



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL**

**EFEECTO DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DEL FORRAJE EN  
LA RETENCIÓN Y CONCENTRACIÓN PLASMÁTICA Y SALIVAL DE  
FÓSFORO EN BORREGAS EN MANTENIMIENTO**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS**

**P R E S E N T A:  
ALDO GARCÍA ROBLEDO**

**TUTOR: Dr. AURORA HILDA RAMÍREZ-PÉREZ - FMVZ  
COMITÉ TUTORAL: Dr. LUIS CORONA GOCHI – FMVZ  
Dra. MARIA ESTHER ORTEGA CERRILLA - COLPOS**

**MÉXICO, D.F. JUNIO 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

Este trabajo fue financiado por el proyecto PAPIIT IN 214309 “**Estudio del efecto de la materia prima y del tamaño de partícula del forraje sobre la utilización digestiva y metabólica del fósforo en ovinos y caprinos para ayudar a disminuir su excreción y el impacto ambiental**”, bajo la supervisión de la Dr. Aurora Hilda Ramírez-Pérez.

## **DEDICATORIA**

**A mis padres:** Alma Delia y Fidel que siempre me han brindado todo su apoyo y han creído en mi cuando más los he necesitado.

**A mis hermanas:** Jesica y Jazmín que me han enseñado a luchar por conseguir superar las metas propuestas.

**A Carmen:** Por escucharme, brindarme su apoyo y comprensión cuando más difícil parecía alcanzar esta meta.

**A mis amigos (as):** Itzcoatl, Alma, Belén, Erika, Gloria, Jimena, Juan José, Susana, Karina, Claudia, Julián, Salvador, Wenceslao, Inés, José Guadalupe, Felipe, Ana Lilia, Zulema, Elizabeth, Sergio, Hugo y Mario. A quienes afortunadamente encontré a lo largo de mi formación profesional, con los (as) que forme un equipo de trabajo, compartí conocimientos, tristezas y alegrías. A quienes han estado cerca, a los (as) que están lejos y a quienes he tenido la oportunidad de reencontrar.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, por dejarme ser parte de ella. A la Dirección General de Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, por el financiamiento del proyecto PAPIIT- No IN-214309. A CONACYT por la beca otorgada durante mi posgrado. A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por poner mis disposición a las personas y herramientas necesarias para crecer profesionalmente. Al Posgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por guiarme en el camino para cumplir esta meta. Al Centro de Enseñanza, Práctica, Investigación en Producción y Sanidad Animal (CEPIPSA), por permitirme usar sus instalaciones para realizar la fase experimental de la investigación. A las borregas utilizadas en el experimento, ya que sin ellas no hubiera sido posible realizarlo.

Gracias a los profesores de la FMVZ, quienes me guiaron en el camino del conocimiento para superarme profesionalmente. Al Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la FMVZ, por permitirme usar sus instalaciones para generar nuevos conocimientos.

A la Dra. Aurora Hilda Ramírez Pérez por darme la oportunidad de trabajar con ella, de aprender de su experiencia académica y en el área de investigación. A mi Comité Tutoral: Dra. María Esther Ortega Cerrilla y Dr. Luis Corona Gochi, por sus observaciones y recomendaciones para que el proyecto rindiera frutos. A la Dra. Silvia Elena Buntinx Dios, al Ingeniero Jose Luis Pablos Hach, al Dr Manuel González Ronquillo y al Dr Andre Francois Meschy por apoyarme con sus conocimientos y experiencia para enriquecer el presente trabajo.

Agradezco también al Dr. Sergio Ángeles Campos por abrirme las puertas del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica. A la Química Águeda García Pérez por permitirme hacer uso del Laboratorio de Bromatología. Al personal técnico del Laboratorio de Bromatología, por su apoyo con el procesamiento de las muestras y la capacitación para el manejo del equipo.

A Juan José, Gloria, Jimena, Susana, Teresa, José Antonio, Víctor, Juan, Isabel y Erika por su apoyo en la fase experimental y de laboratorio.

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	3
1.1.1 Producción ovina.....	3
1.1.2 Nutrimientos inorgánicos.....	5
1.1.3 El fósforo en la economía mundial.....	7
1.1.4 El fósforo y el medio ambiente.....	7
1.1.5 El fósforo en los alimentos.....	9
1.1.6 El fósforo en el organismo del rumiante.....	12
1.1.7 Excreción de fósforo y calcio.....	19
1.1.8 Digestibilidad del fósforo.....	21
JUSTIFICACIÓN.....	22
2. OBJETIVO GENERAL.....	23
3. HIPÓTESIS.....	23
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
4.1 FASE DE CAMPO.....	24
4.1.1 Lugar.....	24
4.1.2 Animales y alojamiento.....	24
4.1.3 Alimentación.....	26
4.1.4 Prueba de digestibilidad aparente.....	28
4.1.5 Muestras de plasma y saliva.....	30
4.2 ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	31
4.3 CÁLCULOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	32
5. RESULTADOS.....	36
5.1 PESO VIVO, CONSUMO DE AGUA Y EXCRECIÓN URINARIA.....	36
5.2 DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA Y ORGÁNICA.....	36

5.3	DIGESTIBILIDAD DE NUTRIMENTOS .....	38
5.3.1	Proteína cruda .....	39
5.3.2	Fibra detergente neutro .....	39
5.2.3	Energía .....	39
5.4	ABSORCIÓN Y RETENCIÓN APARENTES DE FÓSFORO .....	40
5.4.1	Fósforo total .....	40
5.4.2	Fósforo soluble.....	47
5.5	CONCENTRACIONES PLASMÁTICAS DE FÓSFORO .....	47
5.6	FÓSFORO SALIVAL .....	50
6.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	54
6.1	CONSUMO DE AGUA Y EXCRECIÓN URINARIA.....	54
6.2	DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA, ORGÁNICA, PROTEÍNA CRUDA Y ENERGÍA.....	54
6.3	DIGESTIBILIDAD APARENTE DE P Y DE LAS PAREDES CELULARES; CONCENTRACIONES PLASMÁTICA Y SALIVAL DE FÓSFORO .....	56
7.	LITERATURA CITADA .....	65
	ANEXOS .....	76

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Principales países productores de ovinos en el año 2012.....	3
Cuadro 2. Cantidad de P alimentario y excretado por una vaca en lactación produciendo 9,100 kg de leche en 305 días, y cantidad de terreno necesario para una eficaz utilización del P de las excretas .....	8
Cuadro 3. Composición química de los ingredientes de las dietas utilizadas en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento .....	27
Cuadro 4. Composición de la dieta utilizada en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje.....	28
Cuadro 5. Digestibilidad aparente de la materia seca y orgánica, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje .....	37
Cuadro 6. Digestibilidad aparente de la proteína cruda, fibra detergente neutro y energía bruta; en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje.....	38
Cuadro 7. Absorción aparente de fósforo total y soluble en agua, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje .....	40
Cuadro 8. Fósforo plasmático en ayuno (Ppa) y después de comer (Ppd) en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje ..	48

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Comportamiento de la producción ovina (cabezas) en México (1960 – 2011). Fuente: FAOSTAT (2011). .....	4
Figura 2.Jaula metabólica, para ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje.....	25
Figura 3.Vertedero protegido con malla de plástico.....	26
Figura 4.Toma de muestra de saliva proveniente de la parótida, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje. ....	31
Figura 5.Relación entre el fósforo fecal e ingerido diariamente en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global y la punteada a la partícula M. ....	42
Figura 6.Relación entre el fósforo fecal (P fec) y el calcio ingerido (Ca ing) diarios, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global.....	43
Figura 7.Relación entre el fósforo fecal (P fec), calcio (Ca ing) y fibra detergente neutro (FDNing) ingeridos diariamente, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña) . ....	44
Figura 8.Relación entre el fósforo absorbido e ingerido diariamente en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global. ....	45
Figura 9.Relación entre el fósforo retenido (P ret) y el absorbido (P abs) diarios, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global. ....	46
Figura 10.Relación entre la concentración de fósforo urinario y plasmático en ayuno, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global y la punteada a la partícula G.....	49
Figura 11.Relación entre la producción de saliva y la materia seca (MSI) y orgánica (MOI) ingeridas diariamente, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global y la punteada a la partícula M.....	51

Figura 12. Relación entre el flujo de fósforo salival y la materia seca (MSI), orgánica (MOing), fibra detergente neutro (FDNing) y fósforo (Ping) ingeridos diariamente, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global y la punteada a la partícula C. .... 52

Figura 13. Balances de fósforo, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (Chica, 2.54 cm; Mediana, 5.08 cm; Greña, greña). Ping, P ingerido; P abs, P absorbido aparente; P fec, P en heces; P uri, P eliminado en orina; P ret, P retenido. .... 57

## RESUMEN

El presente trabajo buscó precisar la disponibilidad digestiva de las formas de fósforo alimentario (total (Pt) y soluble en agua (Ps)) y la variación en las concentraciones plasmática y salival de P en ovejas en mantenimiento, lo anterior en respuesta a la modificación del tamaño de partícula del forraje. El único factor de variación de la dieta fue el tamaño de partícula del heno de avena: partícula C y M; 2.54 y 5.08 cm, respectivamente y G, en greña. Se utilizó un diseño de una serie de dos cuadrados latinos. Se realizaron tres periodos de digestibilidad aparente, cada uno de tres semanas, dos para el cambio de alimentación y una más de toma de muestras. Se tomaron muestras de saliva a la salida del conducto parotídeo, y de sangre yugular (antes y dos horas después de la primera comida). Se cuantificaron la materia seca (MS), materia orgánica (MO), energía bruta (EB), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN) en las muestras de alimento ofrecido, rechazos y heces. Además, se cuantificó el P total en las muestras de alimento ofrecido, rechazos, heces, orina, saliva y sangre; y en las tres primeras, el P soluble en agua. El tamaño de partícula del forraje no afectó ( $P > 0.05$ ) la digestibilidad de la MS, MO, PC, FDN o energía ni los niveles de P plasmático en animales en ayuno o dos horas post-prandium o las concentraciones de P salival. En tanto el tamaño de partícula de forraje tendió ( $P < 0.100$ ) a afectar la absorción, digestibilidad y retención aparentes de Pt. Se concluye que en el presente estudio el tamaño de partícula de forraje no mostro resultados contundentes en las relaciones de las variables en estudio, por lo que se necesita más investigación en otros estados fisiológicos, ya que en mantenimiento, los desafíos metabólicos son poco importantes.

## ABSTRACT

### **Effect of forage particle size on phosphorus retention and plasmatic and salivary phosphorus concentrations in maintenance ewes, García Robledo A.**

This study was carried out to precise the effect of forage particle size on digestive availability of dietary phosphorus (total, TP and water soluble WP) and plasmatic and salivary P concentrations. We made a digestibility trial using maintenance ewes. Concentrations of P in plasma and saliva were quantified at digestibility trial. Six adult ewes, Pelibuey × East Friesian ( $49 \pm 2.7$  kg PV) were confined in metabolic crates, where they fed oat hay (793.20 g/kg Dry Matter, DM) and concentrate (206.80 g/kg DM; corn ground, soybean meal, coconut meal and minerals). Ration satisfied nutrient requirements of ewes. The only variation factor of experimental rations diet was the particle size of oat hay. Ration C = 2.54 cm, M = 5.08 cm and G = coarse particle. An experimental design of a double Latin Square was used. The digestibility trial was performed on three periods of three weeks each one. Two weeks were used to feeding change and one week to taking samples. Saliva samples were taken at parotid duct opening, whereas, blood samples were taken at jugular vein. Both saliva and blood were sampled before and two hours after the first meal. Dry matter, organic matter (OM), gross energy (GE), crude protein (CP) and neutral detergent fiber (NDF) in samples of feed offered, refusals and feces were quantified. Furthermore, the total P was quantified in samples of feed offered, refusals, feces, urine, saliva and blood. Phosphorus water-soluble was quantified in feed, refusals and feces. The forage particle size did not affect ( $P > 0.05$ ) digestibility of: DM, OM, CP, NDF, energy. Neither plasma P levels in fasted animals or two-hour after first meal, nor saliva P concentrations were affected ( $P > 0.05$ ) for forage particle size. However, the particle size of forage tended ( $P < 0.100$ ) to affect the absorption, apparent digestibility and retention of TP. In this study the forage particle did not show conclusive effects on the variables in study. Thus further research is needed in other physiological states of ewes where metabolic challenges are more important.

## 1. INTRODUCCIÓN

La población humana y sus actividades cotidianas contribuyen de manera importante a la contaminación del medio ambiente, situación que se ha agravado ya que para satisfacer las demandas de una población en constante crecimiento, los ciclos vitales de la naturaleza se han afectado negativamente. Desde 1961 hasta la fecha la población mundial se ha incrementado más del 229 % (Banco mundial, 2013). En el año 2012, la FAO estimó la población mundial en más de 7,000 millones de habitantes, y que para el año 2050 superará los 9,000 millones. Entre las actividades económicas primarias que permiten alimentar a las sociedades humanas están la agricultura y la ganadería, y para ello la superficie del planeta destinada a estas producciones se ha incrementado considerablemente. Por ejemplo, en 1981, el 51.05 % de la superficie del territorio mexicano se destinaba a la agricultura. En tanto, para el año 2011, la superficie se incrementó un 2.02 %, lo que representó un total de 39,262.7 km<sup>2</sup> que se sumaron a la superficie destinada a la producción agrícola. De este modo, hay dos situaciones que deben tenerse en cuenta para alimentar a la población; la primera, incrementar la superficie agrícola y ganadera, lo que no puede hacerse de manera infinita y la segunda, incrementar la productividad por unidad de superficie. Lo anterior, es posible gracias al empleo de fertilizantes agrícolas (nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K)) que lamentablemente, no siempre se aplican racionalmente. Una estrategia que puede contribuir a disminuir el impacto ambiental de la agricultura y la ganadería es la de utilizar eficientemente la cantidad de nutrientes, entre ellos N y P, principalmente, tanto en los cultivos como en los animales.

Para estos últimos, se han desarrollado sistemas de alimentación que consignan las necesidades nutrimentales para los diferentes estadios fisiológicos, considerando que una parte de los nutrimentos ingeridos es excretada de manera normal. Sin embargo, el grado actual de contaminación en el planeta, aunado al costo de la producción animal, exigen que la cantidad de nutrimentos excretados, especialmente N y P se minimice. En los últimos años, algunos sistemas de alimentación animal (NRC, 2007; INRA, 2007; FEDNA, 2010), han ajustado los aportes alimentarios de P en las distintas etapas fisiológicas o productivas, con la finalidad de hacer más eficiente su utilización y disminuir su excreción.

En el caso de los rumiantes, el reciclaje de P que se realiza por la saliva es una pieza fundamental de su nutrición fosforada. La producción de saliva depende de varios factores, entre ellos se menciona al tamaño de partícula del forraje, el que, en algunas publicaciones (Yano et al., 1991) se menciona está en relación directa al flujo salival de P, mientras algunas otras (Scott et al., 1987; Ternouth, 1989) no señalan este efecto. El tamaño de partícula del forraje sumado a la composición química de la fibra del mismo son factores cuyos efectos sobre algunos parámetros digestivos (tasa de masticación, tasa de pasaje, tasa de fermentación, etc.) han sido reportados (Woodford y Murphy, 1988). De este modo, se plantea la siguiente pregunta de investigación: En ovejas en mantenimiento ¿el tamaño de partícula de forraje modifica el flujo salival de P, y con ello, la utilización digestiva y la retención del elemento pueden verse afectadas? Este estudio pretende generar información para responder esta pregunta.

## 1.1 REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 1.1.1 Producción ovina

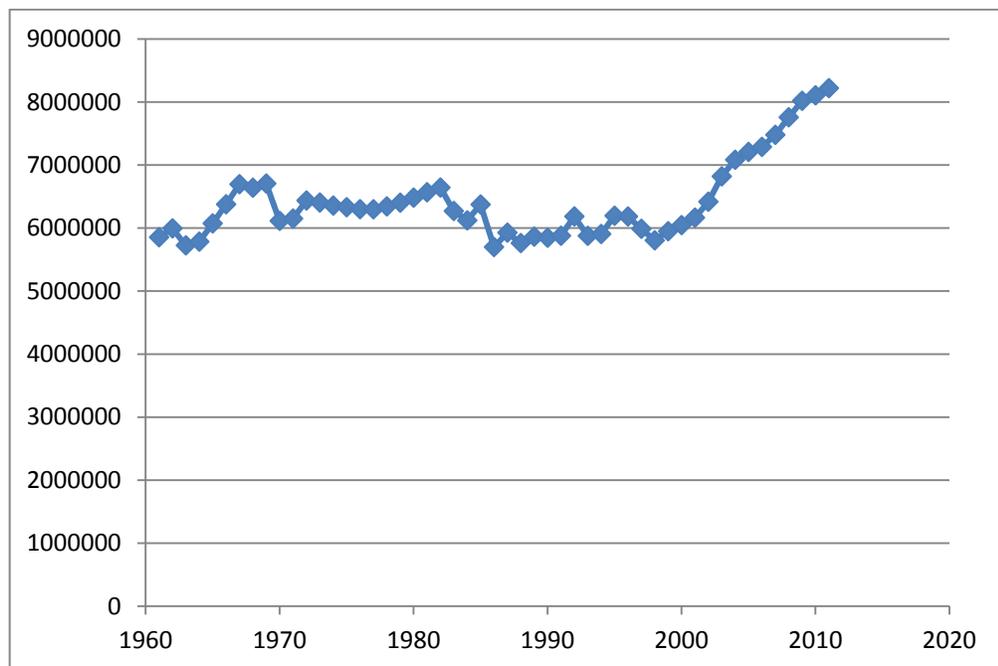
La población mundial ovina es de 1,169,004,916 cabezas (FAO, 2012) ; alrededor del 50 % se distribuye en China, India, Australia, Sudán, Irán, Nigeria, Reino Unido, Nueva Zelanda, Paquistán y Etiopía que ocupan los diez primeros lugares en la producción mundial (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Principales países productores de ovinos en el año 2012

Posición	País	Número de cabezas
1	China	187,000,000
2	India	75,000,000
3	Australia	74,721,551
4	Sudán (ex)	52,500,000
5	Irán (República Islámica de)	48,750,000
6	Nigeria	38,500,000
7	Reino Unido	32,215,000
8	Nueva Zelanda	31,262,715
9	Pakistán	28,400,000
10	Etiopía	25,489,204

**Fuente:** Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAOSTAT, 2012)

México aparece en el lugar 38, con una población de 8,405,902 semovientes (Figura 1, FAO, 2012), distribuida de la siguiente forma: 41.0 % en la región norte, árida y semiárida; 34% en la región centro, templada y montañosa y 25% en la región de trópico, húmedo y seco (Molina, 2005). Es importante señalar que, en años anteriores la población ovina se concentraba en la región centro seguida por la región norte (Fundación Mexicana para el Desarrollo Rural, 2000).



**Figura 1.** Comportamiento de la producción ovina (cabezas) en México (1960 – 2011). Fuente: FAOSTAT (2011).

Los sistemas de producción ganadera se clasifican en:

- 1) *Extensivo*: con rebaños de 10 hasta 2,000 cabezas. En este sistema que puede observarse en las regiones centro, norte y tropical, la ovino cultura es vista principalmente como un ahorro para los tiempos económicamente difíciles de los pequeños productores (Molina, 2005).
  
- 2) *Intensivo*: no se define por el número de cabezas si no por los recursos técnicos, económicos y de infraestructura con que cuenta la unidad de producción (UP); se utiliza principalmente en los estados de Veracruz, Zacatecas, Estado de México y Jalisco (González et al., 2010). Su objetivo es la crianza de animales para abasto o pie de cría. En este sistema se incluyen productores que tienen esta actividad como “hobby” y no siempre buena productividad.
  
- 3) *Mixto*: combina la alimentación en pastoreo con la complementación en corral. Aunque, es menos tecnificado que el intensivo, suele tener buenos índices productivos

cuando la complementación es adecuada; y de rentabilidad ya que la inversión requerida no es tan elevada en comparación con el sistema intensivo.

Los sistemas de producción ovina condicionan directamente la alimentación en las UP. Para intensificar la producción, algunos ovinocultores han adquirido nuevas razas y modificado las raciones incluyendo mayores cantidades de concentrados (Macedo y Alvarado, 2005), para satisfacer las elevadas demandas de nutrimentos de las razas especializadas que tienen requerimientos mayores respecto a razas más rústicas (Navarro, 2005). La alimentación basada en el pastoreo, que es totalmente dependiente del tiempo meteorológico, puede no cubrir las necesidades de nutrimentos en las etapas fisiológicas más exigentes de los animales de razas especializadas. Entonces, el incremento de concentrados en la ración, si bien, aumenta los costos de producción, disminuye el tiempo de duración de la engorda en razas cárnicas (Lara, 2008).

### **1.1.2 Nutrimentos inorgánicos**

Los nutrimentos inorgánicos o minerales no son sintetizados por los animales. Por ello, necesitan adquirirlos de fuentes exógenas principalmente con la dieta, en cantidades adecuadas para no causar problemas de toxicidad o deficiencia. De la totalidad de elementos químicos conocidos, sólo de dieciséis de ellos se ha identificado su participación en el metabolismo de los individuos y se clasifican de acuerdo con las cantidades en que son requeridos. Los **macrominerales** (son necesario en cantidades mayores a 100 mg/kg): calcio (Ca), P, K, sodio (Na), cloro (Cl), magnesio (Mg) y azufre (S); los **microminerales** u **oligoelementos** (son necesarios en cantidades menores a 100 mg/kg): hierro (Fe), iodo (I), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), cobalto (Co), molibdeno (Mo), selenio (Se), cromo (Cr). A esta lista, se le han sumado recientemente: estaño (Sn), vanadio (V), flúor (F), silicio (Si), níquel (Ni), arsénico (As), boro (B), plomo (Pb) y litio (Li) (McDowell, 1992).

Las principales funciones de los minerales son:

- 1) *Estructural*: como parte de órganos y tejidos; así, se encuentran Ca, P, Mg, F y Si formando la matriz de huesos y dientes; P y S forman parte de la proteína muscular; el Zn y el P contribuyen a la estabilidad estructural de membranas.
  
- 2) *Fisiológica*: electrolitos en tejidos y fluidos corporales que mantienen la presión osmótica, la permeabilidad de membrana y la excitabilidad tisular, equilibran los ácidos y bases. El Na, K, Cl, Ca y Mg en sangre, líquido cefalorraquídeo y jugo gástrico son electrolitos.
  
- 3) *Catalítica*: participan acelerando las acciones enzimáticas y hormonales, o bien son componentes estructurales de metaloenzimas o como activadores menos específicos de dichos sistemas. En este grupo se puede citar a Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Se y Cr.
  
- 4) *Reguladora*: intervienen en la regulación de la replicación y diferenciación celular. Por ejemplo, el Ca influye en las señales de transducción y el Zn en la transcripción celular. El I es un constituyente de las hormonas tiroideas (Underwood y Suttle, 1999).

Dentro del grupo de los nutrientes inorgánicos, el P destaca por sus innumerables funciones tanto estructurales como metabólicas; participa en el transporte y metabolismo de los lípidos, en la absorción y utilización de carbohidratos y aminoácidos (Vitti et al., 2010), es un componente de la membrana celular, participa en el equilibrio ácido – base (Yano et al., 1991). Por todo lo anterior, el P es considerado el elemento metabólicamente más importante (Underwood y Suttle, 1999); sin embargo, su participación en la eutrofización del agua, ha provocado que sea calificado como contaminante potencial (Vollenwider, 1970).

### **1.1.3 El fósforo en la economía mundial**

Cordell et al. (2009) en la revisión de literatura “The story of phosphorus: Global food security and food for thought” señalan la importancia histórica del P en la producción de alimentos para consumo humano y destacan que el P es un recurso no renovable. Además, indican que en la actualidad el 90 % de la producción de P se destina a la producción de alimentos. Déry y Anderson (2007) modelaron el comportamiento de la producción de fosfato en la isla de Nauru, en Estados Unidos (el primer exportador y el principal fabricante de fosfatos, respectivamente) y en el mundo; llegando a la conclusión que el pico de producción de fosfatos se presentó en la década de 1970 (en la isla de Nauru) y en la de 1980 (en los Estados Unidos y en el Mundo); lo que resulta inquietante ya que se prevé el agotamiento de las reservas del elemento en 50 o 100 años (Cordell et al., 2009). Actualmente, se presentan situaciones alarmantes: 1) sin los materiales fosfatados no se logrará la producción de alimentos para una población que crece exponencialmente; 2) las reservas de fosfatos mundiales se encuentran en vía de agotarse; 3) la costosa sobrealimentación fosforada de los animales; por ejemplo, Satter (2003) mencionó que en 1999, en EU, las raciones para vacas lecheras contenían 1.25 veces los requerimientos de P, lo que representó un gasto extra de 100 millones de dólares ese año. Esta sobre alimentación con P resulta en una cuarta situación: el problema de contaminación, el cual es causado por el incremento en la excreción del elemento que termina en los efluentes de las UP.

### **1.1.4 El fósforo y el medio ambiente**

En el ciclo del P intervienen factores biológicos y procesos químicos. El elemento circula a través de los diferentes componentes de las cadenas alimenticias; inevitablemente, parte del P regresa al suelo con las excretas, orina o por la descomposición de los cadáveres de animales. De acuerdo con Barsdate y Prentki (1974), el P en el suelo puede almacenarse en compuestos inorgánicos unido con otros minerales o en los microorganismos y material en descomposición en forma de compuestos orgánicos. Por otra parte, las áreas urbanas han crecido rápidamente, a expensas de las zonas naturales y agropecuarias, lo que ha

provocado que la producción se intensifique en áreas de menor superficie, generando cantidades importantes de estiércol que deben depositarse en esas extensiones cada vez menores, lo que dificulta la utilización edafológica del P y otros minerales (Cuadro 2). Entonces, el exceso de P es lixiviado hacia los mantos freáticos (Jongbloed y Kemme, 1997), o al ser arrastrado por el agua de lluvia o riego contamina las aguas superficiales. Otro factor que contribuye en gran manera a la eutrofización del agua por el enriquecimiento con P es la sobrealimentación que reciben los animales con este elemento. Eutrofización es el término utilizado para definir un cuerpo de agua superficial con una disminución en la concentración de oxígeno y con abundancia de N y P lo que promueve el crecimiento de algas y otros microorganismos. Si este crecimiento resulta excesivo, el consumo de oxígeno disuelto aumenta provocando la muerte de animales y plantas del ecosistema (Schindler, 1974). En este proceso se presenta también la disminución del pH del agua.

**Cuadro 2.** Cantidad de P alimentario y excretado por una vaca en lactación produciendo 9,100 kg de leche en 305 días, y cantidad de terreno necesario para una eficaz utilización del P de las excretas (Powell et al., 2001)

Concentración de P en la dieta (g/kg de MS)	P suplementario estimado (kg/lactación)	P excretado (kg/lactación)	Área de terreno necesaria para reciclar el P excretado (ha)	Aumento en el área de terreno (%)
3.5	0	15.8	0.53	Basal
4.0	3.4	19.2	0.65	23
4.8	8.9	24.7	0.81	53
5.5	13.7	29.5	0.97	83

Supuestos: Una vaca consume diariamente 22.5 kg de MS de forraje, y el contenido de P en leche es del 0.09%. No hay un cambio neto en el contenido de P de la vaca. La tasa de aplicación de estiércol se basa en la utilización de los cultivos, estimada en 29 kg P/ha.

Los países miembros de la Unión Europea, los Estados Unidos y otros países han reaccionado a la contaminación que han generado, legislando estrictamente en la producción animal en relación a la conservación del medio ambiente. En México, el

problema de la eutrofización se observa en el Golfo de México (Caso et al., 2004), la península de Yucatán (Herrera et al., 2006), en los lagos de Zapotlán y Chapala en Jalisco (De Anda y Maniak, 2007), en el lago de Zempoala en Morelos (Díaz-Vargas et al., 2005), en algunas lagunas costeras de Sonora y Sinaloa (Lizárraga et al., 2009). Esta situación exige tomar medidas para no agravar el problema, entre ellas, disminuir el impacto de la producción animal en la contaminación del agua. Cabe señalar que las producciones animales de cerdos y aves, son las que tienen mayor potencial para la eutrofización de las aguas superficiales, ya que su alimentación contiene cantidades importantes de P orgánico (ácido fítico) que no puede ser aprovechado por las endoenzimas digestivas de estas especies.

#### **1.1.5 El fósforo en los alimentos**

Los contenidos de calcio y de fósforo en el organismo están estrechamente relacionados; en el hueso, la proporción que guardan es de 2 partes a 1, respectivamente. A partir de esta relación se propone que en las dietas esta relación se mantenga. Libal et al. (1969) mencionan que cuando la relación Ca : P es mayor a 2 la ganancia de peso disminuye; además, encontraron que niveles altos de Ca, favorecen la calcificación de los huesos y que tiene mayor importancia la relación Ca : P que sólo el contenido de P. En el mismo sentido, hay reportes (AFRC, 1991; en Vitti et al., 2010) que indican que si la dieta es rica en Ca, la solubilidad del P en el rumen disminuye, y con ello, se reduce la disponibilidad del P dietario. Sin embargo otros trabajos (Meschy y Guéguen, 1990) realizados en rumiantes se observaron una absorción y utilización metabólicas de P, normales con relaciones Ca : P de 16 : 1.

En los alimentos debe considerarse la (bio) disponibilidad de su contenido de P, que se define como la cantidad del elemento que puede ser retenido en el organismo que lo utiliza (ARC, 1981). Sin embargo, el término (bio) disponibilidad se aplica también en estudios para el valor nutritivo de las fuentes minerales, donde el resultado es comparado con una referencia que se asume como el 100 % disponible (NRC, 1989). Los trabajos de

investigación sobre disponibilidad de los minerales para los organismos pueden realizarse utilizando técnicas *in vivo*, *in vitro* o *semi- in vivo*. Los criterios que se utilizan para los estudios *in vivo* pueden ser: los parámetros zootécnicos, los coeficientes de absorción aparente (CAA) o real (CAR), concentraciones del mineral en tejidos o en el organismo completo del elemento, características morfológicas de diferentes tejidos, concentraciones sanguíneas del elemento o de otros analitos relacionados y concentraciones en otros fluidos corporales (Jongbloed et al., 2002).

Para estimar la disponibilidad de las fuentes de minerales principalmente de los elementos mayores, los estudios de digestión y absorción se califican entre las mejores técnicas. Así, para estimar los coeficientes de absorción se necesita conocer la cantidad de elemento ingerido y del fecal excretado. La diferencia entre una estimación de la absorción aparente y real consiste en que ésta última requiere del conocimiento de la pérdida fecal endógena del mineral (Jongbloed et al., 2002).

$$CAA = (ingerido - fecal) \div ingerido$$

$$CAR = (ingerido - fecal - fecal\ end\acute{o}geno) \div ingerido$$

#### **1.1.5.1 Forrajes**

Las concentraciones de Ca y P de los forrajes dependen de varios factores como: clima, tipo de suelo, especie de cultivo, estado de maduración, riego, fertilización, etc. El contenido de Ca es generalmente adecuado (Underwood y Suttle, 1999), por lo que comúnmente, los rumiantes en pastoreo reciben la cantidad necesaria de Ca, excepto cuando se incrementa en la alimentación, la cantidad de concentrados. Los forrajes tropicales contienen suficiente Ca pero no P (Vitti et al., 2010). En tanto, los forrajes de clima templado, por lo general, contienen más P que los tropicales (3.5 vs 2.3 g P/kg MS; Minson, 1990). En cuanto a la especie, las leguminosas tienen mayor contenido de P que las gramíneas, 3.2 vs 2.7 g P/kg MS. En cuanto a la edad, las concentraciones de P en toda la planta disminuyen con la madurez (Underwood y Suttle, 1999).

### **1.1.5.2 Concentrados**

El contenido de fósforo en las harinas de origen animal es de 20 – 80g P/kg MS (Mendez y Dale, 1998), mayor que el de las de origen vegetal (5 – 12 g P/kg MS) y varía en función del origen (hueso, sangre o leche; McDowell, 1992). En estas harinas, el P se encuentra en formas inorgánicas, como ortofosfatos (tejidos bandos y leche), fosfatos e hidroxapatita (hueso; Rebollar y Mateos, 1999). Por ejemplo, el contenido de P total en la harina de atún es de 4.2 %, considerándose disponible al 100 % (Feedstuffs, 2011). En tanto, el P disponible de la harinas de hueso y sangre la disponibilidad es de 85 – 90 % (Soares citado por Ammerman et al., 1995). En las harinas de origen vegetal la mayor parte del P se encuentra en forma orgánica, como el ATP, ácidos nucleicos, fosfolípidos y fosfoglicidos como el ácido fítico, el cual es particularmente abundante en granos y cereales (50 a 80 % del P total) y será tratado más adelante. En los cereales, el contenido de P se encuentra entre 2.7 – 4.3 g P/kg MS (Underwood y Suttle, 1999).

### **1.1.5.3 Fuentes inorgánicas**

En las fuentes inorgánicas de minerales, el contenido de P depende del material de origen, proceso de fabricación y grado de hidratación (Rebollar y Mateos, 1999). Además, es necesario considerar el contenido de otro tipo de elementos que pudieran causar toxicidad, como es el caso del F en las rocas fosfóricas. Las principales fuentes inorgánicas de P utilizadas en alimentación animal son los ortofosfatos de Na, Ca, K, NH<sub>4</sub> y sus combinaciones. Pero, también se utilizan los fosfatos de roca, los metafosfatos de Na, K y Ca, los pirofosfatos de Na y Ca y los polifosfatos de Na y NH<sub>4</sub>, aunque en menor cantidad (Rebollar y Mateos, 1999). Vitti et al. (1991) encontraron diferencias significativas en la absorción real de fosfato bicálcico y otras fuentes de P inorgánico de diferente origen geográfico; además, calcularon la absorción aparente concluyendo que ésta subestima los valores ya que no toma en cuenta el P endógeno fecal.

#### **1.1.5.4 El fósforo fítico**

En los concentrados de origen vegetal, el P se encuentra almacenado principalmente como ácido fítico (Pp) o mioinositol hexafosfato (IP6). En términos generales, el Pp contiene 28.2 % de P (Rebollar y Mateos, 1999). El ácido fítico es considerado un factor anti nutricional por disminuir la disponibilidad de proteínas y minerales de los alimentos (Sotelo et al., 2002). Sin embargo, se le han descubierto algunas propiedades beneficiosas para la salud humana como la capacidad de disminuir la glicemia ya que al unirse a las amilasas reduce su actividad; quela radicales  $^{3+}$ ,  $^{2+}$  de Fe y Zn por lo que previene algunos tipos de cáncer; actúa como antioxidante al inhibir la peroxidasa; previene la formación de cálculos renales al reducir la formación de cristales de hidroxiapatita; tiene efectos positivos en la reducción del colesterol y triglicéridos séricos (Febles, 1998; Elizalde et al., 2009).

A diferencia de los no rumiantes, los rumiantes utilizan el Pp porque los microorganismos ruminales generan fitasas (Pizzani, 2005; Rebollar y Mateos, 1999) que hidrolizan la molécula liberando el P. Los fitatos tienen diferentes grados de utilización ya que las características de cada ingrediente influyen en su hidrólisis por las fitasas bacterianas y en consecuencia afectan la utilización por parte del animal (Rebollar y Mateos, 1999; Martínez et al. 2002, Hernández, 2012). De acuerdo con Godoy y Meschy (2001, citados por Ramírez-Pérez y Meschy, 2005) cuando el Pp proporcionado en la ración es menor al 50 %, las bacterias ruminales pueden hidrolizar hasta el 90 % del mismo. En dietas con alta proporción de grano y dependiendo del tipo de sal del fitato (de sodio o de calcio, para maíz, el arroz o harinolina, respectivamente) la hidrólisis del fosfoglúcido puede disminuir.

#### **1.1.6 El fósforo en el organismo del rumiante**

El fósforo para los rumiantes es indispensable como para todos los seres vivos y su utilización comprende la ingestión, la digestibilidad, el metabolismo y la excreción del elemento. El uso del P en estas especies se vuelve complejo, dada la participación de las

glándulas salivales en el reciclaje del mineral. A continuación se revisan brevemente estos aspectos de la distribución y metabolismo del P en los rumiantes.

#### ***1.1.6.1 El fósforo en la saliva***

La saliva humedece y lubrica el bolo alimenticio facilitando su masticación y deglución, favorece también la salud de la cavidad oral. En los rumiantes, el papel de la saliva es más destacable, ya que el rumen no tiene mucosa secretora y es la propia saliva, la que contribuye a formar el líquido para transportar la ingesta de la cavidad oral al rumen y viceversa, y además, del estómago hacia el intestino delgado. El contenido de minerales de la saliva (McDougall, 1948) le confiere un pH alcalino que sirve como medio bufferante para estabilizar el pH del rumen (Kay, 1960), haciéndolo adecuado para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos ruminales. La cantidad de saliva producida por los rumiantes es importante. De acuerdo con Jacques et al. (1989), los bovinos que reciben dietas con una relación, forraje : concentrado, 50 : 50, producen 78 L de saliva por día; al aumentar el consumo de forraje al 90 % de la ración, la secreción alcanza los 120 L/día. Erdman (1988) señala para vacas lecheras, un promedio del flujo salival de 171 L/d, cuya variación está en función del consumo de alimento; estimando un flujo promedio de 18.2 L/kg de MS. Yano et al. (1991) mencionan una secreción diaria superior a 100 L en bovinos y 10 L en ovinos. Como las glándulas submaxilares secretan cantidades poco importantes de saliva, el volumen mencionado está soportado principalmente por la secreción rápida y continua de las glándulas parótidas, que consiste en una disolución de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) en proporciones variables (Kay, 1960). En ovejas en corral, la secreción de la parótida alcanza 1.4 – 4.2 L/d (Kay, 1960), mientras que en pastoreo esta secreción supera los 3.4 – 6.7 L/d (Wilson, 1963).

Los fosfatos en la saliva se encuentran asociados a  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  (NRC, 2001). La secreción de P en la saliva está en función de su ingestión y relacionada directamente con el contenido de P plasmático. En ovinos y bovinos, la concentración salival de P es al menos cinco veces mayor respecto a la del P plasmático (NRC, 1989; Cohen, 1980). Así, el contenido de P en

la mezcla de saliva parotídea y mandibular del bovino es de 37 – 72 mg/dL y de 120 mg/dL en la saliva parotídea (Yano et al., 1991). Estas concentraciones de P varían inversamente con el flujo de saliva, el cual tiende a mantener constante la secreción diaria de P salival. Sin embargo, Bailey y Balch (1961) observaron que en bovinos esa variación es ligera cuando la tasa de secreción de la saliva supera los 12 mL/min.

El P proveniente de la saliva constituye alrededor del 80 % del P<sub>e</sub> reciclado al tracto gastrointestinal (Vitti et al., 2010) y su eficiencia de absorción es del 70 al 80 % (Challa et al., 1989). Satter (2003) menciona que el bovino recicla diariamente entre 30 y 90 g de P. En borregos con un aporte de P de 4.2 g/día, el P salival contuvo 6.25 g de P/día (Breves y Höller, 1987). La secreción salival y con ella, el reciclaje de P son afectados por el consumo de materia seca (Yano et al., 1991); la naturaleza física de la dieta (Mertens, 1997; Beauchemin y Yang, 2005), ya que el tamaño de partícula y cantidad de fibra estimulan la rumia y la salivación; y la cantidad de P ingerido. De acuerdo con Valk et al. (2002), en vacas con producción lechera (37.6, 36.9 y 35.6 kg/día) y consumos de MS (22.6, 22.9 y 22.1 kg), ambos semejantes, pero con diferentes consumos de P/kg MS (3.2 – 3.9, 2.6 – 2.9 y 2.2 – 2.6) pudieron observarse concentraciones de 158.10 mg P/L en la saliva del grupo considerado deficiente en P.

#### **1.1.6.1.1 El tamaño de la partícula del alimento y el flujo salival**

El flujo de saliva al rumen aumenta directamente con la cantidad de forraje en la ración, ya que se incrementa el tiempo de masticación (Duric et al., 1994). Cuando el tamaño de partícula de la ración es pequeño, como en el caso de los concentrados, el animal agrega menos cantidad de saliva por unidad de MS consumida. Los forrajes, si no están picados, requieren ser masticados más tiempo para reducir el tamaño de partícula. Yano et al. (1991) observaron en ovinos que recibieron 2.13 g P/día y como única diferencia en la dieta la longitud del heno (0.2, 1.0 y 6.0 cm), un incremento de dos veces el flujo salival de P en los animales que recibieron la partícula más larga. Estimaron, el flujo duodenal de P de 6.4, 7.9 y 14.7 g/día, mientras que la absorción intestinal aparente de P fue de 5.0, 6.0 y 12.4 g/día.

Es decir, que los animales que recibieron la partícula de 6.0 cm, no solo secretaron la mayor cantidad de saliva, también presentaron la mayor eficiencia intestinal de absorción de P. Duric et al. (1994) estudiaron de forma indirecta el efecto de la forma (picada o peletizada) de una dieta a base de heno de cebada - melaza en la secreción salival de corderos, estimando que el flujo salival en los animales que recibieron la dieta peletizada fue de 4.22 L/día, mientras que para los animales que recibieron la dieta picada fue de 9.05 L/día. De acuerdo con estos resultados, la secreción salival se favorece cuando los animales reciben dietas que favorecen la masticación.

Sin embargo, Maekawa et al. (2002) observaron que la secreción de saliva por gramo de alimento fue de 1.19, 3.18 y 4.43 mL/g de MS, en vacas lecheras que consumieron concentrado, dieta integral y ensilado de cebada, respectivamente. Pero, la tasa de salivación en reposo fue similar para las tres raciones (101 mL/min), lo que representó  $239 \pm 17$  L/d de saliva. Estos autores concluyen que, un mayor tiempo de masticación no incrementa la secreción total de saliva diaria, ya que el incremento de saliva en los periodos de alimentación y rumia fue asociado con la disminución de la producción de saliva en reposo. Como puede apreciarse, existe controversia en los resultados sobre la producción salival, en relación al tamaño de partícula de la dieta.

#### ***1.1.6.2 El fósforo en el tracto gastrointestinal***

En el rumen, el P proviene mayoritariamente (50 – 70 %) de la saliva y el restante es de origen alimentario (Cohen, 1980; Vitti et al., 2010). Aunque la ingestión de P sea temporalmente insuficiente, su concentración en el líquido ruminal debe mantenerse aproximadamente en 0.2 g/L, para sostener el metabolismo ruminal de los animales adultos (Witt y Owens, 1983). El P que ingresa al rumen será solubilizado o hidrolizado (como en el caso del Pp) y empleado por las bacterias para sus estructuras (fosfolípidos de membrana y ácido teicoico de las paredes celulares de Gram<sup>+</sup>; Durand et al., 1988) y sus funciones (nucleótidos, coenzimas, etc.). El P es necesario para la fermentación de los carbohidratos

estructurales (principalmente la celulosa), síntesis proteínica y utilización del N amoniacal (Komisarczuk et al., 1987a).

Los estudio *in vitro* de Durand et al. (1983) estimaron las necesidades de P de los microorganismos ruminales en 4.9 g/kg de materia orgánica aparentemente digerida en rumen. En tanto, Komisarczuk et al. (1987b), en estudios bajo las mismas condiciones encontraron que la concentración mínima en líquido ruminal, para mantener una óptima función bacteriana está entre 75 y 100 mg Pi/L y que el requerimiento de P de los microorganismos es de 5.1 g/kg de materia orgánica fermentable. Cuando el P en el rumen disminuye, la actividad celulolítica disminuye rápidamente, afectando el aprovechamiento de la dieta y la producción animal (Durand et al., 1986).

En el omaso tiene lugar una absorción importante de P (Yano et al., 1991), respecto a los otros compartimentos pregástricos. Algunos autores (Perry et al, 1967; Sklan y Hurwitz, 1985) reportan una pequeña absorción de P en el abomaso. En tanto, el P que no fue solubilizado en el rumen, puede serlo en el abomaso debido al cambio de pH, liberándose como ortofosfatos que pueden absorberse en el intestino delgado. Cabe señalar que Pizzani et al. (2008) indicaron que en el intestino delgado de ovinos jóvenes, existen fitasas que hidrolizan el Pp que escapa del rumen. Sin embargo, cuando más del 80 % del P total de la dieta está como Pp, la actividad fitásica disminuye, probablemente por una saturación de estas enzimas.

El principal sitio de absorción de P y Ca en el tracto gastrointestinal de los rumiantes es el intestino delgado. En los corderos, las porciones proximal y media del yeyuno son de mayor importancia para la absorción de P, mientras que en los adultos lo son la media y distal (Scharer, 1985). En los corderos existe también una absorción importante de P en el colon, que desaparece conforme avanza la edad del animal (Yano et al., 1991). Hay factores que condicionan la absorción de P como la relación Ca : P, el pH del sitio de absorción, la edad y cantidad ingerida de otros minerales y del mismo P. En relación a este último factor, la eficiencia de absorción del P aumenta cuando el P dietario se encuentra entre los 50 y 60

mg/día/kg PV, y cuando esta cantidad alcanza los 80 – 100 mg/día/kg PV, la eficiencia de absorción disminuye entre 15 a 20 %, respectivamente. En las etapas fisiológicas cuando la necesidad de P es elevada como lo es el inicio de la lactación, la eficiencia de absorción de P es alta, pero si la complementación excede los requerimientos, la eficiencia disminuye (Challa et al., 1989).

La absorción del mineral combina un gradiente electroquímico, un transporte activo saturable (Na dependiente) y una difusión pasiva que predomina cuando la concentración de P en el lumen intestinal es alta (Breves y Schröder, 1991). La variación individual en la absorción de P puede atribuirse a diferencias genéticas, lo que se refleja en las concentraciones plasmáticas y/o urinarias de P (Field et al., 1984). En rumiantes existe una relación lineal entre la absorción (a) y la ingestión (i) del P ( $P_a = 15.99 \text{ mg (SE 7.18) + 0.46 \text{ mg (SE 0.06) } P_i$ ;  $P < 0.001$ ,  $r^2 = 0.42$ ; Vitti et al., 2005). La eficiencia de absorción del P salival es elevada (75 al 85 %), respecto a la del P dietario (50 – 60 %; Yano et al., 1991).

### ***1.1.6.3 El metabolismo del fósforo***

El metabolismo del P está asociado al del Ca principalmente en el tejido óseo, ambos elementos están presentes, tanto en los compartimentos extracelulares como en los intracelulares (NRC, 1985). Más del 99 % del Ca total del organismo (Swenson et al, 1999) y cerca del 80 % del total de P (Breves y Schröder, 1991) se encuentran en huesos y dientes como sal de apatita, fosfato de calcio y carbonato de calcio. El restante 1 % del Ca se distribuye en la sangre y otros tejidos, ya sea ionizado, unido a albúmina o globulinas o en menor grado a ácidos orgánicos como el citrato, o bien unido a sulfatos y fosfatos (Meschy, 2010). En cuanto al P, el restante 20 % se distribuye en tejidos blandos y fluidos corporales, principalmente en forma orgánica formando parte de fosfoproteínas, ácidos nucleicos, hexosas fosfato, fosfatos ricos en energía (ATP, ADP, creatina fosfato, etc.) y coenzimas (Georgievskii, 1982).

#### **1.1.6.3.1 El fósforo en sangre y plasma**

La sangre contiene de 35 a 45 mg de P total/dL (McDowell, 2003), los que se encuentran tanto en forma orgánica (60 – 80 %), como inorgánica (40 – 20 %; Georgievskii, 1982). En ésta última forma es como participa en las reacciones bioquímicas. El NRC (2007) señala que las concentraciones plasmáticas de P en rumiantes que reciben el aporte dietario adecuado son de 4 a 6 mg/dL y de 4 a 9 mg/dL, en animales adultos y en crecimiento, respectivamente. Ante una deficiencia de P, la fosforemia disminuye rápidamente a concentraciones por debajo de 4 mg/dL; sin embargo, los mecanismos homeostáticos del individuo son capaces de restaurar rápidamente los valores (Underwood y Suttle, 1999) a la normalidad. Por esta razón, el P plasmático es considerado un indicador poco confiable de status del mineral en el organismo (Vitti et al., 2010). Además, presenta una variabilidad importante entre días y horarios de muestreo, aún tratándose de periodos breves de tiempo y sin variaciones en el manejo de los animales (Ramírez-Pérez, 2007).

#### **1.1.6.3.2 Control hormonal**

El calcio y P depositados en los huesos pueden movilizarse durante los periodos de deficiencia alimentaria o cuando aumenta la necesidad, como sucede en la gestación y la lactación, para mantener sus concentraciones normales y casi constantes en la sangre y tejidos blandos (Swenson y Reece, 1999). Los rumiantes regulan con estricta precisión las concentraciones de P, pero sobre todo la del Ca en plasma, bajo la actividad de tres hormonas (Littledike y Golf, 1987).

1) *Hormona paratiroidea (PTH)*: es secretada por las paratiroides en respuesta a la caída en la concentración plasmática de Ca. Su función es incrementar las concentraciones de Ca y disminuir las de P en los líquidos extracelulares. En los túbulos contorneados distales renales aumenta la absorción de Ca, mientras que, en los túbulos contorneados proximales disminuye la resorción renal de P (Swenson y Reece, 1999; Cunningham y Klein, 2009). En el intestino aumenta la absorción de Ca y P a través del incremento en la producción de  $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$  (Scott, 1982). Cuando el desequilibrio de Ca en el plasma es

pequeño, al regresar al nivel normal de calcemia, también lo hace la secreción de PTH. Por el contrario, si el desequilibrio de Ca es grande, la secreción de PTH continúa y estimula la movilización de Ca y P óseos (Cunningham y Klein, 2009; Swenson y Reece, 1999).

2) *Calcitonina (CT)*: es producida en la glándula tiroides en respuesta al incremento en la calcemia (Scott, 1982). Regula la función de la PTH ya que produce hipocalcemia e hipofosfatemia. Aumenta la excreción renal de Ca y P. Disminuye la resorción ósea ya que inhibe los osteoclastos y aumenta el flujo del P hacia la matriz ósea (Cunningham y Klein, 2009; Swenson y Reece, 1999).

3) *Calcitriol (1,25-dihidroxicolecalciferol; 1,25(OH)<sub>2</sub> D<sub>3</sub>)*: la actividad de la 1 $\alpha$ -hidroxilasa está influenciada por las bajas concentraciones de Ca y P, y por la acción de la PTH (Hazewinkel y Tryfonidou, 2002). Sin embargo, en rumiantes el contenido de P plasmático no ejerce este control (Breves et al., 1985). El calcitriol estimula la absorción intestinal de Ca y también la de fosfato y magnesio; por lo que contribuye al mantenimiento de las concentraciones plasmáticas normales de estos minerales. Actúa sobre los osteoclastos ayudando a incrementar el flujo de Ca y P hacia el plasma. (Swenson y Reece, 1999).

### **1.1.7 Excreción de fósforo y calcio**

Tanto el fósforo como el calcio son excretados del animal utilizando la vía fecal principalmente. En los rumiantes y en general en los animales en lactación, la salida de Ca y de P (1 – 1.8 y 0.8 – 0.15 g/L de leche, respectivamente; Storry et al., 1983) constituye una pérdida importante, dado que son los principales minerales de la leche.

#### **1.1.7.1 Excreción urinaria**

La principal ruta de excreción del fósforo en rumiantes alimentados con forrajes es la digestiva a través de la saliva; siendo secundaria la excreción urinaria, la cual, en el

rumiante es a 2 mg/kg PV (Vitti et al., 2010). Ekelund et al. (2006) reportan que vacas lecheras que recibieron 4.3 g de P/kg de MS durante toda la lactación, excretaron 0.39 g de P/día; lo que fue considerado como una pérdida insignificante. Cabe señalar que la excreción renal es privilegiada en rumiantes alimentados con raciones que incluyen cantidades importantes de concentrados que poco estimulan la secreción salival. Este tipo de raciones, provocarían una excreción urinaria excesiva de P, lo que aunado a un aporte dietario insuficiente afectaría negativamente la mineralización del hueso (Underwood y Suttle, 1999). De acuerdo con la revisión de literatura realizada por Vitti et al. (2010), una importante excreción urinaria de P puede ocurrir con capacidad anormal de absorción de P, cuando la concentración de P plasmático sobrepasa el umbral renal (usualmente entre 6 y 9 mg/dL); además, mencionan el efecto genético sobre la excreción urinaria, la cual, aunque variable contribuye a la homeostasis de P en los rumiantes.

#### ***1.1.7.2 Excreción fecal***

El calcio en las heces es una combinación del Ca no absorbido de la dieta y el Ca endógeno cuya pérdida es relativamente fija (McDowell, 1992). La excreción fecal de P representa del 95 al 98 % del total del P excretado en rumiantes (NRC, 2001) y la cantidad excretada depende del contenido de fósforo de saliva, aunque también del P ingerido (Vitti et al., 2010). El P fecal ( $P_f$ ) excretado tiene diferentes orígenes: 1) el mineral dietario que no fue absorbido; 2) el endógeno ( $P_e$ ); y 3) el mineral regulado u homeostático que depende del mineral ingerido (Spiekers et al., 1993).

El fósforo de origen endógeno presenta el mayor grado de variación entre las diferentes condiciones fisiológicas (McDowell, 1992), corresponde a la pérdida inevitable del P del organismo, es el resultado del mineral que pasa de la sangre al tracto digestivo y se excreta. En esta fracción se contabiliza también el P salival, el proveniente de la descamación intestinal y de las secreciones digestivas y el de origen microbiano. La pérdida endógena es igual a 1 g/kg de MS ingerida (Wu et al., 2000). La proporción de  $P_e$  respecto al  $P_f$  total es variable, desde 0.12 a 0.95 (Bravo y Meschy, 2003; citados Por Vitti et al., 2010). Esta

variación depende de la edad, la dieta y el estado fisiológico de los animales (Vitti et al., 2010). Además, el  $P_e$  también puede asociarse con la ingestión del mineral (Louvandini y Vitti, 2007).

En los rumiantes, la excreción de  $P_e$  se realiza casi exclusivamente por el tracto digestivo, y su cantidad puede ser mayor al de P alimentario no absorbido. Por lo anterior, la cuantificación del  $P_e$  en rumiantes es importante. La pérdida de  $P_e$  en vacas lecheras es de 26 a 30 mg/kg de PV/día, mientras que en ovinos es de 43 a 48 mg (Georgievskii, 1982). Meschy (2003) obtiene mediante la técnica de meta-análisis una relación significativa entre las pérdidas endógenas fecales de P y su consumo:  $P_e (g/día) = 0.618 P_{ing} (g/día) - 1.04$ ; [n = 428, Experimentos = 124,  $R^2 = 0.98$ ,  $rsd = 0.96$  y  $P < 0.001$ ]. En algunos experimentos, el consumo del mineral dependió de la MSI, pero no en todos, por lo que se utilizó el contenido de P en la dieta para estimar la pérdida endógena:  $P_e = a + b MSI + c P_{dieta} + d P_{dieta}^2$ . A corto plazo las pérdidas endógenas fecales también aumentan con el CMS, pero si la ración es deficiente en fósforo; el fósforo plasmático y salival, disminuyen a medida que avanza el tiempo y el P excretado vía fecal también disminuye gradualmente como reajuste homeostático de la deficiencia (Underwood y Suttle, 1999).

### **1.1.8 Digestibilidad del fósforo**

La técnica de digestibilidad aparente puede utilizarse para el estudio de la utilización digestiva del P. Ésta consiste en medir la diferencia entre el P ingerido y el P fecal (Ekelund, 2003). Siendo la limitante, que no permite diferenciar el origen (dietario o endógeno) del P fecal, por lo que subestima la utilización del P en el tracto gastrointestinal. Entonces, para cuantificar el P endógeno y el reciclado por la saliva, es necesario utilizar isotopos  $P^{32}$ . Los resultados de los estudios de digestibilidad aparente presentan diferencias atribuibles a la metodología utilizada; por ejemplo, el tiempo de recolección total o muestras puntuales de heces. Sin embargo, si la técnica de digestibilidad aparente, se realiza con precisión genera información valiosa (Ekelund et al., 2003). Además, tiene la

ventaja de no utilizar isotopos radioactivos que pueden dañar al animal, a los operadores que manipulan los compuestos, o al medio ambiente por un mal manejo de los residuos. Por lo demás, es una técnica menos costosa.

## **JUSTIFICACIÓN**

El fósforo es un elemento esencial para la vida de los diferentes dominios biológicos; sin embargo, desde hace algunas décadas se le asocia a la eutrofización en conjunto con el N, en gran medida debido a su utilización absurda en las diversas actividades del ser humano. Por otra parte, este empleo irracional conduce a pasos acelerados al agotamiento de las reservas de los materiales fosforados, los cuales son pieza fundamental para la producción de alimentos para la misma población humana que crece de forma exponencial. Además, el precio de los fosfatos se incrementa y en consecuencia se encarece la producción de alimentos, lo que repercute en el precio al consumidor final.

Por las razones anteriores, se debe utilizar de forma eficiente este elemento, reciclarlo y tratar de restaurar su ciclo natural. Es por ello, que este estudio busca precisar en ovejas en mantenimiento, la disponibilidad digestiva del P en respuesta a la modificación del tamaño de partícula del forraje y su repercusión en la salivación. La generación de estos conocimientos proporcionará herramientas para hacer recomendaciones en la utilización del P de las raciones, lo que beneficiará, primeramente, a los productores de ovinos y en segundo término ayudará a disminuir el impacto ambiental del exceso del P en la alimentación.

## **2. OBJETIVO GENERAL**

El propósito de este estudio fue el de utilizar la técnica de digestibilidad aparente y la cuantificación de P plasmático y salival, para evaluar el efecto del tamaño de partícula de forraje en la utilización digestiva y retención de las formas de P alimentario (total y soluble en agua) en borregas en etapa de mantenimiento.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i. Mediante la técnica de digestibilidad aparente, evaluar el efecto de tamaño de partícula del forraje en la utilización digestiva y retención del P alimentario (total y soluble) en borregas en etapa de mantenimiento.
- ii. Evaluar el efecto de tamaño de partícula de forraje en la concentración plasmática y salival de P en borregas en etapa de mantenimiento.

## **3. HIPÓTESIS**

- i. La utilización digestiva y la retención del P alimentario (total y soluble) en borregas en mantenimiento varía en función directa del tamaño de partícula de forraje.
- ii. Las concentraciones plasmática y salival de P varían en función directa del tamaño de partícula del forraje.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 FASE DE CAMPO**

#### **4.1.1 Lugar**

Este trabajo se desarrolló en el Centro de Enseñanza, Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal (CEPIPSA) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); localizado a 19°12'33.31" latitud norte, 99°9'11.75" longitud oeste y a 2,760 msnm. El centro se encuentra ubicado en el kilómetro 28.5 de la carretera Federal México – Cuernavaca, al sur del Distrito Federal, Delegación Tlalpan, en la Comunidad de San Miguel Topilejo. Cuenta con una superficie total de 33,755 m<sup>2</sup>. El clima es tipo c(w)b(ij), semifrío, semihúmedo, con lluvias en verano. La precipitación pluvial anual alcanza entre 800 y 1,200 mm, mientras que la temperatura promedio anual alcanza los 19°C.

#### **4.1.2 Animales y alojamiento**

Este protocolo experimental fue aprobado por el Comité Institucional para Cuidado y Uso de los Animales de Experimentación (CICUAE) de la FMVZ – UNAM. Se utilizaron seis borregas cruce Pelibuey × East Friesian, de 2.5 años de edad, con un peso vivo promedio de 49 ± 1.91 kg, con condición corporal de 3.0 (± 0.5; donde, 1 = emaciado y 5 = obeso; Beef + Lamb New Zealand, 2013), en etapa de mantenimiento, condición que representa menos desafíos metabólicos. Las ovejas estaban clínicamente sanas y fueron desparasitadas con albendazol (7.5 mg/kg PV), previamente a la realización del trabajo experimental. Además, durante todo el desarrollo del trabajo, su conducta se observó con la finalidad de percibir variaciones que sugirieran alguna alteración de su estado de salud.

Las ovejas fueron confinadas en un área protegida de la intemperie, y alojadas en jaulas metabólicas de 0.69 × 1.4 × 0.95 m (Figura 2), recubiertas con pintura epóxica y con piso de rejilla de plástico. Cada jaula contó con bebederos de plástico con capacidad para 2.5 L de agua y comedero de lámina galvanizada. Bajo el piso de la jaula se colocaron dos vertederos protegidos cada uno, con mallas de plástico (1.0 mm de poro) para lograr la

mejor separación de los desechos sólidos y líquidos. Sus salidas desembocaban en recipientes plásticos para la recolección de orina, en tanto las heces quedaban retenidas en la malla (Figura 3).



**Figura 2.** Jaula metabólica, para ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje.



**Figura 3.** Vertedero protegido con malla de plástico.

#### **4.1.3 Alimentación**

Las dietas experimentales fueron elaboradas con base en las recomendaciones del NRC (2007) y ofrecidas *ad libitum* dos veces al día (0900 y 1600 h), estuvieron constituidas por heno de avena y un concentrado elaborado con maíz molido, pasta de coco, harina de soya y sales minerales (Mg, 975.00, Cu, 3.60; Fe, 7.00; Mn, 14.60; Zn, 27.10; Co, 0.10 y Se, 0.03; mg/kg de premezcla elaborada). Por cada kilogramo de MS se incluyeron 793.20 g de forraje y 206.8 g de concentrado (Cuadro 3). Por las características de la dieta y para favorecer la integración del concentrado con el forraje, se utilizó melaza como aglutinante.

**Cuadro 3.** Composición química de los ingredientes de las dietas utilizadas en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento

<b>Ingredientes</b>	<b>MS</b>	<b>PC</b>	<b>FDN</b>	<b>FDA</b>	<b>Ca</b>	<b>P</b>	<b>EM</b>
	<b>g/kg MS</b>						<b>Mcal/kg</b>
<b>Concentrado</b>							
<b>Pasta de soya</b>	937.0	478.5	130.0	110.0	4.4	4.4	2.993
<b>Pasta de coco</b>	922.6	224.3	560.0	220.0	8.8	9.6	2.975
<b>Maíz molido</b>	925.9	669.0	90.0	30.0	5.2	3.6	3.264
<b>Minerales</b>	970.0	0.0	-----	-----	0.0	0.0	-----
<b>Melaza (caña de azúcar)</b>	80.58	4.81	0.00	0.00	11.0	1.0	2.887
<b>Forraje</b>							
<b>Heno de avena</b>	935.2	43.8	630.0	390.0	5.8	0.94	2.362

El único factor de variación de las dietas experimentales fue el tamaño de longitud de la partícula del heno de avena. La dieta **C**, tamaño de partícula chico tenía forraje picado a 1” (2.54 cm); la dieta **M**, tamaño de partícula mediano a 2” (5.08 cm) y la dieta **G**, partícula en “greña”. Se seleccionaron estos tamaños de partícula porque son los que se utilizan cotidianamente en la producción comercial de rumiantes. El heno para las dietas C y M fue picado en un molino de martillos, utilizando cribas con el tamaño específico de malla para obtener la longitud de partícula deseada, mientras que para la dieta G el heno fue troceado con hoz. Debido al tamaño de partícula, las dietas C y M fueron preparadas de manera integral (forraje, melaza y concentrado), mientras que para la G se mezcló el forraje con la melaza y la proporción correspondiente de concentrado se aplicó al forraje en el comedero. Las tres dietas se prepararon al inicio de la fase experimental y se tomó una muestra para sus análisis químicos en el laboratorio, para corroborar que los aportes nutrimentales fueran los adecuados (Cuadro 4). El agua se ofreció a voluntad.

**Cuadro 4.** Composición de la dieta utilizada en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje

<b>Ingrediente</b>	<b>g/kg MS</b>
Pasta de soya	49.41
Pasta de coco	50.68
Maíz molido	91.55
Minerales	5.12
Melaza (caña de azúcar)	10.09
Heno de avena	793.16
<b>Composición química</b>	
Materia seca (g/kg)	947.3
Materia orgánica (g/kg)	935.6
Proteína cruda (N × 6.25; g/kg)	82.6
Fibra detergente neutro (g/kg)	369.1
Fibra detergente ácido (g/kg)	198.0
Calcio (g/kg)	8.2
Fósforo (g/kg)	1.8
Energía bruta (Mcal/kg)	5.520

#### 4.1.4 Prueba de digestibilidad aparente

Las ovejas fueron asignadas a cada uno de los tratamientos, utilizando un diseño experimental de un cuadrado latino (3 × 3), doble (Cuadro 5). Cabe señalar, que este arreglo experimental es ampliamente utilizado en estudios de digestibilidad. Antes de iniciar el periodo experimental, los animales tuvieron un periodo de 15 días de adaptación tanto a las jaulas metabólicas como al cambio de dieta y al tamaño de partícula. En la fase de experimentación se desarrollaron tres periodos de digestibilidad *in vivo* (I, II, III), cada una de ellos con una duración de siete días y siete más de preparación para el cambio de dieta experimental, lo que permitió adaptar a los animales para el siguiente periodo.

**Cuadro 5.** Tratamientos y animales en arreglo de doble cuadrado latino (3 × 3)

	Cuadrado Latino 1			Cuadrado Latino 2		
	Ovejas					
	1	2	3	4	5	6
Periodo de digestibilidad						
I	M	C	G	G	M	G
II	C	G	M	M	C	G
III	G	M	C	C	G	M

C=chica, 2.54 cm; M=mediana, 5.08 cm; G=grande, en greña.

Durante los periodos I, II, y III se registraron diariamente, por unidad experimental, la MS ofrecida y la rechazada, con estos datos se estimó el consumo de materia seca (CMS). Los rechazos de alimento se recolectaron todos los días, se reunieron por prueba/animal y fueron congelados (-20°C) hasta su procesamiento en laboratorio. Todos los días, durante los periodos de digestibilidad se obtuvo una muestra de agua de bebida para la cuantificación de P en el laboratorio.

La cantidad de orina producida fue medida utilizando probetas de vidrio (1,000 y 250 mL) y registrada diariamente a las 0830 h. Después de la medición, los recipientes de recolección eran lavados y enjuagados con agua destilada, se secaban y se les agregaba 100 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (100 mL/L) como conservador (González-Ronquillo *et al.*, 2003), para recolectar la orina al siguiente día. Después de medir la producción de orina, ésta se filtró en papel de filtración rápida, se tomó el 0.10 del volumen producido por animal y se guardó en un recipiente de plástico con tapa de rosca. Así, al final de cada periodo de digestibilidad se obtuvo una muestra/animal, que se conservó en congelación (a -20°C), para su análisis ulterior en el laboratorio.

La recolección de heces se realizó dos veces al día (0830 y 2000 h), limpiando con espátulas de plástico los pisos de rejilla y las mallas recolectoras. Esto con la finalidad de reducir al máximo la contaminación de la orina al pasar a través de la malla de plástico que soportaba las heces. Los excrementos se recolectaron en bandejas plásticas y la cantidad generada por cada animal en un periodo de 24 h se homogenizó y pesó en una balanza

(precisión 0.2 g). Entonces, se guardó 0.10 de las heces producidas en una bolsa de plástico y se congeló ( $-20^{\circ}\text{C}$ ). Para cuantificar la pérdida de humedad, el 0.90 restante de las excretas, se colocó en charolas de poliestireno expandido forradas con papel aluminio y se deshidrató en horno de circulación de aire forzado a  $70^{\circ}\text{C}$  hasta obtener peso constante. Los resultados fueron utilizados para calcular la producción de MS fecal.

#### **4.1.5 Muestras de plasma y saliva**

Con la finalidad de cuantificar el cambio en la fosfatemia de los animales en respuesta a la ingesta de alimentos, se obtuvieron 10 mL de sangre por punción de la vena yugular; para lo cual se utilizaron tubos Vacutainer® con heparina. La sangre se centrifugó a  $2,500\text{ rpm} \times 10\text{ min}$  (Cole Parmer ® 17250-00 Illinois, USA) y el plasma se recuperó en tubos de polipropileno (5 mL), que se mantuvieron en congelación ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) para después analizarlos en el laboratorio del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica (DNAB). Esto, se realizó el segundo y cuarto día de cada semana de periodo de digestibilidad (0700 y 1100 h). Para medir el cambio en la concentración salival de P se realizaron muestreos en los días centrales (2, 3 y 4) del periodo de digestibilidad. Se tomaron cinco muestras de saliva por día (0700, 1100, 1300, 1500 y 1800 h). Para ello, se utilizaron rectángulos ( $7.0 \times 3.0\text{ cm}$ ) de papel filtro de celulosa libre de cenizas ( $11\text{ }\mu\text{m}$  de poro). Los papeles fueron introducidos por un minuto en el vestíbulo izquierdo de la cavidad oral de las ovejas, cerca de la salida del conducto parotídeo (Figura 4). Se obtuvieron dos muestras por animal que se guardaron en tubos de polipropileno (5 mL) y fueron mantenidos en congelación ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) hasta su análisis en el laboratorio.



**Figura 4.** Toma de muestra de saliva proveniente de la parótida, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje.

#### **4.2 ANÁLISIS DE LABORATORIO**

Las muestras generadas en la fase experimental fueron analizadas en los laboratorios de Bromatología y Toxicología del DNAB. Las muestras del alimento ofrecido, rechazado y heces fueron deshidratadas por sublimación al vacío (Edwards, Freeze dryer super Modulyo) por 72 h. Una vez liofilizados, los materiales fueron molidos en un molino Wiley a un tamaño de partícula de 0.1 mm. En las muestras molidas de alimento ofrecido, rechazado y heces se cuantificó la pérdida de humedad (Método 934.01) y la MS, materia inorgánica (Método 925.05) y orgánica, proteína cruda (PC; Método 954.01) por Kjeldahl (AOAC, 2000). Además, se cuantificaron los componentes de la pared celular: fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FAD), de acuerdo con el método de Van Soest *et al.* (1991). Las muestras de orina fueron descongeladas y mezcladas perfectamente, después se filtraron con papel de filtración rápida, se tomaron 10 mL del filtrado, se colocaron en un cristizador y fueron calentadas a baja temperatura durante 20 minutos para permitir su evaporación. Los cristalizadores con la orina se llevaron al horno de deshidratación (75°C) por 12 h. Los alimentos ofrecidos, rechazados, heces y orina

deshidratada fueron llevados a la mufla (450°C) para permitir la calcinación del material durante 12 h. Las cenizas obtenidas se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente, pesadas y posteriormente re suspendidas en 10 mL de HNO<sub>3</sub> (100 mL/L), y llevadas a volumen con agua destilada (soluciones madre). En las soluciones así preparadas, se cuantifico el fósforo total (Pt) por fotometría (Harris y Popat, 1954; descrito en Miles *et al.*, 2001), Las absorbancias se midieron en un espectofotómetro UVVis (Genesys 10Vis, Thermo Scientific). El P soluble en agua (Ps) se extrajo (Dou et al., 2002) de los alimentos ofrecidos, rechazados y de las heces y fue cuantificado de acuerdo con el método fotométrico mencionado.

Los papeles impregnados con saliva fueron incinerados en cristalizadores a 450° C por 12 h, las cenizas se suspendieron en 10 mL de HNO<sub>3</sub> (100 mL/L) y en la solución obtenida se cuantificó el Pt. El fósforo plasmático se cuantificó con el mismo método fotométrico, previa separación de proteínas con ácido tricloroacético (100 g/L) y centrifugación (Cole Parmer ® 17250-00 Illinois, USA) a 2500 rpm × 10 min.

### 4.3 CÁLCULOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados de digestibilidad de la MS y MO observados para una de las ovejas que recibía la partícula C, durante el primer periodo de digestibilidad se comportaron de manera inusual respecto de las otras. Por ello, se decidió utilizar el promedio de los datos de las otras cinco repeticiones realizadas para el mencionado tratamiento. Con los resultados generados en la experimentación y en los análisis realizados en el laboratorio se realizaron los siguientes cálculos:

- 1) Consumo de materia seca (CMS):

$$CMS (g/d) = alimento ofrecido (g/d) - alimento rechazado (g/d)$$

- 2) Digestibilidad de la MS (dMS) y de la materia orgánica (dMO):

$$dMS = [CMS (g/d) - heces producidas (g MS/d)] / CMS (g/d)$$

$$dMO = [CMO (g/d) - heces producidas (g MO/d)] / CMO (g/d)$$

- 3) Fósforo total ( $Pt_{ing}$ ) y soluble en agua ( $Ps_{ing}$ ) ingeridos:

$$Pt_{ing} (g/d) = CMS (g/d) \times \text{contenido de Pt en la dieta (g/g de MS)}$$

$$Ps_{ing} (g/d) = CMS (g/d) \times \text{contenido de P soluble en la dieta (g/g MS)}$$

- 4) Excreción fecal de fósforo total ( $Pt_{fec}$ ) y soluble en agua ( $Ps_{fec}$ ):

$$Pt_{fec} (g/d) = heces producidas (g MS/d) \times Pt (g/g heces)$$

$$Ps_{fec} (g/d) = heces producidas (g MS/d) \times Ps (g/g heces)$$

- 5) Fósforo total ( $Pt_{abs}$ ) y soluble en agua ( $Ps_{abs}$ ) aparentemente absorbidos:

$$Pt_{abs} (g/d) = Pt_{ing} (g/d) - Pt_{fec} (g/d)$$

$$Ps_{abs} (g/d) = Ps_{ing} (g/d) - Ps_{fec} (g/d)$$

- 6) Absorción aparente de fósforo total ( $Pt_{AA}$ ) y soluble ( $Ps_{AA}$ ):

$$Pt_{AA} (g Pt/día) = [Pt_{ing} (g/d) - Pt_{fec} (g/d)] / Pt_{ing} (g/d)$$

$$Ps_{AA} (g Ps/día) = [Ps_{ing} (g/d) - Ps_{fec} (g/d)] / Ps_{ing} (g/d)$$

- 7) Retención aparente de fósforo total ( $Pt_{ret}$ ):

$$Pt_{ret} (g/d) = [Pt_{ing} (g/d) - (Pt_{fec} (g/d) + Pt_{uri} (g/d))]$$

Donde:  $Pt_{uri}$ , es el fósforo urinario

Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANDEVA, PROC GLM. Minitab 16, 2010) para una serie de dos cuadrados latinos:

$$Y_{ijkl} = \mu + \theta_i + \rho_j + \gamma_k + \tau_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y = variables de respuesta en estudio

$\mu$  = media

$\theta_i$  = efecto de la serie ( $i = 1, 2$ )

$\rho_j$  = efecto del animal ( $j = 1, 2, 3$ )

$\gamma_k$  = efecto del periodo ( $k = I, II, III$ )

$\tau_l$  = efecto del tratamiento ( $l = C, M$  y  $G$ )

$\varepsilon_{ijkl}$  = error experimental  $\sim N(0, \sigma^2_e)$

Para el análisis de las concentraciones plasmáticas de P antes (Ppa) de la ingesta fue utilizado el mismo modelo. Sin embargo, para el análisis de P plasmático observado después de la ingesta (Ppd) matutina de alimento, se utilizó como covariable la concentración de P antes de la ingestión de comida.

Los resultados de concentración de P salival y P salival por minuto; fueron analizados bajo el siguiente modelo mixto:

$$Y_{ijkl} = \mu + oveja_i + \tau_j + t_k + \gamma_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y = variables de respuesta en estudio

$\mu$  = media

$oveja_i$  = efecto aleatorio de la oveja ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$  y  $6$ )

$\tau_j$  = efecto fijo del tratamiento ( $j = C, M$  y  $G$ )

$t_k$  = efecto del tiempo de muestreo ( $k = 0, 4, 6, 8, 12$  h, después de la ingesta matutina)

$\gamma_l$  = efecto del periodo ( $l = I, II, III$ )

$\varepsilon_{ijkl}$  = error experimental  $\sim N(0, \sigma^2_e)$

El nivel de significancia utilizado fue  $P < 0.05$  y las tendencias consideradas a  $P < 0.1$ . Se realizaron análisis de correlaciones (coeficiente de Pearson) para encontrar relaciones entre las variables estudiadas. También se realizaron análisis de regresión, con la finalidad de explicar los resultados observados entre variables con relación fisiológica o productiva. Entre ellas: el consumo de agua con la MSI y la producción de orina; la producción fecal con la MSI; la MO fecal y la MO ingerida. Los resultados de P fecal, ingerido, absorbido, y retenido. Así como, las concentraciones de P urinaria y plasmática. Además, se buscaron asociaciones entre las variables cuantificadas para la saliva y los consumos de MS, MO, FDN y P.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 PESO VIVO, CONSUMO DE AGUA Y EXCRECIÓN URINARIA

Durante las semanas de experimentación el peso vivo de los animales (Anexo 1) no fue afectado por el periodo experimental ( $P = 0.921$ ) ni por el tamaño de partícula del forraje ( $P = 0.958$ ). El peso promedio fue de  $49 \pm 1.91$  kg EEM, valor que pudiera considerarse bajo de acuerdo con los pesos estándares de las ovejas: 80 – 100; 50 – 60 kg, para East Friesian y Pelibuey (Almanza, 2007), respectivamente. Cabe señalar que la condición corporal de los animales se mantuvo entre 2.0 y 2.5 de acuerdo con la escala de Rusell et al. (1969), es decir acordes a la etapa de mantenimiento.

Los análisis de varianza para el consumo de agua y la producción urinaria se presentan en el Anexo 2. En el caso de la primer variable, no presentó efecto ( $P > 0.05$ ) alguno, de las variables incluidas en el modelo. El consumo de agua en los días de experimentación fue de ( $1,894 \pm 114$  mL/día). En lo referente a la producción urinaria, se observó el efecto ( $P = 0.021$ ) del animal.

En este estudio el consumo de agua se explicó por la MS ingerida y la excreción urinaria:

$$\text{Consumo de agua (L/día)} = -0.924(0.321) + 1.390(0.276) \times \text{Exc. Urinaria (L/día)} + 2.105(0.316) \times \text{MSI (kg/día)}$$

$$P = 0.001, \text{rsd} = 0.20, R^2 (\text{adj}) = 0.83, n = 18$$

### 5.2 DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA Y ORGÁNICA

El Anexo 3 presenta los cuadros de los análisis de varianza de las variables utilizadas para los cálculos de la digestibilidad de la MS. El tamaño de la partícula (Cuadro 6) no afectó ( $P > 0.05$ ) la digestibilidad aparente de la MS ( $542.25 \pm 7.61$  g/kg MS), ni la de MO ( $559.35 \pm 7.63$  g/kg MO).

**Cuadro 6.** Digestibilidad aparente de la materia seca y orgánica, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje

Item	Tamaño de partícula <sup>1</sup>						Valor de P
	C		M		G		
	Media	EEM <sup>2</sup>	Media	EEM	Media	EEM	
<b>Materia Seca (MS)</b>							
Ingerida (g/día)	1,077.5	79.5	929.0	63.2	936.8	68.6	0.262
Fecal (g MS/día)	474.0	23.0	434.3	20.9	430.9	31.1	0.478
Digestibilidad de la MS	0.56	0.03	0.53	0.02	0.54	0.01	0.103
<b>Materia Orgánica (MO)</b>							
Ingerida (g/día)	1,010.9	74.2	870.4	59.2	873.4	64.0	0.246
Fecal (g MO/día)	426.9	21.0	392.2	18.6	387.2	28.0	0.480
Digestibilidad de la MO	0.58	0.03	0.54	0.02	0.56	0.01	0.101

<sup>1</sup> C=chica, 2.54 cm; M=mediana, 5.08 cm; G=grande, en greña.  
EEM=error estándar de la media

En los casos de la MS ingerida ( $981.09 \pm 36.65$  g/día) y fecal ( $446.41 \pm 14.12$  g/día) ninguna de las variables consideradas en el modelo fueron significativas ( $P > 0.05$ ). Para la dMS sólo se observó un efecto ( $P = 0.009$ ) del periodo de digestibilidad ( $I = 0.54 \pm 0.08$ ;  $II = 0.52 \pm 0.01$ ;  $III = 0.49 \pm 0.007$ ). En lo que se refiere a los resultados de la materia orgánica (MO; Anexo 4), estos presentaron el mismo comportamiento que los de la MS. La MO ingerida ( $918.26 \pm 34.48$  g/día) y la MO fecal ( $402.08 \pm 12.72$  g/día) no fueron afectados por las variables ya mencionadas del modelo. Es decir, que sólo la digestibilidad de la MO presentó un efecto del periodo ( $P = 0.012$ ;  $I = 0.56 \pm 0.005$ ;  $II = 0.53 \pm 0.01$ ;  $III = 0.58 \pm 0.007$ ).

Algunas relaciones entre las variables de respuesta fueron observadas; por ejemplo, la producción fecal estuvo asociada ( $P < 0.001$ ) a la MS ingerida:

$$\text{Heces (g/día)} = 100.07 (38.37) + 0.35 (0.04) \times \text{MS ingerida (g/día)}$$

$$n = 18, \text{rsd} = 24.78, R^2 = 0.829$$

En tanto, la MO fecal se asoció con la MO ingerida:

$$MO \text{ fecal (g/día)} = 94.29 (35.88) + 0.35 (0.04) \times MO \text{ ingerida (g/día)}$$

$$n = 18, \text{rsd} = 23.29, R^2 = 0.814$$

### 5.3 DIGESTIBILIDAD DE NUTRIMENTOS

En el caso de la digestibilidad de los nutrientes (PC, FDN y energía), no fue afectada por el tamaño de partícula de forraje (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Digestibilidad aparente de la proteína cruda, fibra detergente neutro y energía bruta; en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje

Item	Tamaño de partícula <sup>1</sup>						Valor de P
	C		M		G		
	Media	EEM <sup>2</sup>	Media	EEM	Media	EEM	
<b>Proteína cruda (N× 6.25; PC)</b>							
Ingerida (g/día)	89.47	8.22	78.80	5.49	78.51	6.02	0.324
Fecal (g/día)	37.39	1.61	34.86	2.58	34.47	3.99	0.592
Digestibilidad (g/kg PC)	578.8	63.40	554.0	25.8	564.6	25.5	0.700
<b>Fibra detergente neutro (FDN)</b>							
Ingerida (g/día)	693.8	45.1	602.8	41.2	604.4	45.0	0.275
Fecal (g/día)	267.8	13.2	246.6	10.8	245.5	20.8	0.585
Digestibilidad (g/kg FDN)	613.2	22.5	581.5	15.1	594.7	12.9	0.157
<b>Energía Bruta (EB)</b>							
Ingerida (Mcal/día)	5.941	0.436	5.123	0.350	5.176	0.383	0.271
Fecal (Mcal/día)	2.783	0.152	2.581	0.094	2.484	0.160	0.354
Digestibilidad de la energía	0.53	0.02	0.48	0.02	0.51	0.02	0.120

<sup>1</sup> C=chica, 2.54 cm; M=mediana, 5.08 cm; G=grande, en greña.  
EEM=error estándar de la media

### **5.3.1 Proteína cruda**

El Anexo 5 presenta los análisis de varianza para la PC ingerida, fecal y su digestibilidad. En el caso de la PC ingerida no presentó el efecto ( $P > 0.05$ ) de ninguna de las variables incluidas en el modelo ( $82.26 \pm 3.04$  g). La excreción fecal de N expresado como PC, el valor fue mayor ( $P = 0.008$ ) para el periodo I ( $42.60 \pm 1.78$  g/día) respecto a los otros dos periodos (II =  $31.91 \pm 2.28$ ; III =  $32.22 \pm 1.68$  g/día) que no fueron diferentes ( $P > 0.05$ ). Lo que afectó ( $P = 0.021$ ) la digestibilidad de la PC (III =  $604.03 \pm 19.23$ , II =  $583.37 \pm 17.78$ ; I =  $509.88 \pm 16.50$  g/kg de PC).

### **5.3.2 Fibra detergente neutro**

Los análisis de varianza para la FDN ingerida, fecal y su digestibilidad son presentados en el Anexo 6. En el caso de las primeras dos variables, ninguna fue afectada por las variables incluidas en el modelo ( $633.63 \pm 23.52$  y  $254.30 \pm 8.64$  g/día, para FDN ingerida y fecal, respectivamente). La digestibilidad de la FDN presentó un efecto del periodo siendo mayor ( $P = 0.013$ ) para el periodo III ( $628.13 \pm 7.07$  g/kg de FDN) respecto a los periodos I y II que no fueron diferentes ( $P > 0.05$ ; I =  $586.60 \pm 6.58$ ; II =  $574.70 \pm 15.88$  g/kg de FDN).

### **5.2.3 Energía**

Los análisis de varianza para la energía ingerida, fecal y su digestibilidad son presentados en el Anexo 7. En este caso, no se observaron efectos de las variables incluidas en el modelo en lo referente a energía ingerida ( $5.413 \pm 0.203$  Mcal/día) y fecal ( $2.616 \pm 0.076$  Mcal/día). La digestibilidad de la energía presentó un efecto del periodo ( $P = 0.010$ ; III =  $0.545 \pm 0.066$ ; I =  $0.520 \pm 0.008$ ; II =  $0.473 \pm 0.022$ ).

## 5.4 ABSORCIÓN Y RETENCIÓN APARENTES DE FÓSFORO

### 5.4.1 Fósforo total

Los resultados del análisis de varianza para el P total ingerido, fecal, absorbido aparente, urinario, retenido; así como su digestibilidad se presentan en el Anexo 8, en tanto los resultados del balance de P se encuentran en el Cuadro 8. El P total ingerido no fue afectado ( $P > 0.05$ ) por alguna variable del modelo. De este modo, la ingestión promedio de P fue de  $1.83 \pm 0.068$  g/día.

**Cuadro 8.** Absorción aparente de fósforo total y soluble en agua, en ovejas Pelibuey  $\times$  East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje

Item	Tamaño de partícula <sup>1</sup>						Valor de P
	C		M		G		
	Media	EEM <sup>2</sup>	Media	EEM	Media	EEM	
<b>Fósforo total (Pt)</b>							
Ingerido (g /día)	1.886	0.149	1.928	0.134	1.669	0.126	0.309
Fecal (g /día)	1.795	0.060	1.719	0.115	1.711	0.185	0.787
Absorbido (g/día)	0.091	0.073	0.209	0.078	-0.042	0.113	<b>0.085</b>
Dap (g/kg Pt)	47.720	37.970	103.580	38.610	-20.430	61.590	<b>0.080</b>
Urinario (g/día)	0.014	0.003	0.014	0.002	0.015	0.003	0.944
Retenido (g/día)	0.080	0.070	0.190	0.080	-0.060	0.110	<b>0.081</b>
<b>Fósforo soluble (Ps)</b>							
Ingerido (g/día)	0.848	0.061	0.739	0.056	0.746	0.058	0.446
Fecal (g/día)	0.793	0.089	0.687	0.054	0.791	0.117	0.427
Absorbido (g/día)	0.060	0.080	0.100	0.100	-0.050	0.110	0.272
Dap (g/kg Ps)	63.664	98.703	91.086	118.044	-70.664	167.669	0.375

<sup>1</sup> C=chica, 2.54 cm; M=mediana, 5.08 cm; G=grande, en greña.  
EEM=error estándar de la media

La **excreción fecal** del elemento presentó sólo los efectos de la serie de cuadrado latino ( $P = 0.026$ ) y del periodo de digestibilidad ( $P = 0.032$ ;  $1.98 \pm 0.115$ ;  $1.64 \pm 0.110$ ;  $1.61 \pm 0.097$ ; para los periodos I, II y III, respectivamente).

En el caso del **P aparentemente absorbido**, el análisis de varianza encontró una tendencia para el efecto del periodo ( $P = 0.068$ , I =  $-0.030 \pm 0.123$ ; II =  $0.058 \pm 0.059$ ; III =  $0.230 \pm 0.071$  g/día de P total). Además, se encontró una tendencia ( $P = 0.085$ ) para el efecto del tamaño de partícula (C =  $0.091 \pm 0.073$ ; M =  $0.209 \pm 0.078$ ; G =  $-0.042 \pm 0.113$  g/día).

También, el tamaño de partícula tendió ( $P=0.080$ ) a afectar la **digestibilidad aparente del fósforo**: C =  $42.716 \pm 37.973$ ; M =  $103.584 \pm 38.611$ ; G =  $-20.435 \pm 61.594$  g/día.

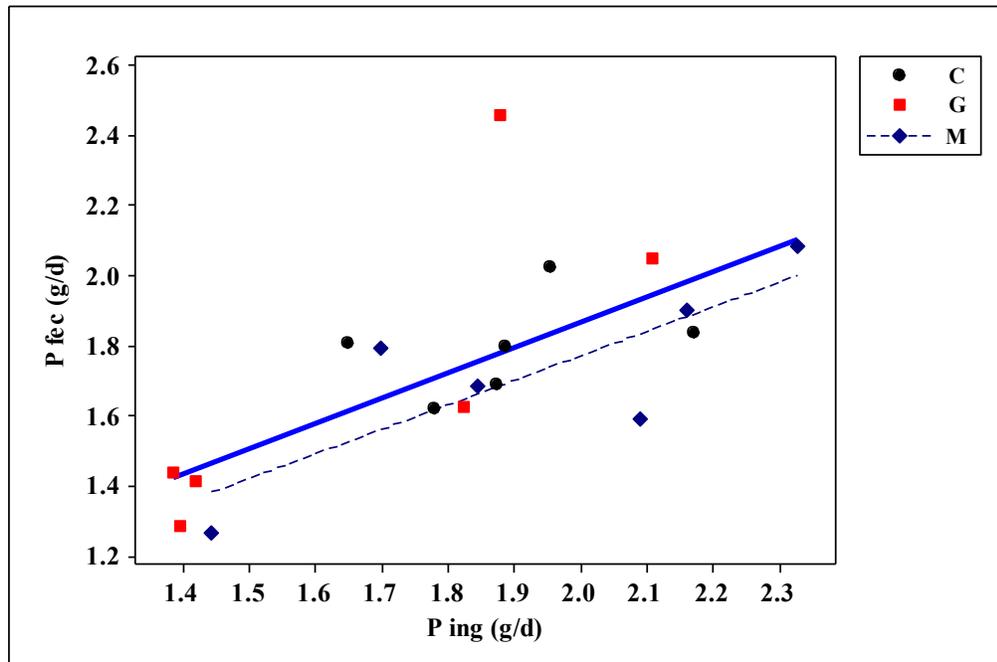
En el caso de la **excreción urinaria de P** se observó una tendencia para el periodo ( $P = 0.060$ ; I =  $0.016 \pm 0.002$ ; II =  $0.016 \pm 0.002$ ; III =  $0.010 \pm 0.002$  g/día) y el animal ( $P = 0.094$ ).

En lo referente al **P retenido**, el análisis de varianza encontró una tendencia para el periodo ( $P = 0.060$ ; I =  $-0.047 \pm 0.123$ ; II =  $0.042 \pm 0.058$ ; III =  $0.220 \pm 0.070$  g/día) y el tamaño de partícula de forraje ( $P = 0.081$ ; C =  $0.077 \pm 0.073$ ; M =  $-0.057 \pm 0.114$ ; G =  $0.195 \pm 0.079$  g/día).

La relación global entre P fecal e ingerido fue observada (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

$$P_{fec} (g/d) = 0.419(0.352) + 0.724(0.190) \times P_{ing} (g/d)$$

$$P = 0.002, \text{rsd} = 0.225, R^2 (\text{adj}) = 0.44, n = 18$$



**Figura 5.** Relación entre el fósforo fecal e ingerido diariamente en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global y la punteada a la partícula M.

Sin embargo, esta asociación fue más importante para la partícula M:

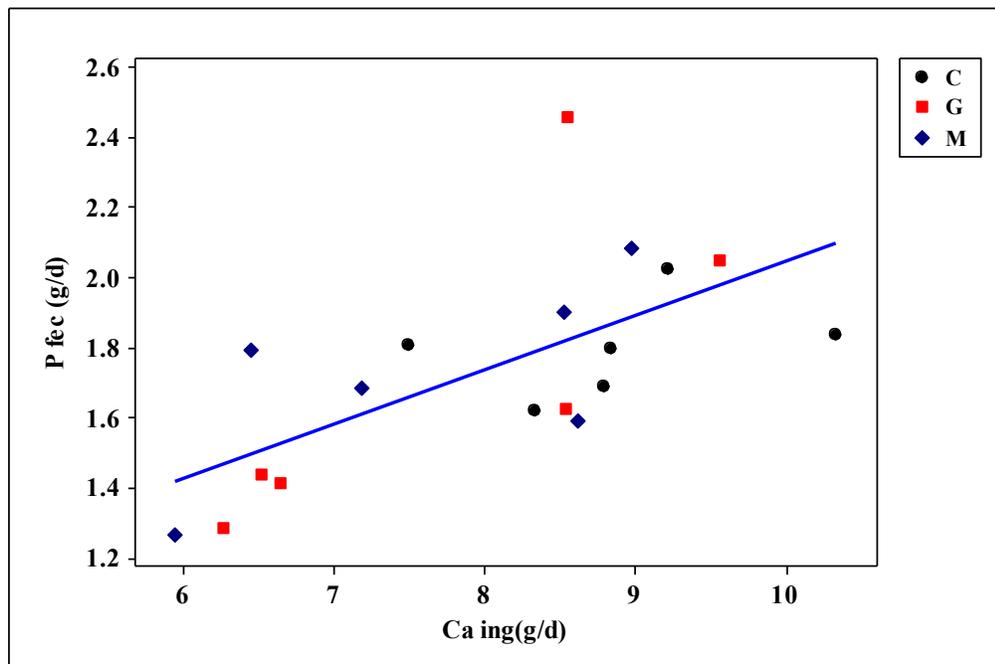
$$Pt\ fecal\ (g/d) = 0.372(0.490) + 0.699(0.251) \times P\ ing\ (g/d)$$

$$P = 0.050, \text{rsd} = 0.184, R^2\ (\text{adj}) = 0.57, n = 6$$

El P fecal también se asoció al Ca ingerido (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

$$Pt\ fecal\ (g/d) = 0.496(0.364) + 0.155(0.045) \times Ca\ ing\ (g/d);$$

$$P = 0.003, \text{rsd} = 0.235, R^2\ (\text{adj}) = 0.39, n = 18$$



**Figura 6.** Relación entre el fósforo fecal (P fec) y el calcio ingerido (Ca ing) diarios, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global.

Por otra parte, la cantidad de FDN ingerida también se asoció al Pt fecal:

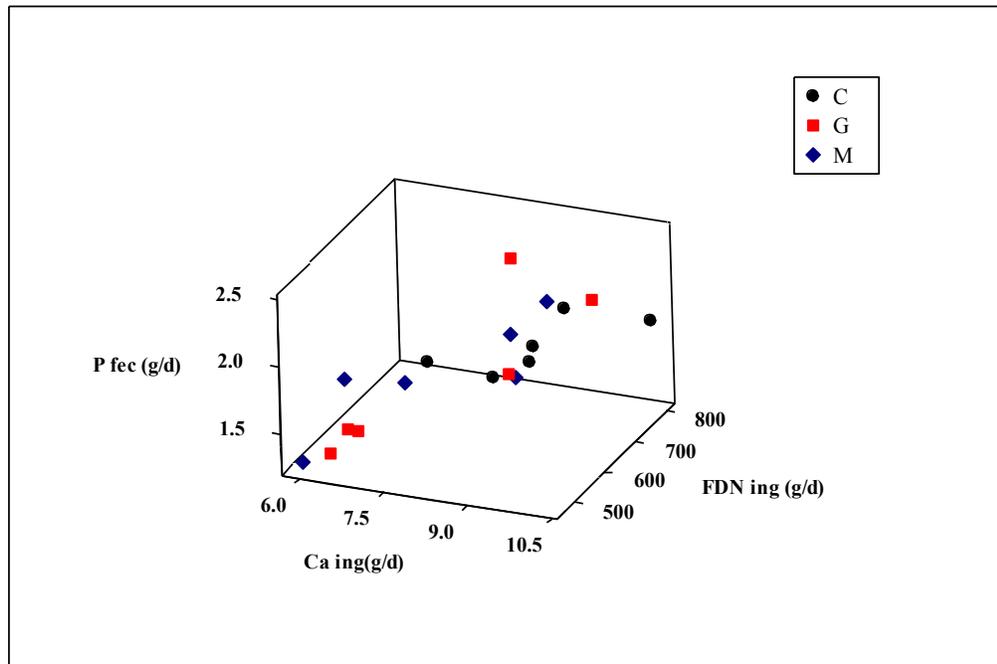
$$Pt\ fecal\ (g/d) = 0.431(0.353) + 0.002(0.0005) \times FDN\ ing\ (g/d)$$

$$P = 0.002, \text{rsd} = 0.227, R^2\ (\text{adj}) = 0.43, n = 18$$

Al incluir las dos variables (Figura 7) en la ecuación se mejoró el ajuste del modelo:

$$Pt\ fecal\ (g/d) = 0.328(0.236) - 2.540(0.0522) \times Ca\ ing\ (g/d) + 0.035(0.007) \times FDN\ ing\ (g/d)$$

$$P = 0.000, \text{rsd} = 0.151, R^2\ (\text{adj}) = 0.75, n = 18$$



**Figura 7.** Relación entre el fósforo fecal (P fec), calcio (Ca ing) y fibra detergente neutro (FDNing) ingeridos diariamente, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña).

Otra asociación observada entre la de la ingestión de Ca y P con la FDN:

$$Ca\ ing\ (g/d) = -0.041(0.106) + 0.013(0.0002) \times FDN\ ing\ (g/d)$$

$$P = 0.000, \text{rsd} = 0.068, R^2(\text{adj}) = 0.99, n = 18$$

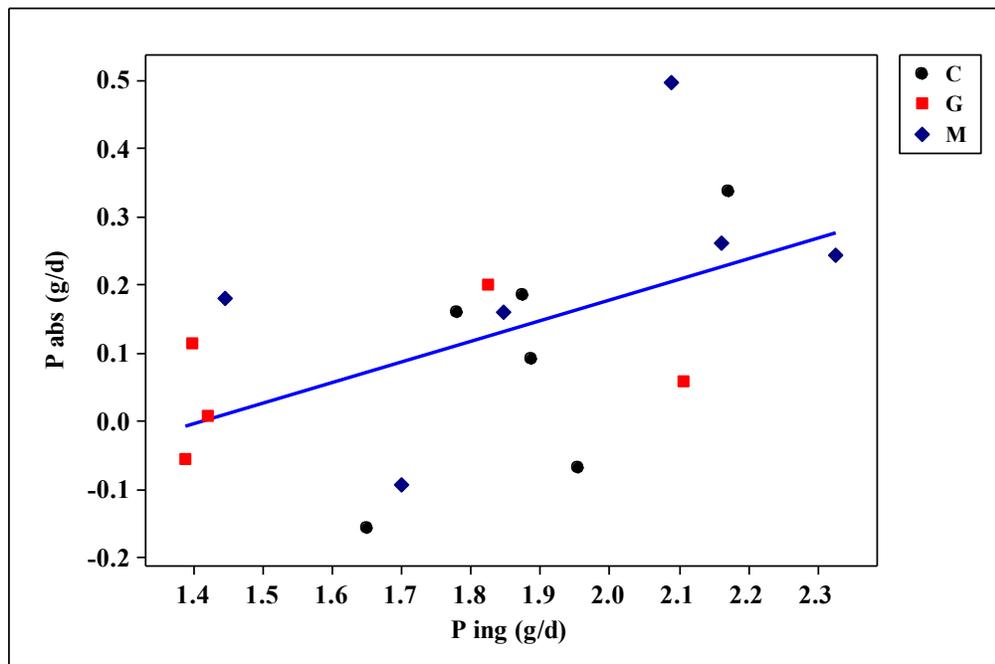
$$P\ ing\ (g/d) = 0.233(0.223) + 0.002(0.0003) \times FDN\ ing\ (g/d)$$

$$P = 0.000, \text{rsd} = 0.143, R^2(\text{adj}) = 0.75, n = 18$$

El P absorbido e ingerido también estuvieron relacionados (Figura 8):

$$Pabs\ (g/d) = -0.427(0.229) + 0.303(0.124) \times P\ ing\ (g/d)$$

$$P = 0.028, \text{rsd} = 0.147, R^2(\text{adj}) = 0.24, n = 17$$

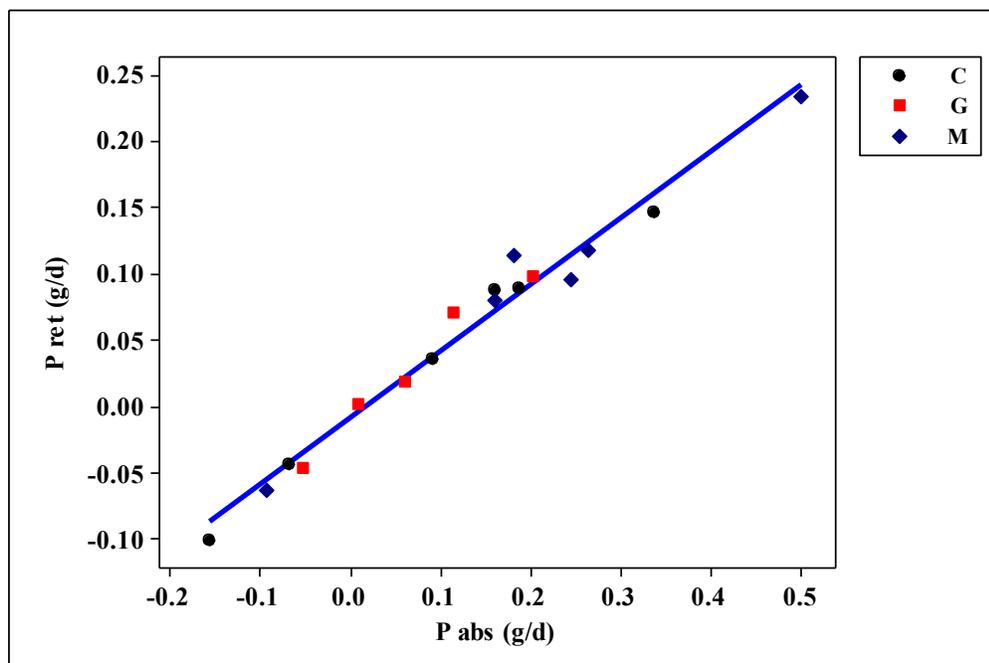


**Figura 8.** Relación entre el fósforo absorbido e ingerido diariamente en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global.

La asociación entre el P retenido y absorbido fue significativa ( $P < 0.001$ ), obteniéndose la siguiente ecuación:

$$P_{ret} \text{ (g/día)} = -0.013 \text{ (0.002)} + 0.985 \text{ (0.010)} \times P_{abs} \text{ (g/día)}$$

$rsd = 0.005$ ,  $R^2 \text{ ajustado} = 0.99$ ,  $n = 18$  (Figura 9).



**Figura 9.** Relación entre el fósforo retenido (P ret) y el absorbido (P abs) diarios, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global.

El análisis de regresión efectuado para los resultados de cada una de las partículas arrojó las siguientes ecuaciones:

**C:**  $P \text{ ret (g/d)} = -0.011(0.006) + 0.511(0.031) \times P \text{ abs (g/d)}$

$P < 0.001$ ,  $\text{rsd} = 0.013$ ,  $R^2 \text{ (adj)} = 0.98$

**M:**  $P \text{ ret (g/d)} = -0.006(0.012) + 0.489(0.046) \times P \text{ abs(g/d)}$

$P < 0.001$ ,  $\text{rsd} = 0.020$ ,  $R^2 \text{ (adj)} = 0.96$

**G:**  $P \text{ ret (g/d)} = -0.006(0.004) + 0.543(0.012) \times P \text{ abs (g/d)}$

$P < 0.001$ ,  $\text{rsd} = 0.010$ ,  $R^2 \text{ (adj)} = 0.99$

#### 5.4.2 Fósforo soluble

En lo referente al P soluble, los análisis de varianza (Anexo 9) no mostraron efecto ( $P > 0.05$ ) de las variables incluidas en el modelo para el **Ps ingerido** ( $0.0793 \pm 0.029$  g/día).

La **excreción fecal de Ps** fue afectada por el periodo ( $P = 0.006$ ; II =  $0.941 \pm 0.070$ ; I =  $0.770 \pm 0.050$ ; III =  $0.560 \pm 0.061$  g/día).

El **Ps aparente absorbido** fue afectado únicamente por el periodo ( $P = 0.001$ ; I =  $0.074 \pm 0.055$ ; II =  $-0.202 \pm 0.073$ ; III =  $0.237 \pm 0.045$  g/día).

En tanto, la digestibilidad aparente mostró también ese efecto ( $P = 0.002$ ; I =  $82.228 \pm 57.585$ ; II =  $-294.049 \pm 113.993$ ; III =  $253.374 \pm 63.650$  g/kg Ps).

#### 5.5 CONCENTRACIONES PLASMÁTICAS DE FÓSFORO

Los análisis de varianza correspondientes a las concentraciones de fósforo en el plasma antes (Ppa) o dos horas después (Ppd) de la ingesta de alimentos, se encuentran en el Anexo 10. En el caso de Ppa, el periodo tuvo un efecto en las concentraciones observadas ( $P = 0.004$ ; I =  $47.91 \pm 2.75$ , II =  $50.39 \pm 2.15$ , III =  $64.62 \pm 4.32$  mg/dL). Además, también se detectó una tendencia ( $P = 0.054$ ) para el efecto del animal. En cuanto al P plasmático postprandial, no fue afectado ( $P > 0.05$ ) por las variables del modelo, cuyo valor promedio fue de  $54.42 \pm 2.16$  mg/dL.

**Cuadro 9.** Fósforo plasmático en ayuno (Ppa) y dos horas después de comer (Ppd) en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje

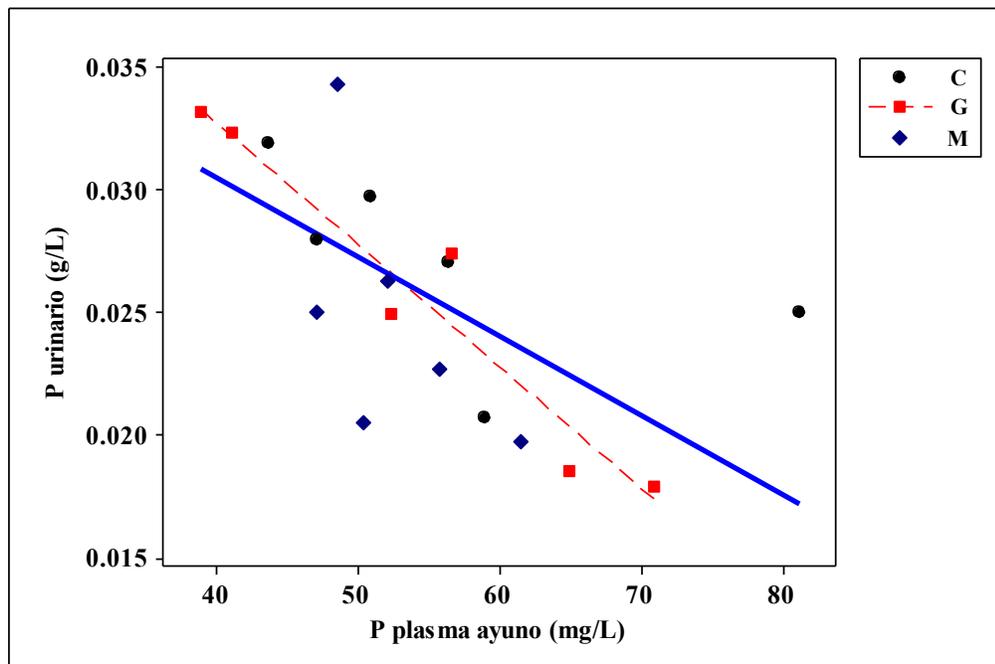
Item	Tamaño de partícula <sup>1</sup>						Valor de P
	C		M		G		
	Media	EEM <sup>2</sup>	Media	EEM	Media	EEM	
<b>P pa (mg/L)</b>	56.3	5.99	52.53	2.17	54.07	5.21	0.656
<b>P pd (mg/L)</b>	55.18	5.43	49.86	2.11	52.23	3.44	0.596

<sup>1</sup> C=chica, 2.54 cm; M=mediana, 5.08 cm; G=grande, en greña.  
EEM=error estándar de la media

Se encontró una asociación ( $P = 0.003$ ) entre las concentraciones urinaria y plasmática en ayuno de P:

$$P_{\text{urinario}} \text{ (g/L)} = 0.043(0.005) - 0.0003(0.0001) \times P_{\text{plasmático en ayuno}} \text{ (mg/dL)}$$

rsd = 0.004,  $R^2$  (adj) = 0.40 (Figura 10).



**Figura 10.** Relación entre la concentración de fósforo urinario y plasmático en ayuno, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global y la punteada a la partícula G.

El modelo ajustó mejor al incluir el Ca ingerido para explicar la concentración de P en la orina:

$$P \text{ urinario (g/L)} = 0.028(0.070) - 0.0003(0.0001) \times P \text{ plasmático en ayuno (mg/dL)} + 0.002(0.001) \times Ca \text{ ingerido (g/d)}$$

$$P = 0.000, \text{rsd} = 0.003, R^2 (\text{adj}) = 0.60$$

La asociación global observada entre las concentraciones de P en la orina y en el plasma en ayuno, fue influenciada mayoritariamente por los resultados de la partícula G (Figura 10; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

$$P \text{ urinario (g/L)} = 0.053(0.004) - 0.0005(0.0001) \times P \text{ plasmático en ayuno (mg/dL)}$$

$$P = 0.002, \text{rsd} = 0.002, R^2 (\text{adj}) = 0.91, n = 6$$

Los análisis de regresión para los otros tamaños de partícula (C y M) no presentaron esta asociación ( $P > 0.05$ ).

## 5.6 FÓSFORO SALIVAL

Los resultados referentes a la producción de saliva (g/min) al momento de la toma de muestra, su concentración de P y la salida de P en la saliva por minuto, se presentan en el Anexo 11. En el caso de la **producción de saliva** se observaron los efectos ( $P < 0.000$ ) del animal y del periodo de digestibilidad (I =  $0.125 \pm 0.01$ ; II =  $0.078 \pm 0.005$ ; III =  $0.073 \pm 0.005$ ; g/min). Cabe señalar que en esta variable, los coeficientes de variación fueron importantes 61.38, 53.17 y 52.72 %, para los periodos I, II y III respectivamente.

La **concentración de P en la saliva** no fue afectada ( $P > 0.05$ ) por las variables incluidas en el modelo. De modo que, la concentración promedio fue de  $581.2 \pm 24.9$  µg/g de saliva. En este caso, el coeficiente de variación calculado fue también considerable (57.53 %). La salida de P salival por minuto mostró los efectos ( $P < 0.000$ ) del animal y del periodo (I =  $65.87^a \pm 5.45$ ; II =  $43.18^b \pm 3.31$ ; III =  $40.11^b \pm 3.73$ ; µg de P/min.). De manera consistente, el coeficiente de variación fue importante para los periodos de digestibilidad, 64.05, 59.33 y 71.98 %, para I, II y III, respectivamente).

Los resultados de producción de saliva (g/min) al tiempo cero, estuvieron asociados al consumo de MS:

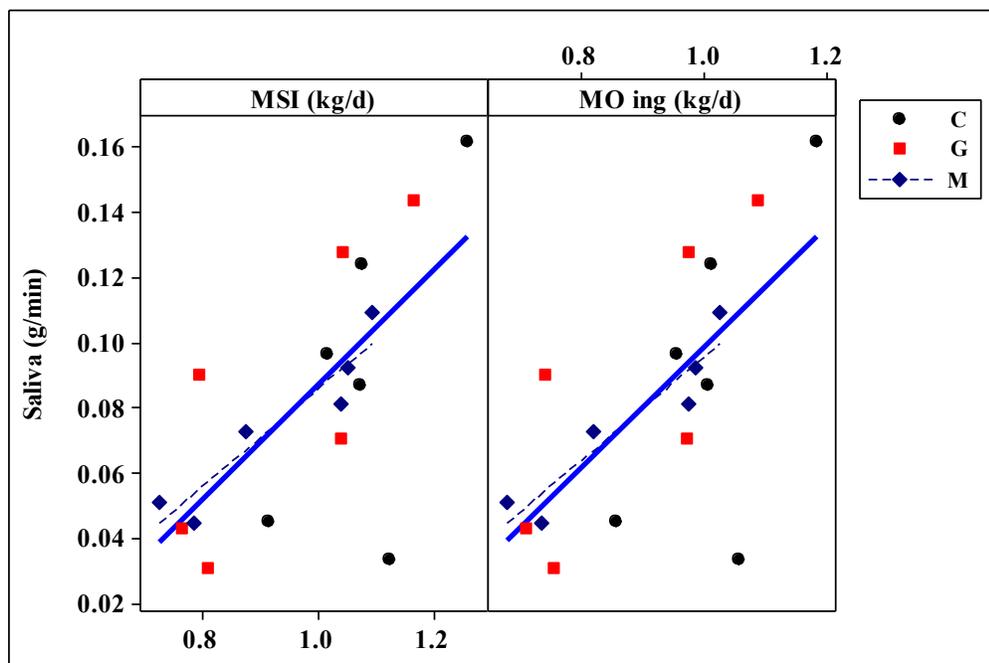
$$\text{Saliva (g/min)} = -0.089(0.044) + 0.176(0.044) \times \text{MSI (kg/d)}$$

$$P = 0.001, \text{rsd} = 0.028, R^2(\text{adj}) = 0.46, n = 18$$

y al de MO:

$$\text{Saliva (g/min)} = -0.087(0.044) + 0.186(0.048) \times \text{MOI (kg/d)}$$

$$P = 0.001, \text{rsd} = 0.029, R^2(\text{adj}) = 0.46, n = 18 \text{ (Figura 11).}$$



**Figura 11.** Relación entre la producción de saliva y la materia seca (MSI) y orgánica (MOI) ingeridas diariamente, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global y la punteada a la partícula M.

La relación global entre la producción de saliva (g/min) al tiempo cero y los consumos de MS y MO estuvieron influenciados fuertemente por la partícula mediana:

$$\text{Saliva (g/min)} = -0.064(0.026) + 0.150(0.027) \times \text{MSI (kg/d)}$$

$$P = 0.005, \text{rsd} = 0.01, R^2(\text{adj}) = 0.85, n = 6$$

$$\text{Saliva (g/min)} = -0.064(0.026) + 0.160(0.029) \times \text{MOI (kg/d)}$$

$$P = 0.005, \text{rsd} = 0.01, R^2(\text{adj}) = 0.85, n = 6$$

Se establecieron asociaciones entre el P salival cuantificado al tiempo cero y la MS ingerida:

$$P \text{ saliva (mg P/min)} = -35.20(26.50) + 83.70(26.70) \times \text{MSI (kg/d)}$$

$$P = 0.006, \text{rsd} = 17.11, R^2(\text{adj}) = 0.34, n = 18$$

Así como con la FDN ingerida:

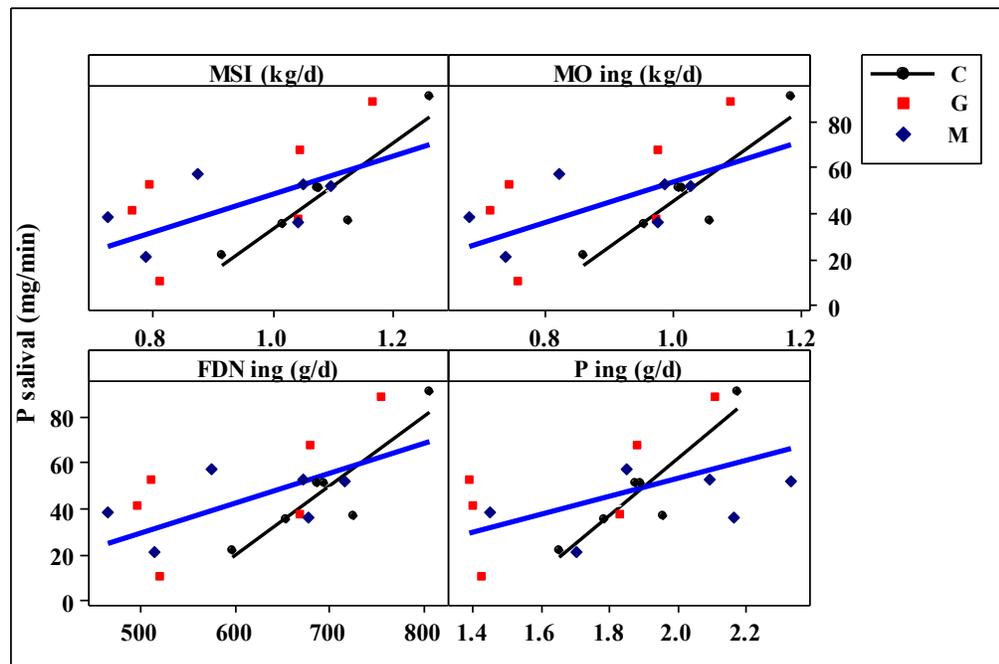
$$P \text{ saliva (mg P/min)} = -35.60(26.70) + 0.130(0.042) \times \text{FDN ing (g/d)}$$

$$P = 0.006, \text{rsd} = 17.134, R^2(\text{adj}) = 0.34, n = 18$$

y el P ingerido:

$$P \text{ saliva (mg P/min)} = -24.20(28.40) + 38.90(15.60) \times \text{Ping (g/d)}$$

$$P = 0.024, \text{rsd} = 18.45, R^2(\text{adj}) = 0.24, n = 18 \text{ (Figura 12).}$$



**Figura 12.** Relación entre el flujo de fósforo salival y la materia seca (MSI), orgánica (MOing), fibra detergente neutro (FDNing) y fósforo (Ping) ingeridos diariamente, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (C, 2.54 cm; M, 5.08 cm; G, greña). La línea sólida corresponde a la relación global y la punteada a la partícula C.

Las relaciones observadas entre el flujo salival de P (mg P/min) y la ingestión de la MS, MO, FDN y P ingerido fueron influenciadas de forma importante por los resultados de la partícula C. Las ecuaciones fueron las siguientes:

$$\mathbf{MS: } P \text{ saliva (mg P/min)} = -153.00(47.92) + 187.00(44.27) \times \mathbf{MSI (kg/d)}$$

$$P = 0.013, \text{rsd} = 11.39, R^2(\text{adj}) = 0.77, n = 6;$$

$$\mathbf{MO: } P \text{ saliva (mg P/min)} = -153.00(47.96) + 199.00(47.21) \times \mathbf{MOI (kg/d)}$$

$$P = 0.013, \text{rsd} = 11.39, R^2(\text{adj}) = 0.77, n = 6;$$

$$\mathbf{FDN: } P \text{ saliva (mg P/min)} = -162.00(52.01) + 0.30(0.075) \times \mathbf{FDN ing (g/d)}$$

$$P = 0.015, \text{rsd} = 17.76, R^2(\text{adj}) = 0.76, n = 6; \text{ y}$$

$$\mathbf{P ing: } P \text{ saliva (mg P/min)} = -185.04(52.87) + 123.58(27.93) \times \mathbf{Ping (g/d)}$$

$$P = 0.011, \text{rsd} = 10.96, R^2(\text{adj}) = 0.79, n = 6.$$

Los anteriores modelos indican que cuando las ovejas recibieron la partícula chica (2.54 cm de longitud), el flujo de P de la saliva en ayuno fue de:

- 34 mg/min por kg de MS ingerida
- 46 mg/min por kg de MO ingerida
- -161.70 mg/min por g de FDN ingerida
- -61.46 mg/min por g de P ingerido.

## **6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

El primer objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del tamaño de partícula de forraje sobre la utilización digestiva y retención del P alimentario, total y soluble en agua; en borregas en etapa de mantenimiento. Para ello se utilizó la técnica de digestibilidad aparente; estas observaciones fueron complementadas con la cuantificación de P plasmático y salival.

### **6.1 CONSUMO DE AGUA Y EXCRECIÓN URINARIA**

El consumo de agua se ve influenciado por diferentes factores como son los climatológicos; entre ellos, destaca la temperatura. Así, el consumo de agua en ovinos puede ir desde 2 hasta 12 L/kg MS en climas templados y áridos, respectivamente (Lynch et al., 1972; Freer et al., 2007). De hecho, es conocida la relación lineal entre el consumo de agua y el de MS (MacFarlane y Howard, 1972; Nocek y Braun, 1985). Por otra parte, el consumo de agua contempla la pérdida fecal y urinaria y el agua retenida en el organismo (Freer et al., 2007). En este estudio el consumo de agua se explicó por su relación con la MS ingerida y la excreción urinaria. El consumo de agua por kg de MS ingerida calculado con la ecuación correspondiente, es muy cercano a lo reportado en la literatura citada.

### **6.2 DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA, ORGÁNICA, PROTEÍNA CRUDA Y ENERGÍA**

Los resultados correspondientes a la fibra detergente neutro se discuten más adelante, dadas las asociaciones que presentó con los resultados relativos al P. En lo referente a la digestibilidad, Bourquin et al. (1994) señalaron al tamaño de partícula del forraje como uno de los factores dietarios que afectan a la misma. El tamaño de la partícula (13.29, 7.26 y 0.69 mm) de los forrajes modifica el consumo, la tasa de pasaje desde el rumen y el tiempo de permanencia en este órgano, y en consecuencia la digestibilidad de la fibra en ovinos castrados de la raza Scottish Blackface (Hadjigeorgiou et al., 2003). En el presente trabajo, el tamaño de la partícula del heno de avena (2.54, 5.08 cm y el forraje en greña) no afectó

la ingestión de MS y MO y tampoco sus digestibilidades; lo que pareciera oponerse a los resultados mencionados, pero en este caso las partículas fueron considerablemente mayores a lo utilizado por Hadjigeorgiou et al. (2003).

El trabajo de Bourquin et al. (1994) determinó los efectos de la proporción forraje/concentrado en la dieta y del tratamiento (heno largo o picado a 0.96 cm de tamaño de malla) del pasto Orchard en el sitio y grado de digestión de la MO, N y componentes de la pared celular en machos castrados, Angus × Simmental. Sus resultados mostraron efectos poco importantes del tamaño de la partícula en el sitio y grado de digestión de las paredes celulares, no así de la MO ingerida, fecal y la digestibilidad aparente. Lo que fue atribuido a: 1) que la partícula picada a 0.96 cm no fue lo suficientemente pequeña para sobrepasar la acción del rumen y 2) la restricción del consumo de alimento a 1.9 % del PV. Además, se atribuyó al tamaño de partícula, las variaciones del pH ruminal, debido a la disminución de la rumia y en consecuencia de la salivación y de su capacidad amortiguadora. En el presente estudio, los tamaños de partícula de forraje fueron por lo menos 2.6 veces más grandes respecto a los utilizados por Bourquin et al. (1994). Por lo que se asume que las partículas de forraje (C, M y G) dada su longitud se utilizaron en el rumen, por lo que no se afectaron los resultados de ingestión, excreción fecal y digestibilidad de la MS y MO. Por otra parte, el consumo de MS fue del 2.0 % del PV de las ovejas, porcentaje similar al consumo referido en el trabajo de Bourquin et al. (1994). También, Genovez et al. (2008) quienes alimentaron ganado bovino, con dietas que contenían 400 g de heno de *Sorghum halephense* por kg de dieta, con la sola diferencia del tamaño de partícula: picado a 2.5 cm y a 0.3 cm; observaron que la forma física del heno no afectó la digestibilidad (MS, MO y PC), ni el flujo de proteína microbiana al duodeno.

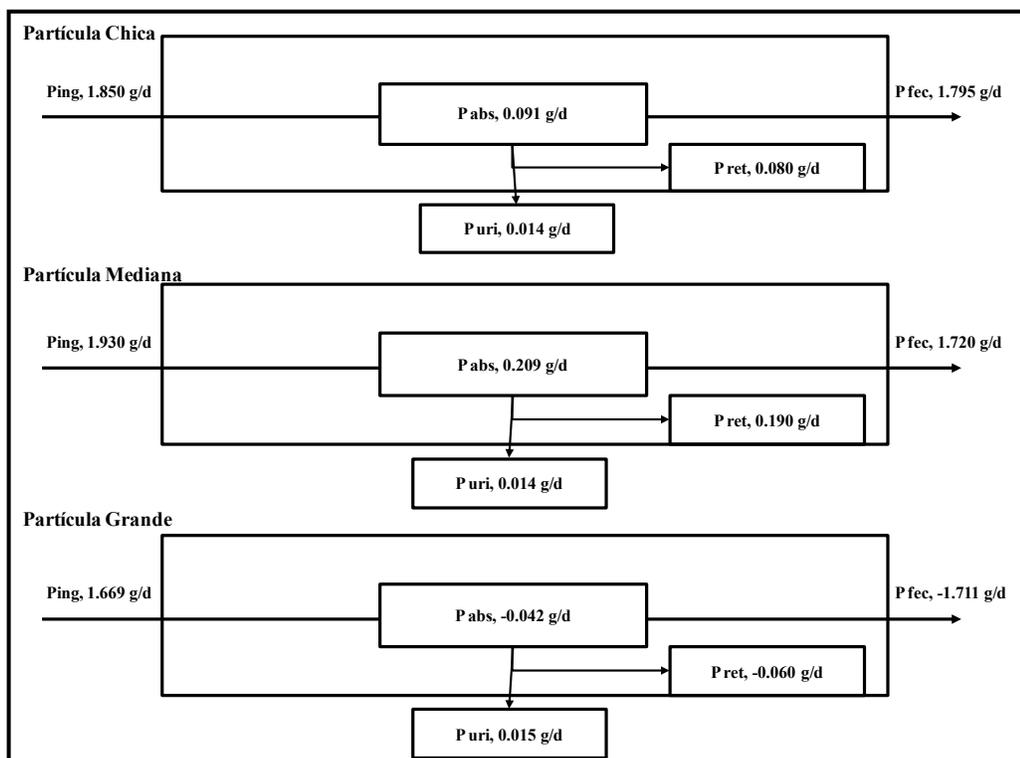
Los valores observados de digestibilidad de la MS aparente de la dieta (542.25 g/kg MS) compuesta mayoritariamente por el heno de avena (793.20 g/kg MS), corresponden con la calculada (585.19 g/kg MS) por la ecuación de Moore y Undersander (2000) y se encuentra en el rango para esta gramínea ([www.feedipedia.org](http://www.feedipedia.org)). Sin embargo, es menor que la calculada (686.0 g/kg MS) por la misma ecuación para siete diferentes variedades

nacionales de avena (Ramírez-Ordoñez, 2007). En lo referente a la digestibilidad de la MO y la PC, los valores obtenidos corresponden a lo reportado en la literatura para el heno de avena (530.00 – 820.00 g/kg MO; 300.00 – 900.00 g/kg PC). Sin embargo, la digestibilidad de la energía (0.51) fue menor a lo reportado (0.57) en la literatura ([www.feedipedia.org](http://www.feedipedia.org)). El grado de madurez del forraje, indicado por su contenido de FDN (630.00 g/kg de MS) explica los valores bajos de digestibilidad de MS, MO y energía.

### **6.3 DIGESTIBILIDAD APARENTE DE P Y DE LAS PAREDES CELULARES; CONCENTRACIONES PLASMÁTICA Y SALIVAL DE FÓSFORO**

En la primera hipótesis de este trabajo se postuló que en borregas en mantenimiento, la digestibilidad aparente y la retención del P alimentario, tanto total, como soluble en agua estaban en función directa del tamaño de partícula de forraje. Los resultados no fueron lo suficientemente significativos para aceptar la validez de la referida suposición, como es denotado por la tendencia observada para el Pt absorbido, su digestibilidad aparente y el Pt retenido, de ser afectados por el tamaño de partícula del forraje.

Llaman la atención los resultados negativos (Figura 13) observados para el forraje en greña en cuanto a: 1) la absorción de Pt; 2) la digestibilidad aparente del Pt; 3) la retención de Pt; además de los EEM para estas tres variables, mayores al valor de la media, indicando la alta variación en los datos obtenidos. Con el tratamiento G, la pérdida fecal de P superó a la ingestión del elemento. Como es reconocido, la vía fecal es la principal ruta de excreción del P en los rumiantes; distinguiéndose en las heces tres orígenes del P (Spiekers et al., 1993); 1) la porción no disponible del P de la dieta; 2) la pérdida inevitable excretada en condiciones nutricionales o fisiológicas normales y; 3) la pérdida regulada u homeostática que depende del exceso del aporte alimentario. El P rápidamente soluble en agua fue propuesto (Dou et al., 2002) como una medida de la parte soluble de las fracciones 2 y 3.



**Figura 13.** Balances de fósforo, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (Chica, 2.54 cm; Mediana, 5.08 cm; Greña, greña). Ping, P ingerido; P abs, P absorbido aparente; P fec, P en heces; P uri, P eliminado en orina; P ret, P retenido.

El P endógeno puede constituir entre el 0.12 (becerras lactantes) y 0.95 (dietas con importantes contenidos de forraje) del P fecal (Bravo et al., 2003). En este estudio, 0.79 de la ración estuvo constituida por heno de avena, por lo que se asumiría que una fracción importante del P fecal fue de origen endógeno, que, es principalmente P no absorbido cuyo origen primordial es la saliva, y está relacionado con factores que afectan la producción de la misma (consumo de la MS, características físicas de la dieta y concentración de P dietario; Bravo et al., 2003). Los principales factores de variación de la pérdida fecal endógena son: la edad del animal, siendo más elevada en animales jóvenes; el P ingerido; la MS ingerida; el estado fisiológico, y posiblemente el tamaño de la partícula alimentaria. En este estudio, únicamente varió este último factor. Cabe señalar que, el P rápidamente soluble en agua representó 0.43 del P total ingerido, proporción que se conservó (0.44) en

el P fecal; la posibilidad de que estos resultados sean un artefacto de la metodología del laboratorio se descarta ya que en otro trabajo (Ramírez-Pérez, 2007) se utilizaron cabras en lactación que recibieron como principal fuente de P fosfatos monocálcico y bicálcico. En este caso el P rápidamente soluble de la ración representó 0.67 y 0.49 del Pt ingerido, respectivamente, mientras que el P fecal rápidamente soluble en agua representó de manera indistinta, el 0.14 del Pt. Es decir la técnica permite diferenciar la cantidad de P que se solubiliza rápidamente en agua de la que no lo hace. Bremer et al. (2008) reportan en heces y estiércol proveniente de ganado productor de carne, una proporción de Ps en agua de 0.41 y 0.24 con respecto a Pt, respectivamente. Los resultados del presente estudio muestran en las heces, una proporción similar de Ps respecto al Pt.

Otro aspecto importante a considerar en este estudio, es el hecho de que una cantidad importante de P dietario fue aportado por el forraje (0.42), cuyo contenido de P es mayoritariamente inorgánico (Bravo et al., 2003).

Los valores de la digestibilidad aparente de P son muy bajos respecto a otros reportes, incluso en aquellos que han empleado raciones ricas en forrajes donde se pueden esperar valores de al menos 20 % (Meschy, 2014; comunicación personal. Por ejemplo, Wu et al. (2003) estudiaron el efecto de la proporción de forraje (0.48 vs 0.58) y el contenido de P dietario (0.33 vs 0.42 %, usando fosfato monosódico) en la excreción fecal de P, en vacas Holstein a la mitad de la lactancia. Los resultados mostraron un consumo de P de 74 y 96 g/d y una excreción fecal de 49 y 65 g/d para 0.33 y 0.42 %, respectivamente. Es decir, la reducción del consumo de P, disminuyó en aproximadamente, 25 % la excreción fecal de P. En cuanto a la digestibilidad aparente estimada del P, ésta tendió a disminuir (31.1 vs 36.6 %) cuando la proporción de forraje incrementó. En otro trabajo (Ekelund et al., 2006) se obtuvieron valores de digestibilidad aparente del P de 52 y 42 % en vacas de la raza Sueca Roja en las primeras semanas de lactación, recibiendo 0.43 y 0.32 % de P, en relación a la MS. El valor descendió a 28 % en el periodo seco, sin diferencia entre los grupos. En el presente estudio, como ya se mencionó, los valores de digestibilidad aparente del P son poco importantes (-2 a 10 %), atribuido a la importante cantidad fecal de P, el

cual estuvo globalmente asociado al P ingerido, mostrando sobre todo la influencia de la partícula mediana (5.08 cm). En la relación global, por cada gramo de P ingerido, 0.72 g de P fueron excretados; cantidad cercana a la observada por Ekelund (2003), aunque en vacas en lactación. Sumado a esto, las dietas experimentales tuvieron una relación Ca : P de 3.68 lo que puedo explicar parcialmente el P fecal, como fue presentado en la ecuación correspondiente. La posibilidad de que en el intestino, y dependiendo del pH, el Ca y el P formen complejos insolubles ha sido planteada (Kebreab et al., 2005) lo que podría explicarse por la relación Pt fecal y Ca ingerido; además de la FDN ingerida que también estuvo asociada. Estas dependencias encontradas con la FDN ingerida, podrían explicarse por la distribución de los elementos minerales en el forraje; ya que en esta experiencia el forraje aportó la mayoría de Ca y P, lo que se explica por la asociación encontrada entre la ingestión de ambos elementos con la FDN ingerida mencionadas en las ecuaciones anteriormente proporcionadas. Kincaid y Cronrath (1983) analizaron muestras de heno de alfalfa y ensilados de gramíneas encontrando que en la leguminosa y en las gramíneas una fracción de su contenido mineral (Ca = 0.24, P = 0.31, K = 0.01, Mg = 0.05, Cu = 0.29, Zn = 0.31, y Fe = 0.77) estuvo asociada a la FDN. En cuanto a la FDA su contenido mineral fue diferente (Ca = 0.03, P = no se detectó, K = 0.03, Mg = 0.02, Cu = 0.43, Zn = 0.23 y Fe = 0.17). Es decir, una importante proporción de Ca, P, Cu, Zn y Fe están asociados con las paredes celulares de la alfalfa y gramíneas. Así, una segunda explicación a los bajos valores observados para la digestibilidad aparente del P es el grado de asociación de este elemento a las paredes vegetales y la digestibilidad de las mismas que permitiría liberar los minerales que le estuvieron asociados. Otro factor que afecta la disponibilidad del P dietario es el contenido de P fítico, presente principalmente en granos, semillas y subproductos agroindustriales. La digestibilidad del P fítico es baja cuando se proporciona en exceso (0.25) de la dieta. Lo que no ocurrió en el presente estudio. El trabajo de Bravo et al. (2003) reporta el efecto de la fibra cruda de la dieta sobre el P endógeno fecal; pero su precisión fue baja ( $R^2 = 0.05$ ).

La digestibilidad del P para complementos minerales inorgánicos ha sido ampliamente revisada. Sin embargo, se requiere mayor investigación en el caso de los forrajes y los

concentrados (Bravo et al., 2003, INRA, 2010). El rango de valores para el coeficiente de absorción real van desde 0.70 (Scott y Buchan, 1988), hasta 0.80 (Braithwaite, 1986). Bravo et al. (2003) sugieren que una absorción verdadera de P de 0.6 sería deseable para dietas que incluyen grandes cantidades de heno, mientras que 0.70 podría utilizarse para dietas basada en forrajes ensilados.

La asociación directa entre el P aparente absorbido e ingerido reportada en la vaca lechera (Wu *et al.*, 2000, Knowlton y Herbein, 2002, Dou *et al.*, 2003) y en la cabra en lactación (Ramírez-Pérez, 2007) fue observada en las ovejas en mantenimiento de este estudio; pero, el coeficiente de regresión ( $R^2 = 0.28$ ) fue menor que el obtenido para las cabras ( $R^2 = 0.39$ ). Esta relación entre el P absorbido e ingerido, parece apuntar al componente pasivo del transporte de P, el cual predomina ante el aporte adecuado o excesivo de P alimentario. Por otra parte, del fósforo total absorbido, 0.84 fue retenido. En esta asociación, 0.99 del P retenido fue explicado por el absorbido (Figura 9). Ekelund et al. (2006) reportaron una retención aparente de P en la lactación temprana y media de 2.0 y 4.6 g/día, y durante el periodo seco fue de 8.8 – 9.9 g/día, en vacas Sueca Roja. El análisis de regresión efectuado para la asociación P retenido – absorbido para cada una de las partículas permite observar que la relación global es producto de los tres tratamientos y no influenciada por alguno de ellos. Sin embargo, y como se comentó anteriormente, en el caso del forraje en greña, la retención correspondió al -1.43 del Pt absorbido. El dispositivo experimental no permitió dilucidar el origen de los valores negativos para el P absorbido y retenido en el grupo G. La utilización del P es afectada por diferentes factores, como lo diserta Ekelund (2003) citando a varios autores: *“elevados consumos de P, pueden disminuir la eficiencia en la absorción como parte de la homeostasis; en ovinos, la tasa neta de absorción aumenta al incrementar las concentraciones de P en el lumen del duodeno hasta alcanzar los 217 mg/L, cuando el sistema de absorción se considera saturado; el incremento en el consumo de P en ovinos, aumenta la absorción intestinal, las concentraciones plasmáticas y la secreción salival, conjuntamente con un incremento en la excreción de P endógeno fecal”*. Además, cuando el consumo excesivo de P rebasa la excreción fecal, la vía urinaria comienza a ser importante para mantener la homeostasis.

Las concentraciones plasmáticas de P estuvieron en el rango considerado como normal 4 a 9 mg/dL (Underwood y Suttle, 1999). Scott et al. (1984) señalan que cuando proporcionaron cantidades de P adecuadas y superiores a las requeridas en ovejas adultas, los niveles de P plasmático se mantuvieron entre 4.9 y 9.4 mg/dL, mientras que cuando proporcionaron P en menor cantidad al requerido, los niveles de P plasmático se mantuvieron entre 4.3 y 7.7 mg/dL.

La segunda hipótesis de trabajo planteada fue que las concentraciones plasmática y salival de P varían en función directa del tamaño de partícula del forraje. Ésta, no pudo aceptarse; sin embargo, las asociaciones entre las diferentes variables de respuesta, muestran influencia del tamaño de partícula de forraje. Esto se vio con:

- La partícula **G**, para las concentraciones de P en la orina y en el plasma en ayuno ( $R^2$  (adj) = 0.91). Bravo et al. (2003) mencionan que en su metabase de datos sobre el metabolismo del P en rumiantes, 0.47 de las variaciones en el P urinario se explicaron por las del P plasmático:  $P_{\text{urinario}}/PV = -6.64 \times 10^{-3} (\pm 1.51 \times 10^{-3}) \times P_{\text{plasma}} + 4.58 \times 10^{-3} (\pm 0.56 \times 10^{-3}) \times P_{\text{plasma}}^2$ ; ( $P < 0.01$ , Tratamientos = 254, Experimentos = 33, Animales = 791, RMSE =  $2.58 \times 10^{-2}$ ,  $r^2 = 0.47$ ). En este modelo cuadrático, se aprecia la relación positiva entre las dos variables; sin embargo, en el presente estudio la relación establecida fue negativa.
- La partícula **M**, para la producción de saliva (g/min) al tiempo cero y los consumos de MS ( $R^2$ (adj) = 0.085); y de MO ( $R^2$ (adj) = 0.85).
- La partícula **C**, para el flujo salival de P (mg P/min) con la ingestión de la MS ( $R^2$ (adj) = 0.77), MO ( $R^2$ (adj) = 0.77), FDN ( $R^2$ (adj) = 0.76) y P ingerido ( $R^2$ (adj) = 0.79).

Bravo et al. (2003) realizando el meta-análisis de datos relacionados con el metabolismo del P en rumiantes, menciona que el P salival es afectado por el P ingerido ( $R^2 = 0.13$ ). La secreción de saliva y con ello el reciclaje de P es afectado por factores como: a) el consumo

de materia seca (CMS), cuyo efecto se observa con raciones con diferentes contenidos de P, que se proporcionan a distintos niveles de ingestión (Yano et al., 1991); b) la naturaleza física de la dieta, ya que la cantidad adecuada de fibra efectiva en la dieta (10 – 22 % en vacas lecheras; Mertens, 1997; Beauchemin y Yang, 2005) estimula la rumia y la salivación; y c) la cantidad de P ingerido. De acuerdo con Valk et al. (2002), en vacas con producción lechera (37.6, 36.9 y 35.6 kg/día) y consumos de MS (22.6, 22.9 y 22.1 kg), ambos semejantes, pero con diferentes consumos de P pueden observarse diferentes concentraciones de P en saliva y excreciones de P endógeno fecal.

Si bien existen varios factores que afectan la tasa de flujo salival, es la naturaleza física de la dieta, la que parece influirla en mayor grado. Sin embargo, los factores que afectan la cantidad de P secretado en la saliva están menos definidos; además, la secreción de P salival está estrechamente relacionada con la tasa de flujo salival. Por otra parte, la concentración de P en la saliva depende de la fosforemia, la que a su vez depende parcialmente de la ingesta del mineral. Así, de acuerdo con Scott (1982), la variabilidad en la secreción de P entre individuos y entre dietas, se puede explicar en gran parte por diferencias en el flujo salival.

Dadas las presiones medio ambientales sobre la producción animal, es necesario ampliar la información existente sobre la utilización del P contenido en los alimentos. En este trabajo se buscó probar dos hipótesis:

- 1) Si en borregas en mantenimiento, el tamaño de partícula de forraje afecta directamente la utilización digestiva y retención del P alimentario (total y soluble en agua) y
- 2) Si en borregas en mantenimiento, el tamaño de partícula de forraje afecta directamente las concentraciones, plasmática y salival de P.

Un punto importante a tener en cuenta es el hecho de que los sujetos experimentales fueron ovejas en mantenimiento que no presentaron grandes desafíos en su metabolismo. Bajo las condiciones en las que se realizó este estudio, se concluye que:

- Los tamaños de partícula del forraje (2.54, 5.08 cm y en greña) utilizados tendieron a afectar la absorción, la digestibilidad y la retención aparentes del P alimentario total; destacando para el forraje en greña, los resultados negativos para estas variables y su importante variación.
- Los diferentes tamaños de partícula ejercieron algún efecto en las relaciones encontradas. Así, la partícula chica (2.54 cm) afectó las asociaciones entre el flujo salival de P y la materia seca, orgánica, fibra detergente neutro y P ingeridos. En tanto la partícula mediana (5.08 cm) influyó en la relación entre la excreción fecal y la ingestión de P y en la asociación entre el flujo de saliva y la materia seca y orgánica ingeridas.
- El tamaño de partícula de forraje no afectó las concentraciones plasmática y salival de P, demostrando la capacidad homeostática del organismo para mantener los niveles plasmáticos de P a corto plazo. Sin embargo, el forraje en greña afectó la asociación entre las concentraciones urinaria y plasmática de P.
- Para precisar la utilización del P de los alimentos por los rumiantes, con el objetivo de reducir el impacto de la alimentación fosforada en el medio ambiente, se requiere realizar investigación en animales con mayores retos metabólicos tales como ovejas en gestación y lactación en sus diferentes etapas. En el caso de las ovejas en mantenimiento, persisten algunas inquietudes de investigación sobre todo referentes al genotipo utilizado.

## **IMPLICACIONES**

Este trabajo generó información sobre la disponibilidad digestiva del P en respuesta a la modificación del tamaño de partícula del forraje y su repercusión sobre la utilización del P en borregas en mantenimiento. Los resultados obtenidos sugieren diferencias en la utilización del P a nivel digestivo, lo que repercutiría en la complementación fosforada de ovejas. Se deben continuar los trabajos de investigación sobre la alimentación fosforada de los rumiantes, teniendo en cuenta el tamaño del forraje como factor que pudiera afectar los resultados. Lo anterior para disminuir las excreciones de P y disminuir su impacto en el medio ambiente. Una práctica a recomendar en las UP, es lo referente al picado del forraje ya que como se observó en los resultados, los valores de aprovechamiento del P alimentario Variaron fuertemente en las ovejas que recibieron la partícula grande. Por otra parte, el ofrecer el forraje en greña provoca el desperdicio del mismo y por ende incrementa el costo por concepto de alimentación.

## 7. LITERATURA CITADA

- Almanza V.A. (2007). Razas ovinas de uso comercial en México. Obtenida el 7 de octubre de 2013, de <http://www.borrego.com.mx/archivo/n46/f46comercial.php>
- Ammerman, C.B.; Baker, D.P. y Lewis, A.J. (1995). Bioavailability of nutrients for animals: amino acids, minerals, vitamins. California U.S.A.: Academic Press.
- A.R.C. (1981). Agricultural Research Council. The nutrient requirements of pigs, C.A.B., Slough.
- Association of Official Analytical Chemists International. (2000). Official methods of analysis of AOAC International. 17th edition, Gaithersburg, MD, USA.
- Bailey, C. B. y Balch, C. C. (1961). Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. 1. The composition and rate of secretion of parotid saliva in a small steer. *British Journal of Nutrition*, 15(3), 371-382.
- Banco mundial. Agricultural and rural development. Obtenida el 19 de septiembre de 2013, de <http://data.worldbank.org/topic/agriculture-and-rural-development>
- Barsdate, R.J. y Prentki, R.T. (1974) Phosphorus cycle of model ecosystems: significance for decomposer food chains and effect of bacterial grazers. *Oikos*, 25(3), 239-251.
- Beauchemin, K.A. y Yang, W.Z. (2005). Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *Journal of Dairy Science*, 88 (6), 2117-2129.
- Beef lamb. Ewe body condition scoring (BCS) handbook. Obtenida el 9 de octubre de 2013, de <http://www.beeflambnz.com/Documents/Farm/Ewe%20body%20condition%20scoring%20handbook.pdf>
- Bourquin, L.D.; Titgemeyer, N.R.; Merchen N.R. y Fahey G.C. Jr. (1994). Forage level and particle size effects on orchard grass digestion by steers: I. Site and extent of organic matter, nitrogen, and cell wall digestion. *Journal of Animal Science*, 72(3), 746-758.
- Braithwaite, G.D. (1986). Phosphorus requirements of ewes in pregnancy and lactation. *Journal of Agricultural Science*, 106(2), 271-278.
- Bravo, D.; Sauvant, D.; Bogaert, C. y Meschy, F. (2003). III. Quantitative aspects of phosphorus excretion in ruminants. *Reproduction Nutrition Development*, 43(3), 285-300.

- Bremer, V.R.; Buckner, C.D.; Erickson, G.E. y Klopfenstien, T.J. (2008). Total and water soluble phosphorus content of feedlot cattle feces and manure. Obtenida el 3 de febrero de 2013, de <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1026&context=animalsci-nbcr>.
- Breves, G. y Schröder, B. (1991). Comparative aspects of gastrointestinal phosphorus metabolism. *Nutrition Research Reviews*, 4(1), 125-140.
- Breves, G.; Ross, R. y Höller, H. (1985) Dietary phosphorus depletion in sheep: effects on plasma inorganic phosphorus, calcium, 1,25-(OH)<sub>2</sub>-Vit.D<sub>3</sub> and alkaline phosphatase and on gastrointestinal P and Ca balances. *The Journal of Agricultural Science* 105(3), 623–629.
- Breves, G. y Höller, H. (1987). Effects of dietary phosphorus depletion in sheep on dry matter and organic matter digestibility. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 58(1-5), 280–286.
- Caso, C.M.; Pisanty, I. y Ezcurra, E. (Comp) (2004). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. México: SEMARNAT, INE, INE A.C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies.
- Challa, J.; Braithwaite, G.D. y Dhanoa, M.S. (1989). Phosphorus homoeostasis in growing calves. *Journal of Agricultural Science*, 112(2), 217-226.
- Cohen, R.D.H. (1980). Phosphorus in rangeland ruminant nutrition: A review. *Livestock Production Science*, 7(1), 25-37.
- Cordell, D.; Drangert, J.O. y White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19(2), 292-305.
- Cunningham, J.G. y Klein, B.G. (2009). *Fisiología veterinaria*. 4ª ed. España: Elsevier.
- De Anda, J.D. y Maniak, U. (2007). Modificaciones en el régimen hidrológico y sus efectos en la acumulación de fósforo y fosfatos en el lago de Chapala, México. *Interciencia*, 32(2), 100-107.
- Déry, P. y Anderson, B. (2007). Peak phosphorus. Mineral commodity summaries. *Energy Bulletin*. Obtenida el 7 de marzo de 2012, de <http://www.energybulletin.net/node/33164>
- Díaz-Vargas. M.; Elizalde, A.E.; Quiroz, C.H.; García, R.J. y Molina, E.I. (2005). Caracterización de algunos parámetros físico químicos del agua y sedimento del lago Zempoala, Morelos, México. *Acta Universitaria*, 15(2), 57-65.

- Dou, Z.; Ferguson, J.D.; Fiorini, J.; Toth, J.D. y Alexander, S.M.; Chase, L.E.; Ryan, C.M.; Knowlton, K.F.; Kohn, R.A.; Peterson, A.B.; Sims, J.T. y Wu, Z. (2003). Phosphorus feeding levels and critical control points on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 86(11), 3787-3795.
- Dou, Z.; Knowlton, K.F.; Kohn, R.A.; Wu, Z.S.; Larry, D.; Zhang, G.; Toth, J.D. y Ferguson, J.D. (2002). Phosphorus characteristics of dairy feces affected by diets. *Journal of Environmental Quality*, 31(6), 2058-2065.
- Durand M.; Beaumatin P. y Dumay C. (1983) Estimation in vitro à l'aide du phosphore radioactif des besoins en phosphore des microorganismes du rumen. *Reproduction Nutrition Developpment*. 23 (4), 727-739.
- Durand M., Beaumatin P., Dumay C., Meschy, F., Komisarczuk, S. (1986) Influence de l'addition de phosphore sur la digestion d'une paille traitée à l'ammoniac par les microorganismes du rumen en fermenteur semi-continu. *Reproduction Nutrition Developpment*. 26 (1B), 297-298.
- Durand, M.; Dumay, C.; Beaumatin P. y Morel, M.T. (1988). Use of the rumen simulation technique (RUSITEC) to compare microbial digestion of various by-products. *Animal Feed Science and Technology*, 21(2), 197-204.
- Duric, M.; Zhao, G.Y.; Ørskov, E.R. y Chen, X.B. (1994). Indirect measurement of saliva secretion in sheep fed diets of different structures and the effect of such diets on ruminal fluid kinetics and fermentation pattern. *Experimental Physiology*, 79(9), 823-830.
- Ekelund, A. (2003). Phosphorus and the dairy cow. Tesis de doctorado. Uppsala, Suecia, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*.
- Ekelund, A.; Spörndly, R. y Holtenius, K. (2006). Influence of low phosphorus intake during early lactation on apparent digestibility of phosphorus and bone metabolism in dairy cows. *Livestock Science*, 99(2), 227-236.
- Ekelund, A.; Spörndly, R.; Valk, H. y Murphy, M. (2003). Influence of feeding various phosphorus sources on apparent digestibility of phosphorus in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 109(1), 95-104.
- Elizalde, AD.D.; Pismag, P.Y. y Chaparro, D.C. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 45-54.
- Erdman, R.A. (1988). Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow: a review. *Journal of Dairy Science*, 71(12), 3246- 3266.
- FAO. FAOSTAT 2011. Obtenida el 7 de mayo de 2012, de <http://faostat.fao.org/site/573/DesktopDefault.aspx?PageID=573#ancor>

- FAO. FAOSTAT 2012. Obtenida el 12 de febrero de 2013, de <http://faostat.fao.org/site/729/default.aspx#ancor>
- Febles, A.C.I. (1998). Estudio del contenido de fitatos en derivados de cereales de consumo en Canarias. Tesis doctoral. España, Universidad de La Laguna.
- Feedstuffs 2011. Obtenida el 21 de noviembre de 2013, de <http://feedstuffs.com/>
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. (2010). Recomendaciones nutricionales para rumiantes de recría. Bach A. Fernández C. y Terre M. Ediciones Peninsular S.L.
- Field, A.C. y Woolliams, J.A. (1984). Genetic control of phosphorus metabolism in sheep. *Canadian Journal of Animal Science*, 64(5), 232-233.
- Freer, M.; Dove, H. y Nolan, J.V. (2007). Water intake. En *Nutrient requirements of domesticated ruminants* (ed. CSIRO), Collingwood, Australia: CSIRO Publishing.
- Fundación Mexicana para el Desarrollo Rural. (2000). Centro de Estudios Estratégicos para el Desarrollo rural: Estudio cadena-producto para la ovinocultura en Hidalgo, Hidalgo.
- Genovez, C.F.; Ayala, B.A.J.; Sandoval, C.C.A.; Cetina, G.R. y Reyes, R.R. (2008). Efecto del tamaño de partícula de la fibra en la dieta sobre la conducta ingestiva, digestión de nutrientes y suministro de proteína microbiana al duodeno de bovinos. *Revista Científica*, 18(2), 180-187.
- Georgievskii, V.I.; Annenkov, B.N. y Samokhin, V.T. (Eds). (1982). *Mineral nutrition of animals*. London, UK: Butterworths.
- González-Ronquillo, M.; Balcells, J.; Guada, J.A. y Vicente, F. (2003). Purine derivative excretion in dairy cows: endogenous excretion and the effect of exogenous nucleic acid supply. *Journal of Dairy Science*, 86(4), 1282-1291.
- Hadjigeorgiou, I.E.; Gordon, I.J. y Milne, J.A. (2003). Comparative preference by sheep and goats for *Graminaeae* forages varying in chemical composition. *Small Ruminant Research*, 49(2), 147-156.
- Hazewinkel, H.A.W. y Tryfonidou M.A. (2002). Vitamin D<sub>3</sub> metabolism in dogs. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 97(1), 23-33.
- Hernández, E.V.G. (2012). Liberación ruminal en cabras del fósforo de ingredientes energéticos y proteínicos. Tesis de maestría. México, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Herrera, S.J.A. (2006). Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): Investigación, diagnóstico y manejo. *Ecotrópicos*, 19(2), 94-108.
- INRA. (2007). Alimentation des bovins, ovins et caprins. París, Francia. Quae editions.
- INRA. (2010). Alimentation des bovins, ovins et caprins. París, Francia. Quae editions.
- INRA; CIRAD y FAO. Obtenida el 20 de diciembre de 2013, de [www.feedipedia.org](http://www.feedipedia.org)
- Jacques, K.; Harmon, D.L.; Croom, Jr. W.J. y Hagler, Jr. W.M. (1989). Estimating salivary flow and ruminal water balance of intake, diet, feeding pattern, and slaframine. *Journal of Dairy Science*, 72(2), 443-452.
- Jongbloed, A.W. y Kemme, P.A. (1997). Disponibilidad del fósforo en ingredientes alimenticios para ganado porcino. Madrid, España. Department Nutrition of Pigs and Poultry. Institute for Animal Science and Health (ID-DLO).
- Jongbloed, A. W., Kemme, P. A., De Groote, G., Lippens, M., y Meschy, F. (2002). Bioavailability of major and trace minerals. Bruselas, Bélgica. EMFEMA (International Association of the European (EU) Manufacturers).
- Kay, R.N.B. (1960). The rate of flow and composition of various salivary secretions in sheep and calves. *The Journal of Physiology*, 150(3), 515-537.
- Kebreab, E.; Shah, M.A.; Beever, D.E.; Humphries, D.J.; Sutton, J.D.; France, J. y Mueller-Harvey, I. (2005). Effects of contrasting forage diets on phosphorus utilisation in lactating dairy cows. *Livestock Production Science*, 93(2), 125-135.
- Kincaid, R.L. y Cronrath, J.D. (1983). Amounts and distribution of minerals in Washington forages. *Journal of Dairy Science*, 66(4), 821-824.
- Knowlton K.F. y 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.
- Komisarczuk, S.; Durand, M.; Beaumatin, P. y Hannequart, G. (1987a). Effects of phosphorus deficiency on rumen microbial activity associated with the solid and the liquid phase of a fermentor (Rusitec). *Reproduction Nutrition Developpment*, 27(5), 909-919.
- Komisarczuk, S.; Merry, R.J. y McAllan, A.B. (1987b). Effect of different levels of phosphorus on rumen microbial fermentation and synthesis determined using a continuous culture technique. *Bristh Journal of Nutrition*, 57(2), 279-290.

- Libal, G.W.; Peo, Jr.; E.R.; Andrews, R.P. y Vipperman, Jr., P.E. (1969). Levels of calcium and phosphorus for growing-finishing swine. *Journal of Animal Science*. 28(3), 331-335.
- Lara, P.S.J. Engorda de corderos con dietas a base de granos, altas en energía. (2008). Obtenida el 25 mayo de 2011, de <http://www.asmexcriadoresdeovinos.org/sistema/pdf/alimentacion/engordadecorderos.pdf>
- Littledike, E.T. y Golf, J. (1987). Interactions of calcium, phosphorus, magnesium and vitamin D that influence their status in domestic meat animals. *Journal of Animal Science*, 65 (6), 1727-1743.
- Lizárraga, J.A.; Arredondo, G.M.; Rodríguez, L.C.; Morquecho, L.; Salgado, R.M.; Devéze, C.L. y Laborín, D.U. (2009). Propuestas de manejo para tres lagunas costeras prioritarias del noroeste de México. Obtenida el 15 agosto de 2011, de [http://www.inecc.gob.mx/descargas/ord\\_ecol/2009\\_lagunas\\_costeras\\_noroeste.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/ord_ecol/2009_lagunas_costeras_noroeste.pdf)
- Louvandini, H. y Vitti, D.M.S.S. (2007). Cinética de fósforo com modelos matemáticos em ovinos adultos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(10), 1467-1472.
- Lynch, J.J.; Brown, G.D.; May, P.F. y Donnelly J.N. (1972). The effect of withholding drinking water on wool growth and lamb production of grazing Merino sheep in a temperate climate. *Australian Journal of Agricultural Research*, 23(4), 659-668.
- Macedo, R. y Alvarado, A. (2005). Efecto de la época de monta sobre la productividad de ovejas Pelibuey bajo dos sistemas de alimentación en Colima, México. *Archivos de zootecnia*. 2005; 54(205), 51-62.
- Macfarlane, M.L.A.; Howard, W.V.B.; Maloiy, G.M.O. y Hopcraft, D. (1972). Tritiated water in field studies of ruminant metabolism in Africa. *Viena*, 83-94.
- Maekawa, M.; Beauchemin, K.A. y Christensen, D.A. (2002). Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85(5), 1165–1175.
- Martínez, D.B.; Ibáñez, G.M. y Rincón, L.F. (2002). Acido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52(3), 219-231.
- González, S. M.; Ortega, J. A.; Danés, A. A. G.; Félix, M. R.; Flores, C. L.; Coronel, H. M. y Lozano, M. H. R. (2010). Tecnologías para mejorar la producción ovina en México. *Revista Fuente*, 2(5), 41-51.
- McDougall, E.I. (1948). Studies on ruminant saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochemical Journal*, 43(1), 99-109.

- McDowell, L.R. (1992). Minerals in animal and human nutrition. San Diego, CA, Academic Press.
- McDowell, L.R. (2003). Minerals in animal and human nutrition. 2da ed. Netherlands Amsterdam, Elsevier Science.
- Mendez, A. y Dale, N. (1998). Rapid assay to estimate calcium and phosphorus in meat and bone meal. *Journal of Applied Poultry Research*, 7(7), 309-312.
- Mertens, D.R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1463–1481.
- Meschy F. (2003). Re-assessment of dietary allowances: absorbed phosphorus requirements in ruminants. En: P.C. Garnsworthy, J. Wiseman (Eds). *Recent advances in Animal Nutrition*. Nottingham, RU.
- Meschy, F. (2010). *Nutrition minérale des ruminants*. Versailles Cedex, Francia, Quae éditions.
- Meschy, F. y Guéguen, L. (1990). Evaluation of minimum phosphorus requirement for maintenance in lambs. *Reproduction, Nutrition, Development Supplement 2*, 189s-190s.
- Miles, P.H.; Wilkinson, N.S. y McDowell, L.R. (2001). *Analysis of minerals for animal nutrition research*. 3th ed University of Florida, Department of Animal Sciences.
- Minitab, version 16; Minitab, Inc., 2010.
- Minson, D.J. (1990). *Forage in ruminant nutrition*. New York, USA, Academic Press.
- Molina, C.L. (2005). Aplicación de una medida de salvaguarda, a las importaciones de cortes secundarios de carne congelada de ovino, como un impulso a la cadena productiva de comercialización ovina en México. Tesis. México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Moore, J.E. y Undersander, D.J. (2000). Relative forage quality: an alternative to relative feed value and quality index. *Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*.
- National Research Council. (1985). *Nutrients requirements of sheep*, 6th rev. Washington DC, USA, The National Academy Press.
- National Research Council. (1989). *Nutrient requirements of dairy cattle*. 6th rev. Washington DC, USA, The National Academy Press.
- National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th rev. Washington DC, USA, The National Academy Press.

- National Research Council. (2007). Nutrient Requirements of Small Ruminants. Washington DC, USA, The National Academy Press.
- Navarro Ríos, M.J. (2005). Caracterización socio-económica de los sistemas de producción de caprino en la Comunidad Autónoma de Murcia. Tesis doctoral. Orihuela, España, Escuela Politecnica Superior de Orihuela.
- Nocek, J.E. y Braun, D.G. (1985). Effect of feeding frequency on diurnal dry matter and water consumption, liquid dilution rate, and milk yield in first lactation. *Journal of Dairy Science* 68(9), 2238–2247
- Perry, S.C.; Cragle, R.G. y Miller, J.K. (1967). Effect of ration upon the intestinal distribution of Ca, Mg, Na, K and N in calves. *Journal of Nutrition*, 93(3), 283-290.
- Pizzani, P. (2005). Utilización del fósforo fitico en la alimentación de rumiantes. Primer Curso Internacional Sobre Avances en la Nutrición de los Rumiantes. Guarico, Venezuela, Universidad Rómulo Gallegos.
- Pizzani, P.; Godoy, S.; León, M.; Rueda, E.; Castañeda, M.V. y Arias, A. (2008). Efecto de concentraciones crecientes de fósforo fitico sobre la actividad de la enzima fitasa y fosfatasa alcalina en el epitelio intestinal de ovinos jóvenes. *Revista Científica*, 18(1), 59-64.
- Powell J.M., Wu Z. y Satter, L.D. (2001). Dairy diet effects on phosphorus cycles of cropland. *Journal of Soil and Water Conservation* 56 (1), 22-26.
- Ramírez-Ordoñez, S. (2007). Efecto del sistema de siembra y estado de madurez sobre producción y calidad nutricional de siete variedades de avena (*Avena sativa*). Tesis de maestría. Chihuahua, México, Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Ramírez-Pérez, A.H. (2007). Effet de la solubilité de la source du phosphore alimentaire sur l'activité fermentaire dans le rumen et sur son utilisation digestive et metabolique chez la chèvre laitière. Tesis doctoral. Paris, Francia, Institut des Sciences et Technologies.
- Ramírez-Pérez, A.H. y Meschy, F. (2005). Requerimiento de fósforo de los microorganismos ruminales: una revisión. *Interciencia*, 30(11), 664-670.
- Rebollar, G.P. y Mateos, G.G. (1999). El fósforo en nutrición animal: necesidades, valoración de materias primas y mejora de la disponibilidad. Obtenida el 23 de abril de 2012, de [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_agronomia/F%C3%B3sforo\\_en\\_Alimentaci%C3%B3n\\_Animal.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/F%C3%B3sforo_en_Alimentaci%C3%B3n_Animal.pdf)
- Russel, A.J.F.; Doney, J.M. y Gunn, R.G. (1969). Subjective assessment of body fat in live sheep. *The Journal of agricultural Science*, 72(3), 451-454.

- Satter, L.D. (2003). Phosphorus management in cattle production systems. En Garnsworthy PC, Wiseman J (Eds.). *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham, RU.
- Scharrer, E. (1985). Phosphate absorption at different intestinal sites in the developing lamb. *Experimental Physiology*, 70(4), 615-621.
- Schindler, D.W. (1974). Eutrophication and recovery in experimental lakes: implication for lake management. *Science*, 184(4139), 897-899.
- Scott D. y Buchan, W. (1988). The effects of feeding pelleted diets made from either coarsely or finely ground hay on phosphorus balance and on the partition of phosphorus excretion between urine and faeces in the sheep. *Experimental Physiology*, 73(3), 315-322.
- Scott, D. (1982). Control of phosphorus balance in ruminants. En: Georgievskii VI, Annenkov B.N. y Samokhin V.T. (Eds). *Mineral Nutrition of Animals*. London, UK, Butterworths.
- Scott, D. y Buchan, W. (1987). The effects of feeding either hay or grass diets on salivary phosphorus secretion, net intestinal phosphorus absorption and on the partition of phosphorus excretion between urine and faeces in the sheep. *Experimental Physiology*, 72(3), 331-338.
- Scott, D.; McLean, A.F. y Buchan, W. (1984). The effect of variation in phosphorus intake on net intestinal phosphorus absorption, salivary phosphorus secretion and pathway of excretion in sheep fed roughage diets. *Experimental Physiology*, 69(3), 439-452.
- Sklan, D. y Hurwitz, S. (1985). Movement and absorption of major minerals and water in ovine gastrointestinal tract. *Journal of Dairy Science*, 68(7), 1659-1666.
- Sotelo, A.; Mendoza, J. y Argote, R.M. (2002). Contenido de ácido fítico en algunos alimentos crudos y procesados: validación de un método colorimétrico. *Revista de la Sociedad Química de México*, 46(4), 301-306.
- Spiekers, H.; Brintrup, R.; Balmelli, M. y Pfeffer, E. (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(1), 37-43.
- Storry, J.E.; Grandison, A.S.; Millard, D.; Owen, A.J. y Ford, G.D. (1983). Chemical composition and coagulating properties of renneted milks from different breeds and species of ruminant. *Journal of Dairy Research*, 50(2), 215-229.
- Swenson MJ y Reece WO. (1999). *Fisiología de los animales domésticos de Dukes*. 5a ed. México, Ed. Uteha.

- Ternouth, J.H. (1989). Endogenous losses of phosphorus by sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 113(3), 291-197.
- Underwood, E.J. y Suttle, N.F. (1999). *The mineral nutrition of the livestock*. 3rd ed. New York, U.S.A., CABI Publishing.
- Valk, H.; Šebek, L.B.J. y Beynen, A.C. (2002). Influence of phosphorus intake on excretion and blood plasma and saliva concentrations of phosphorus in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85(10), 2642-2649.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B. y Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
- Vitti, D.M.S.S. y Kebreab, E. (2010). *Phosphorus and calcium utilization and requirements in farms animals*. London, UK., CAB International.
- Vitti, D.M.S.S.; Abdalla, A.L. y Filho, J.C. (1991). Avaliação da disponibilidade biológica do fósforo do fosfato bicálcico e de fosfatos de rocha para ovinos com uso do radiofósforo ( $^{32}\text{P}$ ) como traçador. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 26(8), 1113-1118.
- Vitti, D.M.S.S.; Kebreab, E.; Lopes, J.B.; Abdalla, A.L. y France, J. (2005). Effects of dietary supplementation on phosphorus metabolism in sheep. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 4(3), 349-355.
- Vollenweider R. (1970). *Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication*. OECD Report, September.
- Wilson, A.D. (1963). The effect of diet on the secretion of parotid saliva by sheep III: Observations of the secretion of saliva by grazing sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14 (6), 808-814.
- Witt, K.E. y Owens, F.N. (1983). Phosphorus: ruminal availability and effects on digestion. *Journal of Animal Science*, 56(4), 930-937.
- Woodford, S.T y Murphy, M.R. (1988). Effect of forage physical form on chewing activity, dry matter intake and rumen function of dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 71(3), 674-686.
- Wu, Z.; Satter, L.D. y Sojo, R. (2000). Milk production, reproductive performance, and faecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. *Journal of Dairy Science*, 83(5), 1028-1041.

- Wu, Z.; Tallam, S.K.; Ishler, V.A. y Archibald, D.D. (2003). Utilization of phosphorus in lactating cows fed varying amounts of phosphorus and forage. *Journal of Dairy Science*, 86(10), 3300-3308.
- Yano, F.; Yano, H. y Breves, G. (1991). Calcium and phosphorus metabolism in ruminants. En: Tsuda T, Sasaki Y y Kawashima R, eds. *Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants. Proceedings of the seventh international symposium on ruminant physiology*. San Diego, U.S.A., Academic Press, Inc.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Análisis de varianza (ANDEVA) para el peso vivo de ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

<b>Peso vivo</b>					
<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SCM Ajustado</b>	<b>CM Ajustado</b>	<b>F</b>	<b>Valor de P</b>
<b>Serie de cuadrado latino</b>	1	260.30	260.30	5.94	0.035
<b>Periodo</b>	2	7.31	3.66	0.08	0.921
<b>Animal</b>	2	409.51	204.76	4.67	0.037
<b>Partícula de forraje</b>	2	3.80	1.90	0.04	0.958
<b>Error</b>	10	438.18	43.82		
<b>TOTAL</b>	17	1,119.10			
<b>s = 6.62</b>		<b>CV = 16.57 %</b>			

**Anexo 2.** Análisis de varianza (ANDEVA) para el consumo de agua y la producción de orina diarios, de ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

**Consumo de agua**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	349	349	0.00	0.970
Periodo	2	66,033	33,017	0.14	0.869
Animal	2	1,206,657	603,328	2.60	0.123
Partícula de forraje <sup>1</sup>	2	385,733	192,866	0.83	0.463
Error	10	2,318,766	231,877		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>3,977,538</b>			

s = 481.54

CV = 25.53 %

**Producción de orina**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	344	344	0.02	0.905
Periodo	2	39,802	19,901	0.88	0.446
Animal	2	262,809	131,404	5.79	0.021
Partícula de forraje	2	9,307	4,653	0.21	0.818
Error	10	226,977	22,698		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>539,239</b>			

s = 150.68

CV = 32.90 %

**Anexo 3.** Análisis de varianza (ANDEVA) para el consumo de materia seca, producción de materia seca fecal y digestibilidad de la MS, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

**Materia seca ingerida**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	18,470	18,470	0.68	0.430
Periodo	2	33,592	16,796	0.62	0.560
Animal	2	2,194	1,097	0.04	0.961
Partícula de forraje	2	83,780	41,890	1.53	0.262
Error	10	272,914	27,291		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>410,950</b>			

s = 165.20

CV = 15.85 %

**Materia seca fecal**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	3,375	3,375	0.78	0.398
Periodo	2	6,103	3,051	0.70	0.518
Animal	2	1,326	663	0.15	0.860
Partícula de forraje	2	6,889	3,444	0.79	0.478
Error	10	43,343	4,334		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>61,036</b>			

s = 65.84

CV = 13.42 %

**Digestibilidad de la materia seca**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.00003	0.00003	0.05	0.823
Periodo	2	0.00833	0.00416	7.96	0.009
Animal	2	0.00112	0.00056	1.07	0.378
Partícula de forraje	2	0.00301	0.00151	2.88	0.103
Error	10	0.00523	0.00052		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>0.01772</b>			

s = 22.88

CV = 5.96 %

**Anexo 4.** Análisis de varianza (ANDEVA) para el consumo de materia orgánica, producción de materia orgánica fecal y digestibilidad de la MO, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

**Materia orgánica ingerida**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	16,252	16,252	0.68	0.429
Periodo	2	29,423	14,712	0.62	0.559
Animal	2	1,954	977	0.04	0.960
Partícula de forraje	2	77,356	38,678	1.62	0.246
Error	10	238,764	23,876		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>363,749</b>			

s = 154.520

CV = 15.93 %

**Materia orgánica fecal**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	2,379	2,379	0.67	0.432
Periodo	2	4,873	2,437	0.69	0.525
Animal	2	1,221	601	0.17	0.844
Partícula de forraje	2	5,602	2,801	0.79	0.480
Error	10	35,470	3,547		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>49,545</b>			

s = 59.56

CV = 13.43 %

**Digestibilidad de la materia orgánica**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.00009	0.00009	0.16	0.698
Periodo	2	0.00787	0.00393	7.19	0.012
Animal	2	0.00119	0.00059	1.09	0.373
Partícula de forraje	2	0.00318	0.00159	2.90	0.101
Error	10	0.00547	0.00055		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>0.0178</b>			

s = 23.3959

CV = 5.79 %

**Anexo 5.** Análisis de varianza (ANDEVA) para el consumo de proteína cruda ( $N \times 6.25$ ), excreción fecal de nitrógeno ( $N \times 6.25$ ) y digestibilidad de la proteína cruda, en ovejas Pelibuey  $\times$  East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

**Proteína cruda ingerida**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	188.7	188.7	1.02	0.337
Periodo	2	316.9	158.5	0.86	0.454
Animal	2	11.7	5.8	0.03	0.969
Partícula de forraje	2	467.6	233.8	1.26	0.324
Error	10	1,851.6	185.2		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>2,836.5</b>			

s = 13.61

CV = 15.70 %

**Proteína cruda fecal**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	27.43	27.43	1.01	0.339
Periodo	2	444.23	222.11	8.15	0.008
Animal	2	5.69	2.84	0.10	0.902
Partícula de forraje	2	30.08	15.04	0.55	0.592
Error	10	272.41	27.24		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>779.84</b>			

s = 5.22

CV = 19.04 %

**Digestibilidad de la proteína cruda**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.00006	0.00006	0.02	0.881
Periodo	2	0.02938	0.01469	5.85	0.021
Animal	2	0.00172	0.00086	0.34	0.718
Partícula de forraje	2	0.00185	0.00093	0.37	0.700
Error	10	0.02510	0.00251		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>0.05811</b>			

s = 50.10

CV = 10.34 %

**Anexo 6.** Análisis de varianza (ANDEVA) para el consumo de fibra detergente neutro (FDN), excreción fecal de FDN y digestibilidad de la FDN, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

**Fibra detergente neutro ingerida**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	8,729	8,729	0.79	0.395
Periodo	2	16,635	8,317	0.75	0.496
Animal	2	866	433	0.04	0.962
Partícula de forraje	2	32,553	16,277	1.47	0.275
Error	10	110,454	11,045		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>169,237</b>			

s = 105.0970

CV = 15.75 %

**Fibra detergente neutro fecal**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	1,387	1,387	0.93	0.359
Periodo	2	4,602	2,301	1.54	0.262
Animal	2	181	91	0.06	0.942
Partícula de forraje	2	1,696	848	0.57	0.585
Error	10	14,976	1,498		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>22,842</b>			

s = 38.70

CV = 14.41 %

**Digestibilidad de la fibra detergente neutro**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.00001	0.00001	0.01	0.906
Periodo	2	0.00945	0.00475	6.94	0.013
Animal	2	0.00049	0.00024	0.36	0.707
Partícula de forraje	2	0.00305	0.00152	2.24	0.157
Error	10	0.00681	0.00068		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>0.01981</b>			

s = 26.10

CV = 5.71 %

**Anexo 7.** Análisis de varianza (ANDEVA) para la energía ingerida, fecal y digestibilidad de la energía, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

<b>Energía ingerida</b>					
<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SCM Ajustado</b>	<b>CM Ajustado</b>	<b>F</b>	<b>Valor de P</b>
<b>Serie de cuadrado latino</b>	1	0.5546	0.5546	0.66	0.436
<b>Periodo</b>	2	1.0583	0.5269	0.63	0.555
<b>Animal</b>	2	0.0673	0.0337	0.04	0.961
<b>Partícula de forraje</b>	2	2.5147	1.2574	1.49	0.271
<b>Error</b>	10	8.4260	0.8426		
<b>TOTAL</b>	17	12.6209			

s = 0.92

CV = 15.91 %

<b>Energía fecal</b>					
<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SCM Ajustado</b>	<b>CM Ajustado</b>	<b>F</b>	<b>Valor de P</b>
<b>Serie de cuadrado latino</b>	1	0.0587	0.0587	0.48	0.503
<b>Periodo</b>	2	0.1702	0.0851	0.70	0.520
<b>Animal</b>	2	0.0541	0.0271	0.22	0.804
<b>Partícula de forraje</b>	2	0.2804	0.1402	1.15	0.354
<b>Error</b>	10	1.2164	0.1216		
<b>TOTAL</b>	17	1.7798			

s = 0.35

CV = 12.37 %

<b>Digestibilidad de la energía</b>					
<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SCM Ajustado</b>	<b>CM Ajustado</b>	<b>F</b>	<b>Valor de P</b>
<b>Serie de cuadrado latino</b>	1	0.0007	0.0007	0.67	0.432
<b>Periodo</b>	2	0.0158	0.0079	7.46	0.010
<b>Animal</b>	2	0.0014	0.0007	0.67	0.533
<b>Partícula de forraje</b>	2	0.0055	0.0028	2.60	0.123
<b>Error</b>	10	0.0106	0.0011		
<b>TOTAL</b>	17	0.0341			

s = 0.03

CV = 8.74 %

**Anexo 8.** Análisis de varianza (ANDEVA) para el fósforo ingerido, fecal y absorbido aparente, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

**Fósforo total ingerido**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.0909	0.0909	1.03	0.333
Periodo	2	0.1918	0.0959	1.09	0.373
Animal	2	0.0042	0.0021	0.02	0.977
Partícula de forraje	2	0.2326	0.1163	1.32	0.309
Error	10	0.8797	0.0880		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>1.3992</b>			

s = 0.30

CV = 15.7 %

**Fósforo total fecal**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.35365	0.35365	6.79	0.026
Periodo	2	0.51347	0.25674	4.93	0.032
Animal	2	0.13185	0.06593	1.27	0.324
Partícula de forraje	2	0.0255	0.01278	0.25	0.787
Error	10	0.52113	0.05211		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>1.5456</b>			

s = 0.23

CV = 17.31 %

**Fósforo total absorbido aparente**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.0860	0.0860	2.91	0.119
Periodo	2	0.2103	0.1051	3.55	0.068
Animal	2	0.1386	0.0693	2.34	0.146
Partícula de forraje	2	0.1889	0.0945	3.19	0.085
Error	10	0.2957	0.0296		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>0.9195</b>			

s = 0.17

CV = 270.45 %

**Anexo 8.** Análisis de varianza (ANDEVA) para la digestibilidad aparente del fósforo, el fósforo total urinario y retenido aparente, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

**Digestibilidad aparente del fósforo total**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.03131	0.03131	4.45	0.061
Periodo	2	0.05847	0.02924	4.16	0.049
Animal	2	0.04168	0.02084	2.96	0.098
Partícula de forraje	2	0.04614	0.02307	3.28	0.080
Error	10	0.07034	0.00703		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>0.24794</b>			

s = 83.87

CV = 287.85 %

**Fósforo total urinario**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.000011	0.000011	0.49	0.500
Periodo	2	0.000139	0.000070	2.98	0.097
Animal	2	0.000140	0.000070	3.02	0.094
Partícula de forraje	2	0.000003	0.000001	0.06	0.944
Error	10	0.000233	0.000023		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>0.000526</b>			

s = 0.005

CV = 39.18 %

**Fósforo total retenido**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.0880	0.0880	3.01	0.113
Periodo	2	0.2206	0.1103	3.78	0.060
Animal	2	0.1303	0.0651	2.23	0.158
Partícula de forraje	2	0.1903	0.0952	3.26	0.081
Error	10	0.2920	0.0292		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>0.9212</b>			

s = 0.17

CV = 155.77 %

**Anexo 9.** Análisis de varianza (ANDEVA) para el fósforo soluble ingerido, fecal y absorbido aparente, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

**Fósforo soluble ingerido**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.0139	0.0139	0.76	0.405
Periodo	2	0.0334	0.0167	0.91	0.433
Animal	2	0.0012	0.0006	0.03	0.967
Partícula de forraje	2	0.0322	0.0161	0.88	0.446
Error	10	0.1835	0.0183		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>0.2642</b>			

s = 0.13

CV = 15.72 %

**Fósforo soluble fecal**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.0107	0.0107	0.45	0.519
Periodo	2	0.4354	0.2177	9.12	0.006
Animal	2	0.0390	0.0195	0.82	0.469
Partícula de forraje	2	0.0442	0.0221	0.93	0.427
Error	10	0.2387	0.0239		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>0.7680</b>			

s = 0.15

CV = 28.08 %

**Fósforo soluble absorbido**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.0002	0.0002	0.01	0.924
Periodo	2	0.5906	0.2953	13.43	0.001
Animal	2	0.0277	0.0138	0.63	0.553
Partícula de forraje	2	0.0653	0.0327	1.49	0.272
Error	10	0.2198	0.0220		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>0.9036</b>			

s = 0.15

CV = 636.48 %

**Anexo 9.** Análisis de varianza (ANDEVA) para la digestibilidad aparente del fósforo soluble, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

**Digestibilidad aparente de fósforo soluble**

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SCM Ajustado</b>	<b>CM Ajustado</b>	<b>F</b>	<b>Valor de P</b>
<b>Serie de cuadrado latino</b>	1	0.00517	0.00517	0.120	0.732
<b>Periodo</b>	2	1.06961	0.53480	12.830	0.002
<b>Animal</b>	2	0.06205	0.03102	0.740	0.500
<b>Partícula de forraje</b>	2	0.09028	0.04514	1.080	0.375
<b>Error</b>	10	0.41686	0.04169		
<b>TOTAL</b>	17	1.64397			
s = 204.17		CV = 1,113.51 %			

**Anexo 10.** Análisis de varianza (ANDEVA) para la concentración plasmática de fósforo antes y dos horas después de ingerir alimento, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

**Fósforo plasmático (antes de la ingesta de alimento)**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
Serie de cuadrado latino	1	0.22	0.22	0.00	0.948
Periodo	2	976.57	488.28	9.93	0.004
Animal	2	390.38	195.19	3.97	0.054
Partícula de forraje	2	43.21	21.61	0.44	0.656
Error	10	491.74	49.17		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>1,902.12</b>			

s = 7.01

CV = 19.48 %

**Fósforo plasmático (después de la ingesta de alimento)**

Fuente de variación	GL	SCM Ajustado	CM Ajustado	F	Valor de P
P plasma (antes de la ingesta)	1	250.66	250.66	4.25	0.069
Serie de cuadrado latino	1	129.45	129.45	2.20	0.172
Periodo	2	22.28	11.14	0.19	0.831
Animal	2	0.17	0.08	0.00	0.999
Partícula de forraje	2	19.00	9.50	0.16	0.854
Error	9	530.51	58.95		
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>952.07</b>			

s = 7.68

CV = 17.44 %

**Anexo 11.** Análisis de varianza (ANDEVA) para la producción de saliva, su concentración de P y el P salival por minuto a los 0, 4, 6, 8 y 12 h después de la primera ingesta de alimento, en ovejas Pelibuey × East Friesian en mantenimiento, alimentadas con diferente tamaño de partícula de forraje (chica, 2.54 cm; mediana, 5.08 cm y grande, en greña)

<b>Producción de saliva</b>					
<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SCM</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Valor de P</b>
		<b>Ajustado</b>	<b>Ajustado</b>		
<b>Animal</b>	5	0.1320	0.0264	10.86	0.000
<b>Partícula de forraje (PF)</b>	2	0.0003	0.0001	0.05	0.951
<b>Hora (h)</b>	4	0.0054	0.0013	0.55	0.699
<b>PF × h</b>	8	0.0162	0.0020	0.83	0.576
<b>Periodo</b>	2	0.0970	0.0485	19.97	0.000
<b>Error</b>	158	0.3839	0.0024		
<b>TOTAL</b>	179	0.6347			

s = 0.049

CV = 64.57 %

<b>Concentración de fósforo salival</b>					
<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SCM</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Valor de P</b>
		<b>Ajustado</b>	<b>Ajustado</b>		
<b>Animal</b>	5	68,8148	137,630	1.20	0.310
<b>Partícula de forraje (PF)</b>	2	11,7980	58,990	0.52	0.598
<b>Hora (h)</b>	4	24,8442	62,111	0.54	0.704
<b>PF × h</b>	8	762,714	95,339	0.83	0.574
<b>Periodo</b>	2	127,671	63,836	0.56	0.573
<b>Error</b>	158	18,066,589	114,345		
<b>TOTAL</b>	179	20,011,544			

s = 338.15

CV = 57.53 %

<b>Fósforo salival por minuto</b>					
<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SCM</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>Valor de P</b>
		<b>Ajustado</b>	<b>Ajustado</b>		
<b>Animal</b>	5	49,377.0	9,875.4	11.73	0.000
<b>Partícula de forraje (PF)</b>	2	1,015.7	507.9	0.60	0.548
<b>Hora (h)</b>	4	4,732.4	1,183.1	1.41	0.235
<b>PF × h</b>	8	4,839.4	604.9	0.72	0.675
<b>Periodo</b>	2	23,763.1	11,881.6	14.2	0.000
<b>Error</b>	158	132,981.1	841.7		
<b>TOTAL</b>	179	216,708.8			

s = 29.01

CV = 30.48 %