UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

“EFECTO DE LA ADMINISTRACIÓN DE FÓSFORO EN LA DIETA DE OVEJAS: UNA META-REVISIÓN”

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

PMVZ. ARELI DIMAS HERNANDEZ

ASESORES:

Dr. en C. MANUEL GONZÁLEZ RONQUILLO

Dr. en C. OCTAVIO A. CASTELAN ORTEGA

Dra. en C. LIZBETH ESMERALDA ROBLES JIMÉNEZ

TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, Abril 2026

ÍNDICE

	pág
1. Introducción……	4
2. Revisión de literatura……	5
2.1 Producción ovina en México y el mundo……..	5
2.2 Generalidades sobre el fósforo (P).....	5
2.3 Ciclo del fósforo…….	6
2.4 El fósforo en la alimentación……	7
2.4.1 Metabolismo ruminal del fósforo…….	9
2.4.2 Concentración del fósforo en sangre y saliva……..	14
2.4.3 Absorción de fósforo ……	15
2.4.4 Excreción urinaria de fósforo……..	17
2.5 Eficiencia en la absorción de fósforo dietario……	19
2.6 Fósforo y medio ambiente……	20
3. Justificación……	24
4. Objetivos…….	25
5. Materiales y Métodos……	25
5.1 Recopilación de datos……..	25
5.2 Criterio de inclusión……..	26
5.3 Cálculos y análisis estadístico……	26
6. Resultados…….	27
7. Discusión……	30
8. Conclusiones…….	31
9. Literatura citada……	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	pág.
Cuadro 1.	Consumo, excreción (g/d) y eficiencia (%) de utilización de fósforo en ovinos.	27
Cuadro 2.	Absorción intestinal (g/d), concentración plasmática (mmol/L), flujo duodenal (g/d) de P en relación al PV (Kg) de los ovinos	28
Cuadro 3.	Correlaciones entre el consumo de materia seca (g/d), fósforo ingerido (g/d) y las excreciones de fósforo (g/d) y su eficiencia en ovinos.	29
Cuadro 4.	Correlaciones entre el peso vivo del animal (Kg) y las correlaciones de fósforo endógeno (g/d) y plasmático (mmol/L) y el flujo duodenal y salival de fósforo (g/d) en ovinos.	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	pág.
Figura 1.	Metabolismo del fósforo.	10
Figura 2.	Metabolismo del fósforo ruminal.	13
Figura 3.	Etapas de la eutrofización.	22
Figura 4.	Proceso de eutrofización.	23
Figura 5.	Diagrama PRISMA de la revisión sistemática para la elaboración del meta-análisis acerca del efecto de la administración de fósforo.	25

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P) es uno de los principales minerales constitutivos del cuerpo de los rumiantes. En las ovejas en crecimiento el P es esencial ya que participa en la formación ósea, la producción de ATP y la regulación de enzimas, además de que su papel es clave para el desarrollo esquelético, el metabolismo energético y la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, por lo cual es indispensable para un crecimiento y funcionamiento óptimos (Köhler *et al*., 2021). Debido a la importancia metabólica de este elemento, la sobrealimentación fosforada ha sido una práctica común en la industria pecuaria (Lachmann y Araujo, 1999*).*

Es importante destacar que las concentraciones de P inorgánico en los fluidos corporales deben regularse dentro de unos límites muy estrechos ya que de eso depende la absorción y excreción de estos minerales (Lautrou *et al*., 2020*).*

En 1968, se identificó que el P y el nitrógeno (N) estaban relacionados con el proceso de eutrofización del agua y las investigaciones sobre P se reanudaron (Nasir Khan, 2014). Así, los excesos de P y N en los efluentes de las unidades de producción pecuarias están considerados como contaminantes de los recursos hidrológicos, cuya aplicación irracional fomenta su desperdicio.

La población ovina en México es de 8.8 millones de cabezas (SIAP, 2023), la mayoría de ellas se encuentra bajo sistemas intensivos o mixtos.
La intensificación de estos sistemas de producción ovinaos ocasiona la acumulación excesiva de estiércol, cuyo contenido de P puede llegar a contaminar los mantos freáticos.

En la ganadería lechera han disminuido las recomendaciones de alimentación fosforada. Sin embargo, la investigación en pequeños rumiantes es escasa, razón por la cual se requiere generar más información sobre los aspectos digestivos y metabólicos del P en estas especies.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 PRODUCCIÓN OVINA EN MÉXICO Y EL MUNDO

Los ovinos (*Ovis aries*) se domesticaron desde hace más de 7,000 años, desde entonces se han producido en diferentes formas, mayoritariamente bajo sistemas de pastoreo, siendo lugares como China, Australia, India, Nueva Zelanda, Oriente Medio, Reino Unido y España los lugares con mayor producción de esta especie. (FAO, 2021).

Los países en vías de desarrollo albergan el 55% de la población mundial ovina (FAO, 2009). En México, los estados con mayor producción ovina son el Estado de México, Hidalgo, Veracruz, Puebla y San Luis Potosí. En el norte del país se encuentran sistemas de pastoreo tecnificados que ocupan grandes extensiones o estabulados altamente tecnificados; en la región centro se basan en agostaderos de zonas áridas o semiáridas en terrenos agrícolas que utilizan residuos de cosechas; en la región sureste se emplea el pastoreo extensivo (Boari *et al.*, 2014). El sistema de producción predominante es el pastoreo diurno con pastos nativos y en terrenos de cultivo después de la cosecha, con encierro nocturno para proteger al rebaño. La suplementación alimenticia es escasa o nula, pero cuando se utiliza, se basa principalmente en rastrojo de maíz (SIAP, 2023).

2.2 GENERALIDADES SOBRE EL FÓSFORO (P)

Los minerales representan el 4% del peso de un organismo vivo. Sus funciones en el organismo son estructurales y reguladoras y están interrelacionadas, de manera que rara vez se les puede considerar como elementos individuales con funciones independientes. Ejemplo de esto es la relación entre el Calcio (Ca) y el P en la formación de huesos y dientes o las relaciones del Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Cobalto (Co) en la vitamina B_{12}, en la síntesis de hemoglobina y en la formación de glóbulos rojos (Hays y Swenson, 1993). Los minerales forman parte de tejidos duros como

hueso y dientes, de los tejidos blandos y de los fluidos; regulan la transmisión neuromuscular, la permeabilidad de las membranas celulares y el equilibrio ácido–base. Asimismo, forman parte de las enzimas, regulando el metabolismo (dos santos et al. 2024).

En el organismo, el 80-85 % de P está localizado en los dientes y huesos, y el 15-20% restante en los demás órganos, realizando diferentes funciones (McDowell, 1997). Se presenta acompañado del Ca y la falta de uno de ellos en la alimentación limita la utilización del otro. Los fosfatos son importantes reguladores de varios procesos, como la mineralización esquelética; son componentes de ácidos nucleicos, proteínas receptoras y de transporte, coenzimas y forman parte de la estructura fundamental de la bicapa lipídica en las membranas celulares (Razzaque y Lanske, 2007). Por lo tanto, los fosfatos inorgánicos (Pi) desempeñan un papel importante en el crecimiento, desarrollo, formación ósea y metabolismo celular, además, de participar en procesos de regulación ácido-base (Xu *et al.*, 2002). Una hipofosfatemia aguda puede causar miopatías, disfunción cardiaca y anormalidades hematológicas; el cuadro crónico afecta, principalmente, la mineralización ósea, llegando inclusive, a presentarse raquitismo y osteomalacia (Razzaque y Lanske, 2007). Por otra parte, el exceso de P en la dieta con relación al Ca da como resultado huesos débiles, hipocalcemia en vacas lechera y cálculos urinarios.

2.3 CICLO DEL FÓSFORO

En la naturaleza el P se encuentra unido fuertemente al oxígeno y a otros elementos químicos, formando los fosfatos, que son esenciales para todos los procesos biológicos. El P es tomado por las plantas como fosfatos y los herbívoros los ingieren con el consumo de los vegetales. El retorno del elemento al suelo se lleva a cabo por las excreciones y la descomposición de la materia orgánica. Una parte de los fosfatos es arrastrada por el agua hacia el mar, donde lo toman peces y algas. Los restos de estos organismos marinos liberan el P como ortofosfatos, que cuando son descompuestos, dando lugar en el fondo del mar a depósitos fosfatados que afloran por movimientos orogénicos.

La disponibilidad de P en el sistema suelo-planta-animal desempeña un papel fundamental en la productividad, ya que la deficiencia de este elemento en el suelo provoca una marcada reducción en el crecimiento y la calidad del forraje, lo que repercute al final de la cadena, en el estado de salud del animal (Barrios *et al.*, 2010).

2.4 EL FÓSFORO EN LA ALIMENTACIÓN

Después del Ca, normalmente el P es el mineral que se incluye en mayor proporción en los suplementos minerales utilizados en la alimentación animal y, debido al elevado costo de las fuentes de P, incide notoriamente en el costo de los suplementos y en consecuencia en los costos de producción (Patiño *et al.,* 2012).

En la práctica, la situación se complica, ya que como nos indica Galaviz *et al.* (2014) los sistemas habituales de producción ovina basan su alimentación en el pastoreo de praderas cultivadas o pastos nativos y en la utilización de recursos alimenticios de bajo valor nutrimental como residuos de cosechas y subproductos de estas, con un marcado carácter estacional. Como resultado, en la mayor parte de las unidades de producción ovina, el control de la alimentación se limita a completar o corregir los aportes de los recursos forrajeros, cuya composición y nivel de ingestión son poco o nada conocidos.

El fósforo es uno de los diecinueve elementos considerados como esenciales para la vida de las plantas. Es componente básico en las estructuras tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos. En el sistema suelo-planta, el 90% del fósforo está en el suelo y menos del 10% se encuentra repartido fuera del suelo. Sin embargo, sólo una pequeña parte de ese 90% es utilizable por los vegetales. La forma orgánica de mayor interés para la planta es el ácido fítico (AF) y las sales del ácido fítico (fitatos) (Dominguez Perez *et al.,* 2007).

El AF es un éster del ácido hexafosfórico del inositol; está presente principalmente en los cereales y semillas de leguminosas como sal de Ca o Magnesio (Mg), llamada fitina. El AF puede formar sales insolubles con el Ca (Duckes, 1999) y Zinc (Zn), que no pueden utilizarse en el aparato digestivo, lo que llega a ocasionar deficiencias de estos elementos en especies como aves y cerdos. ¿por lo tanto a que otros metales van a quelar el Ca y Zn?

El P unido orgánicamente, ¿Cómo la? fitina-P, no es útil para los animales no rumiantes; pero, los rumiantes son capaces de utilizarlo relativamente bien, lo cual se debe a la presencia de fitasas en los microorganismos del rumen (dos Santos et al., 2024). Cuando la proporción de fitato es menor al 50% del suministro total de P, aproximadamente 90% del P fítico es hidrolizado por las bacterias del rumen, pero cuando la mayor cantidad de P está como fitato, su hidrólisis puede ser limitada (Ellis y Tillman, 1991).

Hojas y tallos en las plantas poseen pocas cantidades de ácido fítico (mioinositol hexaquisfosfato). El P de los forrajes y de otras ¿Cuáles?, quitar otras o poner algunas semillas puede absorberse fácilmente. La forma como se distribuye el ácido fítico dentro de las estructuras de la planta en los granos determina el grado de hidrólisis de ese P en el tracto gastrointestinal (TGI) (Kinkaid y Rodehutscord, 2005).

El P de la dieta está disponible para su absorción cuando alcanza los sitios específicos para este proceso en la forma de Pi, por lo tanto, la solubilidad del mineral antes de la absorción determinará la cantidad de P que será absorbida.
La proporción de P orgánico de los alimentos incluye el P fítico y el P de las plantas contenido en las moléculas de fosfolípidos y/o ácidos nucleicos (Patiño *et al.*, 2012).

Con relación a las fuentes inorgánicas de Putilizadas para la alimentación de rumiantes, las más utilizadas son los ortofosfatos de Na, Ca, K, NH_4 y sus combinaciones. Las fuentes de P contienen cantidades variables de meta- $[(PO_3)_3]$ y piro- $[(P_2O_7)^{4-}]$ fosfatos, dependiendo de las temperaturas alcanzadas en su

elaboración. Además de los anteriores, se utilizan en menores cantidades los fosfatos de roca, los metafosfatos de Na, K y Ca, los pirofosfatos de Na y Ca y los polifosfatos [n.$(PO_4)^3$] de Na y NH_4 (Underwood y Suttle, 2003). El P es absorbido en forma de ortofosfato; los piro y metafosfatos son menos disponibles biológicamente. Los fosfatos hidratados son menos disponibles que las fuentes anhidras del mismo tipo y el valor biológico del fosfato disminuye al sacar agua de la hidratación. Las fuentes más hidrosolubles comúnmente poseen valores biológicos superiores. El fosfato bicálcico, el polifosfato de amonio, la harina de huesos tratada con vapor y el fosfato sin flúor se consideran buenas fuentes de P, siguiendo en biodisponibilidad el fosfato proveniente de rocas (Church, 1994).

La hidrólisis del fitato puede no ser tan eficiente en las dietas ricas en granos y, además, las diferentes sales de ácido fítico encontradas en los alimentos, como el fitato de Na contenido en el maíz y en el arroz, o el fitato de Ca de la harinolina, pueden no hidrolizarse con la misma eficiencia por los microorganismos ruminales (Godoy y Meschy, 2001). Yanke *et al.* (1998) han determinado la actividad fitásica de cultivos puros de bacterias ruminales bajo diferentes condiciones de alimentación, la cual se comparó favorablemente con las reportadas para *Aspergillus ficuum* (600 U/mL), *Bacillus subtilis* (44U/mL) y *E. coli* (5,600 U/mL). De esta manera, estos autores demostraron que la actividad fitásica en el rumen proviene principalmente de las bacterias, lo que confirma los resultados de Raun *et al.* (1956).

2.4.1 METABOLISMO RUMINAL DEL FÓSFORO

El metabolismo del fósforo está relacionado con el tejido óseo, fósfolípidos y los compuestos fosfatados ricos en energía (ATP, AMP cíclico), el 2,3 bifosfoglicerato y otros compuestos vitales para el organismo (William y Ganong, 1994).

El P ingresa al animal en forma de fosfatos (mono, bi o trifosfato) y también como compuestos orgánicos (fitatos, fosfolípidos, fosfoproteínas). En el medio ruminal se solubilizan algunos fosfatos inorgánicos (monosódico, monocálcico) en tanto otros (bicálcico) no son hidrosolubles. El P que no alcanza a solubilizarse en el rumen, se

solubiliza por efecto de las secreciones digestivas, que además rompen los enlaces de ácido fosfórico de los compuestos orgánicos. Este proceso ocurre, principalmente, en el intestino delgado, bajo el efecto de las fosfatasas producidas por los microorganismos ruminales. En los rumiantes, la degradación de fitatos tiene lugar principalmente en el retículo-rumen debido a la acción de las fitasas microbianas (Georgievski, 1982; Underwood y Suttle, 2003), sin embargo, los tratamientos tecnológicos, físicos (calor) o químicos (formaldehído), a los que se someten algunos ingredientes alimenticios pueden reducir la tasa de degradabilidad de los fitatos a nivel ruminal (Konishi *et al.*, 1999; Park *et al.*, 2000) (Figura 1).

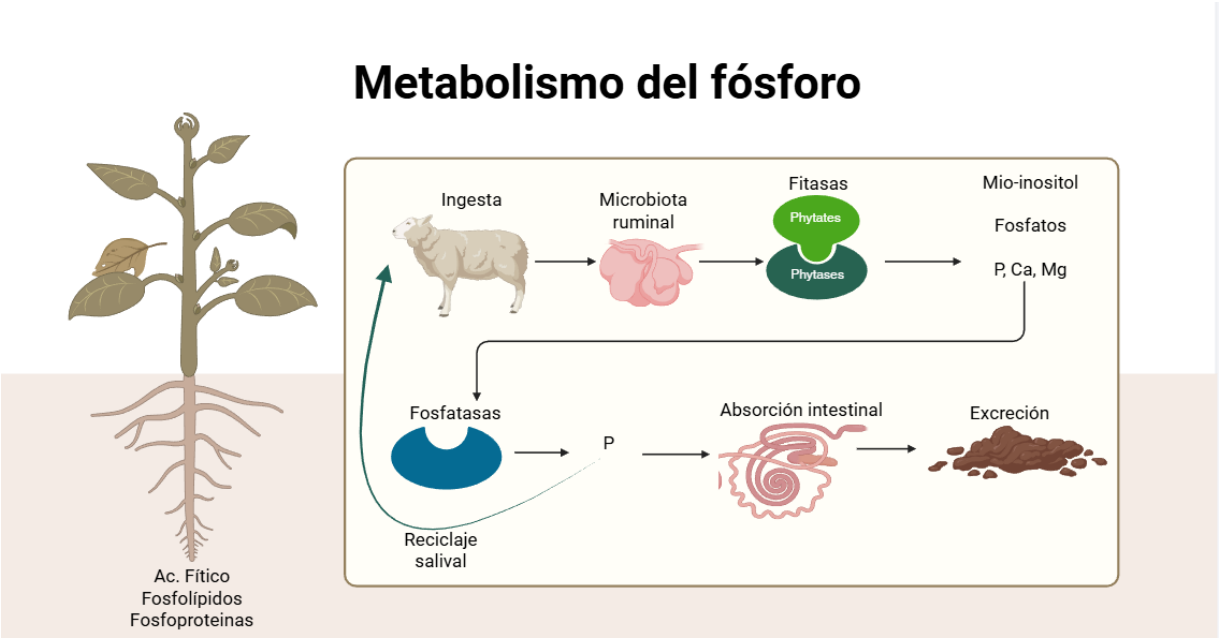


Figura 1. Metabolismo del fósforo, autoría propia.

El P es importante para el desarrollo de los microorganismos, ya que forma parte de sistemas enzimáticos, esenciales en la fermentación de la celulosa (Lynd *et al.,* 2002) y la síntesis de proteína microbiana (Breves y Schoroder, 1991), además de formar parte del material celular, ácidos nucleicos, ATP, fosfolípidos de la membrana celular y ácido teicoico, que se encuentra en la pared celular de las bacterias Gram positivas (+) (Lynd *et al.,* 2002; Nguyen *et al.,* 2020).

Los requerimientos de P para los microorganismos son de 12-15 mg/dL y en líquido ruminal de 30-40 mg/100 mL (Beaumatin, 1981) siendo superior a los requerimientos del animal (Komisarczuk, 1985; Preston y Pfander, 1964).

Durand y Kawasshima (1980) recomiendan que el P disponible (de la dieta y del reciclaje de la saliva) para los microorganismos del rumen debe ser por lo menos de 5 g/kg de la materia orgánica digestible (MOD), para optimizar la degradación de las paredes celulares de los ingredientes fibrosos. Para mantener la concentración de Pi en la fase líquida del contenido ruminal, el P dietario debe ser rápidamente convertido a Pi. Durand y Kawashima (1980) señalan que la cantidad de P endógeno que se recicla normalmente al rumen es de 200 mg/h (Scott, 1982), lo que significa que podría haber un exceso de P para los microorganismos del rumen debido al reciclaje. Sin embargo, el flujo de la saliva puede verse fuertemente influido por el consumo y el tipo de alimento (forraje *vs.* concentrado), el tiempo de rumia y, en consecuencia, la cantidad de P reciclado al rumen puede variar ampliamente.

El P ruminal proviene de la dieta y sobre todo del P endógeno salival (Tomas, 1973), funcionando como buffer para los cambios de pH producidos por la fermentación microbiana de los carbohidratos a ácidos grasos volátiles (McDougall, 1948).

En el caso de dietas no balanceadas, es decir, que contengan un exceso de energía y sean deficientes en proteína o en P (o azufre), las bacterias consumen rápidamente esta energía, pero la síntesis microbiana es baja. A este fenómeno se le conoce como “desacoplamiento de las fermentaciones” (Durand *et al.*, 1980) y finalmente se producen cantidades altas de Acidos grasos volatiles (AGVs) sin crecimiento bacteriano. El desacoplamiento de la fermentación ¿Qué importancia tiene no solo en a producción de AGV, también en el % y tipo de protozoarios? El desperdicio de energía resultante está ligado a la existencia de reacciones improductivas generadoras de calor y pone en marcha ciclos metabólicos inútiles.

El metabolismo de los monosacáridos gira en torno al suministro y destino de glucosa ($C_6H_{12}O_6$), siendo este monómero la principal fuente de energía para las células.

La vía catabólica del $C_6H_{12}O_6$ es la glucólisis y es llevada a cabo en el citoplasma celular; por cada molecula de $C_6H_{12}O_6$ se generan dos de piruvato ($C_3H_3O_3$), dos ATP, dos $NADH+H^+$, dos hidrogeniones y dos moléculas de H_2O. Las células aerobias metabolizan el $C_3H_3O_3$ a acetil-Coenzima A, por medio de piruvato deshidrogenasa, permitiendo su ingreso al ciclo de Krebs para su participación en la fosforilación oxidativa.

Por cada acetil-Coenzima A que ingrese en el ciclo de Krebs se producen 12 ATP. Este proceso es fuente esencial de intermediarios para otras rutas metabólicas, por ejemplo, gluconeogénesis en el hígado y músculo estriado, ruta de las pentosas fosfato y síntesis de lípidos y aminoacidos (aa). La ruta de las pentosas fosfato, es una vía metabólica alterna que no produce ATP, sintetiza equivalentes reductores como nicotinamida adenina dinucleótido (NADPH), para la síntesis de ácidos grasos, esteroides, el mantenimiento de glutatión para la actividad antioxidante y fuentes de ribosa para la síntesis de ácidos nucleicos y nucleótidos (Arias *et al. 2021).*

Parte de la energía producida podría utilizarse incluso para la hidrólisis del ATP. En algunos casos, la baja producción de energía puede compensarse con mayor eficacia en su utilización. Por ejemplo, cuando las dietas son ricas en glúcidos rápidamente fermentables, las bacterias productoras de ácido láctico desplazan a las generadoras de acetato, ya que durante la síntesis del primero se genera menor cantidad de ATP. Debido a su elevada capacidad de crecimiento, las bacterias lácticas pueden fabricar mayores cantidades de ATP por unidad de tiempo y competir por los sustratos con las bacterias productoras de acetato. La generación de lactato conducirá al rápido descenso del pH ruminal, con la consecuente disminución de la población y de la actividad de las bacterias productoras de acetato (Jouany *et al.*, 1995). La progresiva acidificación del rumen reduce la frecuencia de los movimientos ruminales. Cuando el pH alcanza un valor cercano a 5,0 produce

una atonía ruminal. Sin embargo, esto se atribuye principalmente al aumento de la concentración de AGVs más que a un aumento del ácido láctico o de iones hidrógeno, siendo el butirato el más importante. y la presentación de acidosis en el animal ¿se asocia a la producción de histamina ruminal? (Noro y Sepúlveda, 2021), (Figura 2).

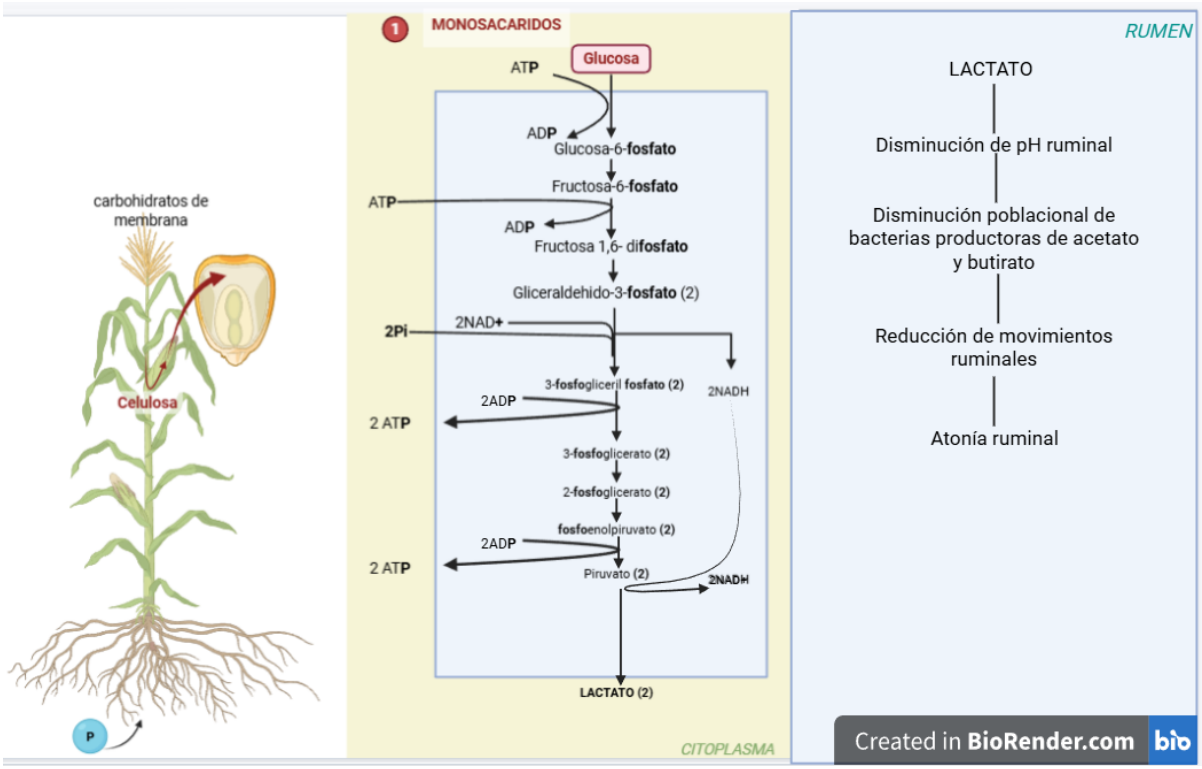


Figura 2. Metabolismo del fósforo ruminal. Desarrollado con Bio Render, autoría propia.

Si bien, se ha aceptado que la saliva es la principal fuente endógena de P que entra al rumen, los estudios que utilizan ^{32}P han demostrado que el P endógeno también puede pasar de la sangre al rumen (Lofgreen *et al.*, 1952; Smith *et al.*, 1955). Los resultados obtenidos a este respecto han sido variables. En la mayoría de los estudios de balance de P en ovinos y bovinos se observó la secreción líquida de P en el abomaso, con valores entre 1 y 15 g/día en ovinos y de más de 20 g/día en bovinos adultos y becerros. Un problema en esos estudios es que no se midió la cantidad de P secretado en la saliva. Por lo tanto, no se detectó la posible absorción de P en los pre-estómagos. Varios estudios reportan movimientos de P a través del rumen, sin embargo, las cantidades fueron mínimas (Yano *et al.,* 1991). Algunos

trabajos mencionan flujos de P a través de la pared ruminal cuando se alteró el gradiente eléctrico, lo que indicó la existencia de un tipo de difusión electrogénica de fosfato en presencia de transporte activo (Yano *et al.,* 1991). Así, en el rumen la absorción de P es inapreciable (Cohen, 1980). La absorción de P a través de la pared omasal no ha sido muy estudiada. En algunos trabajos, utilizando becerros, se observó que se absorbió entre 10 y 40% del P en el abomaso. Estos resultados son contrarios a los obtenidos en ovinos, en los que la absorción fue menor a 0.5 mM/h (Yano *et al.,* 1991).

2.4.2 CONCENTRACIÓN DEL FÓSFORO EN SANGRE Y SALIVA

El P en la sangre se encuentra en forma orgánica e inorgánica y su proporción varía entre 3 – 4:1 en los rumiantes (Scott, 1982). Normalmente, la concentración de fosfato en el plasma es de 1.3 a 2.6 mmol/L. La concentración intracelular de P total es de 45 - 60 mg/dL (Goff, 1998; Georgievskii, 1982).

Las concentraciones de P en la saliva pueden ser de 4 a 5 veces las del plasma sanguíneo; en las ovejas se encuentra entre 5 a 10 g (Mogodiniyai, 2010). La mayor parte del P en la saliva es inorgánica (Feng *et al.* 2018).

En los rumiantes, se secretan grandes cantidades de Pi al tracto gastrointestinal (TGI) a través de la saliva. Esta secreción está balanceada por la reabsorción intestinal del este mineral (Breves y Schröder, 1991). El P se absorbe en la porción media (yeyuno) del intestino delgado y en los rumiantes, también en la parte superior del tracto, principalmente en el duodeno (Cohen, 1980; Scott, 1982). En el intestino grueso la absorción de P es probablemente más intensa que su excreción (Georgievski, 1982).

Los rumiantes logran mantener relativamente constantes las concentraciones de P en el plasma sanguíneo (Van Soest, 1994), predominantemente por el reciclaje del P salival y por la excreción fecal endógena. El exceso de P se absorbe en el tracto digestivo, pasa a la saliva, para regresar al sistema digestivo y excretarse con las heces. Sin embargo, el incremento de la excreción del P vía urinaria solamente

ocurre cuando las dietas presentan un desbalance Ca:P importante o cuando los animales tienen un consumo restringido de energía (Alexander et al.,2019).

2.4.3 ABSORCIÓN DE FÓSFORO

El principal lugar de absorción de Ca y P en los rumiantes es el intestino delgado, asimismo son capaces de regular la concentración en el plasma con la ayuda de tres hormonas: la hormona paratiroidea (PTH), la calcitonina (CT) y la 1,25-dihidroxicianocobalaminavitamina D3 ($I,25(OH)_2\ D_3$) y factores crecientes de fibroblastos 23(FGF23), además se sabe que los rumiantes no dependen del riñón como vía principal de excreción de P, ya que el papel de los riñones es sustituido en gran medida por las glándulas salivales (Yano et al., 1991; Wilkens y Muscher-Banse, 2020).

La absorción del P depende de una serie de factores, como: la forma química, la relación Ca: P, el pH intestinal, los niveles dietarios de Ca y P, la presencia de vitamina D, grasas y otros minerales, como el fierro (Fe), aluminio (Al), zinc (Zn), Cobre (Cu), molibdeno (Mo) y magnesio (Mg) (NRC, 2021). La absorción del elemento en el TGI se lleva a cabo por transporte activo y difusión pasiva. En presencia de Ca y Na, el P atraviesa la membrana celular del enterocito contra un gradiente de concentración. En los estudios con ^{32}P en la dieta se ha observado que gran cantidad de él se incorpora a los fosfolípidos de las células de la mucosa intestinal (Küllenberg *et al.*, 2012).

La vitamina D altera la permeabilidad de la membrana, aumentando la absorción de fosfato (Church, 1994). La acción de la hormona 1,25-$(OH)_2D_3$ en el transporte intestinal de fosfato se debe a su efecto en el incremento del sistema de transporte sodio-dependiente (Xu *et al.*, 2002).

Las evidencias experimentales sobre la absorción de P en el intestino grueso son variables. Breves y Schröder (1991) observaron, al proporcionar entre 1.0 y 4.1 g/día de P en la dieta a ovinos, que la absorción de P que entró al intestino grueso varió

desde 2 hasta un 30%. En un estudio más reciente, Mc Grath *et al.* (2012) observaron que novillos que consumían dietas fibrosas de regular calidad y suplementadas diariamente con 3.25 mg/animal de 1,25-$(OH)_2D_3$, presentaron mayor retención de Ca y P (3 y 4 g/día, respectivamente), lo que indica que esta práctica podría representar una alternativa para reducir la excreción de estos minerales.

El calcitriol ($1,25(OH)_2D_3$) tiene un papel fundamental, debido a su acción en la homeostasis de Ca y P. El mayor efecto de la utilización del $1,25(OH)_2D_3$ es un aumento en la absorción intestinal y la liberación ósea de Ca (Montgomery *et al*., 2004).

La depleción de P incrementa las concentraciones plasmáticas de $1,25(OH)_2D_3$ mejorando la eficiencia de absorción de Ca y P en ratas y cerdos; sin embargo, en los rumiantes, la eficiencia en la absorción de P aumenta, pero no la de Ca (Proszkowiec-Weglarz & Angel, 2013). Durante la depleción de P no fueron observados incrementos en las concentraciones de $1,25(OH)_2D_3$ en ovinos (Breves *et al*., 1985). Aumentos significativos en la cantidad de receptores intestinales sensibles a $1,25(OH)_2D_3$, han sido observados en cabras que reciben bajas cantidades de P en la dieta (Breves y Schröder, 1991).

Field et al. (1975) trabajaron con corderos evaluando diferentes relaciones de calcio y fósforo en la dieta, siendo uno de los tratamientos una relación Ca:P alta, donde existió una deficiencia de fósforo con un nivel de calcio que correspondía a la necesidad del animal, observaron que este tratamiento generó una disminución en el consumo de MS y en el PV del animal. Además, presentó una digestibilidad aparente baja de la MS. Salviano (1996) estudió en machos Suffolk, el efecto de tres relaciones de Ca:P (0.75:1; 1.5:1 y 3:1) en las pérdidas endógenas y en la absorción real de P, usando la técnica de dilución isotópica, y concluyó que las diferentes proporciones utilizadas en las dietas no afectaron la excreción de P ni de Ca, tampoco las pérdidas fecales endógenas de P. Sin embargo, concluyó que la

proporción 1.5:1 presentó los mejores índices de absorción. También observó que la excreción fecal de Ca aumentó con la elevación en el consumo de este.

2.4.4 EXCRECIÓN URINARIA DE FÓSFORO

El transporte transepitelial de Pi en el riñón es unidireccional e involucra la entrada por la membrana apical, su pasaje a través de la célula y su salida por la membrana basolateral. La captación del Pi a nivel de la membrana apical es el paso limitante de todo el proceso de reabsorción y es el sitio más importante de regulación (Berndt *et al.,* 2007). La entrada de fosfato al túbulo proximal está mediada por transportadores de fosfato dependientes de Na localizados en la membrana apical, que a su vez dependen del gradiente de Na por la Na^+/K^+ ATPasa, que se encuentra en la membrana basolateral, para movilizar el proceso de transporte. El co-transporte Na/Pi es muy sensible a los cambios de pH, incrementándose de 10 a 20 veces cuando el pH aumenta de 6 a 8.5. Esto refleja el transporte preferencial de la forma bivalente de fosfato y, además, la acción de los protones sobre el co-transporte. Por lo menos se han identificado dos sistemas cinéticamente diferentes de co-transporte Na/Pi en la membrana apical del túbulo proximal: uno de alta capacidad y baja afinidad, que se encuentra sólo en la porción contorneada y es responsable del transporte mayoritario de fosfato proximal, y otro sistema de baja capacidad y alta afinidad, que se encuentra tanto en la porción contorneada como en la recta y es responsable de la reabsorción residual de fosfato. Esta disposición en serie de dos sistemas de co-transporte permite una reabsorción muy eficiente de fosfato por el túbulo proximal (Walker *et al.*, 1987).

En los mamíferos se han identificado tres tipos no relacionados de co-transportadores Na/Pi: el tipo I (Npt1), el tipo II (Npt2) y el tipo III (Miyamoto *et al.*, 2011). El co-transportador tipo I está localizado en el borde de cepillo de las células tubulares proximales, se sugiere que su función consiste en mediar el transporte de cloro (Cl^-) y de aniones orgánicos. El co-transportador Na/Pi tipo II se expresa en la membrana apical de los epitelios de absorción/resorción y existen tres subtipos: el IIa, el IIb y el IIc. El tipo IIa se expresa en el túbulo renal proximal del riñón adulto y el tipo IIc, en el riñón del animal joven; ninguno de los dos se detecta en el intestino.

El tipo IIb se expresa en el intestino delgado y en las células alveolares de tipo II, pero no se expresa en el riñón. El co-transportador Na/Pi tipo II media el co-transporte electrogénico de Na y fosfato con una estequiometría de tres iones de sodio por uno de fosfato. El tipo IIa parece ser el más importante para el co-transporte Na-fosfato a nivel de túbulo proximal y para la reabsorción tubular global de P (Miyamoto *et al.*, 2011).

En el riñón donde está localizado el co-transportador tipo IIa existen mecanismos regulatorios rápidos (mediados por PTH, otras hormonas peptídicas y por la ingesta dietaria de P) y lentos (regulados por la demanda de fosfato para el crecimiento y desarrollo ¿ejercicio o trabajo?). En contraste, en el intestino, donde está localizado el co-trasportador tipo IIb, existen sólo mecanismos regulatorios lentos (relacionados con el aporte dietario de P o con la 1,25 $(OH)_2D_3$.

Mejia-Haro *et al*. (2001) estudiaron en ovinos, los efectos de diferentes relaciones Ca:P en la dieta, sobre la absorción y retención de P. Las proporciones de Ca:P evaluadas fueron 2.5:1, 5.6:1 y 9:1. Ellos observaron que, si bien el consumo de P fue inferior al de las exigencias, la concentración y excreción de P en las heces y su absorción aparente, no fueron afectadas por los tratamientos. Los autores sugirieron que, probablemente, por estar los animales en crecimiento, la absorción de P no disminuyó. Shanklin (2001) observó en corderos alimentados con bajos niveles de fósforo un incremento en la excreción urinaria de Ca comparada con los animales que recibieron mayores niveles de P. Así mismo, la excreción de Ca fue mayor en corderos suplementados con fuentes de P inorgánicas, comparada con los que recibieron fuentes orgánicas, esto asociado a una disminución en la absorción de Ca. La explicación a esta disminución en la absorción de Ca podría ser una respuesta a la disminución en la ingestión de Ca, habiendo una disminución en el fósforo sanguíneo y, por lo tanto, una reducción en la retención de P en los huesos. Cuando el P no es retenido en los huesos, las necesidades de Ca en los tejidos esqueléticos son menores, disminuyendo la absorción y retención de Ca. ¿puede ser la causa de hipercalcitoninemia?

2.5 EFICIENCIA EN LA ABSORCIÓN DE FÓSFORO DIETARIO

La cantidad de fósforo excretada en las heces es el resultado de la siguiente sumatoria:

P no disponible en la dieta + P presente en la dieta no absorbido + P endógeno

El P presente en la dieta disponible para su absorción es la cantidad liberada durante el proceso de la digestión y aparece en el mismo “pool” del P endógeno en los lugares de absorción en el TGI (Kiela *et al.*, 2016). A pesar de la existencia de diferencias entre alimento y suplementos minerales en relación con la biodisponibilidad de P (Underwood y Suttle, 2003), en la mayoría de los casos, estas variaciones aún no se consideran cuando se definen las recomendaciones alimentarias, ya que la mayoría de las instituciones que trabajan en ello adoptan un coeficiente de absorción real (CAR) fijo para cada etapa fisiológica. En los rumiantes, la proporción de P disponible en la dieta y de P endógeno en el “pool” del TGI se incorporan a la masa microbial del rumen (CSIRO, 2007).

Los diferentes sistemas de alimentación (CSIRO, 2007; NRC, 2006) manejan para el P un CAR entre 0.6 y 0.75. (Bravo *et al.* 2003) estudiaron una amplia base de datos, donde existen diferencias en los coeficientes de absorción verdadera de P cuando se comparan especies y etapas fisiológicas, incluso aún dentro de la misma especie. Se observó que, la media para el coeficiente de absorción verdadera es de 0.72. Es importante resaltar que el coeficiente de absorción aparente de P no fue considerado, porque son conocidas las elevadas variaciones que hay entre animales.

En los rumiantes, el P absorbido en el intestino puede ser de origen dietético o microbiano, debido a que parte del P ingerido por el animal se incorpora a los microorganismos. El P microbiano se presenta como una fuente intermedia de P para el hospedero. Considerando que el P de origen salival se encuentra en la forma inorgánica (Pi), se espera una elevada tasa de absorción de P: el coeficiente de absorción medio esperado para el P salival es de 0.77 (Church, 1994). La tasa de absorción del P se incrementa en función de la ingestión (Vitti *et al.*, 2000). Sin

embargo, niveles crecientes de suplementación fosforada mostraron un efecto contrario en corderos de la raza Santa Inés (Vitti *et al.*, 2008).

2.6 FÓSFORO Y MEDIO AMBIENTE

El estiércol generado en la ganadería puede tener un impacto negativo en el medio ambiente si no existe un control en su almacenamiento, transporte o aplicación, debido a la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera, la acumulación de micro y macro nutrimentos en el suelo y en los cuerpos hídricos.

En Estados Unidos y otros países desarrollados hay legislaciones específicas para el manejo y el depósito de excretas animales que afecten los cuerpos de agua, suelo y atmósfera. En México, como en la mayoría de los países en vías de desarrollo, la regulación y vigilancia gubernamental sobre el uso y manejo de excretas animales es escasa y confusa, ya que sólo se especifican ciertas normas sobre descargas de contaminantes al agua, restando la importancia a las emisiones a la atmósfera y suelo, y sin especificaciones claras relacionadas con excretas de ganado. El impacto sobre el medio ambiente dependerá en gran medida de la especie pecuaria, del sistema de alimentación y del manejo del estiércol (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012).

La NMX-AA-029-SCFI-2001 “ANÁLISIS DE AGUAS – DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA” establece dos métodos de análisis para la determinación de fósforo total en aguas residuales, naturales y residuales tratadas. El método “cloruro estanoso” se basa en la reacción del fósforo contenido en la muestra como ortofosfato con el ácido molíbdico para formar el ácido 12-molibdofosfórico.

El ácido 12-molibdofosfórico es reducido por el cloruro de estaño a azul de molibdeno. La intensidad del color azul formado depende de la concentración de fosfatos adicionados al heteropoliácido. El método es aplicable cuando el contenido de fósforo en las muestras se encuentra entre las concentraciones de 0,01 mg P/L a 6,0 mg P/L. Todo el fósforo contenido en la muestra debe estar como ión

ortofosfato $(PO_4)^{3-}$, ya que el método espectrofotométrico es esencialmente específico para este ión ortofosfato $(PO_4)^{3-}$. La materia orgánica de la muestra es destruida por medio de una digestión con persulfato de amonio y ácido sulfúrico, rompiendo las ligaduras orgánicas del fósforo (C-P y/o C-O-P), e hidrolizando los polifosfatos a ortofosfatos (Gross, A., & Boyd, C. E. (1998).

En el método “ácido vanadomolibdofosfórico” el molibdato de amonio reacciona en condiciones ácidas con el vanadato para formar un heteropoliácido, ácido vanadomolibdofosfórico. En la presencia de vanadio, se forma ácido vanadomolibdofosfórico de color amarillo. La longitud de onda a la cual la intensidad del color es medida depende de la detección requerida. La intensidad del color amarillo es directamente proporcional a la concentración de fosfato de acuerdo a la NMX-AA-029-SCFI-2001(Gross, A., & Boyd, C. E. (1998).

Por sus características orgánicas, el estiércol aplicado al suelo 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, carbono y azufre, en sus formas gaseosas, en el suelo (Capulin *et al.*, 2001); al depositar nutrimentos como N y P, puede reducir el uso de fertilizantes químicos (Miner *et al.*, 2000). Pero el suelo puede verse afectado por el exceso de estiércol por el depósito de un exceso de N y P, además de microorganismos patógenos (*E*. *coli*), antibióticos y otros compuestos, como fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas (Powers, 2009). En países donde las regulaciones ambientales son laxas o no existen, el estiércol se aplica al suelo continuamente, excediendo la capacidad de captación de nutrientes por los cultivos (Dietz y Hoogervorst, 1991). La sobrecarga de nutrientes ocasiona su infiltración por escurrimiento y lixiviación hacia las aguas superficiales y subterráneas (Miner *et al.*, 2000; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012).¿acidificando o alcalinizando la tierra?
El P del estiércol está relacionado con la contaminación de aguas superficiales (Miller, 2001; Reddy *et al.*, 1999; Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012). Debido a que el P en el agua no se considera directamente tóxico, no se han establecido niveles

estándares en el agua potable (NMX-AA-029-SCFI-2001). Sin embargo, tiene un impacto ambiental importante en los recursos hídricos porque estimula el proceso de eutroficación. Éste se puede dividir en cuatro etapas. (Figura 3 y 4).

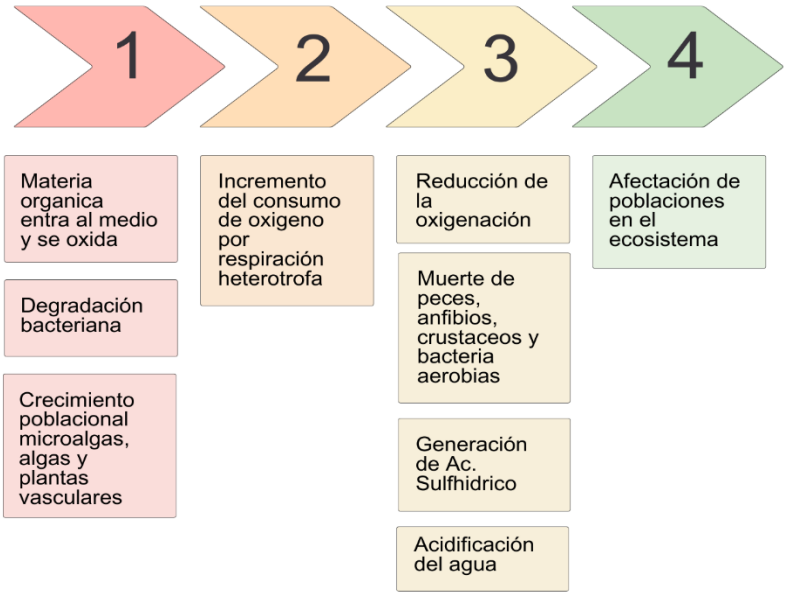


Figura 3. Etapas de la eutrofización, adaptado de Chapa y Guerrero (2010)

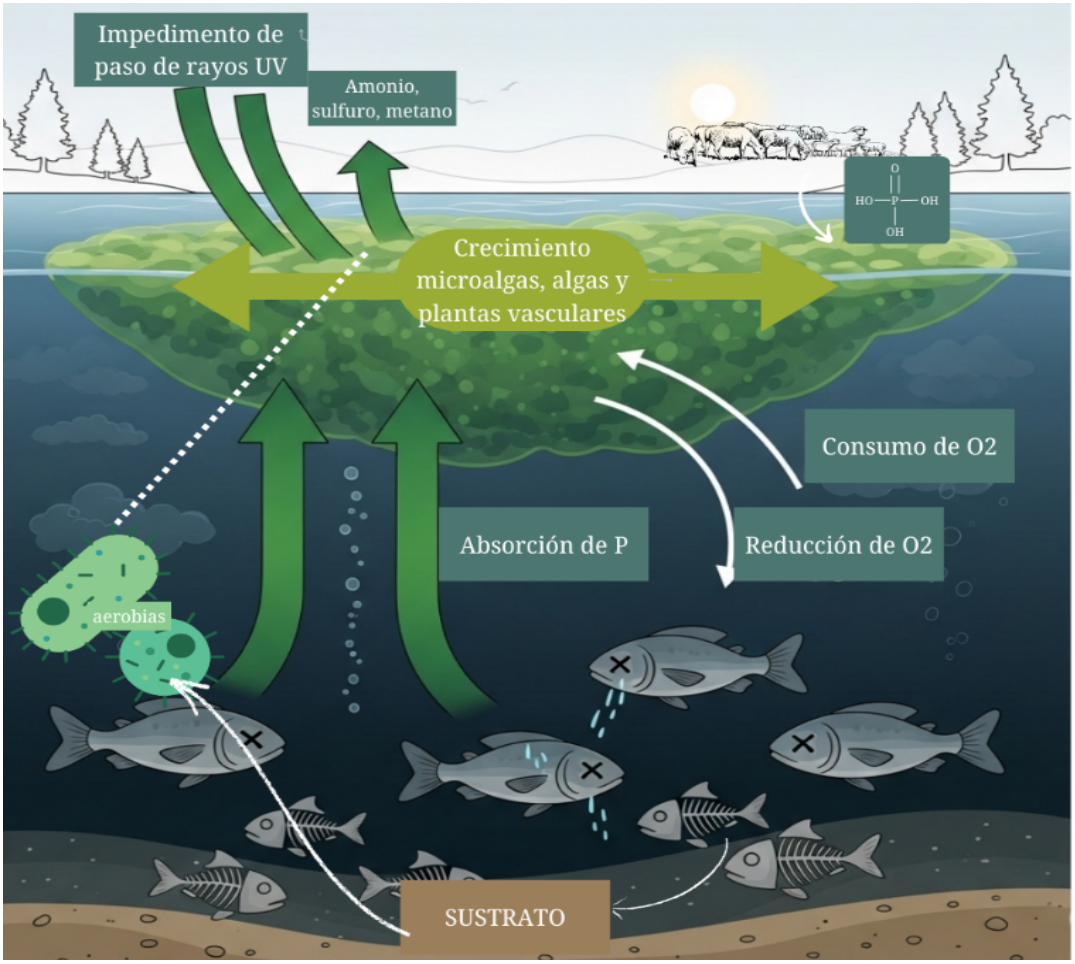


Figura 4. Proceso de eutrofización, Desarrollado con IA (aplicación Gemini, autoría propia)

La entrada de nutrientes a un lago puede acelerarse por las actividades humanas (urbanas o agrícolas), proceso conocido como eutrofización antropogénica. Ésta se origina principalmente por efluentes de las plantas de tratamiento de aguas negras, que contienen nitratos y fosfatos; por escurrimientos de fertilizantes y desechos animales, así como por erosión acelerada de la capa superficial del suelo rica en nutrientes (Tyler, 1994). Estos efectos se observan en el lago de Xochimilco, el viejo lago de Chapultepec, el lago Tezozómoc (los tres en la Ciudad de México) y el lago de Chapala, en Jalisco. Se calcula que al menos una tercera parte de los cerca de 100,000 lagos medianos y un 8% de los grandes lagos cercanos a centros de población en América tienen algún grado de eutrofización antropogénica (CONAGUA, 2012).

Hay sitios naturalmente eutróficos. Son ecosistemas acuáticos que reciben materia orgánica y nutrientes de afluentes y escurrimientos. Entre ellos se encuentran los ecosistemas cercanos al mar, como las lagunas costeras y bahías semicerradas. En estos lugares, el N y el P promueven un incremento en la cantidad de organismos fotosintéticos (microalgas, macroalgas y plantas vasculares), que son la base de la cadena alimenticia. Estos cuerpos acuáticos son hogar de una gran cantidad de organismos como peces, aves, moluscos y reptiles ¿mamíferos?. Los nutrimentos que circulan en estos cuerpos pueden exportarse al mar en grandes cantidades, enriqueciendo las aguas marinas. Esto ocurre en la laguna de Chacahua, ubicada en las costas de Oaxaca, la cual exporta al mar entre 15.4 y 89.2 ton de N y entre 0.31 y 183.3 ton de P al año. Otros ejemplos de zonas con tendencia a la eutroficación en nuestro país son la laguna costera, la Joya-Buenavista, en Chiapas, y la laguna Bojórquez, en Cancún, Quintana Roo, así como la presa Valle de Bravo, en el Estado de México, y la presa Ignacio Allende, en Guanajuato (Chapa y Guerrero, 2010).

3. JUSTIFICACIÓN

En México, la población ovina es de 8. 8 millones de cabezas (SIAP, 2023). La mayor parte de ellas está bajo sistemas intensivos o mixtos, donde regularmente se suplementa con alimentos concentrados. Además, en algunos casos se incluye un complemento mineral con alguna fuente de P. La intensificación de las producciones ocasiona la acumulación excesiva de estiércol, cuyo contenido de P puede llegar a contaminar los mantos freáticos. Además del problema de la eutrofización, debe tomarse también en cuenta el incremento en el costo de los fosfatos.

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, por otro lado, la NMX-AA-029-SCFI-2001 establece métodos de análisis para la determinación de fósforo total en aguas residuales, naturales y residuales tratadas. Estas normativas correlacionadas de manera adecuada nos generarían datos más exactos acerca de

la contaminación acuífera por exceso de suplementación mineral en las principales zonas de producción ovina del país y de esta manera hacer correcciones necesarias en la formulación dietética de los ovinos.

4. OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es conocer la ruta que sigue el P desde su ingesta hasta su excreción en ovejas y analizar si las dietas en la actualidad aportan la suficiente cantidad de P sin causar efectos adversos al medio ambiente.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 RECOPILACIÓN DE DATOS

Se realizó una búsqueda de información (Figura 4) enfocada a recopilar estudios en donde se suplementará el P en la dieta de los ovinos. Las publicaciones se obtuvieron de búsquedas en las bases de datos como Elsevier, Google, SCOPUs y Web of science. Las cadenas de búsqueda consistían en palabras con los términos dentro del “título”, “resumen”, y “palabras clave”. Los términos utilizados fueron: “fósforo”, “calcio”, “ovinos”, “excreción”; “heces”; “saliva”, “sangre” y la combinación de los términos, seleccionando la cantidad de 24 artículos (n = 74 datos).

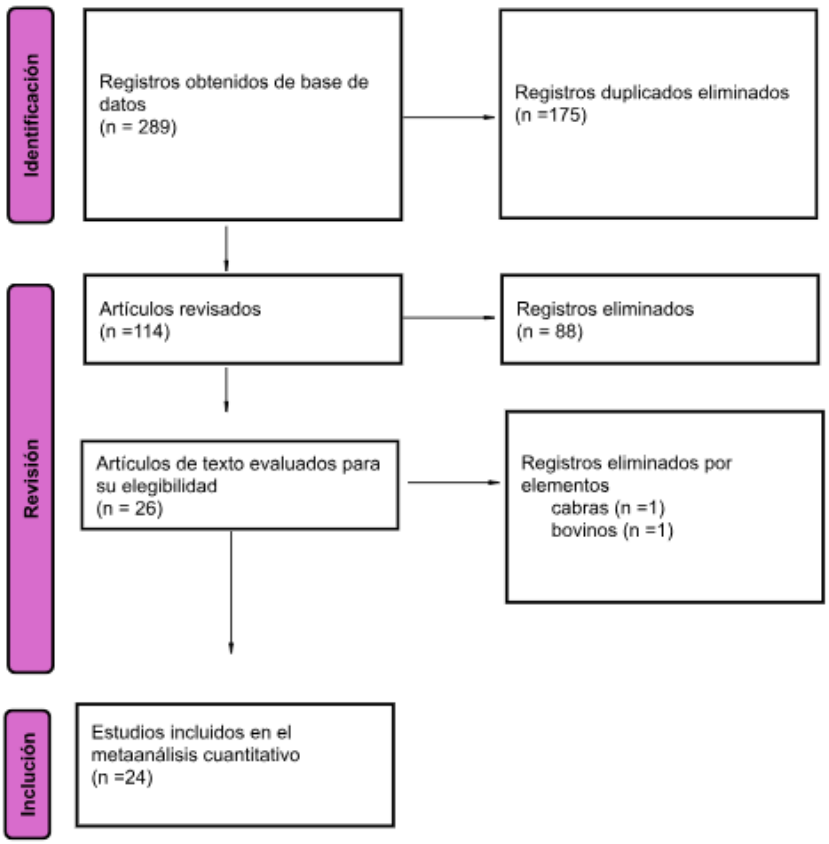


Figura 5. Diagrama PRISMA de la revisión sistemática para la elaboración del meta-análisis acerca del efecto de la administración de fósforo

5.2 CRITERIO DE INCLUSIÓN

El proceso de selección limita los resultados a los trabajos publicados del año 1982 al 2024. Los artículos seleccionados debían de ser de ovinos, además de presentar por lo menos uno de los siguientes datos: peso vivo (kg), consumo de materia seca (CMS, kg/d), P ingerido al día (g/d), P excretado (g/d), P Fecal (g/ d), P en flujo salival (g/d), P excretado total (g/d), P en orina (g/d), y P retenido. La base de datos final incluyó un total de 74 datos.

5.3 CÁLCULOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis descriptivo donde se obtuvieron, los máximos, mínimos y medias de todas las variables, así como su desviación estándar, utilizando el software SPSS (2012) ver. 21.0. Posteriormente, se realizaron los análisis de correlación de Pearson (r) para estimar la relación existente entre las variables de

peso vivo (kg), consumo de materia seca (CMS kg/d), P ingerido al día (g/d), P excretado (g/d), P Fecal (g/ d), P en flujo salival (g/d), P excretado total, P en orina (g/d), P retenido. (%) eficiencia del P, P excretado al medio ambiente (%), Ca ingerido al día (g/d), Ca excretado (g/d), Ca Fecal (g/ d), Ca en orina (g/d), Ca retenido. (%) eficiencia del Ca.

6. RESULTADOS

En el Cuadro 1 se aprecia los parámetros de ingestión, excreción y eficiencia de utilización del P en ovinos.

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
PV kg	74	23.00	59.90	45.04	9.00
MBW^{-75}	74	10.50	21.53	17.31	2.69
CMS (kg /d)	44	0.67	3.02	1.27	0.83
P Ingerido (g/d)	74	0.090	166.00	12.92	24.68
P fecal (g/d)	74	0.04	133.00	10.49	20.44
P orina (g/d)	74	0	2.12	0.29	0.41
Digestibilidad (kg/d)	4	8.04	13.22	10.32	2.64
P retenido	74	-0.73	32.20	2.15	4.78
Eficiencia (%)	74	-54.17	55.55	14.63	18.54
Absorción Intestinal Neta P (g/d)	56	-0.66	11.56	5.18	3.89
Ca Ingerido (g/d)	30	0.29	309.00	55.89	68.01
Ca fecal (g/d)	30	0.22	245.00	45.54	54.21
Ca orina (g/d)	30	0	5.68	1.06	1.41
Ca retenido(g/d)	30	-0.03	61.10	9.29	13.77
Eficiencia (%)	30	-0.81	44.79	17.41	9.04
Digestibilidad (kg/d)	8	10.18	21.91	16.38	3.85
Absorción Intestinal Neta Ca (g/d)	13	0.06	24.23	9.05	8.41

Cuadro 1. Consumo, excreción (g/d) y eficiencia (%) de utilización de fósforo en ovinos

La media del peso vivo de los ovinos fue de 45 ± 9 kg, con una ingestión de materia seca de 1.27 ± 0.83 kg MS/d, y una ingestión de P de 12.92 ± 24.68 g/d, una excreción de P en heces 10.49 g/d, en orina de 0.29 ± 0.41 g/d con una eficiencia de utilización del 14.63 ± 18.54%, una ingestión de Ca de 55.89 ± 68.01 g/d, una excreción de Ca en heces 45.54 g/d, en orina de 1.06 g/d con una eficiencia de utilización del 16.36 ± 3.85%.

La cantidad Neta de absorción de P (Cuadro 2) fue de 5.18± 3.89 g/d, y en plasma (1.91 ± 0.46 mmol/L), flujo duodenal de 11.76 g/d y un flujo salival de 7.78 ± 1.97 g/d.

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
PV kg	74	23.00	59.90	45.04	900
Absorción Intestinal Neta P (g/d)	56	-0.66	11.56	5.18	3.89
P plasma (mmol/L)	33	1.03	2.90	1.91	0.46
Flujo duodenal P (g/d)	30	6.49	16.90	11.76	3.07
Flujo salival P (g/d)	30	4.40	11.29	7.78	1.97

Cuadro 2. Absorción Intestinal (g/d), Concentración plasmática,(mmol/L), Flujo duodenal (g/d) y Flujo salival (g/d) de P en relación al PV(kg) de los ovinos

Las correlaciones entre el consumo y la excreción del P se presentan en el Cuadro 3. Las mejores correlación obtenidas fue entre el Ca ingerido y el Ca fecal ($r=0.997$, $P < 0.001$), seguido del P ingerido y el P fecal (g/d) ($r = 0.994$, $P < 0.001$), el P ingerido y el Ca ingerido (g/d) ($r = 0.979$, $P < 0.001$), el P ingerido y el Ca fecal (g/d) ($r = 0.974$), $P < 0.001$) y el P ingerido y el P retenido (g/d) ($r = 0.903$, $P < 0.001$).

Variable	PV	CMS (kg /d)	P Ingerido (g/d)	P fecal (g/d)	P orina (g/d)	P retenido (g/d)	P Eficiencia (%)	AIN P (g/d)	Ca ingerido (g/d)	Ca fecal	Ca Orina (g/d)	Ca reten (g/d)	Ca Eficien (%)	AIN Ca (g/d)
PV		0.313*	-0.079	-0.078	0.156	-0.090	0.347**	0.378**	-0.241	0.198	0.023	-0.406*	0.506**	0.148
CMS (kg /d)	0.05		-0.025	-0.138	0.716**	0.435**	0.761**	0.035	-0.352	-0.331	-0.225	-0.398	-0.348	0.401
P Ingerido (g/d)	0.17	0.13		**0.994****	0.112	**0.903****	0.057	-0.103	**0.979****	**0.974****	0.605**	0.938**	-0.049	0.863**
P Fecal (g/d)	0.17	0.18	0.001		0.066	0.853**	0.005	0.128	0.959**	0.955**	0.637**	0.909**	-0.056	-0.279
P orina (g/d)	0.22	0.001	0.13	0.19		0.208	0.164	0.287*	0.252	0.121	0.256	0.236	-0.309	0.873**
P Reten (g/d)	0.19	0.001	0.001	0.001	0.25		0.258*	0.022	0.921**	0.910**	0.378*	0.925**	0.004	0.684**
P Eficien (%)	0.001	0.001	0.17	0.10	0.23	0.05		-0.216	-0.168	-0.171	-0.306	-0.125	0.171	-0.354
AIN P (g/d)	0.001	0.13	0.16	0.23	0.001	0.12	0.12		0.790**	0.803**	0.161	0.682**	-0.228	0.720**
Ca Ingerido (g/d)	0.13	0.17	0.001	0.001	0.12	0.001	0.23	0.001		**0.997****	0.637**	0.949**	-0.073	0.942**
Ca Fecal (g/d)	0.73	0.22	0.001	0.001	0.18	0.001	0.19	0.001	0.001		0.632**	0.922**	-0.121	0.916**
Ca Orina (g/d)	0.12	0.45	0.001	0.001	0.23	0.001	0.12	0.12	0.001	0.001		0.557**	-0.202	0.589*
Ca retenido (g/d)	0.05	0.23	0.001	0.001	0.15	0.001	0.16	0.001	0.001	0.001	0.001		0.137	0.935**
Ca Eficien (%)	0.001	0.15	0.23	0.16	0.12	0.16	0.14	0.21	0.18	0.33	0.15	0.12		-0.375
AIN Ca (g/d)	0.15	0.12	0.001	0.16	0.001	0.001	0.23	0.001	0.001	0.001	0.05	0.001	0.14	

Cuadro 3. Correlaciones entre el consumo de materia seca (g/d) , fósforo ingerido (g/d) y las excreciones de fósforo (g/d) y su eficiencia en ovinos.

AIN: Absorción Intestinal Neta; ** La correlación es significativa p<0.01; ***La correlación es altamente significativa P<0.001

El P en el flujo duodenal (Cuadro 4) se correlacionó positivamente con el flujo plasmático (r = 0.995, P < 0.001).

Variables	PV (kg)	P plasma (mmol/L)	Flujo duodenal P (g/d)	Flujo salival P (g/d)
$PV^{0.75}$		0.106	0.155	0.023
P plasma (mmol/L)	0.18		0.995***	-0.153
Flujo duodenal P (g/d)	0.22	0.001		-0.849
Flujo salival P (g/d)	0.17	0.17	0.22	

Cuadro 4. Correlaciones entre el peso vivo del animal (kg) y las concentraciones de fósforo endógeno (g/d) y plasmático (mmol/L) y el flujo duodenal y salival de fósforo (g/d) en ovinos.
*** P<0.001, La correlación es altamente significativa

7. DISCUSIÓN

El P es un mineral clave en la nutrición animal, sin embargo, también representa un problema ambiental (Knowlton y Herbein, 2002), por ejemplo, en los ovinos el P ingerido se devuelve al suelo casi en su totalidad (> 95%), donde la mayoría es a través de las heces y poco en su orina (Whitehead, 2000). En los estudios que se revisaron en el presente trabajo se obtuvo una media de P excretado (g/d) a través de las heces del 87% del P ingerido (Cuadro 1), este porcentaje no solo puede ser del mineral que no fue absorbido sino también endógeno (P de saliva, células intestinales y secreciones digestivas) (Bravo et al., 2003).

Como se mencionó anteriormente en la orina muy poca cantidad de P es eliminado y poco significativo (Dias et al., 2007), sin embargo, se encontró que se puede eliminar al medio ambiente desde el 0.3% hasta el 26% dependiendo la cantidad que fue suministrada en la dieta, entre más P suministrado más se eliminó. Esta pérdida puede estar dada por varios factores (genético, del animal, edad, estado fisiológico, etc.) (Field y Woolliams, 1984). La importancia de medir este P urinario perdido es que es altamente lábil, lo cual lo hace más contaminante que el fecal (Bravo et al., 2003). Si relacionamos la ingestión y excreción de P, en promedio se ingieren 12.92 g/d y se excreta el 87%, estimando las pérdidas de este mineral para el medio ambiente, siendo por oveja individual 10.49 g de P por día en heces. Valk y Beynen (2003), mencionan que disminuir la cantidad de P ingerido puede disminuir la cantidad de la excreción y así disminuir la contaminación ambiental, sin embargo, esta medida puede perjudicar la salud del animal (Dias et al., 2007) al no cubrir sus requerimientos nutricionales para cubrir sus funciones.

La eficiencia del P en el presente trabajo tuvo una media del 14%, varios estudios han encontrado que cuando se alimenta con dietas bajas en P la eficiencia es baja, sin embargo, Yan et al. (2011) encontraron que en dietas ricas en P la eficiencia es baja, posiblemente debido a la naturaleza del mineral. Otros autores, mencionan que esta eficiencia baja puede estar relacionada con la cantidad de calcio en la

dieta, el cual aumenta la excreción en las heces (Tamim y Angel, 2003; Chapuis-Lardy et al., 2004).

Se ha mencionado que la concentración mayor de P plasmático se encuentra en dietas deficientes de P, lo cual puede ser dado por un aumento de los niveles plasmáticos de fosfatasa alcalina (ALP) del hueso (Zillinger *et al.* 2024). Sin embargo, en varios estudios con dietas deficientes de P no se presentaron cambios en la cantidad plasmática (Breves et al., 1985; Corlett y Care, 1988; Scott et al., 1997).

Una de las mejores correlaciones obtenidas fue entre el P excretado y el P fecal (g/d), lo cual comprueba lo anteriormente mencionado, que la mayor cantidad de P se elimina a través de las heces y en poca cantidad en la orina (Whitehead, 2000).

8. CONCLUSIONES

La cantidad de P excretado por los ovinos al medio ambiente es más de la mitad de la cantidad ingerida, sin embargo, dietas deficientes pueden provocar problemas de salud a los animales, por lo cual es importante formular correctamente con base a los requerimientos nutricionales adecuados considerando la época del año y tipo de suelo, debido a las variaciones en los minerales en diferentes zonas geográficas y por ende la disponibilidad de los mismos en los pastos o cosechas, con el fin de evitar ocasionar problemas de salud animal por excesos o deficiencias de estos compuestos, así como una conciencia medioambiental sustentable al tratar de reducir la contaminación ambiental por la excreción de estos minerales al medio ambiente por una mala formulación y dar un exceso en la dieta, lo que conlleva a una mayor excreción al medio ambiente.

Los ovinos, son capaces de aprovechar los nutrientes de pastos y forrajes gracias a una relación simbiótica con la microbiota ruminal, esta particularidad le demanda una alimentación completa y balanceada que le permite mantener la relación con los microorganismos y al mismo tiempo le proporciona la energía suficiente para sus necesidades fisiológicas. El diagnóstico nutricional de cada unidad de producción ovina es indispensable para cumplir los requerimientos necesarios para su máximo

aprovechamiento sin afectar la economía del ovinocultor ni el medio ambiente donde se lleva a cabo.

10. LITERATURA CITADA

1. Alexander J, Stockman J, Atwal J, Butterwick R, Colyer A, Elliott D, Gilham M, Morris P, Staunton R, Renfrew H, Elliott J, Watson P. Effects of the long-term feeding of diets enriched with inorganic phosphorus on the adult feline kidney and phosphorus metabolism. Br J Nutr. 2019 Feb 14;121(3):249-269. doi: 10.1017/S0007114518002751. Epub 2018 Dec 21. PMID: 30572965; PMCID: PMC6390406.

2. Arias et al. 2021. Falta ficha bibliográfica

3. Barrios M, Sandoval E, Camacaro O, Borges J. (2010). Importancia del fósforo en el complejo suelo-animal - Mundo Pecuario.
4. Beaumatin P (1981) Influence du phosphore alimentaire sur la digestion et la proteosynthése microbiennes dans le rumen du mouton. Tesis. Université Paul Sabatier. Toulouse, Francia. 110 pp.
5. Berndt, T.; Thomas, L.; Graig, T.; Sommer, S.; LI, X.; Bergstralh, E. (2007). Evidence for a signal axis by which intestinal phosphate rapidly modulate renal phosphate reabsorption. Proceedings National Academic Science 104(26), 11085–11090.
6. Boari R, Chuard N, Fernández V, Pouiller P. Mercado de ganados y carnes. Proyecciones 2023. OCDE-FAO. (2014). http://www.agroindustria.gob.ar/site/ganaderia/bovinos/05=Mercados/04=Carnes/_archivos/00000=Mercado%20internacional%20de%20carnes/000001-Proyecci%C3%B3n%20OCDE%20FAO%20carnes%202014-2023.pdf. (fecha de Consulta 11 Mar, 2024).
7. Bravo, D.; Sauvant. D.; Bogaert, C.; Meschy, F. (2003). I. Quantitative aspects of phosphorus absorption in ruminants. Reproduction Nutrition Development 43: 271-248. Disponible en URL:

http://rnd.edpsciences.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/rnd/pdf/2003/03/R3302.pdf

8. Breves, G.; Ross, R.; Höler, H. (1985). Dietary phosphorus depletion in sheep: effects on plasma inorganic phosphorus, calcium, 1,25-(OH)2-Vit.D3 and alkaline phosphatase and on gastrointestinal P and Ca balances. The Journal of Agriculture Science 105(3), 125-140.
9. Breves, G.; Schröder, B. (1991). Comparatives aspects of gastrointestinal phosphorus metabolism. Nutrition research reviews 4(1), 125-140.
10. Capulin, G.J., E.R. Nuñez, B.J. Etchevers, y C.G. Baca. (2001). Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. Agrociencia 35, 287-299.
11. Chapa C. y Guerrero R. (2010) Eutrofización: abundancia que mata. Cómo ves. 22-25.
12. Chapuis-Lardy, L., Fiorini, J., Toth, J.D., Dou, Z., (2004) Phosphorus concentrations and solubility in dairy feces: variability and affecting factors. J. Dairy Sci. 87, 4334–4341.
13. Church (1994). El rumiante, fisiología digestiva y nutrición. Barcelona, Acribia, 641p.
14. Cohen, R.D.H. (1980). Phosphorus in rangeland ruminant nutrition: A review. Livestock Production Science, 7(1), 25-37.
15. CONAGUA 2012, Estadísticas del Agua en México, edición 2012.
16. Corlett, S.C., Care, A.D., 1988. The effects of reduced dietary phosphate intake on plasma osteocalcin levels in sheep. Q.J. Exp. Physiol. 73, 443–445.
17. Dias, R.S.; Kebreab, E.; Vitti, D.M.S.S. et al. (2007) Phosphorus kinetics in lambs fed differents levels of dicalcium phosphate. Journal of Agricultural Science, v.145, p.509-516, 2007.
18. Dietz, F.J., and N.J.P. Hoogervorst. (1991). Towards a sustainable and efficient use of manure in agriculture: the Dutch case. Environ. Resour. Econ. 1, 313-332.

19. Domínguez-Pérez, F.D., Bolaños-Aguilar, E.D., Lagunes-Espinoza, L.D.C., Salgado-García, S., Ramos-Juárez, J., & Guerrero-Rodríguez, J.D.D. (2017). Rendimiento de materia seca y concentración de fósforo de una asociación Brachiaria humidicola-Stylosanthes guianensis. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *8*(8), 1705-1717.
20. dos Santos, M.M., da Costa Sousa, A., Fidelis, R.R., Montelo, A.B., dos Santos, M.G., Ribeiro, R.R., ... & dos Santos, W.F. (2024). Comportamento de feijão-caupi em função da aplicação de fontes de fósforo em associação com a bactéria Bacillus subtilis. *Observatório De La Economía Latinoamericana*, *22*(10), e6981-e6981.
21. Duckes, 1999 falta ficha bibliográfica
22. Durand y Kawasshima 1980 falta ficha bibliográfica
23. Durand, M.; Komisarczuk-Bony, S.; Meschy, F. (1980). Phosphorus requirement for rumen microbial activity. En Recent Progress on Mineral Nutrition and Mineral Requirements in Ruminants. Kyoto, Japon, 27-34.
24. Ellis, L.; Tillman, D. (1991). Utilization of phytin phosphorus in wheat Bran by sheep Journal Animal Science. 20, 606-607.
25. FAO, 2009 falta cita bibliográfica
26. FAO. (2021). Sheep Population by Country 2024. Disponible en: XYZ
27. Feng, X., Ray, P.P., Jarrett, J.P., Karpinski, L., Jones, B., & Knowlton, K.F. (2018). Effect of abomasal inorganic phosphorus infusion on phosphorus absorption in large intestine, milk production, and phosphorus excretion of dairy cattle. Journal of Dairy Science, 101(8), 7208-7211.
28. Field A.C., & Woolliams J.A. Genetic control of phosphorus metabolism in sheep. Can J Anim Sci 1984, 64: 232–233.
29. Field, A.; Suttle, N.; Nisbed, D. (1975). Effect of diets low in calcium and phosphorus on the development of growing lambs. The Journal Agricultural Science, 85, 435-442.
30. Galaviz J., Ramírez E., Vargas S., Zaragoza J., Guerrero J., Mellado M. y Ramírez R. (2014) Effect of three production systems of central Mexico on

growth performance of five lamb genotypes. The Journal of Animal & Plant Sciences, 24 (5) 1303-1308.

31. Georgievski, V.I. (1982). The physiological role of macroelements in V.I. Georgievski., B.N. Annenkov and V.I. Samokhin (eds): Mineral Nutrition of Animals. *Studies in the Agricultural and Food Sciences*, 137-147.
32. Godoy, S.; Meschy, F. (2001). Utilisation of phytate phosphorus by rumen bacteria in a semicontinuous culture system (Rusitec) in lactating goats fed on different forage to concentrate ratios. Reprod. Nutr. Dev. INRA, EDP Sciences, 259–265.
33. Goff, J.P. (1998). Invited review: mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. Journal of Dairy Science, 101: 2763-2813
34. Gross, A., & Boyd, C.E. (1998). A digestion procedure for the simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in pond water. Journal of the World aquaculture Society, 29(3), 300-303.
35. Hays, V.W., Swenson, M.J., (1993). Minerals in Dukes Physiology of domestic animals 11 Edition, Swenson M J and W O Reece ed. Cornell University Press, Ithaca, NY. 517-535 http://data.un.org/Data.aspx?d=FAO&f=itemCode%3A976 (fecha de consulta:11 mar 2024)
36. Jouany J.P., Dardillat C. and Kayouli C., 1995. Microbial cell wall digestion in camelids. In: Options Méditerranéennes, B, 13, p. 13-42.
37. Kiela *et al.*, 2016 falta cita
38. Kiela PR, Ghishan FK. Physiology of Intestinal Absorption and Secretion. Best Pract Res Clin Gastroenterol. 2016 Apr;30(2):145-59. doi: 10.1016/j.bpg.2016.02.007. Epub 2016 Feb 10. PMID: 27086882; PMCID: PMC4956471.
39. Kinkaid, R.; Rodehutscord, M. (2005). Phosphorus metabolism in the rumen.

40. Knowlton, K.F., Herbein, J.H. (2002). Phosphorus Partitioning During Early Lactation in Dairy Cows Fed Diets Varying in Phosphorus Content**.** Journal of Dairy Science, 85 (5), 1227-1236.
41. Köhler, O.M., Grünberg, W., Schnepel, N., Muscher-Banse, A.S., Rajaeerad, A., Hummel, J., & Wilkens, M.R. (2021). Dietary phosphorus restriction affects bone metabolism, vitamin D metabolism and rumen fermentation traits in sheep. Journal of animal physiology and animal nutrition, 105(1), 35-50.
42. Komisarczuk, ¿**XY?** 1985, tudy of the effect of phosphorus on fermentation, protein synthesis and adenosine triphosphate levels in the rumen contents with different continous-culture systems, Tesis Doctoral, Paris Francia.
43. Konishi C., Matsui T., Park W., Yano H., Yano F. (1999). Heat treatment of soybean meal and rapeseed meal suppresses rumen degradation of phytate phosphorus in sheep, Anim. Feed Sci. Technol. 80, 115–122.
44. Küllenberg, D., Taylor, L.A, Schneider, M. et al. Efectos de los fosfolípidos dietéticos en la salud. Lipids Health Dis 11,3 (2012). https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-3
45. Lachmann M, Araujo O. (1999). Estimación de la digestibilidad en ensayos con rumiantes. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Zulia Maracaibo, Venezuela.
46. Lautrou M, Pomar C, Dourmad J.-Y, Narcy A, Schmidely P, Létourneau-Montminy M.P. (2020). Phosphorus and calcium requirements for bone mineralisation of growing pigs predicted by mechanistic modelling,Animal,14(2), s313-s322. doi.org/10.1017/S1751731120001627.
47. Lofgreen, P.; Kleiber, M.; Smith, H. (1952). The excretion of injected P32 into the gastrointestinal tract of the young calf. The Journal of Nutrition 47, 561–569.
48. Lynd LR, Weimer PJ, van Zyl WH, Pretorius IS. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. Microbiol Mol Biol Rev. 2002 Sep;66(3):506-77, table of contents. doi: 10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002. Erratum in: Microbiol Mol Biol Rev 2002 Dec;66(4):739. PMID: 12209002; PMCID: PMC120791.

49. McDougall, E. (1948). Studies on ruminant saliva. The composition and output of sheep's saliva. Biochemical Journal 43, 99–109.
50. McDowell, L. (1997). Minerals for grazing ruminant in tropical regions. Florida, University of Florida, 81.
51. McGrath, J.J.; Savage, D.B.; Nolan, J.V.; Elliott, R. (2012). Phosphorus and calcium retention in steers fed a roughage diet is influenced by dietary 25OH-vitamin D. Animal Production Science 52:636-640. Disponible en URL: http://dx.doi.org/10.1071/AN11293
52. Mejia-Haro, I.; Brink, D.; Fajardo-Peña, J.; Ortiz-de la Rosa, B. (2001). Effects of different ca: p ratios in lamb diets on apparent absorption and retention of phosphorus. Agrociencia 35, 497-502.
53. Miller, J.J. (2001). Impact of intensive livestock operations on water quality. Proc. Western Canadian. Dairy Seminar 13, 405-416.
54. 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. 318.
55. Miyamoto, K.I., Haito-Sugino, S., Kuwahara, S., Ohi, A., Nomura, K., Ito, M., & Segawa, H. (2011). Sodium-dependent phosphate cotransporters: lessons from gene knockout and mutation studies. Journal of pharmaceutical sciences. 100(9), 3719-3730.
56. Mogodiniyai, 2010 falta ficha bibliográfica
57. Montgomery, J.; Blanton, J.; Horst, R.; Galyean, M.; Marrow, K.; Wester, D.; Miller, M. (2004). Effects of biological type of beef steer on vitamin D, calcium and phosphorus status. Journal of Animal Science, 82, 2043-2049.
58. Nasir Khan, M. (2014). *Eutrophication: Challenges and Solutions*. Unpublished.https://doi.org/10.13140/2.1.3673.8884
59. Nguyen, M. T., Matsuo, M., Niemann, S., Herrmann, M., & Gotz, F. (2020). Lipoproteins in Gram-positive bacteria: abundance, function, fitness. Front Microbiol 11: 582582.

60. NMX-AA-029-SCFI-2001, Análisis De Aguas - Determinación De Fósforo Total En Aguas Naturales, Residuales Y Residuales Tratadas - Método De Prueba (CANCELA A LA NMX-AA029-1981)
61. Nolan, J. (2007). Nutrient requirements of domesticated ruminants. CSIRO publishing. **No se cita en texto.**
62. **NOM-001-SEMARNAT-1996 falta ficha bibliográfica**
63. **Noro y Sepúlveda 2021 falta ficha bibliográfica**
64. NRC (2006), "Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids" National Academic Press
65. NRC, (2021), National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine; Division on Earth and Life Studies; Board on Agriculture and Natural Resources; Committee on Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. Washington (DC): National Academies Press (US); 2021 Aug 30. 7, Minerals. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK600600/
66. Park W.Y., Matsui T., Yano F., Yano H. (2000). Heat treatment of rapeseed meal increases phytate flow into the duodenum of sheep, Anim. Feed Sci. Technol. 88 31–37.
67. Patiño, R.; Barragan, W.; Vergara, O.; Maza, L. (2012). Regulatory mechanisms of phosphorus absorption. Rev. Colombiana ciencia. Animal 4, 473-497.
68. Pinos-Rodríguez J M., García-López J C., Peña-Avelino L Y., Rendón-Huerta J A., González-González C., Tristán-Patiño F. (2012). Environmental regulations and impact of manure generated by livestock operations in some American countries. Agrociencia, 46, 359-370.
69. Powers, W. (2009). Environmental challenges ahead for the U.S. dairy industry. *In*: Proc. 46th Florida Dairy Production Conference, Gainsville, 13-24.

70. Preston, R. L., & Pfander, W. H. (1964). Phosphorus metabolism in lambs fed varying phosphorus intakes. The Journal of Nutrition, *83*(4), 369-378.
71. Proszkowiec-Weglarz, M., & Angel, R. (2013). Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. Journal of Applied Poultry Research, 22(3), 609-627.
72. Raun, A.; Cheng, E.; Burroughs, W. (1956). Phytate phosphorus hydrolysis and availability to rumen microorganisms. J. Agr. Food Chem. 4, 869–871.
73. Razzaque, M.; Lanske, B. (2007). The emerging role of the fibroblast growth factor-23-klotho axis in renal regulation of phosphorus homeostasis. Journal of Endocrinology, 194, 1-10.
74. Reddy, K.R., R.H. Kadlec, E. Flaig, and P.M. Gale. (1999). Phosphorus retention in streams and wetlands: a review. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 29, 83-146.
75. Salviano, L. (1996). Efeito de diferentes proporções de cálcio e fósforo sobre as perdas endógenas e absorção real de fósforo em ovinos. Tese (Doutorado) Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 83.
76. Scott, D. (1982). Control of phosphorus balance in ruminants. En: Georgievskii VI, Annenkov BN y Samokhin VT, eds. Mineral Nutrition of Animals. London, UK, Butterworths.
77. Scott, D., Loveridge, N., Nicodemo, L., Buchan, W., Milne, J., Duncan, A., Nicol, P., Robins, S.P., (1997). Effect of diets varying in nitrogen or phosphorus content on indicators of bone growth in lambs. Exp. Physiol. 82, 193–202.
78. Shanklin, N. (2001). Effect of form and amount of phosphorus and phytase supplementation on phosphorus utilization by ruminants. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Virginia, US.
79. SIAP (2023). ¿Que cifras se esperan de la actividad pecuaria en 2022? Disponible en: https://www.gob.mx/siap/articulos/que-cifras-se-esperan-de-la-actividad-pecuaria-en-

2022?idiom=es#:~:text=18.9%20millones%20de%20porcinos.,8.8%20millones%20de%20ovinos. (fecha de consulta 11 marzo, 2024).

80. Smith, H.; Kleiber, M.; Black, L.; Baxter, F. (1955). Transfer of phosphate in the digestive tract. II. Sheep. Journal of Nutrition 57, 507–527.

81. SPSS, 2012 falta ficha bibliográfica

82. Tamim, N.M., Angel, R., 2003. Phytate phosphorus hydrolysis as influenced by dietary calcium and micro-mineral source in broiler diets. J. Agric. Food Chem. 51, 4687–4693.

83. Tomas, F.M. (1973). Parotid salivary secretion in sheep: its measurement and influence on phosphorus in rumen fluid. Quarterly Journal of Experimental Physiology 58, 131–138.

84. Tyler Jr., G. (1994). Ecología y Medio Ambiente: Introducción a la ciencia ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del planeta Tierra. 7ª Edición, Grupo Editorial Iberoamérica. México.

85. Underwood, E.;& Suttle, N. (2003). Los minerales en la nutrición del ganado. Zaragoza, ¿editorial? 637.

86. Valk, H. & Beynen, A.C. (2003). Proposal for the assessment of phosphorus requirements of dairy cows. Livestock Production Science 79, 267–272.

87. Van Soest, P.J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. Cornell university press.

88. Vitti, D.; Bueno, I.; Da Silva Filho, J.; Soares,T.; Patiño, R.; Nasser, E.; De Almeida, A.; Sallam, S.; Nascimento Filho, V.(2008). The effect of dietary intake of phosphorus on true absorption and excretion of phosphorus in brazilian Santa Inês Sheep. UK: Procedings. Of the British Society of the Animal Science. Scarborougt, 185.

89. Vitti, D.M.S.S.; Kebreab, E.; Lopes, J.B.; Abdalla, A.L.; Carvalhos, F.

90. F.R.; Resende, K.T. de; Crompton, L.A.; France, J. (2000). A kinetic model of phosphorus metabolism in growing goats. Journal of Animal Science, 78, 2706-2712.

91. Walker, D.M. and Al-Ali, S.J. (1987). The endogenous phosphorus excretion of preruminant lambs. Aust. J. Agric. Res. 38, 1061-1069.
92. Whitehead, D. C. (2000) Nutrient Elements in Grassland. Soil-Plant-Animal Relationships; CABI: Wallingford, U.K., 2000.
93. Wilkens, M.R; Muscher-Banse, A.S. (2020). Review: Regulation of gastrointestinal and renal transport of calcium and phosphorus in ruminants. Animal 14, s29-s43, doi.org/10.1017/S1751731119003197.
94. William F, Ganong. (1994). Tissue Renin-Angiotensin Systems. Current concepts of local regulators in reproductive and endocrine organs. Advances in experimental medicine and biology. Department of Physiology. University of California, San Francisco California, 377, 94143-0444.
95. Xu, H.; Bai, L.; Collins, J.; Guishan, F. (2002). Age-dependent regulation of rat intestinal type IIb sodium-phosphate cotransporter by 1,25-(OH)2 vitamin D3. American Journal Physiology Cell Physiology, 282, 487- 493.
96. Yan, Q.X., Tang, S.X., Musibau, A. B., Han, X.F., Zhou, C.S., Wang, M., Sun, Z.H., & Tan, Z.L. (2011). Influences of dietary phosphorus variation on nutrient digestion, fecal endogenous phosphorus output and plasma parameters of goats. Livestock Science, 142, 63-6
97. Yanke, J.; Bae, D.; Selinger, B.; Cheng, J. (1998) Phytase activity of anaerobic ruminal bacteria. Microbiology 144, 1565–1573.
98. Yano, F.; Yano, H.; Breves, G. (1991). Calcium and phosphorus metabolism in ruminants. In: international symposium on ruminant physiology. New York: Academic Press, 277- 295.
99. Zillinger *et al.* 2024 falta ficha bibliográfica

Sección de preguntas para Areli.

- Si se menciona excreción fecal endógena ¿Cuál es la excreción fecal exógena y que las diferencia? Lógico, además de lo endógeno y lo exógeno.
- ¿El concepto de estequiometria puede influir en algunas condiciones clínicas y respuestas hormonales?

- Cuál es la importancia e influencia sobre el P en los sitios eutróficos por acción humana incluidos sus desechos.
- Considerar la inclusión de un glosario.

En el texto incluyen et al tanto en letra normal como en cursiva.

Las fichas bibliográficas se citan: J. Dairy Sci. y otras Journal of Agricultural Science.