positivo en la alimentación del ganado obteniendo ganancias tanto económicas como ambientales.

Los resultados de fibra detergente ácida (FDA) en los tratamientos (T0, T1, T2 y T3) son diferentes ( $P < 0.05$ ). Noreña (2004) aclara que la fibra detergente ácida (FDA), está relacionada con el nivel de digestibilidad en el rumen de las vacas lecheras. Así pues, cuanto mayor sea este índice, el alimento será menos digerible.

Al incrementar el nivel de inclusión de pericón en el concentrado, el contenido de proteína cruda (PC). El mayor % de PC obtenido fue del 12%. tuvo aporte notable con la adición de los diferentes porcentajes; ya que se reportan valores del 12 % como un valor ideal reportó (Noreña, 2004).

Para la variable cenizas (C) hay un incremento constante, en cada uno de los tratamientos, y en los porcentajes de pericón. Díaz-Medina (2018) reporta que el contenido de cenizas en la dieta fue de 7.9 %, dicho incremento se relaciona con la adición de minerales.

Así mismo, al incorporar pericón (*Tagetes lucida*) existe un incremento de materia seca (MS) en los tratamientos T2 y T3 (tratamientos con mayor contenido de pericón), 4 y 6 % de inclusión respectivamente. García (2004) reportó que el contenido de materia seca (MS) fue de 98.6 %. Lo que se observa que al incrementar el contenido de pericón en la dieta provoca un aumento en la densidad energética del animal.

### 3.3. Cuadro 7. Composición química de los ingredientes que integran la dieta.

Ingrediente	FDN	FDA	Proteína	MS	Cenizas
Porcentaje (%)					
Rastrojo de maíz	59.2	34.0	6.5	92.0	6.2
<i>Tagetes lucida</i>	53.3	35.9	4.8	92.7	5.7
Soya	22.9	16.4	47.5	89.4	7.0
Maíz molido	23.9	4.2	11.0	89.0	3.4

FDN= Fibra detergente neutro; FDA=Fibra Detergente ácido; T0= Tratamiento cero; T1= Tratamiento uno; T2= Tratamiento dos; T3= Tratamiento tres; EEM= Error Estándar de la Media; NS=  $P>0.05$ , \*  $P<0.05$ , \*\*\*  $P<0.001$ .  
Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 7. se muestran los resultados obtenidos del análisis de bromatológico de los componentes de la dieta suministrada a las vacas.

En el caso de *Tagetes lucida* presenta el contenido más alto de (FDN), esto se debe a las características físicas de la planta, ya que tiende a ser de tallo leñoso. Así también, influye la etapa fenológica en la que se colectó la planta, que fue en la etapa de floración, por lo que la planta ya estaba más madura y lignificada siendo una fuente de celulosa considerable (Van Soest, 1994). Andrade-Rivero *et al.* (2012) reportó que el contenido de (FDN) fue de 47.43% y 20.68% de (FDA), que son más bajos que los reportados en este trabajo.

Para el caso de FDN se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en ingredientes; el mayor contenido por especie lo obtuvo rastrojo de maíz con una cantidad de 59.2% de FDN, (*Tagetes Lucida*) tiene un aporte importante de FDN con un 53.3%, el maíz molido cuenta con un 23.9%, mientras que para el caso de la soya se observó que el contenido de FDN disminuyó 22.9%.

El contenido de FDA es mayor en pericón (*Tagetes lucida*) con 35.9%, lo cual puede deberse al contenido de FDA de pericón. El contenido de FDA de algunas especies como rastrojo de maíz cuenta con 34%, el ingrediente soya y maíz se mantiene por debajo de los demás con un 16.4%.

Por lo tanto, se infiere que las dietas elaboradas para este experimento son energéticas. La fibra es el principal hidrato de carbono disponible para los rumiantes y utilizado por los microorganismos del rumen para la obtención de energía para su crecimiento. Al incluir fibra en las dietas se incrementa la eficiencia de síntesis microbiana, debido a que se mejoran las condiciones de rumia en el animal. Asimismo, aumenta la digestibilidad de la materia orgánica como lo menciona Hespell (1988).

Si se toma en consideración que las menores tasas de crecimiento microbiano se producen cuando se emplea la celulosa como única fuente de energía. Por otra parte, la inclusión de carbohidratos no estructurales como los solubles y el almidón (maíz y soya) ayuda a un balance entre los tipos de carbohidratos suministrados ya que es esencial en las dietas haciendo una producción eficiente. El suministro de hidratos de carbono no estructurales incrementa la densidad energética de las dietas, lo cual en líneas generales mejora el consumo total de energía y es determinante de la producción de proteína bacteriana ruminal (consumo total de MO fermentable), (Stefaňuk, 2014).

### 3.4. Cuadro 8. Contenido de taninos y fenoles por tratamiento.

Tratamiento	T0	T1	T2	T3
Porcentaje (%)	0%	2%	4 %	6%
Taninos				
Condensados. (TC)	5.54	6.43	7.38	8.92
Fenoles Totales (FT)	14.62	40.38	47.50	59.01
Taninos Totales. (TT)	11.89	32.96	38.78	48.20

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 8. se muestra los resultados de los análisis echó a los *metabolitos secundarios* que corresponden a cada uno de los tratamientos del experimento. Estudios muestran que muchos metabolitos secundarios de las plantas tienen potencial favorable para la fermentación ruminal, cuando se utilizan en concentraciones relativamente bajas. Tal es el caso del pericón (*Tagetes lucida*) en dosis adecuadas, la eficiencia de síntesis microbiana y el rendimiento microbiano, se incrementa al incluir saponinas o taninos condensados de acuerdo con lo que reporta (Makkar, 2003).

Los taninos inciden en la síntesis de proteína microbiana de diferentes formas como en la producción de biomasa microbiana que se incrementa al activar los taninos. También, incrementa la cantidad de proteína no degradable de la dieta en el rumen; ya sea directamente por su acción en los microorganismos ruminales o por su interacción con los nutrientes y el suministro de energía y sus efectos en el ecosistema ruminal de la vaca (Makkar, 2003).

### 3.5. Cuadro 9. Composición química de la leche de los diferentes tratamientos adicionados con (*Tagetes lucida*) para vacas lecheras.

Variable	T0	T1	T2	T3	EEM	P
	%	%	%	%		
Grasa	3.28	3.26	3.52	3.1	0.02	0.12 <sup>NS</sup>
Proteína	2.79	2.63	2.72	2.76	0.01	0.77 <sup>NS</sup>
Lactosa	4.01	3.77	3.94	3.97	0.03	0.78 <sup>NS</sup>
Sólidos totales	7.37	6.88	7.13	8.11	0.32	0.47 <sup>NS</sup>
Potencial de hidrógeno (pH)	6.67	6.65	6.70	6.66	0.00	0.45 <sup>NS</sup>

T0= Tratamiento cero; T1= Tratamiento uno; T2= Tratamiento dos; T3= Tratamiento tres; EEM= Error Estándar de la Media. Unidades de medición (g/L). N/S No Significativo. Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 9. muestra las variables: grasa (g), proteína (p), lactosa (l), sólidos totales (st) y pH. Que corresponden a la composición química de la leche que se obtuvo de las vacas del experimento.

En base a los resultados obtenidos se revisaron ante la norma COFOCALEC 2004 NOM-155-SCFI—2003, con el fin de saber sus parámetros de la composición química de la leche, y clasificar de acuerdo con sus características.

El contenido de grasa se observa que no hay diferencia ( $P > 0.05$ ) en los tratamientos evaluados. En la literatura Elouadaf (2019) reporta 4.14 para el caso de grasa. La grasa (lípidos) no constituye un porcentaje significativo de la materia seca total de las dietas convencionales consumidas por los rumiantes (5-8%). Sin embargo, ellos aportan nutrientes esenciales para el animal. Al igual que otros compuestos orgánicos y proteínas, los lípidos son alterados drásticamente por los microorganismos ruminales.

Santini (2014), afirma que los lípidos (grasa) se caracterizan por tener una concentración energética mayor que los hidratos de carbono y las proteínas. Como

regla tienen 2,25 veces más energía que los hidratos de carbono. Además de su mayor concentración energética, se consideran alimentos fríos ya que durante el proceso de digestión y metabolismo producen menos calor que las proteínas y los hidratos de carbono.

Las dietas que comúnmente consumen las vacas lecheras contienen entre 2 y 4% de lípidos que contribuyen directamente con aproximadamente el 50% de la grasa butirosa de la leche, siendo además el componente con mayor densidad energética de la ración. La concentración de lípidos es relativamente baja en forrajes, variando entre 4 y 9%, siendo alta en otros tipos de alimentos como las semillas de oleaginosas (semillas de algodón, soja, etc.) donde puede superar el 20%.

En cuanto a los lípidos de los forrajes están típicamente constituidos por un 70 a 80% ácidos grasos, tendiendo a estar a temperatura ambiente en la forma líquida (aceites). Por otro lado, los lípidos de origen animal contienen de 40 a 50% de ácidos grasos saturados, permaneciendo a temperatura ambiente en estado sólido (grasas). El grado de insaturación está relacionado con la digestibilidad de estos, y su efecto negativo sobre la población bacteriana (Santini, 2014).

Se revisaron los siguientes parámetros de la composición química de la leche, y se clasifico de acuerdo con la COFOCALEC 2004 NOM-155-SCFI—2003. En el caso de la variable en grasa cuenta con una especificación de CLASE A  $\geq 32$  por la norma NOM-155-SCFI—2003.

En la proteína se observa que no hay diferencia ( $P > 0.05$ ) alguna en los cuatro tratamientos. (Elouadaf 2019) reporta 2.98%, que es baja comparada con estos resultados. La proteína en el animal en los nuevos sistemas de alimentación para vacas lecheras reconoce la importancia que tiene la degradación de la proteína en el rumen (PDR) del alimento, la cual favorece el desarrollo de la síntesis microbiana y sostiene el funcionamiento del rumen. Dicho trabajo es llevado a cabo a partir de la síntesis de la fracción degradable del nitrógeno. Por lo tanto, debe haber una conversión de la proteína degradable en proteínas microbiana que creará un perfil en aminoácidos ideal.

Una carencia en proteína degradable puede limitar la digestión de los hidratos de carbono estructural (celulosa) y no estructurales (almidón). En lo que respecta a la proteína no degradable en rumen (RUP) abastecen al organismo del animal de proteína metabolizable.

Las proteínas de los alimentos son degradadas por los microorganismos del rumen vía aminoácidos para formar amoníaco y ácidos orgánicos. El amoníaco también viene de las fuentes de nitrógeno no-proteico en los alimentos y de la urea reciclada de la saliva y a través de la pared del rumen. Niveles demasiado bajos de amoníaco causan una escasez de nitrógeno para las bacterias y reduce la digestibilidad de los alimentos.

De acuerdo con la norma COFOCALEC 2004 NOM-155-SCFI—2003 para el caso de proteína, se tiene un parámetro en la CLASE C con una especificación de 28 a 29.9 dado por la NOM-155-SCFI—2003.

En el caso de la lactosa no hay diferencia alguna ( $P>0.05$ ) en los tratamientos. Elouadaf (2019) reporta 4.46%. La clasificación para la variable lactosa acuerdo a la COFOCALEC 2004 NOM-155-SCFI—2003, está por debajo de lo establecido por la norma, ya que esta cuenta con una especificación menor, se establece el valor de 4.3 a 5.0 NOM-155-SCFI—2003.

En los sólidos totales no hay diferencia alguna en los tratamientos ( $P>0.05$ ) se mantiene estable. Esto indica que a pesar de que se incluye un forraje con taninos, el nivel de inclusión utilizado en este experimento no tuvo efectos sobre la calidad de la leche. Para sólidos totales, se especifica que se debe tener un valor mínimo a 83 establecido por la norma NOM-155-SCFI—2003.

En este caso está por debajo de lo establecido, para el tratamiento 3 (T3) es el que más se aproxima esto quiere decir que al haber una cantidad mayor de pericón hace que incremente el valor de sólidos.

En el Cuadro 10. Se encuentran dos variables representativas para el experimento: Rendimiento de leche (RL) y peso de las vacas (Kg) que fueron pesadas respectivamente en cada uno de los cuatro tratamientos.

### 3.6. Cuadro 10. Producción de leche y peso de las vacas del experimento.

Variable	T0	T1	T2	T3	EEM	P
	%	%	%	%		
Rendimientos de leche (ml/l)	11.06	11.43	11.03	10.77	0.08	0.43 <sup>NS</sup>
Peso de las vacas (Kg)	458.50	474.90	447.10	461.30	163.88	0.51 <sup>NS</sup>

*T0= Tratamiento cero; T1= Tratamiento uno; T2= Tratamiento dos; T3= Tratamiento tres; EEM= Error Estándar de la Media; NS= P>0.05, \* P<0.05, \*\*\* P<0.001. Fuente: Elaboración propia.*

El rendimiento de leche (RL) no presentó diferencias significativas ( $P>0,05$ ) en alguno de los cuatro tratamientos. Se puede ver en las cifras del Cuadro 10. Que no se aprecia una ganancia sustancial en cuanto a la cantidad de leche producida por las vacas. Al respecto, se argumenta, que los animales fueron elegidos de acuerdo con el momento de lactación y al número de partos. Se utilizaron 8 vacas lecheras. Al inicio del experimento, el peso medio de las vacas fue de 440kg, una producción diaria de leche de 11,515 kg y de 1 a 4 partos por vaca.

La producción de leche está directamente relacionada con el peso del animal y la alimentación. Mientras que los resultados de Sainz (2017) fueron de 12 kg de leche por vaca por día, al evaluar granjas en pastoreo tradicional.

Hernández *et al.* (2011) reporta un promedio de 18 kg de leche/vaca/día y Albarrán *et al.* (2014) con rendimientos de 19,0 kg/vaca/día, en experimentos donde la alimentación de las vacas en pastoreo fue complementada con ensilados y concentrados.



Un punto de referencia de cómo se da un buen volumen de producción de leche por cantidad de energía que se suministra al animal: Es el caso de los ensilados, en nuestro caso se administró rastrojo de maíz, se tuvo una respuesta favorable en el rendimiento de leche, entre otros factores que también influye: es el tipo de bovino, en nuestro caso son de la raza pardo suizo y vaquillas.

De acuerdo con lo que menciona Stefañuk (2014), se presenta la siguiente premisa que apoya por qué se tienen altas y bajas en la producción de leche en las vacas del experimento: Cuando se suministra una dieta rica en granos aumenta la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) incrementándose el ácido propiónico sobre el acético.

Ante esta situación la producción total de leche puede incrementarse, dado que hay una disponibilidad mayor de glucosa originada de la síntesis hepática utilizando como sustrato al ácido propiónico, con una posible caída en la concentración de grasa debido a la menor disponibilidad de acetato. Por lo contrario, en una situación donde se suministran forrajes, pero finamente picados (sin fibra efectiva), el porcentaje de ácido acético disminuye por debajo del 40%, mientras que el propiónico puede incrementarse por encima del 30%.

En resumen, cambios en la proporción de forraje/concentrado en la dieta tiene un profundo efecto en la cantidad y proporción de los AGV que influyen: La producción de leche el porcentaje de grasa butirosa, la eficiencia de conversión del alimento en leche, el valor relativo de la dieta para la producción de leche y ganancia de peso vivo (Stefañuk, 2014).

Al inicio del experimento la condición corporal de las vacas era de 4.0. Se debe de tomar en cuenta, que al inicio del experimento las vacas comían un exceso de suministro por períodos prolongados, lo cual significaba tener vacas gordas, (estado corporal 4–4,5). Por lo tanto, se observaron variaciones en los pesos (kg) y en la producción de leche. El caso inverso, es decir el suministro de dietas de baja densidad energética, mucho forraje y de baja calidad, limita el consumo total de

energía, la producción de leche y proteína, produciéndose en la vaca una pérdida de estado corporal.

Elouadaf (2019) reportó que el rendimiento de leche es de 32.9 litros en vacas tipo Holstein. Sin embargo, las vacas que se utilizaron en esta evaluación tienen una producción menor de 11.5 litros de leche por vaca, esta producción es acorde con lo reportado por Pérez (2014) en sistemas de producción de leche campesinos.

La extensión con que el amonio es utilizado por las bacterias para la síntesis de proteína microbiana es fuertemente dependiente de la disponibilidad de energía la cual es generada, fundamentalmente, de la fermentación de hidratos de carbono.

### 3.7. Cuadro 11. Concentración de nitrógeno y fósforo excretado en heces.

Variable	T0	T1	T2	T3	EEM	P
						0.78 <sup>N</sup>
Nitrógeno (g/d)	9.60	9.64	9.49	9.39	0.04	s
Fósforo (% de la M.S) (ppm)	1598.00	1361.90	1.220.90	1442.00	15260.25	0.21 <sup>N</sup> s

T0= Tratamiento cero; T1= Tratamiento uno; T2= Tratamiento dos; T3= Tratamiento tres; EEM= Error Estándar de la Media; NS= P>0.05, \* P<0.05, \*\*\* P<0.001. Fósforos expresa sus unidades en partes por millón (ppm). Nitrógeno expresa sus unidades en porcentaje (%). Fuente: *Elaboración propia*.

Las concentraciones de nitrógeno son similares en los cuatro tratamientos por lo tanto no se haya una diferencia significativa (P>0.05) en cada uno de los tratamientos que se aplicaron con los diferentes porcentajes de *Tagetes lucida*. Se puede apreciar en el Cuadro 11. En la literatura, García (2004) reporta que el contenido de nitrógeno fue de 12.6 %. El alimento de los rumiantes proviene principalmente de los aminoácidos, la proporción mayor de aminoácidos disponible para el rumiante se origina en la proteína bacteriana sintetizada en el rumen que constituyen las proteínas y de fuentes de nitrógeno no proteico (NNP). En el caso de los tratamientos elaborados para este experimento se muestran cantidades adecuadas de proteínas los cuales se pueden ver en el cuadro 8. Que fueron utilizadas por las vacas para sus funciones vitales. Los bovinos retienen sólo una

parte del nitrógeno (N) que consumen, siendo del 15 al 35 % para vacas lecheras, los excedentes de nitrógeno (N) vuelven al medio a través de las excretas como es la orina y las heces (Powell *et al.*, 2010).

También hay pérdida de nitrógeno (N) que se debe a las bacterias originadas en intestino grueso, que depende de la cantidad de materia orgánica (MO) que puede ser fermentada en ese sitio, especialmente almidón no digerido de los granos. Como promedio, por cada kg de materia seca (MS) ingerida, se produce un incremento de 33 g de proteína endógena perdida en las heces (Stefañuk, 2014).

Para saber qué pasa con el resto del nitrógeno (nitrógeno en el estiércol, nitrógeno en la orina, nitrógeno lixiviado o volatizado) que se mueve dentro del sistema, se debe llevar a cabo un control de nitrógeno que hace más evidente las diferencias entre entradas y salidas de nitrógeno en los sistemas de producción de leche. (Chakwizira *et al.*, 2015).

El nitrógeno (N) urinario es el resultado del catabolismo de las proteínas corporales y de los excedentes de nitrógeno aportado por la ración, que implican un exceso de nitrógeno degradable en el rumen que no es aprovechado por el microbiota ruminal o un exceso de aminoácidos no degradados a nivel intestinal no utilizados por el animal (Calsamiglia *et al.*, 2010).

Ante esta situación, se debe de considerar el elemento que en el sistema de las vacas lecheras es la urea y el ácido úrico excretado son moléculas muy inestables que se transforman rápidamente al estado de amonio pudiendo emitir grandes cantidades de amoníaco al aire. La excreción de nitrógeno por los animales también puede hacerse por vía fecal. Diferentes estudios demuestran que las dietas con diferente concentración de proteína presentan excreciones similares de nitrógeno (N) fecal, pero difieren en la excreción de nitrógeno (N), (Edouard *et al.*, 2016).

Cuando el animal consume una dieta baja en proteína se vuelve sumamente eficiente en el uso del nitrógeno (N), no existiendo prácticamente pérdidas en orina, ya que es reciclado al rumen con el objetivo de incrementar la concentración de

nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), afectando positivamente al crecimiento bacteriano y a la tasa de digestión de la materia orgánica (MO), (Stefaňuk, 2014).

La urea se transforma rápidamente de nuevo en amonio, que los microbios pueden reutilizar para su síntesis de proteínas microbianas. Los vertebrados convierten el amonio en formas biológicamente neutras, como la urea o el ácido úrico, que excretan a través de la orina durante la micción. Esta conversión tiene un coste energético muy elevado. El nitrógeno (N) urinario es el resultado del catabolismo de las proteínas corporales y de los excedentes de nitrógeno aportado por la ración, que implican un exceso de nitrógeno degradable en el rumen que no es aprovechado por el microbiota ruminal o un exceso de aminoácidos no degradados a nivel intestinal no utilizados por el animal (Calsamiglia, 2010).

La clave para la eficiencia en el uso del N en sistemas de producción ganadero radica fundamentalmente en la alimentación (Powell *et al.*, 2011). Un uso eficiente de los componentes de la dieta, donde se controle el consumo de proteína reduce la entrada de N y por ende la excreción de este en la orina y estiércol. De esta forma se minimizan las pérdidas en suelo, agua y aire (Nousiainen *et al.*, 2004), lográndose un equilibrio entre consumo y producción de N (Pardo *et al.*, 2008).

Estudios realizados por Ryan *et al.* (2011), demuestran que un aumento del 18 % al 22 % de proteína cruda contenido en la dieta resultó un incremento del 30 % del N excretado, del cual más del 70 % se deposita en el suelo a través de la orina. En cambio, Powell *et al.* (2011), refieren que cuando la proteína cruda de la dieta varía entre 135 a 194 g de PC/kg de MS, el nitrógeno (N) se incrementa entre un 55 a 82 % en la excreción urinaria total. Se considera que las vacas lecheras excretan entre el 75 al 80 % del N que consumen.

El nitrógeno (N) que entra al organismo se metaboliza en el rumen, donde una parte es utilizada por la flora ruminal y la otra es transformada en amoníaco y este a urea en el hígado. Excretándose en forma de N ureico, este N ureico al llegar al suelo es rápidamente asimilado por los microorganismos y convertido en amoníaco (Benchaar *et al.*, 2014).

En cuanto a las concentraciones de fósforo, en el tratamiento cero (T0) se obtuvo un resultado sustancioso debido a que no tiene inclusión del aditivo, en cuanto al resto de los tratamientos presentan cifras similares, por lo tanto, no se observó una diferencia significativa ( $P>0.05$ ). Tomando en consideración que se les aplicaron diferentes porcentajes de pericón (*Tagetes lucida*). Vieyra (2004) propone que, para una vaca de 600 kg, al inicio de la lactancia con una producción de leche de 25 litros por día y su requerimiento total diario de P, incluyendo mantenimiento, es de 63 gramos. Suponiendo que la digestibilidad real del P suministrado en la dieta es aproximadamente 55%, entonces 35 g de fósforo será absorbido del aparato digestivo y 28 g serán excretados en la materia fecal. Bajo este criterio se infiere que para las vacas del experimento que tienen un peso en promedio de 450 kg, el requerimiento serio de 35 g de fósforo (P) del cual 20 g están disponibles para funciones digestivas y 15 g de P son excretados.

Cabe señalar que un buen aporte de minerales en la ración para las vacas es esencial para mantener la salud y mejorar su rendimiento productivo. Este es el rol que cumplen los minerales en particular el fósforo en el ambiente ruminal al mejorar la digestibilidad y aprovechamiento de forrajes. Por ello hay que alimentar bien a las bacterias y protozoarios del rumen (Vieyra, 2004).

Todos los procesos fisiológicos que implican una ganancia o pérdida de energía se realizan mediante la formación o la destrucción de “enlaces fosfato” que acumulan energía. En lo que respecta a la pérdida endógena de P fecal y urinaria puede ser además reducida en casos de insuficiencia dietaria por la acción de una hormona secretada por la glándula paratiroides la cual aumenta la recirculación salival y la retención de P en los riñones (Bodas *et al.*, 2012).

## CONCLUSIONES GENERALES

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo en el que se evalúa el efecto de tres niveles de proteína bruta en la dieta de vacas lecheras sobre la reducción de la excreción de nitrógeno (N) y fósforo (P) sin que la cantidad ni la calidad de la leche se vean afectadas, se puede concluir que:

1. A pesar de que en la dieta se incluyó el pericón (*Tagetes lucida*) en diferentes niveles de inclusión, y que esta planta por el contenido de taninos que presenta podría mejorar la fermentación ruminal y por lo tanto la productividad, no se observaron diferencias significativas. Por lo que no existen efectos al incluir a esta especie a estos niveles de inclusión
2. El ganado lechero en el primer tercio de lactación puede tolerar durante al menos dos semanas, a una reducción de proteína en la ración al 14% de PB sin que la ingestión de materia seca, incluido el consumo del Nitrógeno (N) ni la producción de leche y su contenido de grasa y proteína se vean afectadas.
3. El análisis de nitrógeno es un indicador de la eficiencia de utilización de Nitrógeno (N) permitiendo identificar puntos críticos y de oportunidades dentro de los sistemas. Debido a que no se presentaron efectos en la composición de la leche, se sugiere incrementar los porcentajes de pericón (*Tagetes lucida*) y las variables alimenticias en la dieta.
4. En cuanto al peso (Kg) de las vacas si se observó un cambio favorable con la inclusión de diferentes porcentajes en los tratamientos ya que inicialmente tenían una condición obesa. Respecto a la producción de leche se mantuvo de acuerdo con el porcentaje de inclusión en los tratamientos y la inclusión del pericón.
5. Al elaborar una dieta baja en proteína se refleja una disminución en el porcentaje en las emisiones de fósforo (P) y nitrógeno (N) de a las vacas lecheras en heces y orina ya que, a mayor porcentaje de proteína en los tratamientos, mayor serán las emisiones que generen los bovinos.

6. Al utilizar una dieta baja en proteína con la finalidad de contribuir a la disminución de emisiones de fósforo (P) y nitrógeno (N) en heces y orina. También presentaron concentraciones bajas, lo cual permite disminuir las emisiones al ambiente; sin afectar la productividad animal.

### **Recomendaciones**

Esta estrategia alimenticia se sugiere ser validada por períodos más largos de estudio y para otros sistemas de manejo. El manejo de la calidad del purín se debe considerar la totalidad de la cadena de generación, almacenamiento y distribución con el fin de identificar e introducir medidas para optimizar el reciclado de nutrientes y mitigar las excretas.

## BIBLIOGRAFÍA

Albarrán, Portillo. B. Avilés Nova, F. García Martínez, A. Rebollar Rebollar. S, Ortiz Rodea. A. Salas Reyes. G. I. (2014) La producción de Bovinos de doble propósito en el trópico seco del centro de México y su contribución al desarrollo rural sustentable. En: Arriaga-Jordán, C. M. y Anaya-Ortega, J. P. compiladores. Contribución de la producción animal en pequeña escala al desarrollo rural. Editorial REVERTE. Barcelona. España.

Andrade-Rivero E., A. R. Martínez-Campos, O. A. Castelán-Ortega, J. Ríos-Quezada, Pacheco-Ortega, J. G. Estrada-Flores. (2012). Producción de metano utilizando plantas taníferas como substrato en fermentación ruminal in vitro y efecto de extractos fenólicos en la microflora ruminal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 15 (2): 301-312.

AOAC. (1990) Official Methods of Analysis. 15th Edition, Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.

Broderick, G. A. (1996). Introduction. En: Conference: Altering Ruminant Nitrogen Metabolism to Improve Protein Utilization. *Journal of Nutrition*. 126:1324s.

Bell A, Bauman D. (1997). Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*. 2: 265–278.

Benchaar, C., Hassanat, F., Gervais, R., Chouinard, P, Y., Petit, H, V., Massé, D, I. (2014). Methane production, digestion, ruminal fermentation, nitrogen balance, and milk production of cows fed corn silage- or barley silage-based diets. *Journal of Dairy Science*. 97: 961-974.

Bodas-R, Amor-J, Andrés-S, Llorente-P, Vidal-J M y Giráldez- F.J. 2012. Uso eficiente del fósforo en la alimentación de los rumiantes. ITACYL. Valladolid. Instituto de Ganadería de Montaña (CSIC-ULE). <https://www.criespana.com/actualidad/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-alimentacion-de-los-rumiantes/3/>. Fecha de consulta: 02/06/2021.



Bravo, D., D. Sauvant, C. Bogaert, and F. Meschy. 2003. Quantitative aspects of phosphorus excretion in ruminants. *Reproduction Nutrition Development*. 43 (3): 285-300.

Broderick, G. A., and M. K. Clayton. 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science* 80(11): 2964-2971.

Castellanos, S; Gamarra, J; Gómez, C; Fernández, M. 2017. Amonificación de la Panca de Maíz (*Zea mays* L) con Tres Niveles de Urea para la Mejora de su Digestibilidad *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, RIVEP*. 28 (1): 78-85.

Cárdenas-P. G; Peruano-C; 2010. Manejo Y Alimentación Del Ganado Bovino De Leche. Instituto Nacional De Innovación Agraria. Lima Perú. 1ª. Ed. 17 p.

Capulin–Grande, J., Mohedano–Caballero L., Sandoval–Estrada, M., y Capulin–Valencia J. C. 2011. Estiércol bovino líquido y fertilizantes inorgánicos en el rendimiento de jitomate en un sistema hidropónico. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17 (2): 105-114.

Cattle-D. 2019. Fósforo Importancia, Problemas Ambientales y Requerimientos en Ganado de Leche. DAIREXNET. <https://dairy-cattle.extension.org/fosforo-importancia-problemas-ambientales-y-requerimientos-en-ganado-de-leche/>. Fecha de consulta. 02/06/2021

Calsamiglia, S; Hurón, A. Reynolds, C. K. Kristensen, N. B. Van Vuuren, A.M., 2010. Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal*. 4 (7): 1184-96.

Chakwizira, E., Ruitter, J.M. y Maley, S., 2015. Effects of nitrogen fertiliser application rate on nitrogen partitioning, nitrogen use efficiency and nutritive value of forage kale, *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 58, (3). 259-265.

COFOCALEC 2004 NOM-155-SCFI—2003. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación.

CONABIO 2016 Tagetes lucida Cav. Pericón. (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/tagetes-lucida/fichas/ficha.htm>. Fecha de consulta. 02/06/2021.

Correa-C. 2001. El Modelo Nrc. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional De Colombia Sede Medellin. Departamento de Producción Animal. P. 2-21. [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_agronomia/Modelo\\_NRC\\_2001.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Modelo_NRC_2001.pdf). Fecha de consulta. 02/06/2021.

del Prado, A., Chadwick, D., Cardenas, L., Misselbrook, T., Scholefield, D. y Merino, P. 2010. Exploring systems responses to mitigation of GHG in UK dairy farms. Agriculture, Ecosystems & Environment. 136: 318–332.

Díaz-Medina, L. K. 2018. Evaluación de la calidad nutritiva y actividad antioxidante de tres especies de arvenses incluidas como aditivo en la alimentación de ovinos. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México.

Elizondo Salazar J. 2006. El nitrógeno en los sistemas ganaderos de leche. Obtenido de Agronomía Mesoamericana. 17: 69-77.

Fernández-Marcos. M.L. 2000. Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas. En: Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola. University of Santiago de Compostela. [\(PDF\) Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas \(researchgate.net\)](#). Fecha de consulta. 02/06/2021.

EPA. 2006. Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020. Washington, DC, EPA. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000ZL5G.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006%20Thru%202010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C06THRU10%5CTXT%5C00000000%5C2000ZL5G.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=3&slide>. Fecha de consulta. 02/06/2021.

Esqueda-E. V. A; Montero-L. M; Juárez-Lagunes. I. F; 2010 El control de arvenses en la productividad y calidad del pasto llanero, Agronomía Mesoamericana. 21 (1) 145-157.

Escobosa-A. 2000. 9. Alimentación. Producción de leche en ganado bovino. pág. 1-62. [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_agronomia/Requerimientos\\_de\\_Vacunos\\_de\\_Leche.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Requerimientos_de_Vacunos_de_Leche.pdf). Fecha de consulta. 02/06/2021.

Edouard, N.; Hassouna, M.; Robin, P.; Faverdin, P., 2011. Efecto del nivel de proteína en la dieta sobre la excreción de nitrógeno y las emisiones de gases de efecto invernadero en vacas lecheras lactantes. Avances en biociencias animales. Simposio internacional sobre nutrición de herbívoros.

Edouard, N.; Hassouna, M.; Robin, P.; Faverdin, P., 2016. Suministro de proteína baja degradable para aumentar la eficiencia del nitrógeno en vacas lecheras lactantes y reducir los impactos ambientales a nivel de establo. Animal, pág: 212-20.

FAO. 2006. La ganadería amenaza el medio ambiente. Organización De Las Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación. Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO.

FAO. 2009. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, La larga sombra del ganado, Roma, pág. 395.

FAO. 2008. Base referencial mundial del recurso suelo, un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional. Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO.

FAO, 2013. El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO.

FAO. 2014. Estimaciones globales de las emisiones gaseosas de NH<sub>3</sub>, NO y N<sub>2</sub>O provenientes de las tierras agrícolas. Asociación Internacional De La Industria De Los Fertilizantes (Ifa). Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO.

FAO. 2015. Control De Calidad De Insumos Y Dietas Acuicolas. Organización De Las Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación. Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO.

FAO 2021. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Portal de Suelos de la FAO.

Fiedls, S. 2004. Global Nitrogen. Cycling out of Control. Environmental Health Perspectives. 112 (10): 556-563.

Gaucheron, F. 2005 Review: The minerals of milk. Reproduction Nutrition Development. 45: 473-483

García-M. A; Yañez-R. R; Moumen-A; Molina-A. E. 2004. Effect of polyethylene-glycol on the chemical composition and nutrient availability of olive (*Olea europea* var. *Europea*) by-products. *Animal Feed Science and Technology*. 114: 159–177.

García-V., L.; Gallardo, A. 2017. El ciclo global del nitrógeno. Una visión para el ecólogo terrestre. *Ecosistemas*, 26. (1). 100-112.

García T, Gingins. M, 1969. Anatomía y fisiología del aparato digestivo de los rumiantes. Sitio Argentino de Producción Animal P. 1-4. [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/manejo\\_del\\_alimento/02-anatomia\\_fisiologia\\_digestivo.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/02-anatomia_fisiologia_digestivo.pdf). Fecha de consulta. 02/06/2021.

Gutiérrez B, O. 2015. La fisiología digestiva del rumiante, objeto de investigación en el Instituto de Ciencia Animal durante cincuenta años *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 49 (2): 179-188

Hernández-H, F; González-M, F; Domínguez-V; Pinos-R; Morales-A; Vieyra-A. 2011. Efecto Del Nivel De Concentrado Sobre El Perfil De Ácidos Grasos De La Leche De Vacas Holstein En Pastoreo. *Agrociencia* 48: 765-775.

Hespell, R.B. 1988. Microbial digestion of hemicelluloses in the rumen. *Microbiology*. 5 (12): 362-365.

Heaton, T. 1985. Isotopic and chemical aspects of nitrate in the ground water of the Springbok Flats. *Water*. 11. (4): 199-208.

Horst, R. L. 1986. Regulation of calcium and phosphorus homeostasis in the dairy cow. *Journal of Dairy Science*. 69 (2); 604-616

INEGI. 2015. Anuario estadístico y geográfico de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

Jaimes-Cruz L. Correa. J Cardona-H. J. 2016. Balance de nitrógeno, fósforo y potasio en vacas Holstein pastando praderas de kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el norte de Antioquia. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 11 (2): 18-41.

- Jiménez-Castro, J, P., Elizondo-Salazar, J, A. 2014. Balance de Nitrógeno en fincas para la producción de leche en Costa Rica, *Agronomía Mesoamericana*. 25. (1): 151-160.
- Knowlton, K. F., J. H. Herbain, M. A. Meister-Weisbarth, and W. A. Wark. 2001. Nitrogen and phosphorus partitioning in lactating Holstein cows fed different sources of dietary protein and phosphorus. *Journal of Dairy Science*. 84 (5); 1210-1217.
- Ku Vera-J.C.; Briceño-E.G., Ruiz-A.; Mayo-R.; Ayala-A.J.; Aguilar-C. F.; Solorio-F.J.; Ramírez-L. 2014. Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en los trópicos: opciones para mejorar la producción y la calidad de la carne y leche *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 48 (1): 43-53.
- Makkar, H.P.S. 2003. Quantification of tannins in tree foliage. Publicación FAO/IAEA. Dordrecht, Países Bajos, H.P.S. Kluwer Academic Publishers.
- Miner, J. R., F. J. Humenik, and M. R. Overchash. 2000. *Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality*. Environmental Quality. Iowa State Univertisy Press. Ames, IA, USA. pp: 318.
- MINITAB Version 14. 2000. Statistical software. User's guide 1: Data graphics, and macros. USA.
- Mohar, H, F. 2007. *Bioquímica animal*. Tomo I. Segunda edición. Ed. Félix Varela. La Habana, Cuba. P. 7-11.
- National Research Council (NRC). 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th rev. ed. Proceedings of the National Academy of Sciences., Washington, DC.
- Nadelhoffer, K. 2001. 12 The Impacts of Nitrogen Deposition on Forest Ecosystems. In: *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems and Management*. Follett and J.L. Htfield. P. 311-331.
- Nelson, C. J. 1999. Managing nutrients across regions of the United States. *J. Animal Science Journal*. 77: 90-100.

Hirzel-J. C. Ruz J. E. Schiappacasse-F. 2002. Determinación de la producción de materia seca y extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Agricultura Técnica 63 (2): 193-201.

NOM-001-1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT- 1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación.

NOM-002-ECOL-1996. Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Diario Oficial de la Federación.

NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Registro que acompaña a las muestras desde su obtención hasta su entrega al laboratorio de pruebas y análisis. Diario Oficial de la Federación.

Nousiainen, J., Shingfield, K. & Huhtanen, P. (2004). Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. Journal of Dairy Science. 87: 386–398.

Noreña; M. J. 2017. La importancia de la fibra efectiva en la alimentación del ganado. Ganaderia Sostenible. Contexto Ganadero. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/la-importancia-de-la-fibra-efectiva-en-la-alimentacion-del-ganado>. Fecha de consulta: 02/06/2021.

Peñarrieta-J. M; Tejeda-L; Mollinedo-P; Vila-J, L.; Bravo-J, A. 2014. Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. Revista Boliviana de Química. 31 (2): 68-81.

Pérez, R. 2001. Porcinocultura y contaminación del agua en la Piedad, Michoacán, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 17 (1): 5-13.

Pereira-M; Maycotte-M; Elena-R; Francesco-M; Calle-M; Esther-V. 2011. Sistemas De Producción Animal II. Primera Edición. Espacio gráfico. Colombia. P. 17-29

Pinos-Rodríguez, Juan C. García-López, Luz-Y. Peña-Avelino, Juan A. Rendón-Huerta, Cecilia González-González, Flor Tristán-Patiño 2012. Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*. 46 (4): 359-370

Powell, J.M., Gourley, C.J.P., Rotz, C.A. y Weaver, D.M. 2010. Nitrogen use efficiency: A potential performance indicator and policy tool for dairy farms. *Environmental Science & Policy*. 13: 217–228.

Pacheco-Á, J; Cabrera-S, A. 2003. Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería*. 7 (2): 47-54

Parrales-A; Marlene-P 2017. Balance de energía y nitrógeno en sistemas silvopastoriles ganaderos para la región Carrizal-Chone REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 18 (12)1-10

Perez-E, R. 2008. El lado oscuro de la ganadería. Problemas del desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía*. 39 (154): 217-227.

Pérez-A; Sánchez-S; Vera-K; Monforte-M; Flores-J. 2014. Producción de leche y carne en sistemas silvopastoriles. *Bioagrocencias*. 12 (1): 2-8.

Peyraud JL; Astigarraga L. 1998. Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion, and nutritive value of fresh herbage: Consequences on animal nutrition and N balance. *Animal Feed Science and Technology*. (72): 235–259.

Peeler, HT. 1972. Biological availability of nutrients in feeds: availability of major mineral ions. *Journal of Animal Science*. (35): 695-712.

Perdomo-R, F; Mondragón-P, J. 2009. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/tagetes-lucida/fichas/ficha.htm>. Heike Vibrans (ed.). 14 de julio de 2009. Malezas de México, 02/06/2021. *Tagetes lucida* Cav. Pericón.



Pierre J. Gerber-B, H; Harinder P.S. Makkar. 2013. Mitigación De Las Emisiones De Gases De Efecto Invernadero En La Produccion Ganadera. Técnicas para la reducción de las emisiones de gases de diferentes CO<sub>2</sub>. FAO. Roma P. 01-251

Pinos-Rodríguez, Juan M.; García-López, Juan C.; Peña-Avelino, Luz; Rendón-Huerta, Juan A.; González-González, Cecilia; Tristán-Patiño, 2012. Flor impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de américa. *Agrociencia*. 46 (4): 359-370

Powell, J.M.; Jokela, W.E.; Misselbrook, T.H., 2011. Dairy slurry application method impacts ammonia emission and nitrate leaching in no-till corn silage. *Journal of Environmental Quality*: 40. P. 383-392.

Pardo, O., Carulla, E, J., Hess, D. 2008. Effect of protein and energy relationship on the levels of ammonium rumen and blood urea nitrogen and milk, in dual purpose cows at the llanero foothills, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 21. P. 387-397.

Quintero-D, Olivera-M, Rosero-M Noguera-R. 2011. Metabolismo energético en vacas durante la lactancia temprana y el efecto de la suplementación con grasa protegida. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 24 (1): 74-82.

Richardson A. E., Simpson R.J. 2011. Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant physiology*. 156 (3): 989-996.

Retrieved-s.f. 2005. Sistema Digestivo de una vaca. [http://www.ugrj.org.mx/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=388](http://www.ugrj.org.mx/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=388). Fecha de consulta. 02/06/2021

Rivera, J, E; Chará, J; Barahona-R 2016. Análisis Del Ciclo De Vida Para La Producción De Leche Bovina En Un Sistema Silvopastoril Intensivo Y Un Sistema Convencional En colombia. *Tropical And Subtropical Agroecosystems*. 19, (3): 237-251

Riveros, E.; Argamentoría, A., 1987. Métodos enzimáticos de la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de forrajes. I. Forrajes verdes. II. Henos. III. Ensilados y pajas. Avances en producción Animal, 12: 49-75.

Ryan, W., Hennessy, D., Murphy, J, T., Boland, L., Shalloo. (2011). A model of nitrogen efficiency in contrasting grass-based dairy systems. J. Dairy Science. 94 (2): 1032-1044.

Rowland F. S. and M. J. Molina. 1975. Chlorofluoromethanes in the environment. Reviews of Geophysics. 13 (1): 1-35.

Santini-J, F; 2004. Conceptos Básicos de la Nutrición de Rumiantes. En: Nutrición Animal Aplicada. Área de Investigación en Producción Animal. Grupo de Nutrición Animal. INTA. P: 5-7

Sadeghian-R. J. 2000. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Obtenido de Planeación Ambiental Corporación Autónoma Regional del Quindío. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/Siavosh6.htm>. Fecha de consulta. 02/06/2021.

Soto, C. 2012. Suplementación con fósforo en ganado de carne a pastoreo. Producción Animal. Revista electrónica de Veterinaria. 13 (7): 2-14.

Sainz PA, López F, Estrada JG, Martínez CG, Arriaga CM. (2017): Effect stocking rate and supplementation on performance of dairy cows grazing native grassland in small-scale systems in the highlands of central Mexico. Tropical Animal Health and Production. 49: 179-186.

Salcedo, G., 2006. Uso sostenible del nitrógeno en la alimentación de vacas lecheras. Centro de Investigación de Medio Ambiente. [https://www.researchgate.net/publication/293636024\\_Uso\\_sostenible\\_del\\_nitrogeno\\_en\\_la\\_alimentacion\\_de\\_vacas\\_lecheras](https://www.researchgate.net/publication/293636024_Uso_sostenible_del_nitrogeno_en_la_alimentacion_de_vacas_lecheras). Fecha de consulta. 02/06/2021.

SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación e INIFAP - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2018. Guía PROGAN, Estado de México. Programa de uso sustentable de recursos naturales para la producción primaria. Componente: Producción pecuaria sustentable y ordenamiento ganadera y apícola. PROGAN.

Stefaňuk, r. (2014). Efecto del pH sobre la digestión ruminal. En: Nutrición Animal Aplicada. Área de Investigación en Producción Animal. Grupo de Nutrición Animal. INTA. 24-29

Spiekers, H., R. Brintrup, M. Balmelli, and E. Pfeffer. 1993. Influence of dry matter intake on faecal phosphorus losses in dairy cows fed rations low in phosphorus. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 69:37-43.

Toshiyuki-Nagumo., Ryusuke-Hatano. (2000). Impact of nitrogen cycling associated with production and consumption of food on nitrogen pollution of stream water, *Soil Science and Plant Nutrition*. 46 (2): 325-342.

Van Horn, H. H., D. R. Bray, R. A. Nordstedt, R. A. Bucklin, A. B. Bottcher, R. N. Gallaher, C. G. Chambliss, and G. Kidder. 1993. Water budgets for Florida dairy farms. Extension Circular 1091, Florida Cooperative Extension Service, IFAS, University of Florida, Gainesville, FL. <https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/47/36/00001/DS09600.pdf>. Fecha de consulta. 02/06/2021.

Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J Journal of Dairy Science*. 74: 3583-3597.

Van Soest PJ. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2<sup>a</sup> ed. Ithaca, NY: Cornell University Press.

Vitousek, P. M. J. Aber, R. W. Howarth, G. E. Likens, P. A. Matson, D. W. Schindler, W. H. Schlesinger, and G. D. Tilman. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences. *Ecol. Applic*. 7: 737-750.

Vieyra-H, M. 2004. El Fósforo en la Vaca Lechera. Importancia de los Minerales en el Rumen. P. 1-7 [https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion\\_mineral/24-fosforo\\_en\\_vaca\\_lechera.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/24-fosforo_en_vaca_lechera.pdf). Fecha de consulta. 02/06/2021.

Walker, F. 2000. Mejores prácticas de gestión para fósforo en el medio ambiente. Publicación No. 1645. Servicio de Extensión Agrícola. La Universidad de Tennessee. <https://dairy-cattle.extension.org/fosforo-importancia-problemas-ambientales-y-requerimientos-en-ganado-de-leche/>. Fecha de consulta. 02/06/2021.

|