



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE VETERINARIA



**RESPUESTA DE TERNERAS DE CRÍA SUPLEMENTADAS CON SALES  
MINERALES EN AMBIENTES (SUELO Y FORRAJE) CON CARENCIA SEVERA Y  
MARGINAL DE FÓSFORO**

Por

**TAFERNABERRY PANISSA, Juan José  
UDAQUIOLA PEREZ, Lucas**

TESIS DE GRADO presentada como uno  
de los requisitos para obtener el título de  
Doctor en Ciencias Veterinarias  
Orientación: Producción Animal

MODALIDAD: Ensayo experimental

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2021**

## PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por:



Presidente:

---

Segundo miembro:



Tercer miembro:



Cuarto miembro:



Quinto miembro:



Fecha: 14/12/2022

Autores:



## **AGRADECIMIENTOS**

Es oportuna la ocasión para expresar nuestro agradecimiento al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), así como a los productores Sr. Gustavo Riani y Sr. Agustín Alonso por permitirnos realizar el presente trabajo experimental en sus establecimientos, aportando todo el material e infraestructura necesaria para la ejecución del mismo.

Al personal de campo de cada establecimiento por su permanente colaboración. Fue de suma importancia conformar un equipo de trabajo del cual se obtuvo apoyo a lo largo de todo el período experimental.

También queremos agradecer al Zoot. MSc. Marlon Risso, por su gran colaboración con el muestreo y análisis de las muestras de forraje, al Ing. Agr. Juan Algorta de la empresa COBALFOSAL SA por su gran colaboración en la formulación de las sales.

Al personal de la biblioteca de INIA Tacuarembó por su colaboración constante en la búsqueda de bibliografía.

A nuestros tutores, MSc. MV. Carlos Omar Schild, MV. MSc. PhD. Fabiana Boabaid, Lic. MSc. Anderson Saravia, por su dedicación y compromiso en todas las etapas del trabajo, aportando conocimientos teóricos e intervención de análisis y escritura.

A nuestros familiares y amigos que de alguna u otra manera siempre estuvieron a nuestro lado apoyando y alentándonos para culminar esta instancia final de nuestra carrera.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE TABLAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	X
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA CARENCIA DE FÓSFORO..	3
2.2. RESPUESTA ANIMAL A LA SUPLEMENTACIÓN MINERAL EN URUGUAY.....	6
3. <u>HIPÓTESIS</u> .....	8
4. <u>OBJETIVOS</u> .....	8
4.1. GENERAL.....	8
4.2. ESPECÍFICOS.....	8
5. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	9
5.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	9
5.2. COMPOSICIÓN DE SUPLEMENTO MINERAL.....	9
5.3. OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS.....	10
5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	10
5.5. ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN.....	11
6. <u>RESULTADOS</u> .....	12
6.1. DATOS GENERALES.....	12

6.2. DATOS DE CADA UNO DE LOS AMBIENTES DE FÓSFORO..	13
6.2.1. <u>Ambiente con carencia severa de fósforo: Artigas</u> .....	13
6.2.1.1. Datos en función de los tratamientos de sal.....	13
6.2.1.2. Datos en función de la disponibilidad de forraje.....	13
6.2.1.3. Datos en función de la interacción entre los tratamientos de sal y la disponibilidad de forraje.....	14
6.3.1. <u>Ambiente con carencia marginal de fósforo: Rivera</u> .....	14
6.3.1.1. Datos en función de los tratamientos de sal.....	14
6.3.1.2. Datos en función de la disponibilidad de forraje.....	14
6.3.1.3. Datos en función de la interacción entre los tratamientos de sal y la disponibilidad de forraje.....	14
7. <u>DISCUSIÓN</u> .....	15
8. <u>CONCLUSIÓN</u> .....	17
9. <u>FUENTES DE FINANCIACIÓN</u> .....	17
10. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	30

## LISTA DE TABLAS

Tabla No.	Página
1. Resumen de los ensayos de suplementación minerales realizados en Uruguay.....	18
2. Resumen de datos correspondientes a las mediciones realizadas en el suelo y forraje de ambos ambientes .....	19
3. Medias $\pm$ error estándar, probabilidades y coeficiente de determinación del modelo factorial para las variables dependiente evaluadas.....	20
4a. Datos promedios de peso y ganancia diaria de peso (GDP) según las variables de clasificación “Tratamiento”, “Disponibilidad de forraje” y la “Interacción tratamiento x disponibilidad” correspondientes a las terneras del ambiente con carencia severa de P.....	21
4b. Datos promedios $P_i$ según las variables de clasificación “Tratamiento”, “Disponibilidad de forraje” y la “Interacción tratamiento x disponibilidad” correspondientes a las terneras del ambiente con carencia severa de P.....	22
5a. Datos promedios de peso y ganancia diaria de peso (GDP) según las variables de clasificación “Tratamiento”, “Disponibilidad de forraje” y la “Interacción tratamiento x disponibilidad” correspondientes a las terneras del ambiente con carencia marginal de P .....	22
5b. Datos promedios de $P_i$ según las variables de clasificación “Tratamiento”, “Disponibilidad de forraje” y la “Interacción tratamiento x disponibilidad” correspondientes a las terneras del ambiente con carencia marginal de P.....	24
6. Datos de disponibilidad de forraje, fracción de forraje verde, concentración de fósforo (P) y consumo de sal mineral en cada ambiente de P y para cada grupo de animales evaluados.....	25

## LISTA DE FIGURA

Figura No.	Página
1. Ejemplo del barril con los factores limitantes para la producción.....	6
2. Variación de concentración de fósforo inorgánico (Pi) en el suero sanguíneo de terneras, criadas en ambientes con carencia severa o marginal de P, según el tipo de sal .....	26

## RESUMEN

En Uruguay, la base nutricional para la cría de bovinos de carne son las pasturas nativas. En estas pasturas además de la disponibilidad, digestibilidad y concentración energética-proteica, la baja concentración de fósforo (P), sodio (Na) u otros minerales pueden ser limitantes para la producción ganadera. El objetivo de esta tesis fue evaluar las ganancias diarias de peso (GDP) y concentración de fósforo inorgánico (Pi) en suero sanguíneo de terneras de sobreaño suplementadas con sales minerales en dos establecimientos con distintas concentraciones de P en ambiente (forraje y suelo).

Los establecimientos fueron clasificados como: (i) ambiente con carencia severa de P (ACSP,  $\leq 1.5$  g P/kg de materia seca -MS- en el forraje y  $\leq 4$  mg P/kg en suelo de basalto, -Artigas-) y (ii) ambiente con carencia marginal de P (ACMP, 1.5–2 g P/kg MS en forraje y 5–8 mg P/kg en suelo cristalino, -Rivera-). Durante 110 días (18/noviembre/2018 al 4/marzo/2019) 6 grupos de 8 terneras fueron suplementadas *ad-libitum* con sales minerales en un diseño factorial de 3 tratamientos (1.-sal con P + cloruro de sodio -NaCl- + microminerales -MM-; 2.-sal con NaCl + MM y 3.-control sin sal) x 2 niveles de forraje (1.-baja disponibilidad <800 kg/MS y 2.- alta disponibilidad >1200 kg/MS). La sal fosfatada contenía 80g P/kg. El peso vivo y consumo de sal fueron registrados mensual y simultáneamente, además se colectaron muestras de suelo, forraje y sangre en cada grupo. La concentración de P fue evaluada en suelo, forraje y sangre. También en suelo se evaluó la concentración de Na y en forraje se evaluó la disponibilidad forrajera y la concentración de Na y proteína cruda (PC).

En ambos ambientes las concentraciones de P y Na en forraje y suelo estaban por debajo de los valores esperados. Adicionalmente en el ACSP la concentración de PC del forraje fue deficiente. Las terneras del ACSP consumieron ( $p = 0.07$ ) más sales (62.5g/día), sin embargo, tuvieron ( $p < 0.01$ ) menores GDP (173±16) en comparación con las terneras del ACMP que consumieron 49.0 g/día y ganaron 477±16 g/día. En ambos ambientes no se registraron diferencias en cuanto a las GDP según el tipo de sal mineral, sin embargo, si hubo diferencias ( $p < 0.01$ ) según la disponibilidad de forraje. Adicionalmente en ambos ambientes las terneras suplementadas con ambas sales minerales (SM) y con alta disponibilidad forrajera tuvieron significativamente mayores GDP (448±19 g/día) que las terneras sin sal en igual disponibilidad de forraje (309±28 g/día). Al inicio del experimento en el ACSP solo había 14.6% de terneras con concentraciones normales de Pi (>5.5mg/dL) mientras que en el ACMP había 95.9%. Las terneras suplementadas con sal fosfatada incrementaron ( $p = 0.01$ ) el Pi. En el ACSP al final del experimento solo las terneras suplementadas con fósforo alcanzaron valores esperados de Pi con una recuperación del 56.2% respecto del 1er día de suplementación, mientras que en el ACMP todos los grupos alcanzaron valores esperados.

En ambos ambientes la concentración de P y Na del forraje fueron las principales limitantes para la producción. Al cubrir los requerimientos dietéticos de ambos minerales (con las SM) las terneras incrementaron las GDP y Pi, evidenciando su rol como nutrientes limitantes. En verano en el ACSP, los aportes proteicos y la falta de forraje fueron la nueva limitante, explicando en parte la pobre performance observada en las terneras de dicho ambiente. En conclusión, la suplementación mineral *ad-libitum* con 80g P/kg, NaCl y MM y la alta disponibilidad forrajera, durante 4 meses, permitieron incrementar el Pi y GDP; sin embargo, para incrementar la

producción y desarrollo de las terneras las necesidades proteicas también deben ser consideradas.

## SUMMARY

In Uruguay, the nutritional base for raising beef cattle are native pastures. In these pastures, in addition to the availability, digestibility, and energy-protein concentration, the low concentration of phosphorus (P), sodium (Na), or other minerals can be limiting for livestock production. This thesis aimed to evaluate the daily weight gains (DWG) and concentration of inorganic phosphorus (Pi) in blood serum of 10-14 months-old heifers supplemented with loose mineral mix (LMM) in two beef cattle ranches with different concentrations of P in the environment (forage and soil). The ranches were classified as (i) environment with severe P deficiency (ACSP,  $\leq 1.5$  g P/kg of dry matter -MS- in forage and  $\leq 4$  mg P/kg in soil, -Artigas-) and (ii) environment with marginal P deficiency (ACMP, 1.5–2 g P/kg DM in forage and 5–8 mg P/kg in soil, -Rivera-). During 110 days (November 18, 2018, to March 4, 2019) 6 groups of 8 heifers were supplemented ad-libitum with LMM in a factorial design of 3 treatments (1.-salt with P + sodium chloride -NaCl- + microminerals -MM-; 2.-salt with NaCl + MM and 3.-control without salt) x 2 levels of forage (1.-low availability  $<800$  kg/DM and 2.- high availability  $> 1200$  kg/DM). The LMM with P contained 80g P/kg. Live weight and mineral mix consumption were recorded monthly, while soil, forage, and blood samples were simultaneously collected in each group. The P concentration in all was evaluated, additionally, the Na concentration was evaluated in the soil; and the availability, Na and concentration of crude protein (CP) were evaluated in the forage.

In both environments, the concentrations of P and Na in forage and soil were below the expected values. Additionally, in the ACSP, the PC concentration of the forage was deficient. The heifers of the ACSP consumed ( $p = 0.07$ ) more LMM (62.5 g/day), however, they had ( $p < 0.01$ ) lower DWG ( $173 \pm 16$ ) compared to the heifers of the ACMP which consumed 49.0 g/day and gained  $477 \pm 16$  g/day. In both environments there were no differences in according to the LMM composition, however there were differences ( $p < 0.01$ ) according to forage availability. Additionally, in both environments, heifers supplemented with both LMM and with high forage availability had significantly higher DWG ( $448 \pm 19$  g/day) than heifers without salt with the same forage availability ( $309 \pm 28$  g/day). At the beginning of the experiment in the ACSP there were only 14.6% of heifers with normal concentrations of Pi ( $> 5.5$  mg/dL) while in the ACMP there was 95.9%. Heifers supplemented with LMM with P increased Pi ( $p = 0.01$ ). In the ACSP at the end of the experiment, only the heifers supplemented with P reached the Pi expected values, and with a recovery of 56.2% compared to the 1st day of supplementation. In contrast, in the ACMP all groups reached expected values. In both environments, the concentration of P and Na of the forage was the main limitation for production. By covering the dietary requirements of both minerals (with LMM), the heifers increased DWG and Pi, evidencing their role as limiting nutrients. In summer in the ACSP, the forage availability and CP contents were the new limitation, partially explaining the poor performance observed in the heifers from ACSP. In conclusion, ad-libitum LMM supplementation with 80g P/kg, NaCl, and MM and high forage availability, for 4 months, allowed to increase Pi and GDP; however, to increase heifer's production and development the requirement of protein needs must also be considered.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay las pasturas nativas abarcan aproximadamente 11.7 millones de hectáreas representando el 81.7% de la superficie del País (DIEA, 2020). Entre los departamentos de Artigas, Cerro Largo, Paysandú, Rivera, Salto y Tacuarembó (Norte) hay aproximadamente 5.8 millones de hectáreas con dichas pasturas siendo ésta la principal base nutricional para 1.4 millones de bovinos de carne. A pesar de que tradicionalmente estos sistemas permitieron y permiten obtener un producto animal remunerable, en diversas circunstancias la actividad se ve limitada principalmente por las deficiencias de proteína y energía (Quintans, Barreto y Jimenez de Aréchaga, 2005); así como por la presencia de enfermedades infecciosas (Macías et al., 2016), enfermedades parasitarias (Giudici et al., 2013) y tóxicas (García y Santos, y Capelli, 2016). A medida que estas problemáticas son resueltas, la deficiencia de los minerales toma mayor importancia convirtiéndose en una limitante más para un desempeño productivo óptimo (Carriquiry y Frade, 2017; Underwood y Suttle, 1981; Uriarte 2000).

Los minerales son los responsables de importantes y diversas funciones biológicas, tales como la formación ósea, coagulación sanguínea, activación enzimática, metabolismo de carbohidratos, lípidos, proteínas y vitaminas, activación neuromuscular, inmunidad, y/o transcripción genética entre otras (Matiolli, 2018; Suttle, 2010). Según los requerimientos diarios de los animales, los minerales se clasifican en macro o microminerales. Los macrominerales como el calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na) y azufre (S), deben ser ingeridos diariamente en grandes cantidades; mientras que los microminerales como el cobalto (Co), cobre (Cu), yodo (I), hierro (Fe), manganeso (Mn), selenio (Se) y zinc (Zn), son necesarios en pequeñas cantidades diarias (Constable et al., 2017; Suttle 2010; Tokarnia et al., 2010). La falta o carencia de alguno de ellos puede generar implicancias en la salud y bien estar animal, así como también en la producción animal (Constable et al., 2017; Suttle, 2010; Tokarnia, 2010).

Las carencias de los minerales en los animales, pueden clasificarse según la disponibilidad, en *primaria*, cuando el mineral no está disponible en cantidades necesarias; o *secundaria*, cuando la absorción del mineral se ve afectada por la presencia de otro mineral (Constable et al., 2017; Fleming, 2015; Suttle, 2010). Adicionalmente según el periodo de evolución en que aparecen los signos clínicos, las carencias pueden clasificarse como *aguda* cuando los signos se presentan en 24-48 incluso hasta 72 horas (ejemplos: hipocalcemia puerperal y tetania hipomagnesémica), o *crónicas* cuando los signos se presentan durante semanas a meses (ejemplo: osteomalacia y carencia de Zn) (Constable et al., 2017; Tokarnia et al., 2010)

Hoy en día a pesar de la información disponible sobre los beneficios de la suplementación mineral (Dixon et al., 2011; Suttle, 2010), las enfermedades carenciales siguen reportándose con relativa frecuencia en la región (Doncel et al., 2019; 2020; Dutra, 2011; Rodriguez, et al., 2018; Schild et al., 2021). Una posible explicación es la falta de información, falta del uso de las sales minerales y/o errores en la suplementación tales como: la administración insuficiente; administración suficiente pero por un corto período; baja disponibilidad o concentración de los minerales ofrecidos; inadecuada localización, cobertura, altura, espacio y accesibilidad a los saleros y/o falta del conocimiento del estatus mineral en el ambiente (suelo, forraje, agua) y en los animales de la región (Dixon et al., 2011; Peixoto et al.,

2005, Schild 2021). Mundialmente, en la cría de bovinos sobre pasturas naturales las principales carencias de minerales son la de P y Na, seguidas de Co, I, Se, Cu, Zn y ocasionalmente Mg (Mufarregue, 1999; Suttle, 2010; Tokarnia et al., 2000).

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA CARENCIA DE FÓSFORO

La carencia de P es una enfermedad metabólica, generalmente primaria, aguda o crónica que cursa clínicamente con imposibilidad para levantarse, pica (habito de lamer o roer piedras, madera, tierra y/o hueso) (Dixon et al., 2018), claudicación/laminitis y/o fracturas debido a una baja concentración de P en sangre y huesos. Sin embargo, las mayores pérdidas son subclínicas debido al retraso en el crecimiento, bajas ganancias de peso y/o baja fertilidad de los rodeos. La enfermedad tiene una marcada distribución geográfica ya que generalmente ocurre en áreas con bajas concentración de P en el suelo (<4-5 mg/kg) y forraje (< 2 g kg/MS) (Constable et al., 2017; Dixon et al., 2020). Esta carencia fue reportada en todas las edades y principalmente en rumiantes (Barbosa et al., 2018; Cseh et al., 2008); aunque también puede ocurrir en equinos, suinos, caninos y humanos (Craig et al., 2016).

El P es de gran importancia en el organismo ya que es un componente del ADN, ARN y de los fosfolípidos que constituyen las membranas celulares. Interviene en la formación de complejos enzimáticos desempeñando funciones tales como la utilización y transferencia de energía mediante ADP (adenosin difosfato), ATP (adenosin trifosfato) y AMP (adenosin monofosfato), lo cual se refleja directamente sobre la glicolisis, gluconeogénesis, transporte de ácidos grasos, síntesis de aminoácidos y actividad de la bomba sodio y potasio entre otras (Greco & Stabenfeldt, 2004; Ternouth, 1990). También está involucrado en el mecanismo de control del apetito, la eficiencia de utilización de los alimentos, formación ósea y regulación del pH entre otras funciones (Mattioli, 2013; Suttle, 2010; Dixon et al., 2018). La absorción de P ocurre en el intestino en forma de fosfato, con un coeficiente que varía entre el 65 y 80% (Dixon et al., 2020), sin embargo, en animales con severa deficiencia la absorción podría alcanzar el 100% (Mattioli, 2013). Adicionalmente la absorción puede estar favorecida por el Na o ser perjudicada por altos niveles de Ca y/o Fe debido a la formación de fosfatos insolubles (Mufarregue, 1999; NAS, 2016). Las principales vías de eliminación son la saliva, leche, orina y heces (Dixon et al., 2020; Mattioli, 2013). En general el 95 - 98% del P que se elimina con la materia fecal está compuesto por P salival no reabsorbido y por P de la dieta no asimilado o P que no está disponible para ser reabsorbido (Mattioli, 2013). Respecto a las reservas, un 80% se encuentra en el esqueleto (como parte fundamental de los huesos y dientes) y el 20% restante se encuentra principalmente en tejidos blandos en combinación con proteínas, grasas y/o sales inorgánicas (Suttle, 2010). Otra posible fuente de reserva son los microorganismos del rumen (Mattioli, 2013). Para los bovinos las necesidades de P de mantenimiento son 16 mg/kg de peso vivo, siendo necesario adicionar 8 g por cada kg de peso vivo ganado y 0.9 g/kg de leche producido (Dixon et al., 2020; NAS, 2016).

En bovinos frecuentemente son reportados dos cuadros clínicos-patológicos: (i) carencia aguda de P o "*hipofosfatemia aguda*" y (ii) carencia crónica de P o "*mal de las paletas*".

La "*hipofosfatemia aguda*" o carencia aguda de P es un trastorno caracterizado desde el punto de vista bioquímico, por un descenso brusco de la concentración sanguínea de P (< 1.5 mg/dL) y desde el punto de vista clínico por una paresia (incapacidad para generar la marcha o soportar peso) de los miembros posteriores o anteriores con imposibilidad de recuperar la estación e incluso muerte (Mcfarlane y Fleming, 2016; Mattioli, 2013; Perna, 2009). Generalmente ocurre en animales de dos años en adelante tanto en razas de leche o de carne y en cualquier momento de su

ciclo reproductivo (Mattioli, 2013; Perna, 2009). No está muy clara la patogenia, pero Perna (2009) plantea que: debido a fallas en la movilización ósea del mineral y/o excesivas pérdidas (ejemplo, durante la lactación) sumado a la falta de aporte dietético de P (forraje o suplemento), se desencadena un rápido descenso de la fosfatemia que compromete funciones vitales como transferencia y uso de energía mediada por ATP, ADP; AMPc (adenosin monofosfato cíclico), fosfato de creatina y/o GTP (guanosin trifosfato). Consecuentemente ocurren fallas en el sistema músculo esquelético que se manifiestan con debilidad, caídas e incapacidad para levantarse. Puede haber hemoglobinuria, aunque no siempre es evidente (Call et al., 1987). No se evidencian lesiones con la salvedad de algunas hemorragias petequiales en serosas.

El “*mal de las paletas*” o carencia crónica de P es un trastorno caracterizado desde el punto de vista bioquímico por un descenso progresivo de la concentración de P en sangre (<3.0 mg/dL) y huesos (<120 mg/mL), así como también un descenso paulatino de la concentración de cenizas (<500 mg/mL) en hueso asociado a fallas en la mineralización del tejido osteoide (Dixon et al., 2020; McDowell, 1999; Suttle, 2010). Desde el punto de vista clínico los animales evidencian alteraciones en el comportamiento ingestivo como disminución en el consumo voluntario y pica. Adicionalmente los más afectados tienen desmejoramiento del manto piloso; retraso en el crecimiento; debilidad; dificultad para incorporarse; alteraciones en la marcha, laminitis y/o fracturas espontáneas (Constable et al., 2017; Jackson et al., 2012; Tokarnia et al., 2000). La muerte puede ocurrir debido a las fracturas o muchas veces debido a las consecuencias de la osteofagia (habito de lamer, roer o comer huesos) como la obstrucción esofágica o botulismo (Suttle, 2010; Riet-Correa et al., 2012; Tokarnia et al., 2000). El constante bajo aporte dietético de P y las altas demandas metabólicas del mineral principalmente durante el crecimiento, último tercio de gestación y lactación, desencadenan una reabsorción ósea para aliviar la deficiencia, con la consecuente deposición de tejido osteoide que no puede mineralizarse; proceso que se traduce en osteopenia y raquitismo (en animales jóvenes) u osteomalacia (en animales adultos).

El diagnóstico de la enfermedad es fundamental para su control y prevención. La evaluación conjunta de signos como pica y fracturas espontaneas, presencia de animales positivos a la prueba de la aguja (Tokarnia et al., 2010) y la determinación de la concentración de P en sangre, son excelentes herramientas para el diagnóstico de la enfermedad (Schild et al., 2021). Las lesiones histopatológicas, concentración de P en hueso, y biomarcadores plasmáticos como fosfatasa alcalina ósea, carbono terminal del teleopeptido del colágeno tipo I y relación Ca:P, son otras buenas herramientas, aunque menos usadas (Anderson et al., 2017). La observación de respuestas a un tratamiento específico y/o realización de experimentos o ensayos de prueba de una mezcla de sales minerales también pueden considerarse otras formas de diagnóstico (Tokarnia et al., 2000). De forma paralela se debe determinar la concentración de P en el forraje para estimar el tipo y concentración de sal a usar (Schild et al., 2021). Estas mediciones deben ir acompañadas de la determinación de otros minerales que pueden cursar con similares signos como la carencia de Na o Cu, y/o minerales que pueden afectar la absorción de P como el Ca y Fe (Tokarnia et al., 2000; Coates et al., 2016).

El tratamiento de la *hipofosfatemia aguda* consiste en la administración de una fuente de P (ejemplo: glicerofosfato, fosfatos di o tricálcicos, hipofosfitos) formulados específicamente para ser aplicados vía endovenosa, en una cantidad que cubra los requerimientos diarios inmediatamente (Mattioli, 2013; Perna, 2009). El tratamiento

debe instaurarse durante 3 días consecutivos y debe acompañarse con la suplementación oral de P granulada *ad-libitum* (contemplando que se cubran los requerimientos diarios) ni bien el animal se reintegre y durante al menos 10 a 20 días. Es indispensable proporcionarles confort y cambiarlos de posición varias veces al día para evitar el daño por compresión (Perna, 2009). Para el *mal de las paletas* el tratamiento consiste en administrar una fuente de P (ejemplo fosfatos mono, di o tricálcicos) vía oral *ad-libitum* granulada que cubra los requerimientos diarios y durante al menos 3-4 meses. Adicionalmente otras medidas de manejo deben realizarse conjuntamente, tal como el destete de los terneros, ya que de esta forma se logra bajar los requerimientos diarios de P de las vacas afectadas (Rubino, 1934).

Para prevenir la carencia de P la mejor herramienta es la suplementación oral con sales minerales fosfatadas administradas *ad-libitum* durante un periodo donde la concentración de P en las dietas sea la principal limitante (Constable et al., 2017; Dixon et al., 2020). El uso de sales minerales, sin el correcto asesoramiento técnico posiblemente no genere la respuesta esperada; el ejemplo más clásico es el uso de productos inyectables que contienen P, formulados para la *hipofosfatemia aguda*, que son usados para el tratamiento del *mal de las paletas* (Schild et al., 2021; Soto y Reinoso, 2012). También se debe considerar, en el uso de sales minerales, la presencia de elementos peligrosos como el Flúor (máximo aceptable hasta 30-50 mg/kg), Cu, Se y/o S (Jubb & Crough, 1988) que vienen incluidos en las formulaciones y pueden ser riesgosas sin el correcto asesoramiento técnico. Otras estrategias preventivas incluyen la fertilización fosfatada del campo natural y/o praderas con las cuales se logra el incremento no solamente la biomasa sino también la concentración de P de la dieta (Coates, 1994; Mufarregue, 1999). Sin embargo, su uso es limitado a ciertas áreas donde sea posible ingresar maquinarias, adicionalmente su uso indiscriminado y sin un correcto asesoramiento técnico también puede acarrear consecuencias ambientales como la eutrofización de las aguas con sobrecrecimientos de las algas e incorporación o aumento de metales pesados como Cadmio, Arsénico, Plomo y/o Mercurio en los suelos, aguas, plantas y animales (Suttle, 2010).

En Uruguay la deficiencia de P es conocida desde 1917, afectando desde entonces vacas y vaquillonas en lactación, más evidente en veranos secos (Rubino, 1928); sin embargo, también puede ocurrir en veranos lluviosos (Schild et al., 2021). En una amplia región del país la concentración de P en las pasturas naturales (rango: 0.5 a 4.5 g/kg de MS) y suelos (rango: 2.5 - 9 mg/kg) son consideradas deficientes (Ungerfeld, 1998; CIAAB, 1971) al compararlos con valores esperados (> 2.0 g/kg de MS en forraje y > 8 mg/kg en suelo respectivamente) (Dixon et al., 2020). Un muestreo reciente (comunicación personal Carlos Schild) reveló que las concentraciones de P en suelo y forraje de pastizales naturales fueron similares a los encontrados hace 50 años por lo que es posible que, aún en varias regiones del país, donde se cría ganado vacuno de forma extensiva, los requerimientos de P no sean debidamente cubiertos por el campo natural, siendo necesario recurrir al uso de suplementos dietéticos como son las sales minerales para cubrir los requerimientos diarios. En función del contenido de las pasturas uruguayas, Pittaluga, (2009) y Soto y Reinoso, (2012) recomiendan usar sales con 6-10% de P administrado vía oral en forma de mezcla suelta o en bloque durante los meses de septiembre a diciembre.

## 2.2. RESPUESTA ANIMAL A LA SUPLEMENTACIÓN MINERAL EN URUGUAY

Para implementar una correcta estrategia de suplementación mineral en rumiantes, debemos considerar que las necesidades o requerimientos se determinan en animales a los que se les están dando todas las posibilidades nutricionales para desarrollar plenamente su potencial genético de producción (Lemos et al., 2021). También es importante considerar que las necesidades no solo varían con la edad y etapa productiva del animal o estado fisiológico, sino también con su nivel de producción. Adicionalmente es necesario considerar cual es el factor limitante, el cual es ilustrado con el clásico ejemplo de un barril que tiene fugas de agua a diferentes alturas (McDowell, 1999).

El barril ejemplifica un animal cuyas necesidades limitantes de producción son energía en primer lugar, proteína en segundo lugar y P en tercer lugar. En este ejemplo si las necesidades energéticas y proteicas no son cubiertas o el aporte de forraje no cubre estos dos requerimientos; el aporte de P a través de una mezcla mineral solo evitará las pérdidas a través de la tabla de P, sin embargo, se seguirá perdiendo agua a través de las tablas de energía y proteína (**Figura 1**), por lo que no habrá respuesta a la suplementación con P (Riet-Correa, 2004). Cuando en la estrategia de suplementación mineral se consideran el o los aportes de los minerales deficientes de la pastura, concepto conocido como “*suplementación mineral selectiva*” según Tokarnia et al., (2001) y Peixoto et al., (2005), habrá sustancialmente en una disminución de los costos de producción sin afectar la productividad y la salud de los animales (Malafaia et al., 2004). Sin embargo, en determinadas circunstancias resulta difícil de aplicar debido a la complejidad de formular una sal para cada establecimiento. La respuesta animal a la suplementación con sales minerales es multifactorial, por este motivo la elección de la sal a usar no puede ser solo en base al precio, siendo lo correcto considerar todos estos factores.

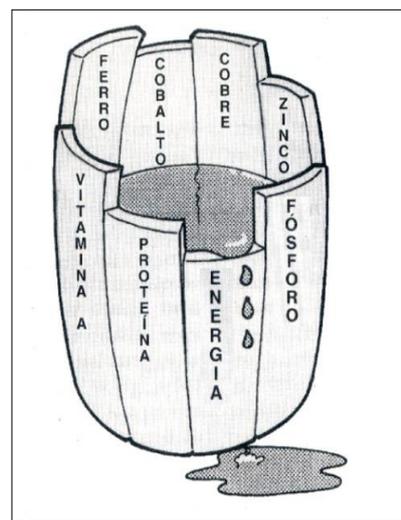


Figura 1. Ejemplo del barril con los factores limitantes para la producción. (McDowell, 1999)

En el País según el censo agropecuario de 2000 solo el ~27% de los productores usaba sales minerales (MGAP, 2003) y adicionalmente según información de las ventas de sales del mercado, para el mismo periodo se vendieron ~6000 toneladas al año en todo el País (Uriarte, 2000). Si estimamos que ese ~27% de productores tenían alguna deficiencia mineral, las ventas antes mencionadas solo hubiesen cubierto el ~30% de los requerimientos diarios de las vacas de esos productores, evidenciando una falta de uso de esta tecnología (Schild et al., 2021).

En Uruguay la respuesta de los animales a la suplementación con sales minerales fue muy diversa, por ejemplo: Arroyo y Mauer, (1982) y Gómez Haedo y Amorín, (1982) observaron mejores ganancias diarias de peso (GDP); Arroyo y Mauer, (1982) y Uriarte, (2000) y Pittaluga, (2009) observaron mejores índices de preñez en vaquillonas de primera cría y Uriarte, (2000) y Quintans, (2005) observaron mayor peso de terneros al destete en bovinos suplementados con sales vs. controles (**Tabla 1**). Respuestas similares fueron observadas en otros estudios realizados regionalmente en Argentina (Mufarrege, 1999) y Brasil (Malafaia et al., 2004). En cambio, en la unidad experimental “Palo a Pique” del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) de Treinta y Tres y en la unidad experimental

“Glencoe” de INIA Tacuarembó, no se observaron diferencias entre animales suplementados y los controles (**Tabla 1**) (Pittaluga, 2009).

Ninguno de los trabajos mencionados anteriormente evaluó en terneras de sobreaño la respuesta animal a la suplementación con sales minerales teniendo en cuenta la concertación de P en suelo y forraje en distintos ambientes. El objetivo del trabajo fue evaluar la GDP y concentración de fósforo inorgánico (Pi) en suero sanguíneo de animales en crecimiento, suplementados con sales minerales en dos establecimientos, con distintas concentraciones de P en el ambiente (suelo y forraje), clasificados como con carencia severa y con carencia marginal de P. Este trabajo forma parte de la Tesis de doctorado (PhD) de MSc. MV. Carlos Schild. Un resumen expandido de esta tesis fue aceptado en el 7º Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal (AUPA) que se desarrollará 14 y 15 de diciembre de 2021.

### 3. HIPÓTESIS

Las GDP y la concentración de Pi serán mayores en terneras suplementadas con P y con adecuada disponibilidad de forraje. A su vez las GDP serán mayores en un ambiente (suelo y forraje) donde haya una carencia severa de P (ACSP) vs un ambiente con carencia marginal de P (ACMP).

### 4. OBJETIVOS

#### 4.1. GENERAL

Evaluar las respuestas a la suplementación mineral en terneras de sobre año criadas en pasturas naturales deficiente en P.

#### 4.2. ESPECÍFICOS

Evaluar las GDP y Pi en 6 grupos de terneras de 10-14 meses de edad, que: fueron suplementadas con sales minerales durante 3 meses en un esquema de tres tratamientos de suplementación mineral (1.- sal con P + cloruro -NaCl- + microminerales -MM-; 2.- NaCl + MM y 3.- control sin sal mineral) x dos niveles de forraje (1.- baja disponibilidad forrajera  $\leq 800$  kg/MS y 2.- alta disponibilidad forrajera  $\geq 1200$  kg/MS).

Comparar la respuestas de las terneras antes mencionadas en función del ambiente donde fue realizado el experimento, (i) ambiente con carencia severa de P (-ACSP-, suelo  $\leq 4$  mg/kg y forraje  $< 1.5$  g/kg MS - Artigas) y (ii) ambiente con carencia marginal de P (-ACMP-, suelo: 5 – 8 mg/kg y forraje: 1.5 – 2 g/kg MS - Rivera).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos se realizó un ensayo experimental con 120 terneras de 10-14 meses, 60 terneras en cada ambiente, o establecimiento, que fueron suplementadas con distintos tratamientos de sales minerales durante 110 días y sobre dos niveles de disponibilidad de forraje.

### 5.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue un modelo aleatorizado con un tratamiento factorial de 3x2 en dos ambientes con distintas concentraciones de P en suelo y forraje (ACSP y ACMP). En cada ambiente se construyeron 6 potreros de 5 hectáreas cada uno, con acceso a sombra (árboles) y agua (arroyos). En cada potrero fueron colocadas entre 8 y 14 terneras (permitiendo mantener los dos niveles de forraje) que fueron expuestas durante 110 días (18 de noviembre de 2018 a 4 de marzo de 2019) a una combinación de un tratamiento (1-sal con P+NaCl+microminerales -MM-, 2-sal con NaCl+MM o 3-control sin sal) y un nivel de forraje (1-baja disponibilidad: <800 kg MS/ha y 2-alta disponibilidad: >1200). La unidad experimental fueron las terneras.

Cada grupo de terneras con su respectivo tratamiento (mezcla de sales + disponibilidad de forraje), fue rotado cada 3-4 semanas (respetando el mismo nivel de disponibilidad de forraje) con el fin de evitar un efecto del potrero. En estas instancias fueron realizadas las mediciones (disponibilidad de forraje, proporción de forraje verde y seco, consumo de sal mineral y peso) y también se colectaron muestras (forraje y sangre. También, previamente, desde 3 meses antes de iniciar el experimento se colectaron mensualmente muestras de sangre de las mismas terneras. Una muestra de suelo fue colectada al inicio de experimento.

Ambos predios fueron seleccionados a partir de un muestreo realizado en 32 establecimientos (datos aún no publicados Carlos Schild) realizado un año antes de este experimento. Es así que el ACSP que estaba ubicado en Artigas (georreferencia: -30.7051174; -56.4858369) tenía una concentración de P en suelo de 0.8 mg/kg y en forraje de 0.9 g/kg de MS. Mientras que el ACMP que estaba ubicado en Rivera (georreferencia: -31.7343466; -55.2308752) tenía una concentración de P en el suelo de 7.7 mg/kg y en el forraje de 1.8 g/kg de MS.

### 5.2. COMPOSICIÓN DE SUPLEMENTO MINERAL

La presentación comercial de ambas sales fue granulada o polvo y los ingredientes de las respectivas sales usadas se detallan a continuación:

**Sal fosfatada (P+NaCl+MM).** Los ingredientes g/kg/MS fueron: fosfato bicálcico 445; cloruro de sodio 482; carbonato de calcio 65; óxido de magnesio 5; sulfato de cobre 0.8; óxido de zinc 0.5; sulfato de cobalto 0.15; sulfato de magnesio 1.1; yodato de potasio 0.08; selenito de sodio 0.009; y esencia de manzana 0.25. La composición por elemento fue: calcio 150g kg/MS (15%); fósforo 80g kg/MS (8%); cloruro de sodio 482g kg/MS (48.2%); magnesio 2.8g kg/MS (0.28%); potasio 0.02g kg/MS (0.002%); cobre 0.2g kg/MS (0.02%); zinc 0.4g kg/MS (0.04%); manganeso 3.5g kg/MS (0.35%); cobalto 0.03g kg/MS (0.003%); selenio 0.004g kg/MS (0.0004%); yodo 0.05g kg/MS (0.005%); azufre 0.33g kg/MS (0.033%); y flúor 0.004g kg/MS (0.0004%).

**Sal sin fósforo (NaCl+MM).** Los ingredientes g/kg/MS fueron: cloruro de sodio 927; carbonato de calcio 65; óxido de magnesio 5; sulfato de cobre 0.8; óxido de zinc

0.5; sulfato de cobalto 0.15; sulfato de magnesio 1.1; yodato de potasio 0.08; selenito de sodio 0.009; y esencia de manzana 0.25. La composición por elemento fue: calcio 25g kg/MS (2.5%); cloruro de sodio 927g kg/MS (92.7%); magnesio 2.8g kg/MS (0.28%); potasio 0.02g kg/MS (0.002%); cobre 0.2g kg/MS (0.02%); zinc 0.4g kg/MS (0.04%); manganeso 3.5g kg/MS (0.35%); cobalto 0.03g kg/MS (0.003%); selenio 0.004g kg/MS (0.0004%); yodo 0.05g kg/MS (0.005%); sulfuro 0.33g kg/MS (0.033%); y flúor 0.004g kg/MS (0.0004%).

### 5.3. OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

**Peso y Consumo de sal.** Para obtener el peso de los animales se utilizó una balanza digital portátil para vacunos con una precisión de 0.5 kg, todos los animales previos a ser pesados tuvieron un ayuno de 4-6 horas. El consumo de sal fue obtenido de la diferencia entre la cantidad ofrecida y el remanente en cada intervalo, pesado con una precisión de 0.010 kg.

**Sangre.** Para la obtención de sangre los animales fueron sujetados mediante un cepo y bozal. La extracción se realizó con agujas 18 G y jeringas de 20 ml de cono excéntrico. Todas las muestras fueron extraídas de la vena yugular. Para la colecta se utilizó 1 tubo seco de 5ml Vacutainer® con acelerador de la coagulación. Para evitar la hemolisis generada por el vacío del sistema Vacutainer® todos los tubos fueron abiertos previa colecta. Entre 8-12 horas post extracción, las muestras fueron centrifugadas a 3500 rpm, a 4°C, durante 10 minutos. En las muestras se determinó la concentración de fósforo inorgánico (Pi) y calcio total (Ca) en suero sanguíneo, por método de la reacción colorimétrica del fosfomolibdato y o-cresolphthalein complejone respectivamente usando un espectrofotómetro automático (Dimension Rlx Mx Siemens Diagnostic®).

**Suelo y Forraje.** En cada uno de los potreros (12 en total) fueron obtenidas aleatoriamente ~30 muestras (conformando un pool de ~500 gramos) de suelo extraídas a 15 cm de profundidad (Cuadro, 2019). La disponibilidad de forraje de cada potrero fue evaluada por el método de doble muestreo (Carrillo, 2003). Una muestra del forraje fue obtenida por el método “*hand plucking*” (corte con la mano de pequeñas submuestras de forraje obtenidas de 30-40 puntos de áreas pastoreadas confeccionado así un pool de 500 gramos) (De Vries, 1995). Cada muestra de forraje fue separada en fracción de forraje verde y seco, pesadas y secadas en estufa a 60°C hasta peso constante. Luego ambas fracciones fueron molidas a ~1mm de diámetro. En las muestras de suelo como en las de forraje verde y seco se determinó la concentración de P por método de molibdenato de amonio (McKean, 1993) y sodio (Na) (Jackson, 1964). Adicionalmente en un pool de muestras de cada ambiente, en el forraje verde, se determinó el porcentaje de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente acida (FDA) según (Cabrera et al., 2019)

### 5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los datos fueron colectados en planillas usando hojas de cálculos de Microsoft Excel®. Se realizó un análisis descriptivo para obtener las medidas de resumen y dispersión. Para evaluar las diferencias entre las medias de las variables evaluadas (GDP y Pi) en función de los factores (suplementación mineral y disponibilidad forraje) y sus interacciones (sup. min x dispon) se realizaron test de T pareado y análisis de la varianza (ANOVA) factorial. Para determinación del grado de relación y sentido de

esta, se realizaron análisis de regresión lineal. Los análisis fueron realizados con software informático STATA® v. 14.0 (Stata Corp. Texas).

## 5.5. ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN

Previo al inicio de los ensayos se construyeron y acondicionaron 6 potreros de ~5 hectáreas en cada establecimiento. Con el fin de lograr los dos niveles de disponibilidad de forraje, 20 días antes del inicio del ensayo se colocaron animales (vacas) en tres de los seis potreros en cada establecimiento. Esto permitió reducir a la mitad la altura de forraje, generando dos niveles de disponibilidad. También previamente las terneras recibieron desparasitaciones para prevenir gastroenteritis verminosa, bronquitis verminosa, fasciolosis e infestación con garrapatas. Las terneras utilizadas en cada establecimiento nacieron entre septiembre-noviembre de año 2017 y la condición para poder ser incluidas en el ensayo fue que durante 6 meses previos al ensayo las terneras no recibieran ningún tipo de suplementación con sales minerales. Las sales minerales fueron formuladas de forma exclusiva para el ensayo por la empresa Cobalfosal® S.A.

En noviembre de 2018 se inició el ensayo con 60 terneras de 10 a 14 meses de edad en cada establecimiento. Las terneras no fueron previamente adaptadas a la suplementación mineral, ya que de esta forma se podría evaluar inmediatamente las respuestas en sangre. Semanalmente se les ofreció *ad-libitum* el tratamiento de sal correspondiente. Cada 3-4 semanas, momento en que los animales rotaban de potrero junto a sus respectivos tratamientos se realizaban las mediciones y colectas antes mencionadas.

## 6. RESULTADOS

Los datos son presentados en dos secciones, 1) datos generales de todo el experimento y 2) datos de cada uno de los ambientes de P.

### 6.1. DATOS GENERALES

En el ACSP (Artigas) la concentración de P en suelo fue de 3.8 mg/kg y en el forraje fue de 1.1 g/kg MS. En promedio las parcelas tuvieron una disponibilidad de forraje de  $\sim 900 \pm 300$  kg MS/ha con  $\sim 600 \pm 50$  g/kg de forraje verde. Las terneras pesaron en promedio  $150 \pm 17$  kg y tuvieron una GDP de  $173 \pm 88$  g/día con un consumo de  $\sim 60$  g de sal/animal/día. Los requerimientos de P fueron de 3-5 g/día mientras que los aportes del forraje fueron de 2-3 g/día, entre 50-65% de los requerimientos diarios. La sal fosfatada aportó 5-6 g extras de P/día, logrando incrementar el porcentaje de requerimientos cubiertos al 100%. En el ACMP (Rivera) la concentración de P en el suelo fue 7.6 mg/kg y en el forraje de 1.6 g/kg MS. En general las parcelas tuvieron una disponibilidad de forraje de  $\sim 1350 \pm 700$  kg MS/ha con  $650 \pm 30$  g/kg de forraje verde. Las terneras pesaron en promedio  $240 \pm 25$  kg y tuvieron una GDP de  $450 \pm 30$  g/día con un consumo de  $\sim 50$  g de sal/animal/día. Los requerimientos de P fueron de 7-9 g/día y los aportes de P del forraje fueron 7-11 g/día, el 80-100% de los requerimientos diarios. La sal fosfatada aportó 4-5 g/día extra de P. Un resumen de los datos de P y Na en suelo, así como P, Na, PC, FDN y FDA del forraje para cada ambiente se describe en la **Tabla 2**.

Las terneras del ACSP consumieron ( $p = 0.07$ ) más sales (62.5 g/día) que las terneras del ACMP (49.0 g/día), adicionalmente las terneras con alta disponibilidad forrajera consumieron ( $p < 0.01$ ) más sales (66.3 g/día) que las terneras con baja disponibilidad (45.1 g/día). La sal fosfatada fue más consumida que la sal común (60.2 vs 51.3 g/día respectivamente), sin embargo esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Durante los 110 días de suplementación mineral las GDP de las terneras criadas en el ACSP fueron ( $p < 0.01$ ) menores ( $173 \pm 16$  g/día; media  $\pm$  error estándar) respecto a las terneras del ACMP ( $477 \pm 16$  g/día). Las terneras suplementadas con ambas sales minerales (SM) ganaron ( $p < 0.01$ ) más peso ( $348 \pm 14$  g/d) que las terneras sin sal ( $279 \pm 19$  g/día). A pesar de que no hubo diferencias estadísticamente significativas en la GDP entre ambos tipos de SM ingeridas, las terneras suplementadas con P tuvieron 9.1% más ganancias que las terneras suplementadas con NaCl. Las terneras con alta disponibilidad forrajera tuvieron ( $p < 0.01$ ) mayores GDP ( $401 \pm 17$  g/día) que las terneras con baja disponibilidad ( $249 \pm 16$  g/día). Observamos un efecto aditivo en la interacción (SM x disponibilidad), donde las terneras suplementadas con ambos tipos de SM y con alta disponibilidad forrajera ganaron ( $p = 0.01$ ) más peso ( $448 \pm 19$  g/día) que las terneras controles sin sal y en similar disponibilidad ( $309 \pm 28$  g/día) y que las terneras con ( $249 \pm 19$  g/día) o sin ( $249 \pm 27$  g/día) SM con baja disponibilidad (**Tabla 3**).

Las ganancias diarias de peso estuvieron asociadas ( $r^2 = 0.32$ ;  $p < 0.01$ ) con el consumo de sal ( $p < 0.01$ ) y proporción de forraje verde en la pastura ( $p < 0.01$ ).

Respecto a los datos de minerales en sangre las concentraciones de Pi y Ca en suero sanguíneo de las terneras, al inicio de experimento -día 1- en el ACSP, promediaron (media  $\pm$  error estándar):  $4.7 \pm 0.2$  y  $9.3 \pm 0.1$  mg/dL respectivamente. En el ACMP, al inicio del experimento las concentraciones de Pi y Ca promediaron  $6.7 \pm 0.2$  y  $9.4 \pm 0.1$  mg/dL respectivamente. Adicionalmente al inicio del experimento en

el ACSP solo había 14.6% de terneras con concentraciones normales de Pi (> 5.5 mg/dL) mientras que en el ACMP había 95.9%. Las terneras suplementadas con sal fosfatada incrementaron ( $p = 0.01$ ) el Pi (**Tabla 3**), siendo más evidente en el ACSP ( $p < 0.01$ ) (**Figura 2**). En este ambiente al final del experimento solo las terneras suplementadas con fósforo alcanzaron valores esperados de Pi con una recuperación del 56.2% respecto del 1er día de suplementación, mientras que en el ACMP todos los grupos alcanzaron valores esperados. En ambos sitios no hubo alteraciones de las concentraciones de Ca en el suero sanguíneo al final del experimento.

La fosfatemia estuvo asociada ( $r^2 = 0.32$ ) con la concentración de P en forraje verde ( $p < 0.01$ ), disponibilidad de forraje ( $p < 0.01$ ) y consumo de sal ( $p = 0.09$ ).

## 6.2. DATOS DE CADA UNO DE LOS AMBIENTES DE FÓSFORO

### 6.2.1. Ambiente con carencia severa de fósforo: Artigas

Los datos generales fueron descritos en la sección anterior 6.1.

#### 6.2.1.1. Datos en función de los tratamientos de sal

- A. En los grupos **suplementados con P+NaCl+MM**, las terneras tuvieron una disponibilidad de forraje de  $925 \pm 75$  kg MS/ha con  $578 \pm 62$  g/kg de forraje verde y una concentración de P en forraje verde y seco de  $1.4 \pm 0.1$  y  $0.7 \pm 0.1$  g/kg MS respectivamente. Los pesos, GDP y Pi están detallados en la **Tabla 4a** y **4b**, respectivamente. La calcemia de las terneras fue de  $9.2 \pm 0.1$  mg/dL.
- B. En los grupos **suplementados con NaCl+MM**, las terneras tuvieron una disponibilidad de forraje de  $897 \pm 19$  kg MS/ha con  $608 \pm 29$  g/kg de forraje verde y una concentración de P en forraje verde y seco de  $1.3 \pm 0.1$  y  $0.8 \pm 0.1$  g/kg MS, respectivamente. Los pesos, GDP y Pi están detallados en la **Tabla 4a** y **4b**, respectivamente. La calcemia de las terneras fue de  $9.3 \pm 0.1$  mg/dL.
- C. En los grupos **controles (sin sal)**, las terneras tuvieron una disponibilidad de forraje de  $885 \pm 30$  kg MS/ha con  $604 \pm 47$  g/kg de forraje verde y una concentración de P en forraje verde y seco de  $1.3 \pm 0.1$  y  $0.7 \pm 0.1$  g/kg MS, respectivamente. Los pesos, GDP y Pi están detallados en la **Tabla 4a** y **4b**, respectivamente. La calcemia de las terneras fue de  $9.4 \pm 0.1$  mg/dL.

#### 6.2.1.2. Datos en función de la disponibilidad de forraje

- A. En los grupos de **baja disponibilidad de forraje ( $\leq 800$  kg MS/ha)**, las terneras tuvieron una disponibilidad de forraje de  $729 \pm 23$  kg MS/ha con  $589 \pm 47$  g/kg de forraje verde y una concentración de P en forraje verde y seco de  $1.4 \pm 0.2$  y  $0.7 \pm 0.1$  g/kg MS, respectivamente. Los pesos, GDP y Pi están detallados en la **Tabla 4a** y **4b**, respectivamente. La calcemia de las terneras fue de  $9.0 \pm 0.1$  mg/dL.
- B. En los grupos de **alta disponibilidad de forraje ( $\geq 1200$  kg MS/ha)**, las terneras tuvieron una disponibilidad de forraje de  $1075 \pm 40$  kg MS/ha con  $606 \pm 45$  g/kg de forraje verde y una concentración de P en forraje verde y seco de  $1.3 \pm 0.1$  y  $0.8 \pm 0.1$  g/kg MS, respectivamente. Los pesos, GDP y Pi están detallados en la **Tabla 4a** y **4b**, respectivamente. La calcemia de las terneras fue de  $9.5 \pm 0.1$  mg/dL.

### 6.2.1.3. Datos en función de la interacción entre los tratamientos de sal y la disponibilidad de forraje

Los datos de forraje se evidencian en la **Tabla 6** y los datos de las GDP y de la concentración de Pi se evidencian en las **Tablas 4a y 4b**, respectivamente.

### 6.3.1. Ambiente con carencia marginal de fósforo: Rivera

Los datos generales fueron descritos en la correspondiente sección 6.1.

#### 6.3.1.1. Datos en función de los tratamientos de sal

- A. En los grupos **suplementados con P+NaCl+MM**, las terneras tuvieron una disponibilidad de forraje de  $1334\pm 58$  g/kg MS con  $651\pm 38$  g/kg de forraje verde y una concentración de P en forraje verde y seco de  $1.8\pm 0.1$  y  $1.1\pm 0.1$  g/kg MS, respectivamente. Los pesos, GDP y la fosfatemia están detallados en la **Tabla 7a y 7b**, respectivamente. La calcemia de las terneras fue de  $9.2\pm 0.1$  mg/dL.
- B. En los grupos **suplementados con NaCl+MM**, las terneras tuvieron una disponibilidad de forraje de  $1420\pm 49$  g/kg MS con  $656\pm 38$  g/kg de forraje verde y una concentración de P en forraje verde y seco de  $1.9\pm 0.1$  y  $1.3\pm 0.1$  g/kg MS, respectivamente. Los pesos, GDP y la fosfatemia están detallados en la **Tabla 5a y 5b**, respectivamente. La calcemia de las terneras fue de  $9.2\pm 0.1$  mg/dL.
- C. En los grupos **controles (sin sal)**, las terneras tuvieron una disponibilidad de forraje de  $1323\pm 50$  g/kg MS con  $663\pm 26$  g/kg de forraje verde y una concentración de P en forraje verde y seco de  $1.8\pm 0.1$  y  $1.0\pm 0.1$  g/kg MS, respectivamente. Los pesos, GDP y la fosfatemia están detallados en la **Tabla 5a y 5b**, respectivamente. La calcemia de las terneras fue de  $9.2\pm 0.1$  mg/dL.

#### 6.3.1.2. Datos en función de la disponibilidad de forraje

- A. En los grupos de **baja disponibilidad de forraje ( $\leq 800$  kg MS/ha)**, las terneras tuvieron una disponibilidad de forraje de  $796\pm 24$  kg MS/ha con  $650\pm 35$  g/kg de forraje verde y una concentración de P en forraje verde y seco de  $1.9\pm 0.2$  y  $1.1\pm 0.3$  g/kg MS, respectivamente. Los pesos, GDP y la fosfatemia están detallados en la **Tabla 5a y 5b**, respectivamente. La calcemia de las terneras fue de  $9.3\pm 0.5$  mg/dL.
- B. En los grupos de **alta disponibilidad de forraje ( $\geq 1200$  kg MS/ha)**, las terneras tuvieron una disponibilidad de forraje de  $1892\pm 728$  kg MS/ha con  $663\pm 32$  g/kg de forraje verde y una concentración de P en forraje verde y seco de  $1.7\pm 0.4$  y  $1.1\pm 0.3$  g/kg MS, respectivamente. Los pesos, GDP y la fosfatemia están detallados en la **Tabla 5a y 5b**, respectivamente. La calcemia de las terneras fue de  $9.2\pm 0.5$  mg/dL.

### 6.3.1.3. Datos en función de la interacción entre los tratamientos de sal y la disponibilidad de forraje

Los datos de forraje se evidencian en la **Tabla 6** y los datos de las GDP y de la concentración de Pi se evidencian en las **Tablas 5a y 5b**, respectivamente.

## 7. DISCUSIÓN

En ambos ambientes la concentración de P y Na del forraje fueron las principales limitantes para la producción. Al cubrir los requerimientos dietéticos de ambos minerales (con las sales minerales granulada/polvo vía oral) las terneras incrementaron las GDP, evidenciando el rol de P y Na como nutrientes limitantes. Estas mayores GDP pueden explicarse debido al incremento del consumo voluntario asociado a la ingesta de sal e incremento de Pi y debido a que el aporte dietético de las sales minerales permitió cubrir el 100% de los requerimientos diarios de P y Na (Dixon et al., 2020; NRC, 2016).

En el ACSP la concentración de P en forraje solo cubría 50-65% de los requerimientos diarios de P, siendo la principal limitante para la producción. El uso de sal fosfatada con 80 g de P/kg y un consumo ~60 g/día durante 110 días de suplementación, permitió cubrir el 100% de los requerimientos. Consecuentemente hubo incremento del porcentaje de terneras con concentraciones esperadas o normales de Pi en sangre, pasando del 14.6 al 75%, así como una disminución del porcentaje de terneras con carencia severa de P pasando del 25 al 0%. Este incremento de Pi sanguíneo, posiblemente, evitó una marcada disminución del consumo voluntario, unos de los principales efectos de la carencia severa y crónica de P (Dixon et al., 2020; Ternouth, 1990). El leve incremento no significativo de Pi sanguíneo observado en el tratamiento control y los grupos con NaCl+MM podrían explicarse por la movilización ósea de P en los animales afectados que intentan suplir las deficiencias (Dixon et al., 2020; Ternouth, 1990). En este ambiente (ACSP) una vez cubiertos los requerimientos de P y Na, en verano, los aportes proteicos fueron la nueva limitante para la producción explicando en parte la pobre performance observada en las terneras de dicho ambiente (McDowell, 1999; Soto et al., 2012) dado que la concentración de proteína del forraje cubrió entre el 58-94% de los requerimientos proteicos, asociado a que no brindó ninguna fuente extra de proteína. Adicionalmente, en este ambiente los animales en alta disponibilidad de forraje (1075 kg/MS) no alcanzaron los  $\geq 1200$  kg/MS esperados como valor de referencia por lo que posiblemente también haya estado relacionado con la baja performance de animales. Otra posible explicación, respecto a la pobre performance observada en las terneras del ACSP, es el posible bajo aporte dietético de P que estas terneras recibieron a lo largo de su vida, el cual genera alteraciones óseas y consecuentemente pobre desarrollo y performance (Constable et al., 2017, Dixon et al., 2020; McDowell et al., 1999, Suttle, 2010) con alta probabilidad de desarrollar raquitismo u osteomalacia durante su primera lactancia (Schild et al., 2021).

En el ACMP el forraje cubrió casi el 100% de los requerimientos diarios de P de las terneras con la excepción de un solo grupo con baja disponibilidad y con 1.7 g de P/kg MS en el forraje, en el cual fue necesario el aporte de sales fosfatada para cubrir la totalidad de los requerimientos diarios de P. Adicionalmente el forraje cubrió entre el 94-100% de requerimientos proteicos durante todo el experimento explicando la mejor respuesta observada en las terneras. En este ambiente el uso de una sal con menor concentración de P, como con 60g en vez de 80 g P/kg, posiblemente hubiese generado el mismo efecto a un menor precio. Estudios que nos permitan conocer las principales áreas con mayores o menores deficiencias de P en el ambiente y así estimar los posibles tipos o concentraciones de P a usar en las sales deben ser realizados.

La baja disponibilidad de forraje también puede limitar nutrientes esenciales incluyendo los minerales y consecuentemente la performance de las terneras como vimos en ambos ambientes (Constable et al., 2017; McDwell, 1999; Tokarnia et al., 2000). La respuesta o falta de respuesta a la suplementación mineral es multifactorial y en Uruguay en al menos tres estudios (Barrios et al., 1984; Pittaluga, 2007, 2009) se reportó una “falta o no de respuesta de los animales a la suplementación mineral”, sin embargo, en algunos de estos trabajos información como la disponibilidad forrajera, concentración del mineral deficiente en la dieta (forraje + suplemento), consumo de sal y los requerimientos de la categoría suplementada no fueron detallados. Esta falta de información no permite dilucidar cuál fue el nutriente limitante como para saber si realmente hubo o no hubo respuesta a la suplementación mineral.

En Uruguay hace más de un siglo que las deficiencias minerales son ampliamente conocidas (Rubino, 1928) y en la actualidad sigue habiendo brotes de las deficiencias más comunes como fósforo (Carriquiry & Frade, 2017; Dutra, 2011; Schild et al., 2021), sodio (Carriquiry & Frade, 2017), magnesio (Doncel et al., 2019, 2020), cobre, selenio y zinc (Carriquiry & Frade, 2017; Dutra, 2016; Rodriguez et al., 2018). Una posible explicación es la baja proporción de establecimientos que usan sales minerales (MGAP, 2003) dado el amplio territorio nacional considerado con carencias de minerales (CIAAB, 1971; Ungerfeld, 1998). Nuestros resultados evidencian el importante efecto benéfico en la performance de las terneras, que tiene la suplementación mineral en la ganadería extensiva. Al igual que nosotros otros estudios previos también han evidenciado mejores respuestas animal con la suplementación mineral fosfatada caracterizadas por mejores índices de preñez (Arroyo y Mauer, 1982; Fernandez Liñares et al., 1985; Pittaluga, 1980; Uriarte 2000), mejores ganancias de peso (Arroyo y Mauer 1982; Gómez Haedo y Amorin, 1982; Schiersmann, 1965) y mejores pesos vivos de los terneros al destete (Quintans et al., 2005). Estudios que nos permitan saber las principales prácticas de manejo o determinar cómo los productores usan las sales minerales deben ser realizados. La suplementación con sales minerales son una excelente herramienta para complementar las deficiencias del forraje. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las carencias minerales no pueden ser vistas como un problema aislado, y para aumentar permanentemente la productividad en las pasturas naturales, es necesario considerar medidas nutricionales (suplementación, manejo de pasturas y reserva de forraje) junto a otras medidas de manejo (entore y destete), que deben ser aplicadas en forma coordinada e integral para aumentar la productividad de nuestros rodeos.

## 8. CONCLUSIÓN

La suplementación *ad-libitum* de sales minerales con 80g P/kg, NaCl y microminerales y la alta disponibilidad de forraje, durante 4 meses, mejoró el estatus sanitario y GDP; sin embargo, las necesidades proteicas también deben ser consideradas para incrementar la producción y desarrollo de las terneras. Más estudios que nos permitan profundizar en estrategias de suplementación mineral en ambientes con carencia severa de P deben ser realizados.

## 9. FUENTES DE FINANCIACIÓN

Este estudio fue financiado con el proyecto FMV\_1\_2017\_1\_136347 de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación.

**Tabla 1.** Resumen de ensayos de suplementación con sales minerales realizados en Uruguay. Se describen el tipo de respuestas (concentración de fósforo inorgánico en sangre -Pi-, ganancia diaria de peso -GDP-, peso vivo -p.v.- y tasa de preñez) y el sentido de esta (aumento -↑-, disminución -↓- o sin diferencia - = -) en los animales suplementados con sales minerales fosfatadas respecto a los animales usados como control.

Referencia bibliográfica	Región y año	Respuesta de los animales suplementados con sales fosfatadas respecto a los controles <sup>1</sup>				Categoría
		Pi	GDP	p.v. <sup>2</sup>	Preñez	
De León Lora, 1963	Colonia (1962-1963)		↑ *		↑ *	V1°C
Schiersmann, 1965	Colonia (1962-1965)	↑ ***		↓	↑ ***	VM
Pittaluga, 1980	Tacuarembó (1975-1976)	↑ ***			↑ ***	V1°C y VM
Pittaluga, 1980	Paysandú (1977-1978)			↓	↑ ***	VM
Gómez Haedo y Amarin, 1982	Cerro Largo (1982)	↑	↑			NO
Arroyo y Mauer, 1982	Cerro Largo (1982)	↑ *	↑	=	↑ **	V1°C y VM
Barrios, Bertolotti y Polio, 1984	Cerro Largo (1984)	↑ *		=	=	V1°C y VM
Fernandez Liñares, Lussich y Marrizcurrena, 1985	Río Negro (1985)	=	↑ *	↑ *	↑ **	V1°C y VM
Pittaluga, 2009	Salto (1986)				↑ ***	VQ
Pittaluga, 2009	Treinta y Tres (1986)	↑ ***			↑ ***	V1°C
Uriarte, 2000	Paysandú (1997/99)	↑ ***		↑	↑ **	VQ, V1°C, VM
Quintans, et al., 2005	Treinta y Tres (2005)	↑ ***	↑	↑	=	VM y TN
Pittaluga, 2007	Tacuarembó (2007)	↑ ***		↑ ***	↓ ***	VM
Pittaluga, 2009	Paysandú (2007)				↑ **	V1°C y VM

Referencias: VM = vaca de cría múltipara; VQ = vaquillona; V1°C = vaquillona de primera cría; NO = novillo. <sup>1</sup> Salvo en los dos primeros trabajos realizados por De León Lora (1963) y Schiersmann (1965) donde los controles fueron animales suplementados con cloruro de sodio, en el resto de los trabajos los animales usados como controles no fueron suplementados con sales minerales. <sup>2</sup> Peso vivo de terneros destetados correspondiente a los hijos de madres incluidas en el experimento. (\*) se evidencia aumento de dicha variable respuesta en los animales suplementados vs los controles, sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa. (\*\*) el aumento significativo se evidencio solo en las vaquillonas de 1era cría. (\*\*\*) no se reportan datos respecto a la probabilidad o significancia estadística entre ambos grupos.

**Tabla 2.** Resumen de datos correspondientes a las mediciones realizadas en el suelo y forraje de ambos ambientes (con carencia severa o marginal de P). Se evidencian las medias de la concentración de fósforo (P) y sodio (Na) en suelo y rangos de la disponibilidad, proporción verde-seco, proteína cruda (PC), fibra detergente neutra y acida y digestibilidad del forraje y concentración de P y Na del forraje evaluado durante el periodo de suplementación (nov/2018-mar/2019).

	Ambiente con carencia severa de P	Ambiente con carencia marginal de P	Valores esperados
<u>Suelo</u>			
P extraíble en bicarbonato de sodio (mg/kg)	3.8	7.6	> 8
Na (meq/kg)	0.6	0.4	ND
<u>Forraje</u>			
Disponibilidad (kg/MS)			> 1200
-Potreros con baja disponibilidad	715 – 754	753 – 925	
-Potreros con alta disponibilidad	1054 – 1100	1850 – 1914	
Proporción del forraje verde (g/kg MS)	594 – 620	646 – 669	
Proporción del forraje seco (g/kg MS)	406 – 380	354 – 331	
PC (% MS)*	6.9 – 11.3	11.4 – 12.0	> 12 <sup>1</sup>
FDN (% MS)*	65.7 – 67.1	64 – 65.8	
FDA (% MS)*	33.6 – 38.4	32.7 – 37.1	
Digestibilidad de la fibra <sup>2</sup> (% MS)*	59.4 – 63.8	60 – 66.8	
P en el forraje (g/kg MS)			> 2.0
P de la fracción verde	1.2 – 1.4	1.7 – 1.9	
P de la fracción seca	0.6 – 0.8	0.9 – 1.3	
Na en forraje (g/kg MS)*	0.05 – 0.1	0.3 – 1.1	> 0.6

Referencias: (\*) los resultados corresponden a la fracción verde del forraje; (MS) materia seca; (ND) dato no disponible.

<sup>1</sup> Requerimiento estimado, en función de la categoría y digestibilidad de la dieta según NAS 2016.

<sup>2</sup> Según Di Marco (2011)

**Tabla 3.** Medias  $\pm$  error estándar, probabilidades y coeficiente de determinación del modelo factorial para las variables dependiente evaluadas.

	Baja disponibilidad			Alta disponibilidad			Probabilidad			R <sup>2</sup>
	P+NaCl+MM	NaCl+MM	Sin Sal	P+NaCl+MM	NaCl+MM	Sin Sal	Disp.	SM	Disp. x SM	
GDP (g/día)	242 $\pm$ 27	255 $\pm$ 27	249 $\pm$ 27	463 $\pm$ 28	432 $\pm$ 28	309 $\pm$ 27	<0.01	<0.01	<0.01	0.73
Pi (mg/dL)	6.5 $\pm$ 0.2	5.9 $\pm$ 0.2	5.9 $\pm$ 0.2	6.5 $\pm$ 0.2	5.9 $\pm$ 0.2	5.8 $\pm$ 0.2	0.86	0.03	0.98	0.73
Ca (mg/dL)	9.1 $\pm$ 0.4	9.1 $\pm$ 0.1	9.2 $\pm$ 0.1	9.3 $\pm$ 0.1	9.4 $\pm$ 0.1	9.5 $\pm$ 0.1	0.03	0.73	0.78	0.69

Referencias: ganancia diaria de peso (GDP); Fósforo (P) inorgánico (Pi); calcio (Ca); miligramo (mg); decilitro (dL); gramo (g), cloruro de sodio (NaCl); microminerales (MM); disponibilidad (Disp.); suplementación mineral (SM), coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>)

**Tabla 4a.** Datos promedios de peso y ganancia diaria de peso (GDP) según las variables de clasificación “Tratamiento”, “Disponibilidad de forraje” y la “Interacción tratamiento x disponibilidad” correspondientes a las terneras del ambiente con carencia severa de P (Artigas). Los números son las medias  $\pm$  error estándar (EE)

	Peso vivo (kg)						GDP (g/día)	
	día 1		día 110		Dif. día 1 y 110		Media $\pm$ EE	Prob.
	Media $\pm$ EE	Prob.	Media $\pm$ EE	Prob.	Media $\pm$ EE	Prob.		
<b><u>Tratamiento</u></b>								
Sin Sal	144 $\pm$ 16	a A	158 $\pm$ 20	a B	14 $\pm$ 10	a	127 $\pm$ 21	a
P + NaCl + Micro	143 $\pm$ 18	a A	163 $\pm$ 22	a B	20 $\pm$ 10	b	186 $\pm$ 15	b
NaCl + Micro	139 $\pm$ 13	a A	159 $\pm$ 13	a B	20 $\pm$ 7	b	188 $\pm$ 15	b
<b><u>Disponibilidad de forraje</u></b>								
Baja (<800 kg MS/ha)	137 $\pm$ 13	a A	152 $\pm$ 16	a B	15 $\pm$ 9	a	140 $\pm$ 17	a
Alta (>1200 kg MS/ha)	147 $\pm$ 16	b A	168 $\pm$ 17	b B	22 $\pm$ 9	b	206 $\pm$ 17	b
<b><u>Tratamiento x Disponibilidad</u></b>								
Sin Sal y Baja Disp.	135 $\pm$ 8	a A	148 $\pm$ 15	a B	13 $\pm$ 11	a	126 $\pm$ 29	a
Sin Sal & Alta Disp.	152 $\pm$ 17	a A	170 $\pm$ 19	bc B	18 $\pm$ 10	ab	165 $\pm$ 29	a
P + NaCl + MM y Baja Disp.	139 $\pm$ 20	a A	153 $\pm$ 22	ab B	14 $\pm$ 5	a	130 $\pm$ 21	a
P + NaCl + MM y Alta Disp.	146 $\pm$ 15	a A	172 $\pm$ 19	c B	26 $\pm$ 11	b	241 $\pm$ 21	b
NaCl + MM y Baja Disp.	138 $\pm$ 10	a A	155 $\pm$ 10	abc B	18 $\pm$ 9	ab	165 $\pm$ 21	a
NaCl + MM y Alta Disp.	141 $\pm$ 16	a A	163 $\pm$ 15	abc B	22 $\pm$ 4	b	211 $\pm$ 21	b

Medias con igual letra minúscula (columnas) no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) y medias con iguales letras mayúsculas (filas) no son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Referencias: materia seca (MS), hectárea (ha); cloruro de sodio (NaCl); microminerales (MM); disponibilidad (Disp.) diferencia (Dif.); probabilidad (Prob.).

**Tabla 4b.** Datos promedios fósforo inorgánico según las variables de clasificación “Tratamiento”, “Disponibilidad de forraje” y la “Interacción tratamiento x disponibilidad” correspondientes a las terneras del ambiente con carencia severa de P (Artigas). Los números son las medias  $\pm$  error estándar (EE)

	Fósforo inorgánico en suero (mg/dL)					
	día 1		día 110		Dif. día 1 y 110	
	Media $\pm$ EE	Prob.	Media $\pm$ EE	Prob.	Media $\pm$ EE	Prob.
<b><u>Tratamiento</u></b>						
Sin Sal	4.6 $\pm$ 0.1	a A	5.0 $\pm$ 0.1	a A	0.3 $\pm$ 0.1	a
P + NaCl + Micro	4.7 $\pm$ 0.2	a A	6.1 $\pm$ 0.2	b B	1.4 $\pm$ 0.2	b
NaCl + Micro	4.7 $\pm$ 0.2	a A	4.8 $\pm$ 0.2	a A	0.1 $\pm$ 0.2	a
<b><u>Disponibilidad de forraje</u></b>						
Baja ( $\leq$ 800 kg MS/ha)	4.6 $\pm$ 0.2	a A	5.2 $\pm$ 0.2	a B	0.5 $\pm$ 0.2	a
Alta ( $\geq$ 1200 kg MS/ha)	4.8 $\pm$ 0.2	a A	5.4 $\pm$ 0.2	a B	0.7 $\pm$ 0.2	a
<b><u>Tratamiento x Disponibilidad</u></b>						
Sin Sal y Baja Disp.	4.2 $\pm$ 0.1	a A	4.9 $\pm$ 0.2	ab A	0.6 $\pm$ 0.2	a
Sin Sal & Alta Disp.	5.1 $\pm$ 0.2	a A	5.1 $\pm$ 0.1	ab A	0.02 $\pm$ 0.1	a
P + NaCl + MM y Baja Disp.	4.9 $\pm$ 0.2	a A	5.6 $\pm$ 0.2	b A	0.7 $\pm$ 0.2	a
P + NaCl + MM y Alta Disp.	4.5 $\pm$ 0.1	a A	6.7 $\pm$ 0.2	c B	2.1 $\pm$ 0.2	b
NaCl + MM y Baja Disp.	4.7 $\pm$ 0.2	a A	5.0 $\pm$ 0.2	ab A	0.3 $\pm$ 0.2	a
NaCl + MM y Alta Disp.	4.7 $\pm$ 0.2	a B	4.6 $\pm$ 0.1	a A	-0.1 $\pm$ 0.2	a

Medias con igual letra minúscula (columnas) no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) y medias con iguales letras mayúsculas (filas) no son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Referencias: miligramo (mg); decilitro (dL); materia seca (MS), hectárea (ha); cloruro de sodio (NaCl); microminerales (MM); disponibilidad (Disp.) diferencia (Dif.); probabilidad (Prob.).

**Tabla 5a.** Datos promedios de peso y ganancia diaria de peso (GDP) según las variables de clasificación “Tratamiento”, “Disponibilidad de forraje” y la “Interacción tratamiento x disponibilidad” correspondientes a las terneras del ambiente con carencia marginal de P (Rivera). Los números son las medias  $\pm$  error estándar (EE)

	Peso vivo (kg)						GDP (g/día)	
	día 1		día 110		Dif. día 1 y 110		Media $\pm$ EE	Prob.
	Media $\pm$ EE	Prob.	Media $\pm$ EE	Prob.	Media $\pm$ EE	Prob.		
<b><u>Tratamiento</u></b>								
Sin Sal	219 $\pm$ 33	a A	260 $\pm$ 26	a B	41 $\pm$ 15	A	383 $\pm$ 28	a
P + NaCl + Micro	219 $\pm$ 26	a A	275 $\pm$ 27	a B	56 $\pm$ 23	B	520 $\pm$ 27	b
NaCl + Micro	214 $\pm$ 26	a A	263 $\pm$ 25	a B	49 $\pm$ 26	B	455 $\pm$ 27	b
<b><u>Disponibilidad de forraje</u></b>								
Baja ( $\leq$ 800 kg MS/ha)	214 $\pm$ 24	a A	252 $\pm$ 22	a B	38 $\pm$ 11	A	357 $\pm$ 22	a
Alta ( $\geq$ 1200 kg MS/ha)	221 $\pm$ 31	a A	279 $\pm$ 23	b B	59 $\pm$ 25	B	599 $\pm$ 22	b
<b><u>Tratamiento x Disponibilidad</u></b>								
Sin Sal y Baja Disp.	208 $\pm$ 22	a A	248 $\pm$ 22	a B	40 $\pm$ 8	A	371 $\pm$ 41	a
Sin Sal & Alta Disp.	229 $\pm$ 39	a A	271 $\pm$ 27	bc B	42 $\pm$ 20	A	394 $\pm$ 39	a
P + NaCl + MM y Baja Disp.	223 $\pm$ 30	a A	261 $\pm$ 23	ab B	38 $\pm$ 14	A	355 $\pm$ 39	a
P + NaCl + MM y Alta Disp.	215 $\pm$ 21	a A	288 $\pm$ 24	c B	73 $\pm$ 13	B	685 $\pm$ 39	b
NaCl + MM y Baja Disp.	210 $\pm$ 16	a A	247 $\pm$ 23	a B	37 $\pm$ 10	A	345 $\pm$ 39	a
NaCl + MM y Alta Disp.	218 $\pm$ 34	a A	278 $\pm$ 15	bc B	61 $\pm$ 32	B	565 $\pm$ 41	b

Medias con igual letra minúscula (columnas) no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) y medias con iguales letras mayúsculas (filas) no son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Referencias: materia seca (MS), hectárea (ha); cloruro de sodio (NaCl); microminerales (MM); disponibilidad (Disp.) diferencia (Dif.); probabilidad (Prob.).

**Tabla 5b.** Datos promedios de fósforo inorgánico según las variables de clasificación “Tratamiento”, “Disponibilidad de forraje” y la “Interacción tratamiento x disponibilidad” correspondientes a las terneras del ambiente con carencia marginal de P (Rivera). Los números son las medias  $\pm$  error estándar (EE)

	Fósforo inorgánico en suero (mg/dL)					
	día 1		día 110		Dif. día 1 y 110	
	Media $\pm$ EE	Prob.	Media $\pm$ EE	Prob.	Media $\pm$ EE	Prob.
<b><u>Tratamiento</u></b>						
Sin Sal	6.7 $\pm$ 0.2	a B	6.4 $\pm$ 0.2	a A	-0.3 $\pm$ 0.2	a
P + NaCl + Micro	6.7 $\pm$ 0.2	a A	7.0 $\pm$ 0.2	b A	0.3 $\pm$ 0.2	a
NaCl + Micro	6.8 $\pm$ 0.2	a B	6.5 $\pm$ 0.2	a A	-0.4 $\pm$ 0.2	a
<b><u>Disponibilidad de forraje</u></b>						
Baja ( $\leq$ 800 kg MS/ha)	6.7 $\pm$ 0.2	a A	6.5 $\pm$ 0.2	a A	-0.2 $\pm$ 0.2	a
Alta ( $\geq$ 1200 kg MS/ha)	6.7 $\pm$ 0.2	a A	6.7 $\pm$ 0.2	a A	-0.01 $\pm$ 0.2	a
<b><u>Tratamiento x Disponibilidad</u></b>						
Sin Sal y Baja Disp.	6.6 $\pm$ 0.2	a A	6.4 $\pm$ 0.2	ab A	-0.3 $\pm$ 0.2	a
Sin Sal & Alta Disp.	6.7 $\pm$ 0.2	a A	6.4 $\pm$ 0.1	ab A	-0.4 $\pm$ 0.2	a
P + NaCl + MM y Baja Disp.	6.8 $\pm$ 0.2	a A	7.0 $\pm$ 0.1	b A	0.2 $\pm$ 0.2	ab
P + NaCl + MM y Alta Disp.	6.6 $\pm$ 0.2	a A	7.1 $\pm$ 0.2	b A	0.5 $\pm$ 0.2	b
NaCl + MM y Baja Disp.	6.8 $\pm$ 0.2	a A	6.2 $\pm$ 0.2	a A	-0.6 $\pm$ 0.2	a
NaCl + MM y Alta Disp.	6.9 $\pm$ 0.2	a A	6.7 $\pm$ 0.1	ab A	-0.2 $\pm$ 0.2	a

Medias con igual letra minúscula (columnas) no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) y medias con iguales letras mayúsculas (filas) no son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Referencias: miligramo (mg); decilitro (dL); materia seca (MS), hectárea (ha); cloruro de sodio (NaCl); microminerales (MM); disponibilidad (Disp.) diferencia (Dif.); probabilidad (Prob.).

**Tabla 6.** Datos de disponibilidad de forraje, fracción de forraje verde, concentración de fósforo (P) y consumo de sal mineral en cada ambiente de P y para cada grupo (tratamiento x disponibilidad) de animales evaluados. Los números son promedios  $\pm$  el error estándar de los 6 intervalos evaluados. También se detalla la estimación de las necesidades de (P) de las terneras, aportes dietéticos de P (forraje + sal con 8% de P) y porcentaje de los requerimientos cubiertos por el forraje.

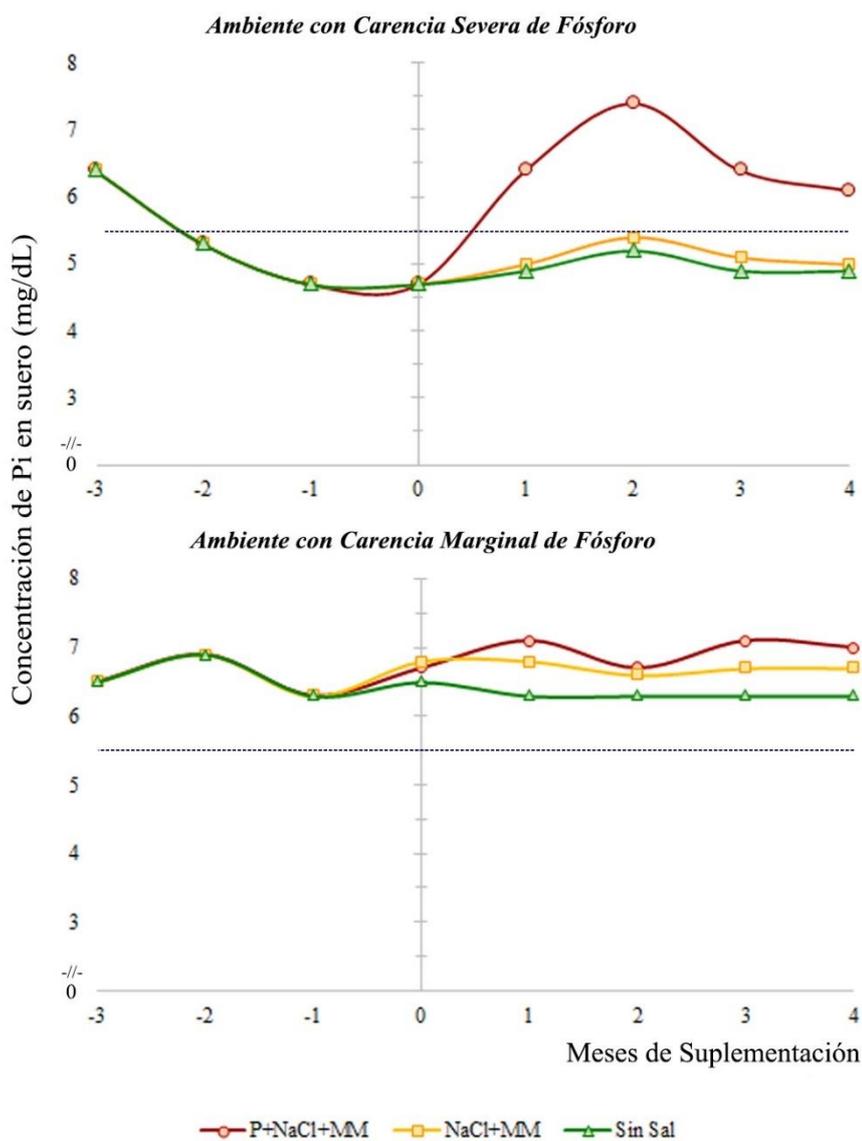
	Disponibilidad (kg/MS)	Fracción del forraje verde (g/kg)	P forraje verde (g/kg)	P forraje seco (g/kg)	Consumo sal (g/día)	Req. P (g/día) <sup>1</sup>	P dieta <sup>1</sup> (g/día)	TAC (0.78) <sup>2</sup>	Req. P cubierto (%)
<b><u>Ambientes con carencia severa -Artigas-</u></b>									
Sin Sal y Baja Disp. (BD)	715 $\pm$ 28	605 $\pm$ 47	1.4 $\pm$ 0.1	0.7 $\pm$ 0.2	0	3.3	2.4	1.9	58
Sin Sal y Alta Disp. (AD)*	1054 $\pm$ 32	603 $\pm$ 47	1.2 $\pm$ 0.2	0.7 $\pm$ 0.2	0	3.9	3.1	2.4	62
P + NaCl + MM y BD	753 $\pm$ 28	562 $\pm$ 62	1.6 $\pm$ 0.5	0.6 $\pm$ 0.2	58	3.4	7.1	5.6	100
P + NaCl + MM y AD	1097 $\pm$ 29	594 $\pm$ 61	1.3 $\pm$ 0.3	0.8 $\pm$ 0.3	70	4.5	9.1	7.1	100
NaCl + MM y BD	719 $\pm$ 48	596 $\pm$ 31	1.4 $\pm$ 0.3	0.7 $\pm$ 0.0	41	3.7	2.5	1.9	53
NaCl + MM y AD	1075 $\pm$ 49	620 $\pm$ 26	1.3 $\pm$ 0.2	0.8 $\pm$ 0.2	80	4.1	3.4	2.6	64
<b><u>Ambientes con carencia marginal -Rivera-</u></b>									
Sin Sal y BD	796 $\pm$ 30	656 $\pm$ 28	1.8 $\pm$ 0.2	0.9 $\pm$ 0.3	0	6.6	6.6	5.2	78
Sin Sal y AD	1849 $\pm$ 71	669 $\pm$ 23	1.7 $\pm$ 0.4	1.0 $\pm$ 0.2	0	7.2	11.4	8.9	100
P + NaCl + MM y BD	753 $\pm$ 21	648 $\pm$ 43	1.8 $\pm$ 0.2	1.1 $\pm$ 0.3	45	6.7	11.4	8.9	100
P + NaCl + MM y AD	1914 $\pm$ 70	653 $\pm$ 33	1.7 $\pm$ 0.4	1.1 $\pm$ 0.3	68	9.5	16.4	12.8	100
NaCl + MM y BD	925 $\pm$ 21	646 $\pm$ 35	1.9 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.4	36	6.4	8.0	6.3	100
NaCl + MM y AD	1914 $\pm$ 77	666 $\pm$ 41	1.7 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.3	47	8.5	11.4	8.9	100

Referencias: kilogramo de peso vivo (kgpv); coeficiente de absorción de P (TAC); Requerimientos (Req.); disponibilidad (Disp.); cloruro de sodio (NaCl); microminerales (MM)

<sup>1</sup> El P de dieta incluye el P aportado por el campo natural y el P aportado por la sal mineral

<sup>2</sup> Dixon et al., 2020.

**Figura 2.** Variación de concentración de fósforo inorgánico (Pi) en el suero sanguíneo de terneras, criadas en ambientes con carencia severa o marginal de P, según el tipo de sal (fosfatada -●-; sal común -■-; sin sal -▲-). La línea punteada (- - -) indica el límite del valor de referencia considerado normal para terneras (> 5.5 mg/dL). Los números negativos se corresponden con mediciones realizadas en las mismas terneras meses previo al inicio de la suplementación mineral (mes 0, noviembre/2018). El periodo evaluado fue de agosto 2018 (-3) a marzo de 2019 (+4).



## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, S.T., Kidd, L.J., Benvenuti, M.A., Fletcher, M.T., y Dixon, R.M. (2017). Nuevos marcadores candidatos del estado del fósforo en vacas reproductoras de carne. *Ciencia de la producción animal*, 57, 2291-2303. Recuperado de <https://doi.org/10.1071/AN17363>
- Arroyo, G. y Mauer, E. (1982). *Efecto de la suplementación mineral sobre el comportamiento reproductivo y evolución del peso en vacas de cría Hereford y su relación con la concentración mineral en el suero y tejidos de reserva y estudio del aporte de mineral por las praderas naturales del noreste Uruguay* (Tesis). Facultad de Agronomía, Udelar, Montevideo.
- Barbosa, F., Almeida, V., Albuquerque, R., Rocha, B., Soares, P., Silva Filho, G., ... Mendoca, F. (2018). Deficiência de fósforo em caprinos no semiárido de Pernambuco. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 38(6), 1117-1124.
- Barrios, J., Bertolotti, C. y Polio, J. (1984). *Influencia de la suplementación mineral sobre el comportamiento reproductivo de vacas de cría Hereford* (Tesis). Facultad de Agronomía, Udelar, Montevideo.
- Cabrera, C.M., Pittaluga, A., Del Puerto, M., Asuaga, A., y Astigarraga, L. (2019). Determinación de la composición nutricional de las pasturas del campo natural – Estudio preliminar. En *Uso Sostenible de Campo Natural* (pp. 169). Montevideo: INIA.
- Call, J.W., Butcher, J.E., Shupe, J.L., Lamb, R.C., Boman, R.L., y Olson, A.E. (1987). Clinical effects of low dietary phosphorus concentrations in feed given to lactating dairy cows. *American Journal of Veterinary Research*, 48(1), 133-136.
- Carrillo, J. (2003). Disponibilidad forrajera: método de doble muestreo. En *Manejo de Pasturas* (pp. 322-327). Balcarce: INTA.
- Carrquiry, R., y Frade, S. (2017). Estudio de la nutrición mineral de bovinos sobre pasturas naturales del Uruguay. *Plan Agropecuario*, (164), 32-34.
- Centro de Investigaciones Alberto Boerger (CIAB). (1971). Fertilización de pasturas. *Boletín de divulgación*, (5), 12-13. Recuperado de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5895/1/CIAAB-BD-5-1971.pdf>
- Coates, D.B. (1994). The effect of phosphorus as fertiliser or supplement on pasture and cattle productivity in the semi-arid tropics of north Queensland. *Tropical Grassland*, 28, 90-108.
- Coates, D.B., Dixon, R.M., Murray, R.M., Mayer, R.J., y Miller, C.P. (2016). Bone mineral density in the tail-bones of cattle: effect of dietary phosphorus status, liveweight, age and physiological status. *Animal Production Science*, 58(5), 801-810.
- Constable, P.D., Hinchcliff, K.W., Done, S.H., y Grünberg, W. (2017). Phosphorus deficiency. En *Veterinary medicine, a Textbook of the Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs, and Goats* (11ª ed., pp. 1485-1491). St Louis: Elsevier.

- Craig, L.E., Dittmer, K.E., y Thompson, K.G. (2016). Rickets and osteomalacia. En *Jubb, Kennedy and Palmer's Pathology of Domestic Animals* (6ª ed., Vol. 1. pp. 68-74). St. Louis: Elsevier Saunders.
- Cseh, S., Odeón, A., Gamietea, I. y Mugarza, S. (2008). Deformaciones articulares en terneros causadas por deficiencia de fósforo. *Revista Argentina de Producción Animal*, 28(1), 31-37.
- De León Lora, L.A. (1963). *Efecto de suplementación de fósforo sobre la eficiencia reproductiva de Hereford en pasturas naturales de Uruguay* (Tesis de Maestría). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). Centro de Enseñanza e Investigación, Turrialba. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11554/1402>
- De Vries, M.F. (1995). Estimating Forage Intake and Quality in Grazing Cattle: A Reconsideration of the Hand-Plucking Method. *Journal of Range Management*, 48(4), 370-375.
- DIEA, Dirección de Estadísticas Agropecuarias. (2020). *Anuario Estadístico Agropecuario*. Montevideo: Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.
- Di Marco, O. (2011). Estimación de calidad de los forrajes. *Producir XXI (Bs. As.)*, 20 (240), 24-30.
- Dixon, R., Coates, D., Holmes, B., English, B., y Rolfe, J. (2011). Phosphorus nutrition and management – overcoming constraints to wider adoption. En *Northern Beef Research Update Conference* (pp. 102-109). Darwin: North Australia Beef Research Council.
- Dixon, R.M., Anderson, S.T., Kidd, L.J., y Fletcher M.T. (2020). Management of phosphorus nutrition of beef cattle grazing seasonally dry rangelands: a review. *Animal Production Science*, 60(7), 863–879.
- Dixon, R.M., Fletcher, M.T., Goodwin, K.L., Reid, D.J., McNeill, D.M., Yong, K.W.L., y Petherick, J.C. (2018). Learned behaviours lead to bone ingestion by phosphorus-deficient cattle. *Animal Production Science*, 59(5), 921-932.
- Dixon, R.M., Kidd, L.J., Coates, D.B., Anderson, S.T., Benvenuti, M.A., Fletcher, M.T., y McNeill, D.M. (2017). Utilising mobilisation of body reserves to improve the management of phosphorus nutrition of breeder cows. *Animal Production Science*, 57(11), 2280-2290.
- Doncel, B., Capelesso, A., Giannitti, F., Cajarville, C., Macías-Rioseco, M., Silveira, C., y Riet-Correa, F. (2019). Hypomagnesemia in dairy cattle in Uruguay. *Pesquisa Veterinaria Brasileira*, 39(8), 564-572.
- Doncel, B., Puentes, J.D., Caffarena, R.D., Riet-Correa, F., Costa, R.A., y Giannitti, F. (2020). Hipomagnesemia em bovinos de corte. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 41, e06826.
- Dutra, F. (2011). Osteomalacia. *Archivo Veterinario del Este*, 3(3), 4-5.

- Dutra F. (2016). Enfermedad del músculo blanco en novillitos. *Archivo Veterinario del Este*, (19), 8-9.
- Fernandez Liñares, J., Lussich, D. y Marizcurrena, P. (1985). Influencia de la suplementación mineral sobre el comportamiento reproductivo y evolución del peso en vacas de cría Hereford (Tesis). Facultad de Agronomía, Udelar, Montevideo.
- Fleming, S.A. (2015). Bovine Metabolic Disorders. En B.P. Smith, *Large Animal Internal Medicine* (5ª ed., pp. 1264-1266). St. Louis: Elsevier.
- García y Santos, C., y Capelli, A. (2016). Intoxicaciones por plantas y micotoxinas en rumiantes diagnosticadas en Uruguay. *Veterinaria (Montevideo)*, 52(201), 28-42.
- Giudici, C., Entrocasso, C., y Steffan, P. (2013). Biología, fisiología e inmunidad de los nematodos gastrointestinales y pulmonares. En A. Nari, y C. Fiel, *Enfermedades parasitarias de importancia económica en bovinos: Bases epidemiológicas para su prevención y control en Argentina y Uruguay* (pp. 3-28). Montevideo: Hemisferio Sur.
- Gómez Haedo, A., y Amorín, J. (1982). Suplementación mineral y proteica de novillos en crecimiento (Tesis). Facultad de Agronomía, Udelar, Montevideo.
- Greco, D., y Stabenfeldt, G.H. (2004). Metabolismo del calcio y del fosfato. En *Fisiología veterinaria* (3ª ed., pp. 366-371). Madrid: Elsevier Saunders.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). (2015). La altura del forraje como herramienta para el manejo de sistemas pastoriles sobre campo natural. *Proyecto mejora en la sostenibilidad de la ganadería familiar de Uruguay, Cartilla* (65). Recuperado de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5567/1/065-UFFIP.pdf>
- Jackson, M.L. (1964). Sodio. En *Análisis químico de suelos* (pp. 662). Barcelona: Omega.
- Jackson, D., Rolfe, J., English, B., Holmes, B., Mattews, R., Dixon, R., y McDonald, N. (2012). *Phosphorus management of beef cattle in Northern Australia*. Queensland: Meat y Livestock Australia.
- Jubb, T.F., y Crough, K.F. (1988). Phosphorus supplementation of cattle. *Australian Veterinary Journal*, 65(9), 264-267.
- Lemos, R.A.A., Riet-Correa, F., y Schild, C.O. (2021). Suplementação mineral em ruminantes. En *Doenças de ruminantes e equídeos*. Manuscrito presentado para presentación.
- Macías, M., Caffarena, D., Fraga, M., Giannitti, F., Berrueta, Y., Cassoux, L., ...Riet-Correa, F. (2016). *Campylobacter fetus* subsp. *venerealis* y presunta neosporosis como causa de abortos en un rodeo lechero de Uruguay con altos

títulos de anticuerpos para *Leptospira interrogans* serovares Pomona, Hardjoprajitno, Wolffii y Hardjo-bovis. En Centro Médico Veterinario de Paysandú, *Jornadas Uruguayas de Buiatría* (Vol. 44, pp. 248-251). Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.

Malafaia P., Peixoto, P.V., Soares Goncalves, J.C., Lopes Moreira, A., Pereira Borges da Costa, D., y Soares Correa, W. (2004). A simple and fast sampling method for chemical analyses and densitometry of bones through rib biopsies in cattle. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 37(1), 31-35.

Malafaia, P., Garcia, F.Z., Lopes, S.P., Souza, V.C., Canella Filho, C.F.C., Costa, D.F.A., y Veiga, C.C.P. (2018). Evaluation of an inexpensive needle test for the diagnosis of phosphorus deficiency and management of phosphorus supplementation for cattle: a multiple case study. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(4), 3337-3352.

Mattioli, G. (2013). Fósforo. En *Nutrición Mineral y Vitamínica de Bovinos* (pp. 41-60). La Plata: CCB Academic.

Mattioli, G.A., Rosa, D.E., Turic, E., Testa, J.A., Lizarraga, R.M., y Fazzio, L.E. (2018). Effect of injectable copper and zinc supplementation on weight, hematological parameters, and immune response in pre-weaning beef calves. *Biological Trace Element Research*, 189, 456-462.

McDowell, L.R. (1999). *Minerais para ruminantes sob pastejo em regiões tropicais, enfatizado o Brasil*. (3ª ed.). Gainesville: University of Florida.

Mcfarlane, D., y Fleming, S.A. (2016). Endocrine and Metabolic Diseases. En *Large Animal Internal Medicine* (5ª. ed., pp. 1223-1275). St. Louis: Elsevier.

McKean, S.J. (1993). Determinación de Fosforo en suelo. En *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal* (pp. 35-42). Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT.

Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP). (2003). *La ganadería en Uruguay Contribución a su conocimiento*. Montevideo: MGAP-DIEA

Mufarrege, D.M. (1999). *Los minerales en la alimentación de vacunos para carne en la Argentina*. Recuperado de [https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion\\_mineral/60-minerales\\_en\\_la\\_alimentacion\\_vacunos.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/60-minerales_en_la_alimentacion_vacunos.pdf)

National Academies of Sciences. NAS. (2016). Phosphorus. En *Nutrient requirements of beef cattle* (8ª ed., pp. 112-114). Washington: The National Academies.

Pañella, P.G., Cardozo, G., Cuadro, R., Reyno, R., y Lezama, F. (2020). La fertilización fosforada disminuye la riqueza y aumenta el número de especies exóticas de plantas en pastizales. *Ecología Austral*, 30(3), 354-365.

- Peixoto, P.V., Malafaia, P., Barbosa, J.D., y Tokarnia, C.H. (2005). Principles of mineral supplementation in ruminants. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 25(3), 195-200.
- Perna, R. (2009). Hipofosfatemia Aguda. En *Manejo Clínico del Síndrome Vaca Caída* (2ª ed., pp. 30-36). Buenos Aires: Inter- Médica.
- Pittaluga, O. (1980). Experimentos de suplementación realizados en Basalto. En *Primera Jornada ganadera de Basalto*. (pp. 50-55). Molles del Queguay: CIAAB-Estación Experimental del Norte.
- Pittaluga, O. (2007). Efecto de la suplementación con fósforo sobre el comportamiento productivo y reproductivo de vacas Hereford y Braford, en Basalto y Areniscas. En *Día de Campo "Cría vacuna en suelos arenosos"* (pp. 18-20). Tacuarembó: INIA.
- Pittaluga, O. (2009). Respuesta a la suplementación mineral y recomendaciones sobre la composición de los suplementos. En *Rol de los Minerales en la Producción de Bovinos para Carne en Uruguay* (pp. 16-22). Montevideo: INIA.
- Pittaluga, O., Allegri, M., Corbo, M., y Riet, F. (1980). Relevamiento de Minerales en las Pasturas y en Sangre de Vacas de Cría y su Relación con Reproducción y Cambios de Peso en Suelos Arenosos, Bajo Distintos Esquemas de Suplementación. *Investigaciones Agrómicas*, 1(1), 42-45.
- Quintans, G., Barreto, S., y Jimenez de Aréchaga, C. (2005). Suministro de sales minerales durante el postparto en vacas multíparas. En INIA, *Jornada Anual de Producción Animal. Resultados Experimentales* (pp. 8-14). Treinta y Tres: INIA.
- Riet-Correa, F. (2004). Suplementação mineral em pequenos ruminantes no semi-árido. *Ciência Veterinária nos Trópicos, Recife*, 7(2/3), 112-130.
- Riet-Correa, F. (2007). Carências minerais. En *Doenças de Ruminantes e equinos* (2ª ed., pp. 223-235). Pelotas: UFPel. San Pablo: Varela.
- Riet-Correa, F., Medeiros, R.M.T., Tokarnia, C.H., Carvalho, C.J.S., Franklin, F.L.A.A, Dias, A.C.S., ...Silva, S.M.M.S. (2012). Botulism by *Clostridium botulinum* type C in goats associated with osteophagia. *Small Ruminant Research*, 106, 201-205.
- Rodriguez, A.M., Schild, C.O., Cantón, G.J., Riet-Correa, F., Armendano, J.I., Caffarena, R.D., y Giannitti, F. (2018). White muscle disease in three selenium deficient beef and dairy calves in Argentina and Uruguay. *Ciencia Rural*, 48(5), 1-6.
- Rose, A.L. (1954). Osteomalacia in the northern territory. *Australian Veterinary Journal*, 30(6), 172-177.
- Rubino, M.C. (1928). Contribución al estudio de la Osteomalacia en los Bovinos. *Revista de Medicina Veterinaria*, 2(31), 563-579.

- Rubino, M.C. (1934). Osteomalacia en los bovinos y metabolismo del fósforo. *Revista de Medicina Veterinaria*, 2(31), 563-579. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27869>
- Schiersmann, G. (1965). Efecto de la suplementación con Fósforo sobre la eficiencia reproductiva y crecimiento de un hato de ganado Hereford en praderas naturales del Uruguay. (Tesis Magister). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. Centro de Investigación y Enseñanza para la Zona Templada. La Estanzuela, Colonia.
- Schild, C.O., Boabaid, F.M., Olivera, L.G.S., Machado, M., Vildoza, A., Saravia, A., ... Riet-Correa, F. (2021). Osteomalacia as a result of phosphorus deficiency in beef cattle grazing subtropical native pastures in Uruguay. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 33(5), 1018-1022.
- Shupe, J.L., Butcher, J.E., Call, J.W., Olson, A.E., y Blake, J.T. (1988). Clinical signs and bone changes associated with phosphorus deficiency in beef cattle. *American Journal of Veterinary Research*, 49(9), 1629-1636.
- Soto, C., y Reinoso, V. (2012). Suplementación con fósforo en ganado de carne a pastoreo. *Redvet*, 13(7). Recuperado de [https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion\\_mineral/172-fosforo\\_suplementacion.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/172-fosforo_suplementacion.pdf)
- Suttle, N. F. (2010). *Mineral Nutrition of Livestock* (4ª ed.). Cambridge: Cabi.
- Ternouth J.H. (1990). Phosphorus in cattle. *Tropical Grasslands*, 24, 159-169.
- Tokarnia C.H. (2010). Deficiência de cálcio e fósforo. En *Deficiência mineral em animais de produção* (pp. 16-48). Rio de Janeiro: Helianthus.
- Tokarnia, C.H., Döbereiner, J., y Peixoto, P.V. (2000). Deficiência mineral em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 20(3), 127-138.
- Underwood, E.J., y Suttle N.F. (1981). *The mineral nutrition of livestock* (2ª ed.). Slough: CAB.
- Ungerfeld, R. (1998). Fósforo. En *Factores que Afectan el Contenido de los Minerales en Pasturas Naturales y el Estado Nutricional de Vacunos y Ovinos en Uruguay* (pp. 48-77). Montevideo: INIA. Recuperado de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9495/1/Factores-que-afectan-el-contenido-UNGERFELD-1998.pdf>.
- Uriarte, G. (2000). Efectos de distintas formulaciones de suplementación mineral sobre ganado de cría en pasturas naturales de suelos cretácicos. En *Reporte final de proyecto* (pp. 1-35). Montevideo: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca.