

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE CIENCIAS Y FACULTAD DE AGRONOMÍA

**MINERALES EN CAMPO NATURAL: VARIACIÓN ESTACIONAL Y POR
SITIO GEOGRÁFICO DEL CONTENIDO DE FÓSFORO, COBRE,
MANGANESO, ZINC, HIERRO Y SELENIO**

por

Ing. Agr. Alejandro María PITTALUGA ROSSI

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magister en Ciencias Nutricionales

MONTEVIDEO
URUGUAY
2018

Tesis aprobada por el tribunal integrado por: la Dra. Laura Astigarraga, la Dra. Alejandra Terevinto y la Dra. Andrea Alvarez, el 7 de agosto del 2018. Autor: Alejandro Pittaluga. Directora: Dra. Cristina Cabrera.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a todas las personas que me han ayudado en la elaboración de esta Tesis de Maestría:

A mi orientadora de tesis Dra. Cristina Cabrera.

A la Federación Uruguaya de Grupos CREA (FUCREA).

A los docentes de la Facultad de Agronomía por la calidad de los cursos dictados.

A la Dra. Marta del Puerto por colaborar con los análisis de laboratorio.

A mi familia por apoyarme siempre en mis estudios.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	IX
SUMMARY.....	X
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 MINERALES.....	4
1.2 FÓSFORO Y MINERALES TRAZA.....	4
1.2.1. <u>Fósforo</u>	4
1.2.2. <u>Hierro</u>	5
1.2.3. <u>Zinc</u>	5
1.2.4 <u>Cobre</u>	6
1.2.5 <u>Manganeso</u>	6
1.2.6. <u>Selenio</u>	7
1.3. SISTEMA ANTIOXIDANTE.....	7
1.3.1. <u>Enzimas Antioxidantes</u>	8
1.4. ESTATUS MINERAL DE LA GANADERÍA SOBRE CAMPO NATURAL.....	11
1.4.1. <u>Factores que afectan el consumo de suplementos minerales</u>	14

1.4.2. <u>Requerimientos minerales</u>	15
1.4.3. <u>Aporte real de minerales de las pasturas naturales</u> ...	16
1.5. COMPOSICIÓN EN FÓSFORO Y MINERALES TRAZA DE LAS PASTURAS NATURALES URUGUAYAS.....	18
1.5.1. <u>Contenido de fósforo de las pasturas naturales según especie forrajera, textura del suelo, variaciones estacionales y estado fisiológico de las pasturas</u>	19
1.5.1.1. Género o especie de planta.....	20
1.5.1.2. Textura del suelo.....	20
1.5.1.3. Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta.....	21
1.5.2. <u>Contenido de manganeso de las pasturas naturales según especie forrajera, textura del suelo, variaciones estacionales y estado fisiológico de las pasturas</u>	22
1.5.2.1. Género o especie de planta.....	22
1.5.2.2. Textura del suelo.....	23
1.5.2.3. Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta.....	23
1.5.3. <u>Contenido de cobre de las pasturas naturales según especie forrajera, textura del suelo, variaciones estacionales y estado fisiológico de las pasturas</u>	24
1.5.3.1. Género o especie de planta.....	24
1.5.3.2. Textura del suelo.....	25
1.5.3.3. Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta.....	25

1.5.4. <u>Contenido de zinc de las pasturas naturales según especie forrajera, textura del suelo, variaciones estacionales y estado fisiológico de las pasturas</u>	26
1.5.4.1. Género o especie de planta.....	26
1.5.4.2. Textura del suelo.....	27
1.5.4.3. Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta.....	27
1.5.5. <u>Contenido de hierro de las pasturas naturales según especie forrajera, región geográfica, textura del suelo, variaciones estacionales y estado fisiológico de las pasturas</u>	28
1.5.5.1. Género o especie de planta.....	28
1.5.5.2. Textura del suelo.....	29
1.5.5.3. Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta.....	29
1.5.6. <u>Contenido de selenio de las pasturas naturales según especie forrajera, textura del suelo, variaciones estacionales y estado fisiológico de las pasturas</u>	30
1.5.6.1. Género o especie de planta.....	30
1.5.6.2. Textura del suelo.....	30
1.5.6.3. Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta.....	31
1.6 BIODISPONIBILIDAD.....	31
1.7. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO EN EL PAÍS.....	32
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	34
2.1. MUESTRAS DE FORRAJE.....	34

2.2. ANÁLISIS QUÍMICOS.....	34
2.3. AMBIENTES EDÁFICOS.....	35
2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	42
3. <u>RESULTADOS</u>	43
3.1 EFECTO DE LA ESTACIÓN DEL AÑO Y AMBIENTE EDÁFICO SOBRE EL CONTENIDO DE P, Cu, Mn, Zn, Fe y Se DE LAS PASTURAS NATURALES.....	43
3.1.1. <u>Fósforo</u>	43
3.1.2. <u>Cobre</u>	44
3.1.3. <u>Managaneso</u>	46
3.1.4. <u>Zinc</u>	47
3.1.5. <u>Hierro</u>	49
3.1.6. <u>Selenio</u>	51
3.2. EFECTO DEL SITIO GEOGRAFICO SOBRE EL CONTENIDO MINERAL.....	52
4. <u>DISCUSIÓN</u>	55
4.1. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO Y MINERALES TRAZA DE LAS PASTURAS NATURALES EN LAS DISTINTAS ESTACIONES DEL AÑO.....	55
4.2. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO Y MINERALES TRAZA DE LAS PASTURAS NATURALES ENTRE LOS DISTINTOS AMBIENTES EDÁFICOS.....	59
4.3. ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DATOS OBSERVADOS CON DATOS NACIONALES E INTERNACIONALES.....	62

4.4. CONTRIBUCIÓN DEL CAMPO NATURAL A LA NUTRICIÓN MINERAL DE DISTINTAS CATEGORÍAS DE GANADO DE CARNE.....	64
5. <u>CONCLUSIONES</u>	70
6. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	71

RESUMEN

El campo natural es una fuente importante de minerales, macro y traza, que contribuyen al balance nutricional del animal en pastoreo. Estudios previos han mostrado variaciones de los contenidos a lo largo del año afectando la cantidad de mineral que el animal recibe a través de la pastura. En este estudio se determinó la concentración de fósforo y minerales traza, Zn, Fe, Cu Mn y Se, del campo natural en 15 ambientes edáficos distintos y en las cuatro estaciones del año, con el objetivo de determinar si las concentraciones de estos minerales varían a través de las diferentes estaciones del año y con relación a los ambientes edáficos estudiados. Los resultados obtenidos muestran que hay una mayor concentración de estos minerales durante el período invierno-primavera y una menor concentración en verano-otoño. Además, se observaron diferencias entre ambientes edáficos en referencia al cobre, selenio y manganeso. Algunos ambientes edáficos presentaron niveles de cobre muy bajo, lo cual podría atribuirse a la composición específica del tapiz vegetal. La textura, el pH del suelo y la composición botánica del tapiz podrían explicar las diferencias entre ambientes en cuanto a los niveles de manganeso en la planta. Las razones que explican las diferencias entre ambientes en los niveles de selenio en el forraje no son del todo claras. Desde el punto de vista de los requerimientos minerales de distintas categorías de ganado de carne sin suplementar, el cobre y el zinc serían deficientes durante todo el año para todas las categorías. El selenio sería deficiente principalmente en otoño y verano, aunque con una gran variabilidad entre ambientes. Por lo tanto, se concluye que la estación del año sería determinante en el contenido mineral del campo natural, mientras que los factores inherentes a los ambientes edáficos serían de menor importancia. A partir de este estudio puede inferirse que el campo natural puede presentar deficiencias en zinc y cobre, y una gran variabilidad respecto del selenio, para animales de carne en pastoreo.

Palabras clave: campo natural, fósforo, minerales traza, estación del año.

Minerals in native grasslands: variations of phosphorus, copper, manganese, zinc, iron and selenium contents due to weather season and geographic location

SUMMARY

Native grasslands constitute the main source of minerals for beef cattle produced in extensive systems. Previous research showed that the mineral concentration of native grasslands fluctuates between weather seasons and geographic location, which consequently alter mineral intake of cattle. The aim of this study was to validate, update and quantify the variation of trace minerals and phosphorus contents of native grasslands between different weather seasons in 15 different geographic locations. The results showed that the mineral content of native grasslands was higher during the winter-spring period compared to the summer-fall period. In addition, differences were also observed between geographic location in copper, selenium, zinc and manganese concentrations. Some locations had extremely low levels of Cu, which could be explained due to differences in botanic composition. Soil texture, pH and botanic composition could be the reasons that explain the differences founded in manganese concentrations. Regarding to selenium and zinc, the differences observed between locations remain unclear. From a beef cattle nutrition standpoint, both copper and zinc levels founded in native grasslands are not enough to satisfy their requirements regardless to the season and geographic locations. Selenium appears as deficient in cattle diets based on native grasslands mainly during autumn and summer, although a high variability was observed between geographic location. In conclusion, weather season greatly affects the mineral content of native grasslands while the geographic location is less important. Beef cattle production in native grasslands should include supplemental zinc, copper and selenium.

Keywords: native grasslands, phosphorus, trace minerals, weather season.

1 INTRODUCCIÓN

Independientemente del crecimiento observado en la producción y exportación de carne proveniente de animales terminados en sistemas intensivos con altos niveles de grano en la dieta (feedlot), este constituye no más de un 10% del total de cabezas faenadas/año a nivel nacional. Por lo tanto, cerca del 90% de la carne que se produce en Uruguay proviene de animales criados y terminados en sistemas pastoriles, dentro de los cuales el 84% de la superficie pastoril ganadera es campo natural y sólo el 16% son pasturas mejoradas.

El campo natural ha sido y continúa siendo la base nutricional por excelencia del stock ganadero nacional, y representa una herramienta comercial muy importante para lograr colocar los productos cárnicos en el mercado internacional, no sólo por el valor nutritivo y nutracéutico que les confiere a dichos productos, sino que también debido al bajo costo que implica como alimento (mayor competitividad). Por esta razón, manejar información precisa y actualizada sobre el valor nutritivo del alimento más importante para el ganado es clave a la hora establecer medidas de manejo que permitan lograr esa mayor eficiencia de utilización del recurso y mejores indicadores económico-productivos.

En los últimos años, los sistemas ganaderos pastoriles a nivel nacional han incorporado la suplementación mineral como una tecnología indiscutible, evaluada en términos generales como de bajo costo y alto impacto. Independientemente de que no está en tela de juicio la importancia nutricional de estos elementos y que a su vez en los sistemas pastoriles a nivel mundial con frecuencia se generan deficiencias de determinados minerales, y la utilización de estos suplementos está cargada de imprecisiones debido a la falta de conocimiento (McDowell, 1996). Esto ha derivado en el uso indiscriminado de suplementos minerales para el ganado, hecho que constituiría no solamente un aumento en los costos de producción, sino que

también constituiría otra fuente de contaminación ambiental a causa de una mayor excreción de aquellos minerales suministrados en exceso.

Dentro de las razones que explican la utilización indiscriminada de suplementos minerales en estos sistemas podrían mencionarse; la escasa información generada a nivel nacional sobre el aporte mineral de las pasturas, su inherente variabilidad y los factores que determinan el consumo de suplementos minerales, y la facilidad operativa que constituye su implementación.

Caracterizar la composición de minerales, macro y traza del campo natural uruguayo en función de las características edáficas de distintos sitios geográficos y en función de las distintas estaciones climáticas, se inscribe dentro de un proyecto llevado a cabo de manera conjunta por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, FUCREA y la Facultad de Agronomía. El proyecto “Desarrollo de herramientas para la toma de decisión con geomática: definición de ambientes, estudio de la vegetación y análisis de productividad física y económica”, tiene por objetivo primordial aportar información al conocimiento disponible acerca del estado de las pasturas y su productividad, vinculados al ambiente donde se encuentran. La hipótesis plantea que, a partir de los resultados del proyecto, el productor maneje el campo natural de una manera racional, basado en datos cuantificados y con una guía de cuáles serían los mejores manejos para aumentar la productividad y pasar a un estado superior del recurso.

El proyecto se conforma de varios componentes, dentro de los cuales la “caracterización de la vegetación” es donde se ubica la evaluación nutricional y mineral de las pasturas naturales competente a este trabajo. Contar con información actualizada, objetiva y precisa sobre el valor nutritivo de las pasturas naturales tomando en cuenta la composición específica, distintos sitios geográficos y variabilidades climáticas, es fundamental si queremos maximizar la utilización de nuestro principal recurso y capitalizarlo en mayores

márgenes económicos/hectárea. En otras palabras, para saber cómo manejarlo primero tenemos que conocerlo.

Específicamente, éste trabajo se enfocará en las concentraciones de fósforo y minerales traza de las pasturas naturales. En los últimos años minerales como el selenio, cobre, hierro, zinc y manganeso, han sido a nivel mundial, objetivo de numerosos estudios. La importancia de estos microminerales en el sistema antioxidante del organismo animal, así como en la calidad del producto, han direccionado numerosas líneas de investigación hacia el objetivo de establecer correlaciones entre el aporte dietario de estos minerales, la performance productiva y reproductiva, y la calidad del producto final.

En cuanto al fósforo, especial atención se le ha puesto a este macromineral desde hace ya muchos años ya que constituye la principal carencia mineral en sistemas pastoriles extensivos a nivel mundial. Justamente, Mattioli et al. (2013) señala que dicha carencia es secundaria al bajo aporte de suelos deficientes en P y donde no es rentable la fertilización de los mismos. Mediante este trabajo se pretende contribuir con información actualizada sobre el real contenido de P del campo natural y su inherente variabilidad.

1.1 MINERALES

Los minerales son nutrientes esenciales que deben estar presentes en las dietas para rumiantes en formas y cantidades específicas. Son esenciales porque no pueden ser sintetizados total o parcialmente por el organismo y por lo tanto deben ser proveídas por el alimento. Cuando esto no ocurre, o bien ocurre de forma no adecuada, sobrevienen los cuadros carenciales o de intoxicación (Mattioli et al., 2013). Los minerales se clasifican por su nivel de requerimientos diarios en macro (> 100 mg/kg MS) y microminerales (< a 100 mg/kg MS) (McDowell, 1992).

Cuadro 1. Macro y Microminerales (Mattioli et al., 2013)

TIPO	REQUERIMIENTOS	ELEMENTO
Macro minerales	> 100 ppm	Calcio, fósforo, magnesio, potasio, cloro, sodio, azufre.
Microminerales	< 100 ppm	Hierro, zinc, cobre, manganeso, selenio, cobalto, molibdeno, iodo, cromo, estaño, vanadio, flúor, silicio, níquel y arsénico.

Las funciones de los minerales en los animales pueden agruparse en cuatro tipos principales: estructurales, fisiológicas, catalíticas y reguladoras. Cada uno de los minerales mencionados cumplen diversas funciones en el organismo, y algunos de ellos están involucrados en más de una función.

1.2 FÓSFORO Y MINERALES TRAZA

1.2.1 Fósforo

El P es considerado como el segundo mineral más abundante en el organismo, cuya importancia en la conformación del tejido óseo determina que cerca de un 80-90% del mismo se acumule en dicho tejido (Mattioli et al., 2013 y Ramos, 2007). Es también un componente estructural fundamental de los fosfolípidos que conforman las membranas celulares y de los nucleótidos (McDowell, 1992). Participa en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y

proteínas, donde principalmente regula activaciones e inactivaciones enzimáticas y forma los enlaces del ATP (moléculas con carga energética que permite reacciones exergónicas y la producción de calor) (Mattioli et al., 2013).

1.2.2 Hierro

El hierro es esencial para varias proteínas involucradas en el transporte y utilización del oxígeno como la hemoglobina, la mioglobina y proteínas transportadoras de electrones. Más del 50% del hierro corporal se halla bajo la forma de hemoglobina, mientras que otras pequeñas cantidades se encuentran formando parte de otras proteínas, ferro-proteínas y enzimas (McDowell, 1992). Dichas enzimas pueden contener directamente el hierro en su estructura o pueden depender de este mineral para su activación.

En general las deficiencias de hierro causan anemia, reduce la ingesta de alimentos y la ganancia de peso, las membranas mucosas se tornan de color pálido y las papilas de la lengua se atrofian. Si bien las deficiencias de hierro en animales adultos pastoreando, pueden ocurrir en terneros en sistemas de confinamiento y/o terneros alimentados solamente a base de leche.

1.2.3 Zinc

Es un componente esencial de numerosas enzimas y es activador de otras. Algunas de las enzimas que requieren zinc están involucradas en el metabolismo del ADN, proteínas y carbohidratos. Debido a su función en la síntesis de ADN, metabolismo de ácidos nucleicos y proteínas en general, cuando ocurre una deficiencia de zinc todos los sistemas corporales son afectados, principalmente aquellos tejidos donde hay una división celular acelerada y una síntesis proteica elevada. Por esta razón, las deficiencias de zinc están fuertemente asociadas a depresiones en el crecimiento y la reproducción (Underwood, 1981). Las deficiencias severas de zinc generan reducciones en las tasas de crecimiento, depresiones en el consumo y eficiencia de conversión, salivación excesiva, crecimiento testicular reducido e hinchazones podales con heridas abiertas.

Es también frecuente observar en situaciones de deficiencia de zinc en el organismo lesiones a nivel de la piel que pueden presentarse como una descamación excesiva en todo el cuerpo con formación de costras en el dorso o como una pododermatitis plantar proliferativa la cual inicialmente se limita a los talones del bovino (Descarga et al., 1997).

El cobre, hierro y molibdeno podrían interactuar con el zinc, haciéndolo no disponible, pero de todas formas hay falta de información al respecto

1.2.4 Cobre

Es un componente esencial de varias enzimas incluyendo la lisil-oxidasa, citocromo oxidasa, superóxido dismutasa y tirosinasa. A su vez se acumula también en la proteína ceruloplasmina (McDowell, 1992).

Las deficiencias de cobre suelen derivar en cuadros de osteoporosis y fragilidad ósea, problemas reproductivos, fallas cardíacas, pobre crecimiento, anemia, diarrea, despigmentación del pelo (principalmente alrededor de los ojos), desmejoramiento del estado corporal y mayor susceptibilidad a enfermedades en general (Underwood, 1981; Descarga et al., 1997; National Research Council, 2001). En casos de hipocuprosis severa se puede llegar a pérdidas de peso de entre 20-40 kg de peso vivo del animal y por ciclo productivo (Descarga et al., 1997).

1.2.5 Manganeso

Se encuentra en el esqueleto, el hígado y el pelo. Forma parte de las enzimas piruvato carboxilasa, arginasa, superóxido dismutasa, y actúa como activador de otras enzimas (hidrolasas, kinasas, transferasas y descarboxilasas). La glycosiltransferasa sólo es activada por manganeso.

La deficiencia de manganeso causa depresiones en el crecimiento, anomalías esqueléticas y alteraciones reproductivas como retraso o disminución del estro y menores tasas de concepción (McDowell, 1992).

1.2.6 Selenio

Es un componente de la glutatión peroxidasa, seleniodinasas y varias selenoproteínas; participa en la reparación del ADN (Silva et al., 2000). Una de las selenometaloenzimas es la iodotironina 5- desiodinasa, la cual cataliza la desiodinación de la tiroxina a triiodotironina. A este mineral se le asigna un rol importante como antioxidante en los tejidos asociado con la vitamina E (Descarga et al., 1997). El selenio tiene una fuerte tendencia a complejarse con metales pesados como el cadmio y el mercurio ejerciendo efecto protector en caso de toxicidad por estos metales (Underwood, 1981).

Las deficiencias de selenio traen aparejados problemas como la distrofia muscular, retención de placenta y una tendencia al desarrollo de metritis (Silva et al., 2000). También causa la necrosis de los músculos esqueléticos y del músculo cardíaco. Algunos animales afectados muestran rigidez, cojera o incluso fallas cardíacas. Otros signos de las deficiencias de selenio son la pérdida de peso, la diarrea, anemia con aparición de cuerpos de Heinz y aumento de la mortalidad. Se han observado también respuestas inmunes disminuidas.

1.3 SISTEMA ANTIOXIDANTE

Independientemente de las diversas funciones que poseen en el organismo cada uno de los minerales traza mencionados, Cu, Se, Mn, Fe y Zn, todos ellos son componentes fundamentales del sistema antioxidante de índole enzimático del organismo.

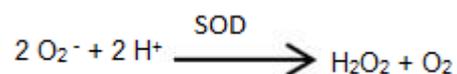
La función de las sustancias antioxidantes es interrumpir las reacciones de los radicales libres *in vivo* mediante la donación de electrones (Seifried, 2003). Es ya bien conocido que dichos radicales presentan una capa de electrones no apareada que les confiere una gran capacidad reactiva y una gran habilidad de interactuar rápidamente con macromoléculas celulares como lípidos y proteínas, hecho que constituye una seria amenaza contra la integridad de dichas células (Cecarini et al., 2007). Dentro de las defensas antioxidantes

que se encuentran en el organismo podrían distinguirse la superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa; las proteínas de transporte y almacenamiento como la transferrina, lactoferrina y ceruloplasmina que secuestran metales de transición no permitiendo la catálisis de conversión del O_2^- y H_2O_2 a OOH ; el retinol que limita la liberación de hierro altamente catalítico; la vitamina E, la vitamina C, el β -caroteno, la luteína, los carotenoides, los tioles y el ácido úrico que rompen la cadena de radicales libre (Morrisey et al., 1998).

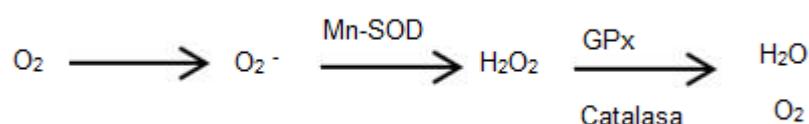
1.3.1 Enzimas Antioxidantes

Las enzimas superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa constituyen el principal mecanismo de defensa celular frente al daño oxidativo *in vivo*.

La superóxido dismutasa cataliza la dismutación del anión superóxido, que se forma como producto secundario de la cadena respiratoria en las mitocondrias, en oxígeno y peróxido de hidrógeno (Matés et al., 1999) según la siguiente reacción:



La familia de la superóxido dismutasa incluye tres enzimas diferentes: (1) la Cu-Zn-SOD expresada en todas las células de mamíferos localizada en el citosol y el núcleo, (2) el Mn-SOD generado en las mitocondrias, y (3) las SOD extracelular. El producto final de las tres enzimas es el peróxido de hidrógeno, el cual constituye una severa amenaza para las células, y es removido inmediatamente por la catalasa y la glutatión peroxidasa (Cecarini et al., 2007), según las siguientes reacciones:



La catalasa es una enzima tetramérica que contiene un grupo ferriprotoporfirina en cada subunidad (Matés et al., 1999) y está presente en los peroxisomas (Cecarini et al., 2007). Cataliza la reacción de dos moléculas de peróxido de hidrógeno a oxígeno y dos moléculas de agua (actividad catalítica) como se muestra a continuación:



La catalasa también posee actividad peroxidativa, donde alcoholes como el metano, etanol, ácido fórmico y fenoles pueden servir como dadores de electrones (Matés et al., 1999).

Las glutatión peroxidasas son selenoproteínas específicas (Daun y Akesson, 2004) que catalizan la reducción de los hidroperóxidos utilizando glutatión reducido (GSH) (Matés et al., 1999).



La familia de las GPx consiste en cuatro selenoproteínas (citosólica, plasmática, gastrointestinal e hidroperóxido fosfolipídica) caracterizadas por diferencias en localización y estructura molecular. Funcionan tanto en el citosol como en la mitocondria (Cecarini et al., 2007). A pesar de que la GPx comparte el sustrato (H_2O_2) con la catalasa, ella sola puede reaccionar efectivamente con los hidroperóxidos lipídicos y otros hidroperóxidos orgánicos, siendo la principal vía de protección contra bajos niveles de estrés oxidativo (Matés et al., 1999).

En general, la actividad de estas enzimas puede estar influenciada mediante la dieta por la ingestión de minerales como el Cu, Mn, Zn, Fe y Se, debido a que son utilizados como cofactores (Mercier et al., 2004). El suplemento de selenio en la alimentación animal es un factor preponderante en el control de la actividad de GPx (Daun y Akesson, 2004, Gatellier et al., 2004). Se ha

demostrado en varios trabajos (Gatellier et al., 2004, Mercier et al., 2004, Descalzo et al., 2007, Insani et al., 2008, Larraín et al., 2008, Terevinto et al., 2015a, Terevinto et al., 2015b) que la actividad de las enzimas antioxidantes varía con el tipo de alimentación (pastura, pastura más suplementación de granos o concentrado) en animales vacunos. Además, en un trabajo nacional (Terevinto, 2010) realizado con vacunos alimentados con pasturas, se observó que la actividad de las enzimas antioxidantes difiere entre músculos.

Con el objetivo de valorizar la carne vacuna uruguaya en el mercado internacional, se han realizado en los últimos años una serie de trabajos nacionales que podrían establecer algunas correlaciones entre la composición mineral de la carne y el aporte mineral del campo natural como base nutricional por excelencia de la ganadería de carne. Con relación a esto, Cabrera et al. (2010) trabajando en la composición de minerales traza de la carne vacuna proveniente de distintos genotipos carniceros alimentados en sistemas de campo natural, observó que los niveles de hierro en carne eran altos. A su vez, cuando se comparan los niveles promedio de hierro en la carne vacuna producida en Latinoamérica sobre base pastoril con relación a la carne vacuna producida en Europa u otros sistemas a base de concentrados, estos últimos presentan menores niveles de hierro (Cabrera y Saadoun, 2012).

Por otro lado, el zinc seguiría una tendencia opuesta, ya que se han observado bajos niveles relativos de este elemento en la carne vacuna uruguaya de animales terminados en campo natural vs la carne producida en otros sistemas (Cabrera et al., 2010). Esto podría ser atribuido en parte a los bajos niveles de Zn tanto en el suelo como en la pastura. El cobre sigue con la línea del Zn ya que los niveles observados sobre distintos cortes de carne vacuna producida en campo natural serían bajos (Cabrera et al., 2010). Además, se pudo observar en este trabajo (Cabrera et al., 2010) que el contenido de ciertos microminerales (Cu, Mn, Zn, Fe y Se) también varía según el corte.

1.4 ESTATUS MINERAL DE LA GANADERÍA SOBRE CAMPO NATURAL

Hoy en día, debido principalmente a la utilización de genotipos de muy alto potencial de producción, los requerimientos minerales en general en los sistemas productivos han aumentado considerablemente, y como consecuencia las probabilidades de incidencia de síntomas clínicos y subclínicos debido al bajo aporte de los mismos han aumentado (Corah, 1996).

En términos generales y a nivel mundial es frecuente observar deficiencias minerales en el ganado a pastoreo. Cabe aclarar que estas deficiencias están estimadas por el National Research Council (NRC) en función de los requerimientos para un determinado nivel de producción (ganancia diaria o producción de leche), factor más importante en determinar los requerimientos del animal. A su vez, se determinan los niveles necesarios para evitar patologías y síntomas asociadas a la falta de un determinado mineral para satisfacer los requerimientos del animal para el nivel de producción preestablecido. En estas deficiencias no contemplan los requerimientos asociados a las performances reproductivas y a un sistema inmunológico fortalecido para disminuir las probabilidades de incidencia de enfermedades en el ganado (McDowell, 1996).

En la producción de rumiantes en sistemas pastoriles extensivos a nivel mundial, el fósforo ha sido el mineral más frecuentemente catalogado como deficiente (Underwood, 1981; McDowell, 1985; Mattioli et al., 2013). Ramos (2007) expuso resultados de una revisión internacional donde se reportaron situaciones de deficiencia de fósforo en 46 países de 3 continentes distintos. A nivel nacional se podría decir que no es la excepción ya que se han presentado también situaciones de deficiencia de P con frecuencia (Torre et al., 2005).

Antiguamente era muy poco frecuente observar deficiencias asociadas a los minerales traza en el ganado, y menos frecuente aún que dichas deficiencias

fueran de una magnitud tal que generara depresiones a nivel productivo y reproductivo. Generalmente las deficiencias asociadas a la falta de estos minerales son de tipo subclínico, generan disminuciones en las performances productivas y reproductivas, pero se torna complejo hacer un diagnóstico en relación con un elemento en particular (Brulé, 1987; citado por Ramos, 2007).

Cuando situaciones de deficiencia se presentan sobre el estatus mineral de los animales se torna necesario el agregado de dichos nutrientes al sistema. Hoy en día, tanto a nivel nacional como internacional la utilización de suplementos minerales se ha tornado en el mecanismo más frecuente.

Independientemente de la existencia de una necesidad real respecto de la inclusión de suplementos minerales a los sistemas, la falta de información sobre el aporte mineral de las pasturas y la fuerte presión ejercida por las empresas comercializadoras de estos productos han generado una excesiva utilización de estos suplementos, sin una respuesta biológica y económica predecible. Por estos motivos, en los últimos años se ha despertado el interés de conocer el verdadero aporte mineral de las pasturas incluyendo aquellos factores que determinan la variabilidad del mismo.

A la hora de discutir acerca de la necesidad, la efectividad y la relación costo/beneficio de los suplementos minerales hay una gran dualidad de posturas. Por un lado, algunos autores afirman que no sería necesario utilizar bloques o algún tipo de suplemento mineral en sistemas pastoriles. Se presume que en general las pasturas naturales no contienen el valor nutricional necesario para lograr altos niveles de producción mediante altos consumos de energía y proteína, por ende, los minerales no serían los limitantes para lograr altas performances y no sería necesario adicionarlos a lo que ya aportan las pasturas. En otras palabras, las deficiencias minerales adquieren relevancia cuando los requerimientos de energía y proteína asociadas a un determinado nivel de producción objetivo son cubiertos (McDowell, 1996). Sumado a esto, a nivel nacional los volúmenes de forraje

asignados están por debajo de los requeridos para lograr altos índices productivos (Carriquiry et al., 2013).

Otros afirman que independientemente de la existencia de situaciones de deficiencia mineral en el ganado sobre sistemas pastoriles, suplementar minerales mediante el uso de bloques o sales en polvo es una tecnología de bajo costo y alto impacto, y es a su vez un mecanismo sencillo de hacerlo a nivel operativo. Quienes sostienen esta línea de pensamiento perciben la suplementación mineral en un formato de prevención, mediante el cual a un bajo costo en dinero y trabajo se evitan posibles depresiones de la performance asociadas a la deficiencia de uno o varios minerales. Más aun teniendo en cuenta el hecho de que las deficiencias de minerales traza en sistemas pastoriles comienzan a generar depresiones en la performance del ganado previo a la aparición de síntomas clínicos (difícilmente detectables).

El siguiente gráfico muestra como en primera instancia y a nivel subclínico, el correcto funcionamiento del sistema inmune se ve afectado sin expresar aún algún tipo de sintomatología o depresiones en la performance a causa de deficiencias asociadas a estos minerales (Cu, Zn, Se y Mn) (Corah, 1996).

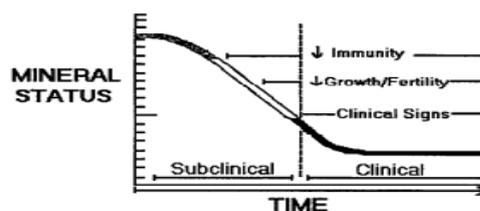


Fig. 1. Efecto de la deficiencia de minerales traza sobre el sistema inmune de vacas y terneros (Corah, 1996).

Independientemente de ambas posturas respecto de la necesidad y utilidad de los suplementos minerales en sistemas pastoriles, se concluye de manera unánime que los suplementos minerales son necesarios en los sistemas pastoriles y generan una rentabilidad a nivel bio-económico siempre y cuando a la hora de formular un suplemento mineral sería de suma importancia considerar aquellos factores que determinan las exigencias minerales del

ganado, el aporte mineral de la dieta (pasturas + agua) y factores que determinan el consumo y la eficiencia de utilización de dichos suplementos (McDowell, 1996).

1.4.1 Factores que afectan el consumo de suplementos minerales

McDowell 1996, en su revisión sobre la suplementación mineral del ganado en sistemas pastoriles analiza los factores más importantes que inciden sobre el consumo de suplementos en bloques y sales en polvo en el ganado sobre sistemas pastoriles. Los mismos se muestran a continuación:

- Fertilidad natural del suelo y tipo de pastura: en aquellos suelos de baja fertilidad natural, y en aquellas pasturas con bajos contenidos de minerales, el consumo de suplementos minerales ofrecidos al ganado aumentaría. Es decir que, cuando menor es el aporte mineral de la pastura, los animales tienden a expresar mayores consumos de suplementos minerales.
- Clima: incide principalmente a través del estado fisiológico de las pasturas. A medida que las pasturas avanzan en su estado fisiológico de vegetativo a reproductivo la relación hoja/tallo disminuye, hecho que deriva en un aumento de la proporción de pared celular y en una disminución del contenido mineral. Conforme a esta depresión del contenido mineral, tiende a observarse también una disminución en su biodisponibilidad. En estas situaciones, el consumo de suplementos minerales tendería a ser mayor que cuando se trabaja con pasturas de menor calidad.
- Niveles de sal en agua de bebida: es frecuente observar en el agua altos niveles de NaCl. Esto último sumado al hecho de que los suplementos minerales suelen contener altos niveles de NaCl como saborizante, podría determinar en estos casos un menor consumo de suplementos minerales con sal. En estos casos se recomienda modificar al saborizante.

- Palatabilidad del suplemento: la palatabilidad es un factor preponderante en el consumo de estos suplementos. Esto se debe al hecho de que la gran mayoría de las fuentes minerales utilizadas en los suplementos resultan desagradables al paladar del ganado. Productos como el NaCl, la melaza, harinas proteicas derivadas del girasol y la soja, así como productos derivados del maíz son frecuentemente incluidos en los suplementos para estimular el consumo de los minerales incluidos.
- Dietas previas y presentación del suplemento: cuando los animales fueron previamente restringidos en su acceso a los minerales y atravesaron por un período de deficiencia, mayor será el consumo posterior de suplementos durante el período de realimentación. En cuanto a la presentación, se estima que cuando los suplementos son presentados en forma de bloques se consume un 10% menos que las sales en polvo. A su vez, el consumo de bloques depende de la dureza, donde no es recomendable que sean ni muy blandos ni muy duros.
- Zona de suministro: ubicar los suplementos en lugares donde los animales puedan acceder fácilmente, no muy alejados, en zonas secas y protegidas con sombra, estimularían el consumo por parte de los animales.

1.4.2 Requerimientos minerales

Al igual que ocurre con otras macromoléculas, hay que distinguir entre requerimientos de mantenimiento y requerimientos de producción de los minerales. Respecto de los requerimientos de mantenimiento, se entiende que son aquellas cantidades de minerales necesarias para reemplazar las pérdidas inevitables que ocurren por vía fecal, las cuales ocurren aún en animales no destinados a producción, y que se componen principalmente de minerales perdidos por descamación celular a nivel del epitelio gastrointestinal, por residuos microbiológicos, por secreciones gastrointestinales no recuperables, y por el sudor. Los requerimientos de

producción están determinados por el contenido mineral presente en cada tipo de unidad de producción (peso ganado, producción de leche o lana) y tienden a ser constantes (Mattioli et al., 2013).

Es importante destacar el hecho de que la estimación de requerimientos netos suele subestimar los requerimientos dietarios ya que la mayoría de los minerales son incompletamente absorbidos (Mattioli et al., 2013).

La importancia relativa que tienen los requerimientos de producción sobre los requerimientos totales de minerales es ampliamente superior a los requerimientos de mantenimientos (McDowell, 1996). Es decir que, a la hora de determinar las exigencias minerales del animal, lo más importante es el nivel de producción y el objetivo productivo preestablecido.

Con relación a los requerimientos de minerales traza del ganado, los mismos rondan aproximadamente en torno a los siguientes valores: Cu; 10 ppm para bovinos de todas las categorías y producciones (National Research Council, 2000; National Research Council, 2001). Zn; 19 ppm para terneros en crecimiento (Mattioli et al., 2013), 40 ppm para cualquier otra categoría (McDowell, 2002), o de 50-75 ppm para animales de engorde a corral (Mattioli et al., 2013). Se; 0,1 ppm para bovinos de engorde (National Research Council, 2000) y 0,3 para bovinos en lactancia (National Research Council, 2001). Mn; 17-18 ppm para todas las categorías (National Research Council, 2001). Fe; 50 ppm (National Research Council, 2000).

1.4.3 Aporte real de minerales de las pasturas naturales

Antes de exponer los factores que determinan la composición mineral de las pasturas naturales que competen al presente estudio, es de suma importancia resaltar el hecho que los minerales aportados por parte de las pasturas no dependen únicamente de la concentración de estos elementos en las mismas, sino que depende también de la biodisponibilidad, la cantidad de forraje consumido y la selectividad de dicho consumo por parte de los animales.

Las altas cargas animales (animales/hectárea-kg de peso vivo/hectárea) y las bajas ofertas de forraje por animal han sido identificadas como los principales factores que explican los bajos índices productivos y reproductivos de la ganadería sobre campo natural de los últimos 25 años, destetado en promedio 64 terneros cada 100 vacas entoradas, y los terneros y vacas de refugio presentan un peso vivo al destete y adulto muy inferior al potencial. Específicamente, los bajos consumos de energía por parte de los animales han sido desde el punto de vista nutricional la principal limitante de los sistemas (Soca et al., 2013).

Partiendo de la base de que el volumen de forraje aportado es bajo y que por consiguiente el consumo de energía sigue la misma línea, entonces podría suponerse que probablemente el consumo de minerales también estaría limitado por el volumen de forraje ofrecido y consumido.

Conforme a esto, la relación entre los requerimientos de un nutriente y su contenido en la pastura es solamente la primera aproximación al estatus nutricional de animales en pastoreo. El contenido de un mineral en la ingesta puede ser mayor, menor o similar al de la pastura, debido a la selectividad del animal. El grado de selectividad depende de la heterogeneidad del tapiz en cuanto a composición botánica, la disponibilidad de MS, la dotación y la especie y categoría (Ungerfeld, 1998).

Son varios los estudios previos que reportan la habilidad de los herbívoros de seleccionar áreas con mayor masa de forraje, incrementando el número de visitas y el tiempo de permanencia en ellas (Bailey et al., 1996; Bailey y Provenza, 2008; Soca et al., 2013). Hirata et al., (2010) citado por Soca et al., (2013), ofreciendo simultáneamente pasturas de calidad contrastante a vacas de cría, encontraron que los animales procuraban forraje de mayor calidad en la mañana, cambiando la preferencia hacia forraje de menor calidad en la tarde. Del mismo modo, animales a los que se les ofrecía trébol blanco y raigrás en pasturas puras adyacentes, consumieron mayoritariamente trébol en la mañana y raigrás en la tarde (Rutter et al., 2004; citado por soca et al.,

2013). Este patrón de comportamiento ha sido propuesto como una estrategia para evadir el pastoreo nocturno mediante el incremento del consumo de fibra previo a la noche, reduciendo la tasa de pasaje a nivel de rumen y, por ende, las necesidades de consumo de forraje durante la noche (Rutter, 2006; citado por Soca et al., 2013).

Finalmente, la biodisponibilidad, definida como el grado al cual el mineral ingerido de una fuente cualquiera es absorbido en una forma que puede ser utilizado en el metabolismo animal (Fairweather-Tait, 1997) es otro factor fundamental a la hora de estimar el verdadero aporte mineral de las pasturas. Al momento de inferir si el aporte mineral de las pasturas en función de los requerimientos animales es suficiente, es fundamental tomar en cuenta la biodisponibilidad de las fuentes minerales de manera de no sobreestimar el verdadero aporte de la dieta.

1.5 COMPOSICIÓN EN FÓSFORO Y MINERALES TRAZA DE LAS PASTURAS NATURALES URUGUAYAS

La composición mineral de una pastura depende de varios factores, entre ellos el género o especie vegetal y su respectivo estado fisiológico (vegetativo vs reproductivo), del tipo de suelo sobre el que haya crecido dicha pastura, y del clima de la región bajo el cual crece la pastura en cuestión ya que es determinante en el estado fisiológico en el que se encuentre. Otro factor relevante que considerar es el manejo nutricional efectuado durante su ciclo de vida principalmente con relación a la aplicación de fertilizantes (Ramos, 2007).

La composición mineral de las pasturas en función del tipo de suelo está determinada principalmente por la disponibilidad mineral en el suelo, y en segunda medida por la verdadera composición mineral del suelo. Factores como el pH, la humedad y la composición de materia orgánica influyen directamente sobre la disponibilidad de minerales en la solución del suelo (Smart et al., 1981). Por su parte, la textura y las características estrictamente

edáficas contribuyen a la generación de variabilidad mineral entre las pasturas nativas. Se han registrado tanto a nivel nacional como internacional diferencias significativas en los contenidos de minerales traza entre pasturas creciendo sobre suelos de distinta textura (Ungerfeld, 1998, Berreta 1998).

Las leguminosas, a igual suelo y clima, contienen 3 o 4 veces más calcio que las gramíneas. Las primeras son también más ricas en potasio, magnesio, azufre, hierro, zinc, cobalto, cobre y especialmente molibdeno (Adams, 1975).

La composición mineral varía con el ciclo vegetativo de la planta, de manera que, al madurar, entendiéndose como maduración la etapa de formación de semillas en la planta (Piper, 1942), las concentraciones de P, K, N, Cu, Co, Fe, Mo, Zn en la misma disminuye. En general hay una mayor absorción radicular de minerales en el inicio del crecimiento de la planta y una dilución progresiva de su concentración a medida que madura, siendo los elementos antes mencionados los más afectados por la madurez de la planta. Las hojas y semillas de las plantas en general tienen mayor concentración de microminerales que los tallos, y a medida que disminuye la relación hoja/tallo, usualmente disminuye la concentración mineral de la planta (Underwood, 1981).

1.5.1 Contenido de fósforo de las pasturas naturales según especie forrajera, textura del suelo, variaciones estacionales, material madre y estado fisiológico de las pasturas

Ungerfeld (1998), reporta una media de 0,14% para el contenido de P de las pasturas naturales uruguayas. Dicho valor fue extraído de un total de 253 muestras, las cuales presentaron un rango de 0,02 a 0,42%. Por su parte, Orcasberro y Alonso (1990) citados por Ungerfeld (1998), expusieron los resultados de varios autores, en un total de 526 muestras, donde la media de la concentración de fósforo de las pasturas naturales fue de 0,12% (0,10 a 0,35%).

1.5.1.1 Género o especie de planta

Resultados de investigaciones realizadas a nivel nacional expuestas por Ungerfeld (1998) muestran que no habría diferencias significativas entre los contenidos de fósforo entre leguminosas y gramíneas, pero cuando se comparan invernales con estivales las diferencias se tornan significativas (0,20% vs 0,15% respectivamente). Luego cuando se compararon los niveles de P en función de la especie forrajera, *Poa annua*, *Bromus auleticus* y *Bromus mollis* fueron las que presentaron mayores concentraciones de fósforo, mientras que especies como *Andropogon saccharoides* y la *Stipa papposa* fueron identificadas como las más deficientes.

Ungerfeld (1998) expone también resultados obtenidos a nivel internacional donde cita trabajos como los de Dougall y Bogdan (1958) donde revelan diferencias importantes entre 58 pastos africanos creciendo en un mismo tipo de suelo y muestreados a mismo estado fisiológico. Dichas diferencias fluctuaron en un rango de 0,05% y 0,37% de P.

Información expuesta por Berreta (1998) sobre el contenido de fósforo de las pasturas naturales uruguayas mostraron que las hierbas enanas presentaban mayores niveles de P que las restantes especies.

1.5.1.2 Textura del suelo y Material madre

Información expuesta por Ungerfeld (1998) ha revelado diferencias significativas en el contenido de fósforo de pasturas naturales creciendo sobre suelos de texturas contrastantes, donde aquellas pasturas que crecían sobre suelos pesados presentaban mayores niveles promedio de P respecto a las que crecían sobre suelos livianos. En estos últimos los valores promedio se ubicaron en 0,10% (0,03% - 0,17%) mientras que en los suelos pesados los valores fueron del 0,16% (0,10% - 0,25%).

Por otro lado, resultados nacionales expuestos por Berreta (1998) muestran que no habría diferencias significativas entre pasturas naturales creciendo en

distintos tipos de suelo. No obstante, en ese trabajo sólo se consideraron suelos de basalto (profundo, superficial pardo-rojizo y superficial negro).

Lundell y Laws, (1954) y Underwood, (1981) citados por Ungerfeld (1998) hacen referencia al material madre como un factor determinante en el contenido de P en suelo y en planta. Similar a lo observado respecto de la textura del suelo, las pasturas naturales creciendo sobre los suelos livianos de las Areniscas y el Cretácico presentaron menores concentraciones de P. Por otro lado, los suelos formados sobre Fray Bentos y Yaguarí presentaron tapices vegetales más ricos en P (Ungerfeld, 1998).

1.5.1.3 Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta

Ungerfeld (1998) muestra que no hay una variación significativa en el contenido de fósforo entre las distintas estaciones del año, pero si expone resultados de Invernizzi y Silveira (1992) donde se observaron diferencias significativas entre especies en estado reproductivo vs estado vegetativo. Específicamente, el promedio para las especies en estado vegetativo fue de 0,20% mientras que para especies en estado reproductivo fue de 0,15%.

Berreta (1998) difiere de lo expuesto en el párrafo anterior, ya que expone resultados significativamente superiores para las pasturas en estaciones otoñales e invernales vs primaverales y estivales.

Ramos, (2007) trabajando con alfalfa, expone diferencias estacionales significativas. En verano fue cuando se observaron las menores concentraciones de P, mientras que en invierno los valores fueron máximos.

Estudios realizados en Estados Unidos sobre la composición nutricional de las pasturas naturales arrojaron una clara diferencia entre los contenidos máximos de P en planta en otoño e invierno, con una posterior caída en verano (Savage y Heller, 1947).

Se ha documentado también el lixiviado de nutrientes solubles de los forrajes en climas lluviosos, siendo poco afectados Cu, Zn y Mn que están unidos a

tejidos vegetales, mientras que el K y el P son más afectados. Las condiciones climáticas secas resultan en un forraje con bajo contenido de fósforo (National Research Council, 2000).

1.5.2 Contenido de manganeso de las pasturas naturales según especie forrajera, textura del suelo, variaciones estacionales, material madre y estado fisiológico de las pasturas

La media de 203 observaciones de contenido de Mn en pasturas naturales uruguayas publicadas en la literatura fue de 223 ppm en la MS (24,4 a 753 ppm) (Ungerfeld, 1998). Orcasberro y Alonso (1990) citados por Ungerfeld (1998), basados en resultados 526 muestras de varios autores, reportan un contenido medio de Mn algo superior, de 271 ppm (40 a 472 ppm).

En Estados Unidos 230 muestras de alfalfa tuvieron entre 8 y 100 ppm de Mn, con una media de 51 ppm (Underwood, 1981). En Nueva Zelanda los contenidos de Mn en pasturas se situaron entre 140 y 200 ppm, con más de 400 ppm en muestras de algunas áreas (Underwood, 1981) y entre 50 y 500 ppm (Grace, 1983).

1.5.2.1 Género o especie de planta

Ungerfeld (1998) expone resultados de Beeson et al. (1947) citados por Underwood (1981), donde se midieron los contenidos de Mn de 17 pastos creciendo en el mismo suelo, y encontraron que se situaba entre 96 y 815 ppm. En nuestro país Carbajal et al. (1987) e Invernizzi y Silveira (1992), citados por Ungerfeld (1998), estudiaron los contenidos de Mn de distintas especies y evidenciaron que, si bien las diferencias no son estadísticamente significativas se observan determinadas tendencias. Las gramíneas tenían contenidos de Mn superiores a las leguminosas, y a medida que empeora el valor forrajero de las pasturas (desde dura hacia fino) disminuyen los niveles de Mn. En este mismo trabajo, *Schizachirium microstachium* y *Eustachis bahiensis* fueron las gramíneas con mayores concentraciones de manganeso,

mientras que *Stipa papposa*, *Coelorrhachis selloana* y *Bromus auleticus* presentaron los niveles más bajos.

1.5.2.2 Textura del suelo y material madre

Se han registrado diferencias importantes con relación al contenido de Mn de las pasturas que crecen en suelos pesados y livianos. Estos últimos presentan contenidos de Mn mayores en promedio que los suelos pesados (Ungerfeld, 1998). La absorción de Mn por las plantas se ve en gran medida favorecida por el bajo pH del suelo (Underwood, 1981; Grace, 1983), lo que explicaría las diferencias, ya que los suelos livianos son generalmente más ácidos.

Continuando con la línea de la influencia de la textura del suelo sobre los contenidos de Mn de las pasturas naturales, se ha previamente reportado en trabajos nacionales que aquellas pasturas naturales creciendo sobre suelos livianos y ácidos formados sobre areniscas presentaron mayores concentraciones de Mn (Ungerfeld, 1998). Las pasturas creciendo sobre suelos de Yaguarí tuvieron valores de Mn relativamente altos y similares a los anteriores. Contrariamente, las pasturas creciendo sobre suelos pesados de del material Fray bentos expresaron los menores valores de Mn en planta.

1.5.2.3 Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta

Promedialmente se observa una elevación de los niveles de manganeso a partir del otoño con un pico en invierno, un posterior descenso en primavera y un mínimo en verano (Ungerfeld, 1998). En algunos casos el máximo se presentó en el otoño. Una explicación podría ser el aumento en la disponibilidad del Mn en el suelo que se produce en condiciones de anegamiento (Grace, 1983), que son más probables en otoño e invierno (Ungerfeld, 1998).

1.5.3 Contenido de mande las pasturas naturales según especie forrajera, textura del suelo, variaciones estacionales, material madre y estado fisiológico de las pasturas

La media de 203 observaciones de contenido de Cu de pasturas naturales uruguayas publicadas en la literatura fue de 6,8 ppm en la MS (0 a 32,9 ppm) (Ungerfeld, 1998). Orcasberro y Alonso (1990) citados por Ungerfeld (1998), basados en resultados de 526 muestras de varios autores reportan un contenido medio de Cu de 6,2 ppm (1,3 a 14,1 ppm). Por su parte, en Nueva Zelanda Grace (1983) reporta valores de 3.5 a 18 ppm.

1.5.3.1 Género o especie de planta

Estudios hechos a nivel nacional, específicamente en el norte del país y principalmente en Salto sobre pasturas naturales, Torre et al. (2005) encontraron muy bajos niveles de Cu en las pasturas estudiadas, hecho que se vio reflejado en frecuentes cuadros de hipocupremia en el ganado. Con relación a esto, las deficiencias de cobre o hipocuprosis son consideradas como la segunda carencia mineral en sistemas pastoriles extensivos a nivel mundial, después de la deficiencia de fósforo (Underwood y Suttle, 1999).

En el estudio realizado por Carbajal et al. (1987) e Invernizzi y Silveira (1992), citados por Ungerfeld (1998), aunque no se registraron diferencias estadísticamente significativas podrían resaltarse algunas tendencias en cuanto a las variaciones en el contenido de Cu de las pasturas. Hubo una tendencia a observar mayores niveles de Cu en las leguminosas respecto de las gramíneas, así como también las especies de mayor valor forrajero tendieron a concentrar mayores niveles de Cu en comparación con las especies clasificadas como duras. En este mismo trabajo, *Chaptalia piloselloides* y *Eryngium nudicaule* fueron identificadas como las especies con mayores valores de Cu, mientras que *Aristida uruguayensis*, *Axonopus affinis* y ciperáceas presentaron los menores niveles.

1.5.3.2 Textura del suelo y material madre

Estudios realizados por Mitchell (1957), demuestran que el contenido de cobre en los vegetales depende directamente del contenido de cobre en el suelo, donde suelos que presentan una capa inferior a la roca constituida por piedra pómez y ceniza son deficientes en cobre (Minson, 1990), y que en algunas regiones existen dobles deficiencias, tanto para cobre como para cobalto, particularmente en arenas calcáreas o en suelos de origen granítico erosionado por el agua (McDowell, 1992).

Estudios nacionales muestran que no se observan diferencias significativas entre tapices vegetales creciendo en suelos pesados o livianos en lo atinente al contenido de Cu (Ungerfeld, 1998). La correlación entre contenidos de Cu en suelo y en pastura es muy baja, de modo tal que no puede inferirse nada acerca del contenido de Cu de la pastura haciendo análisis de suelo (Grace, 1983).

Con respecto a la influencia del material madre sobre la concentración de Cu de las pasturas naturales, Ungerfeld (1998) expone resultados de investigación nacional donde se concluye que aquellas pasturas creciendo sobre Cretácico y Yaguarí son las que presentan los mayores contenidos de Cu. Por otro lado, aquellas pasturas que crecieron sobre Cristalino tuvieron los niveles de Cu más bajos.

1.5.3.3 Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta:

Se ha registrado una tendencia a encontrar menores contenidos en pasturas en primavera y verano con relación al resto del año. En invierno los contenidos de Cu de las pasturas aparecen como los más altos, seguidos por los del otoño. Sin embargo, el comportamiento particular en cada caso es impredecible, siendo posible encontrar resultados opuestos a estas tendencias (Ungerfeld, 1998). En cambio, Grace (1983) considera que la variación estacional del contenido de Cu en pasturas es pequeña.

Trabajos realizados a nivel nacional con alfalfa reportaron que para el Cu hay variabilidades significativas en sus respectivas concentraciones en la planta dependiendo de su estado fisiológico y la estación del año (Ramos, 2007), donde particularmente los menores niveles fueron observados en verano y otoño.

1.5.4 Contenido de zinc de las pasturas naturales según especie forrajera, textura del suelo, variaciones estacionales, material madre y estado fisiológico de las pasturas

La media de 120 observaciones de contenido de Zn en pasturas naturales uruguayas publicadas en la literatura fue de 24,2 ppm en la MS (6,2 a 65,4 ppm) (Ungerfeld, 1998). Orcasberro y Alonso (1990) citados por Ungerfeld (1998), basados en resultados 434 muestras de varios autores reportan un contenido medio de Zn inferior, de 18 ppm (6 a 60 ppm).

Por otro lado, Underwood (1981) citado por Ungerfeld (1998) sostiene que una alta proporción de plantas creciendo en suelos promedio contiene entre 25 y 50 ppm de Zn. Pasturas mejoradas en Nueva Zelanda tenían entre 23 y 70 ppm en la Isla Norte y 17 a 27 ppm en la Isla Sur.

1.5.4.1 Género o especie de planta

A pesar de que las diferencias no sean estadísticamente significativas, las leguminosas tendieron a concentrar mayores niveles de Zn respecto de las gramíneas. Underwood (1981), citado por Ungerfeld (1998) expuso resultados de estudios realizados en Estados Unidos arrojando valores de aproximadamente 20 y 60 ppm de Zn para las leguminosas y 10 a 30 ppm de Zn para las gramíneas. En similares estudios también expuestos por Underwood (1981) citado por Ungerfeld (1998), los valores observados de 11 a 18 ppm de Zn en leguminosas y 8 a 17 ppm de Zn en gramíneas marcan diferencias muy estrechas entre ambas familias de plantas. Tampoco se registraron diferencias significativas cuando se comparan las especies forrajeras según su ciclo productivos y según su tipo productivo.

A su vez, en el estudio realizado por Carbajal et al. (1987) e Invernizzi y Silveira (1992), citados por Ungerfeld (1998), *Chaptalia Piloselloides* y *Eryngium nudicaule* representaron las especies con mayores concentraciones de Zn. Por su parte, dentro de las especies con menores niveles de Zn podrían mencionarse al *Andropogon Ternatus*, *Stipa Papposa* y *Ciperáceas*.

1.5.4.2 Textura del suelo y material madre

Estudios hechos a nivel internacional muestran que efectivamente el Zn es un mineral cuya concentración en la planta se ve afectada por el cambio de pH en el suelo, tendiendo a disminuir cuando el pH del suelo aumenta (Mitchell, 1957).

Estudios realizados a nivel nacional muestran que no se observaron diferencias significativas en los contenidos del mismo entre tapices vegetales creciendo en suelos pesados o livianos (Ungerfeld, 1998). Conforme a esto, Berreta., 1998, avala el hecho de la no existencia de un efecto suelo sobre las concentraciones de cobre y zinc sobre las pasturas nativas.

Si bien no se ha evidenciado la existencia de diferencias significativas entre los contenidos de Zn de pasturas naturales creciendo sobre suelos formados por distinto material madre, sí se ha podido observar algunas tendencias producto de trabajos realizados a nivel local. Específicamente, Ungerfeld (1998) menciona que pasturas naturales creciendo sobre Areniscas, Basalto, Cretácico y Yaguará tenderían a presentar mayores niveles de Zn, mientras que sobre Fray Bentos y Cristalino presentaban los menores valores. De todas formas, hay que aclarar que el número de muestras fue muy bajo, teniendo hasta solamente una muestra para algunos materiales madre.

1.5.4.3 Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta

Se ha observado un aumento de los contenidos de Zn en otoño e invierno, un posterior descenso en primavera y un mínimo en verano (Ungerfeld, 1998). Generalmente el máximo anual se presentó en invierno. En contraposición a las oscilaciones descritas, Towers (1977) y Metson *et al.* (1979), citados por

Ungerfeld (1998), no notaron influencias estacionales claras sobre el contenido de Zn de las pasturas.

1.5.5 Contenido de hierro de las pasturas naturales según especie forrajera, región geográfica, textura del suelo, variaciones estacionales, material madre y estado fisiológico de las pasturas

La media de 93 observaciones del contenido de Fe de pasturas naturales uruguayas publicadas en la literatura fue de 746 ppm en la MS (102 a 3741 ppm) (Ungerfeld, 1998). Orcasberro y Alonso (1990) citados por Ungerfeld (1998), basados en resultados de 98 muestras de varios autores, reportan un contenido medio de Fe de 863 ppm (120 a 2005 ppm).

1.5.5.1 Género o especie de planta

Se ha reportado un mayor contenido de Fe para las especies gramíneas con relación a las especies no leguminosas (Ungerfeld, 1998). De todas formas, la cantidad de especies no gramíneas evaluadas en el trabajo expuesto por Ungerfeld (1998) fue muy baja, lo que le confiere poco valor a esta comparación. Por otro lado, trabajos expuestos por Underwood (1981), citado por Ungerfeld (1998), muestran una clara diferencia entre especies gramíneas y leguminosas en cuanto al contenido de Fe, con valores aproximados de 306 ppm para estas últimas y 264 para las primeras.

En cuanto al ciclo productivo de las especies evaluadas, las estivales parecerían tener un mayor contenido de Fe respecto de las invernales. No se registraron diferencias cuando se compararon especies de distintos tipos productivos.

En el trabajo realizado por Carbajal et al. (1987), citado por Ungerfeld (1998), se destaca la *Bothriochloa laguroides* como la especie forrajera que presentó los niveles más altos de Fe, mientras que el menor contenido medio anual de Fe lo presentaron las ciperáceas.

1.5.5.2 Textura del suelo y material madre

La información presentada por Ungerfeld (1998), arroja que en suelos de textura pesada contienen significativamente más hierro que suelos de textura liviana. Según Nores (1944) citado por Ungerfeld (1998), la solubilidad del Fe en el suelo se ve favorecida por la acidez y el anegamiento. Con relación al primer factor, los suelos más ácidos, Areniscas y Cretácico, parecen en cambio tender a poseer los menores contenidos de Fe. Por otra parte, estos serían los suelos que tenderían menos a anegarse debido a su mejor drenaje.

1.5.5.3 Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta

El Fe presenta una gran variabilidad en cuanto a su contenido en pasturas naturales en las distintas estaciones del año, dentro del cual podría decirse que en invierno es cuando las concentraciones de Fe en planta son mayores, mientras que en primavera y verano las mismas son menores. Como lo señala Ungerfeld (1998), cuando uno observa la gran amplitud entre los valores máximos y mínimos se torna difícil sustentar la tendencia estacional mencionada, ya que en algunas ocasiones el verano pasa a ser la estación donde las pasturas concentran más hierro. A partir de esto es que se concluye que las oscilaciones estacionales del Fe pueden ser extremadamente amplias e impredecibles.

Ramos (2007), trabajando con alfalfa evidenció la inexistencia de diferencias significativas entre las estaciones del año a pesar de que en verano llegaron a registrarse valores tres veces superiores respecto del invierno.

Por su parte, Aregheore et al., (2003) estudiaron las variaciones estacionales en el contenido de minerales de 9 especies nativas en la región del pacífico sur, hallando mayores contenidos de hierro en las estaciones secas que en las estaciones lluviosas.

1.5.6 Contenido de selenio de las pasturas naturales según especie forrajera, textura del suelo, variaciones estacionales, material madre y estado fisiológico de las pasturas

1.5.6.1 Género o especie de planta

En líneas generales las leguminosas suelen ser más pobres en Se que las gramíneas. Sin embargo, a medida que la concentración en el suelo declina, estas diferencias suelen acortarse (Mattioli et al., 2013). Sin duda el selenio es uno de los ejemplos más llamativos de las diferencias en la composición mineral de las pasturas de acuerdo con la especie forrajera. Por ejemplo, algunas especies de astrágalo (*astragalus*) creciendo en suelos seleníferos contienen 3000-5000 ppm de selenio, mientras que otras especies sólo contienen 10-20 ppm de selenio, aunque crezcan en el mismo tipo de suelo (Underwood, 1981).

1.5.6.2 Textura del suelo y material madre

En cuanto al efecto suelo sobre los contenidos de selenio en forrajes, los menores niveles de selenio se encontraron en suelos en formación y en suelos livianos (Ungerfeld, 1998). En suelos deficientes las diferencias entre plantas desaparecen (Underwood, 1981; Millar, 1983).

Estudios hechos en Canadá arrojaron que el origen de los suelos y las respectivas zonas donde se encuentran ubicados son de poca influencia a excepción del selenio, donde suelos formados por rocas sedimentarias recientemente expuestas contienen altos niveles de Se y los formados por rocas ígneas poseen bajos niveles de dicho mineral. Por otro lado, también se han reportado mayores niveles de selenio en forrajes creciendo sobre suelos arcillosos y con respecto a suelos arenosos (Smart et al., 1981).

Otros estudios expusieron que los suelos de origen volcánico tienen en general bajos contenidos de selenio, en cambio que las tierras arables derivadas de rocas sedimentarias son ricas en Se (Lannek y Lindberg, 1975). Dependiendo de la humedad, el pH del suelo y la existencia de óxidos e

hidróxidos en el suelo, el selenio predomina como selenito o selenato, lo que condiciona su absorción por la planta (Silva et al., 2000).

1.5.6.3 Variaciones estacionales y estado fisiológico de la planta

La única referencia que se encontró de contenido de Se en función de la estación del año corresponde a pasturas sembradas. Podestá et al., (1976) citado por Ungerfeld (1998) hallaron contenidos de 0,090 ppm de Se en invierno y entre 0,056-0,045 ppm en primavera en una pastura de trébol blanco y trébol subterráneo.

1.6 BIODISPONIBILIDAD

Si bien la biodisponibilidad de los microminerales no será objeto de este estudio, es importante mencionar brevemente la información expuesta de trabajos anteriores que muestran la forma química en que dichos elementos se encuentran en la planta.

La biodisponibilidad de los minerales debe considerar no sólo la forma química de las fuentes ingeridas, sino que también debe tomar en cuenta otros factores como: a) la solubilización o liberación del mineral proveniente del alimento (Emanuele et al., 1991; Pansu et al., 1993); b) el grado y sitio de absorción del mineral liberado (Emanuele et al., 1991; Bronner, 1998); c) el estado fisiológico y el nivel de producción de los animales en un ambiente dado (Kovacs y Kronenberg, 1997) y por último; d) otros factores de origen alimentario (Bronner, 1998). De todas formas, en este trabajo sólo se hará mención de las formas químicas al momento de hablar sobre la biodisponibilidad.

Cerca del 75% del hierro en la planta se encuentra asociado a los cloroplastos (Barceló Coll et al., 1995) donde se almacena como fitoferrina, una proteína que forma parte del aparato fotosintético (Salisbury y Ross, 1994). Esto determinaría que la solubilidad del Fe es mayor sobre primavera-verano cuando la fotosíntesis es mayor. Estudios nacionales e internacionales coinciden en los resultados obtenidos, donde la solubilidad del Fe fue mayor

en épocas del año donde la fotosíntesis es más elevada y parecería no encontrarse adherida a la pared celular (Ramos, 2007).

Según Spears (2003) una gran proporción del Zn en el forraje se encuentra asociado a la pared celular pero no está claro si esta asociación disminuye su absorción a nivel del organismo animal. Podría decirse que, en verano cuando las concentraciones de FDN y FDA en la planta aumentan la biodisponibilidad del Zn disminuiría debido a esta asociación con la fracción fibrosa de las plantas. Esto coincide con los resultados observados por Ramos, (2007) donde en verano cuando la solubilidad de la materia seca de la alfalfa disminuía lo mismo sucedía con el Zn.

Parecería ser que la localización del cobre en la planta es similar a la del Fe, ya que se encuentra en enzimas, proteínas y en la plastocianina de los cloroplastos (Salisbury y Ross, 1994). De todas formas, se ha observado que sobre el verano disminuye la solubilidad del Cu, lo que podría indicar que este mineral quedaría retenido en las estructuras fibrosas del forraje (Ramos, 2007).

La forma predominante del selenio en los forrajes es la seleniometionina y en menor cantidad la seleniocisteína que son muy bien utilizadas por los rumiantes (Underwood, 1981).

1.7 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO EN EL PAÍS

El objetivo de este trabajo será determinar las concentraciones de fósforo, cobre, manganeso, zinc, hierro y selenio de las pasturas nativas uruguayas (campo natural) en 15 sitios geográficos distintos y su variación a través de las estaciones del año.

La información generada contribuirá al objetivo de mejorar la eficiencia de utilización de nuestros campos naturales y desde lo estrictamente nutricional generar información precisa que permita aproximarnos a una nutrición de precisión en nuestros sistemas pastoriles.

La información generada previamente a nivel nacional, la cual fue agrupada en la revisión bibliográfica publicada por Ungerfeld en 1998 y Berreta 1998, contiene determinadas fuentes de variabilidad en cuanto al aporte mineral del campo natural debido a los distintos tipos de suelo sobre los cuales se tomaron las muestras, distintos métodos de corte, baja cantidad de muestras y hasta procedimientos analíticos diferentes.

A su vez, la cantidad de información que se dispone de cada referencia varía en forma muy importante. Los diversos autores han utilizado distintos números de repeticiones, algunos han trabajado en un establecimiento solamente, otros lo han hecho en zonas más extensas, y algunos han muestreado pasturas de todo el país. La información que se dispone es dispar.

Este estudio se realizará en base a un elevado número de muestras respecto de trabajos nacionales preliminares, y mediante una homogeneización de los métodos de corte y de los procedimientos de análisis, actualizar y aumentar la información disponible respecto de la concentración de microminerales de alto poder antioxidante en pasturas naturales, considerando aquellos factores de influencia sobre dicha concentración. A su vez, nos permitirá conocer mejor el posible estatus mineral de los animales en CN a lo largo del año y en distintas zonas del país.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MUESTRAS DE FORRAJE

Se realizaron muestreos de campo natural estacionales durante el año 2016 y 2017, de 15 ambientes edáficos ubicados en distintas zonas del país. Dichos muestreos fueron de 3 por cada sitio en dos fechas por estación del año. Los muestreos se hicieron en jaulas de 1 metro cuadrado (a 30 metros de distancia entre ellas) simultáneamente, en una superficie de 20 X 50 cm y a una altura de 2 cm del suelo. Previo a realizar los cortes, se pasó una bordeadora de tanza y se colocaron las jaulas; luego se cortó el crecimiento con una tijera de aro, sin levantar mantillo. Las fechas de corte en las cuales fueron obtenidas las muestras fueron realizadas de manera tal de abarcar las cuatro estaciones del año.

Cuadro 2. Período de corte para la toma de muestras correspondientes a las estaciones del año (Alejandro Pittaluga, comunicación personal, 24 de agosto de 2018).

Estación del año	Período de corte
Primavera	12/08/2016 - 03/10/2016
Verano	10/01/2017 - 13/03/2017
Otoño	13/03/2017 - 16/05/2017
Invierno	07/06/2017 - 20/07/2017

2.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

Las muestras recolectadas a campo fueron inmediatamente congeladas a -20°C, luego secadas en estufa de aire forzado a 60°C durante al menos 48 hs. Luego, fueron molidas usando un molinillo para muestras chicas con cuchillas de acero inoxidable y a una malla de 1,0 mm. La cantidad de materia seca se cuantificó termo-gravimétricamente a 105°C por 3 hs o hasta peso constante (Leco TGA 601, Mönchengladbach, Germany). Un gramo de materia seca obtenida se llevó a la mufla para ser incinerada a 550°C hasta la

obtención de cenizas blancas. Las cenizas se solubilizaron en ácido nítrico ULTRAPURO, 1 M y HCl 6M, se filtraron y se llevaron a volumen conocido con H₂O, 18,2 Ohms (Ramos, 2007; Cabrera et al., 2010). La concentración de Zn, Cu, Mn y Fe se determinaron por EAA en llama (Analyst 300 Perkin-Elmer) y la de Se en Analyst 300 Perkin Elmer con H. El P se cuantificó por el método de Fiske y Subarrow (1927) adaptado por Ramos, (2007) en espectrofotómetro Shimadzu UV- visible modelo 160A. La curva de Fe se preparó a partir de la solución estándar de Fe para espectroscopía atómica de Fluka, el rango de trabajo de la misma es de 3,0 a 9,0 mg Fe/l y el estándar de referencia es de 6,0 mg Fe/l. El blanco, los estándares y las muestras para medir Fe contenían 0,22% de CaCl₂ de Merck KGaA para evitar interferencia por presencia de Cu.

La curva estándar de Zn se preparó diluyendo la solución estándar de Zn para espectroscopía atómica de Fluka, el rango de trabajo de la curva es de 0,5 a 2,0 mg Zn/l y el estándar de referencia es de 1,0 mg Zn/l.

La curva estándar de Cu se preparó a partir de la solución estándar de Cu para espectroscopía atómica de Fluka con un rango de 2,0 a 8,0 mg Cu/l y el estándar de referencia fue de 4,0 mg Cu/l.

La curva estándar de Se, se preparó con solución estándar de Se, Fluka para EEA, con un rango de 70 a 140 µg/l. La curva estándar y las muestras fueron analizadas incluyendo modificador de matriz, nitrato de paladio y nitrato de magnesio de Fluka.

2.3 AMBIENTES EDÁFICOS

Se estudió la composición mineral del campo natural de 15 sitios geográficos del Uruguay, como se observa en la Figura 2, seleccionados en el marco del Proyecto FPTA que llevó adelante Fucrea.



Figura 2. Mapa de la ubicación de los sitios de muestreo (Alejandro Pittaluga, comunicación personal, 24 de agosto de 2018).

En el Cuadro 3 se presentan la información a partir de la caracterización edáfica general realizada en los 15 ambientes pastoriles en su condición alta y estable respecto a su caracterización funcional utilizando el NDVI como indicador espacio-temporal. En cada sitio se realizó un cateo con taladro holandés, allí se describieron las características de los suelos y se tomaron muestras para su correcta clasificación y descripción.

Cuadro 3. Caracterización edáfica y clase textural del horizonte A de los ambientes edáficos (Alejandro Pittaluga, comunicación personal, 24 de agosto de 2018).

Ambiente edáfico	Caracterización Edáfica	Clase textural
AE 6	Litosol Dístrico superficial	Franco arcillo arenoso
AE 7	Luvisol Melánico Típico o Lúvico	Franco arcillo arenoso
AE 8	Argisol Dístrico Abrúptico, ácido, de baja fertilidad	Franco arenoso
AE 9	Brunosol Subéutrico Lúvico profundo, ácido	Franco arcillo arenoso
AE 11	Planosol Dístrico Ocrico profundo, hidromórfico, ácido	Franco arenoso
AE 12	Gleysol Lúvico Melánico sódico	Franco arcilloso
AE 13	Planosol hidromórfico	Franco arcilloso
AE 16	Brunosol Sub éutrico Lúvico	Franco arcilloso
AE 25	Brunosol Dístrico Lúvico, moderadamente profundo, ácido	Franco arcilloso
AE 27	Inceptisol ácido, moderadamente profundo, de muy baja fertilidad	Franco arenoso
AE 30	Inceptisol moderadamente profundo a superficial, de baja fertilidad	Franco arcilloso
AE 34	Brunosol Típico vértico	Franco arcillo limoso
AE 38	Brunosol Dístrico Típico profundo, ácido	Franco arcilloso
AE 41	Brunosol Eutrico Típico	Franco arcilloso

En el Cuadro 4 se informa sobre el material madre de los sitios seleccionados y en el Cuadro 5 se presentan los datos de pH del suelo.

Cuadro 4. Material madre de los ambientes edáficos (Alejandro Pittaluga, comunicación personal, 24 de agosto de 2018).

Ambiente edáfico	Material Madre
AE 6	Cristalino
AE 7	Cristalino
AE 8	Basamento Cristalino
AE 9	Basamento Cristalino + Dolores
AE 11	Basalto profundo
AE 12	Dolores
AE 13	Dolores
AE 16	Dolores
AE 25	San Gregorio-Tres islas
AE 27	San Gregorio-Tres islas
AE 30	Cretáceo
AE 34	Dolores
AE 38	Sedimentos Gondwana
AE 41	Sedimentos pelíticos grises

Cuadro 5. Valores de pH correspondientes al horizonte A de los 15 ambientes edáficos (Alejandro Pittaluga, comunicación personal, 24 de agosto de 2018).

Ambiente edáfico	pH del suelo H₂O	pH del suelo KCL
AE 6	5	3,9
AE 7	4,7	3,7
AE 8	5,3	4,1
AE 9	5,6	4,4
AE 11	4,4	5,8
AE 12	5,5	4,3
AE 13	5,5	4,3
AE 16	5,5	4,5
AE 25	4,9	4
AE 27	4,8	3,9
AE 30	5	4
AE 34	5,7	4,4
AE 38	4,7	5,9
AE 41	5,8	4,7

La caracterización botánica de los distintos ambientes edáficos fue realizada entre los meses de octubre y noviembre (primavera) para los ambientes 11,12, 13, 16, 25, 34, 38 y 41, mientras que, para los restantes ambientes, 6, 7, 8, 9, 27, y 30, dicha caracterización fue realizada entre los meses de febrero y marzo (verano), Cuadros 6, 7a y 7b.

Cuadro 6. Contribución porcentual en peso seco de los componentes (tipos funcionales) de la vegetación a la biomasa de los diferentes ambientes. 1 – Gramíneas estivales 2- Gramíneas invernales 3- Hierbas 4- Ciperáceas 5 – Restos secos 6 – Leguminosas (Alejandro Pittaluga, comunicación personal, 24 de agosto de 2018).

Ambiente	1	2	3	4	5	6	Suma
6	72,7	3,6	9,8	3,2	10,6	0,1	100
7	73,2	7,8	4,2	7,5	7,3	0,0	100
8	56,8	33,9	5,2	0,7	3,3	0,0	100
9	78,5	7,3	4,5	4,0	5,7	0,0	100
11	41,1	0,0	8,5	6,5	43,9	0,0	100
13	76,1	0,6	16,4	6,6	0,1	0,2	100
16	68,0	2,7	6,2	21,4	0,9	0,9	100
25	59,8	0,9	18,5	13,7	0,0	7,1	100
27	81,2	0,0	4,1	5,2	9,5	0,0	100
30	60,1	27,3	12,5	0,0	0,5	0,0	100
38	70,0	0,4	7,4	0,7	14,4	0,0	100
41	53,6	31,0	8,2	0,0	0,3	0,7	100

Cuadro 7a. Contribución porcentual de las cuatro principales especies forrajeras presentes en cada ambiente edáfico (Alejandro Pittaluga, comunicación personal, 24 de agosto de 2018).

Esp. Forrajera	Ambiente Edáfico						
	AE 6	AE 7	AE 8	AE 9	AE 11	AE 12	AE 13
<i>Andropogon lateralis</i>							
<i>Andropogon ternatus</i>		12					
<i>Aristida murina</i>							
<i>Axonopus affinis</i>			26	21	30		7
<i>Axonopus argentinus</i>		25					
<i>Bothriochloa laguroides</i>				10			
<i>Bromus auleticus</i>							
<i>Carex bonariensis</i>							
<i>Centella asiatica</i>							14
<i>Chevreulia sarmentosa</i>							
<i>Coelorachis selloana</i>					28		
<i>Cynodon dactylon</i>						12	
<i>Cyperacea</i>						24	
<i>Fimbristylis spadicea</i>							
<i>Lophochloa phleoides</i>							
<i>Micropsis spathulata</i>	9						
<i>Oxalis sellowiana</i>						9	
<i>Pamphalea heterophylla</i>	8						
<i>Paspalum dilatatum</i>					12		
<i>Paspalum notatum</i>			20	32	7		10
<i>Paspalum plicatulum</i>		13	8				
<i>Paspalum pumilum</i>							11
<i>Paspalum quadrifarium</i>						20	
<i>Piptochaetium montevidense</i>				14			
<i>Plantago myosurus</i>	11						
<i>Poa annua</i>	18						
<i>Richardia humistrata</i>							
<i>Schizachyrium microstachyum</i>			10				
<i>Trachypogon montufari</i>		14					

Cuadro 7b. Contribución porcentual de las cuatro principales especies forrajeras presentes en cada ambiente edáfico (Alejandro Pittaluga, comunicación personal, 24 de agosto de 2018).

Esp. Forrajera	Ambiente Edáfico							
	AE 16	AE 25	AE 27	AE 30	AE 31	AE 34	AE 38	AE 41
<i>Andropogon lateralis</i>					15			
<i>Andropogon ternatus</i>						6		
<i>Aristida murina</i>		27						
<i>Axonopus affinis</i>	37		33	21			25	
<i>Axonopus argentinus</i>				13		26		
<i>Bothriochloa laguroides</i>						15		
<i>Bromus auleticus</i>								10
<i>Carex bonariensis</i>		8						
<i>Centella asiatica</i>								
<i>Chevreulia sarmentosa</i>							11	
<i>Coelorachis selloana</i>			24		46			7
<i>Cynodon dactylon</i>								
<i>Cyperacea</i>				6			10	
<i>Fimbristylis spadicea</i>		12						
<i>Lophochloa phleoides</i>		19						
<i>Micropsis spathulata</i>								
<i>Oxalis sellowiana</i>								
<i>Pamphalea heterophylla</i>								
<i>Paspalum dilatatum</i>	18		10		7			15
<i>Paspalum notatum</i>	18		11	35	16	31	21	20
<i>Paspalum plicatulum</i>								
<i>Paspalum pumilum</i>								
<i>Paspalum quadrifarium</i>								
<i>Piptochaetium montevidense</i>								
<i>Plantago myosurus</i>								
<i>Poa annua</i>								
<i>Richardia humistrata</i>	5							
<i>Schizachyrium microstachyum</i>								
<i>Trachypogon montufari</i>								

2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los resultados obtenidos fue realizado con el programa NCSS (2012), Statistical Systems, Kaysville, Utah (Estados Unidos). Los valores fueron expresados como la media \pm error estándar de la media (SEM) y el nivel de significancia fue establecido en $p < 0,05$. Para evaluar los datos del contenido mineral, siendo el ambiente edáfico y estación del año los efectos principales, se siguió un análisis de varianza utilizando el procedimiento ANOVA GLM, seguido del Test de comparación múltiple de Tukey-Kramer. Para comparar el contenido de minerales entre los ambientes edáficos o entre las distintas estaciones del año se siguió un ANOVA de una vía, seguido del Test de comparación múltiple de Tukey-Kramer. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0,05$.

3 RESULTADOS

3.1 EFECTO DE LA ESTACIÓN DEL AÑO Y AMBIENTE EDÁFICO SOBRE EL CONTENIDO DE P, Cu, Mn, Zn, Fe y Se DE LAS PASTURAS NATURALES

3.1.1 Fósforo

El análisis del contenido de P de las muestras de pasturas naturales utilizadas en el trabajo arrojó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las estaciones del año, pero no entre ambientes edáficos. En el Cuadro 8, los promedios considerando todos los sitios por estación del año muestran que hay mayor concentración de este macromineral durante la estación de primavera (0,28). Dicha concentración fue significativamente distinta del resto de las estaciones, mientras que entre otoño, invierno y verano las diferencias no fueron significativas.

Cuadro 8. Contenido de P (g/100g) en las pasturas naturales de 15 sitios (ambientes edáficos) según la estación del año (primavera, verano, otoño e invierno).

Ambientes Edáficos	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
AE 6	0,31±0,09	0,16±0,01	0,15±0,04	0,17±0,03
AE 7	0,26±0,04	0,15±0,05	0,21±0,03	0,25±0,05
AE 8	0,30±0,07	0,27±0,08	0,12±0,04	0,15±0,03
AE 9	0,27±0,02	0,19±0,01	0,38±0,14	0,17±0,02
AE 11	0,20±0,01	0,33±0,10	0,20±0,01	0,25±0,12
AE 12	0,31±0,03	0,15±0,02	0,16±0,00	0,27±0,01
AE 13	0,34±0,01	0,13±0,01	0,14±0,02	0,17±0,05
AE 16	0,30±0,05	0,21±0,02	0,13±0,01	0,19±0,02
AE 25	0,30±0,04	0,22±0,05	0,14±0,07	0,29±0,03
AE 27	0,30±0,06	0,16±0,02	0,20±0,01	0,30±0,05
AE 30	0,16±0,02	0,15±0,03	0,35±0,01	0,28±0,03
AE 31	0,32±0,03	0,19±0,03	0,20±0,02	0,27±0,04
AE 34	0,29±0,02	0,14±0,01	0,16±0,02	0,14±0,03
AE 38	0,22±0,01	0,15±0,02	0,23±0,09	0,17±0,02
AE 41	0,34±0,02	0,24±0,04	0,19±0,02	0,24±0,02

Los resultados se expresan como la media \pm SEM.

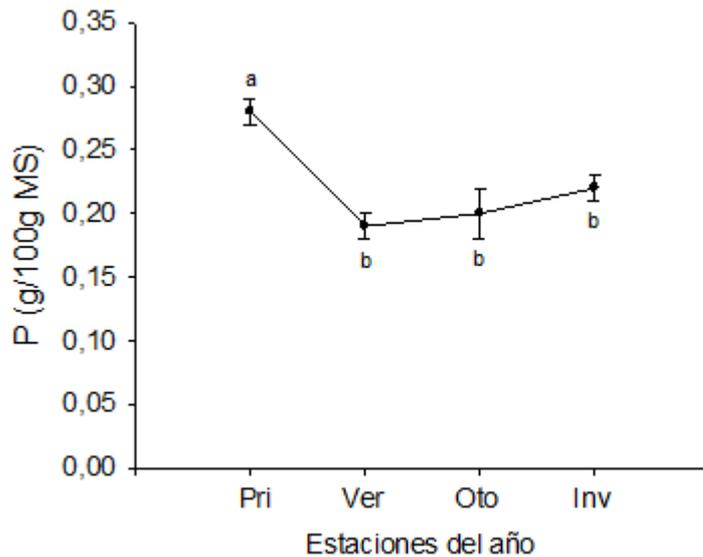


Figura 3. Contenido promedio de P (g/100g) por estación del año. Los resultados se expresan como la media \pm SEM. Letras diferentes corresponden a diferencias significativas entre estaciones del año ($p < 0,05$).

3.1.2 Cobre

En el Cuadro 9 se presentan los contenidos de Cu por sitio y por estación del campo natural. El análisis del contenido de cobre de las muestras de pasturas naturales utilizadas en el trabajo arrojó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las estaciones del año y entre ambientes edáficos. En primavera se observaron las concentraciones de cobre más altas (7,2), mientras que en verano las concentraciones fueron las mínimas (2,3). Las estaciones de otoño e invierno presentaron valores intermedios que fueron diferentes estadísticamente de primavera y verano, pero no fueron diferentes entre ellas.

Cuadro 9. Contenido de Cu (mg/kg base seca) en las pasturas naturales de 15 sitios (ambientes edáficos) según la estación del año (primavera, verano, otoño e invierno).

Ambientes Edáficos	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
AE 6	4,8±0,8	1,0±0,0	2,1±0,4	5,1±1,0
AE 7	4,4±0,5	2,2±0,8	3,3±0,4	6,0±1,5
AE 8	4,2±0,7	4,2±1,3	3,2±1,2	1,7±0,3
AE 9	5,0±0,6	2,1±0,2	4,8±0,3	3,5±0,4
AE 11	4,7±2,2	2,4±1,1	2,9±0,4	2,0±0,6
AE 12	7,6±2,8	1,3±0,3	2,5±0,3	3,6±0,6
AE 13	6,7±0,4	2,0±0,0	3,6±0,6	3,6±0,4
AE 16	14,6±4,9	2,2±0,07	2,3±0,3	3,1±0,7
AE 25	15,0±10,1	2,2±0,3	10,6±6,2	4,3±0,7
AE 27	4,9±0,1	2,4±0,4	4,3±1,3	4,6±1,8
AE 30	0,9±0,1	2,1±0,1	6,0±0,8	3,5±0,2
AE 31	5,9±1,6	1,8±0,2	2,1±0,1	2,9±0,3
AE 34	4,8±0,7	2,2±0,2	3,4±0,1	3,0±0,4
AE 38	4,8±0,3	1,9±0,2	8,1±0,1	2,7±0,2
AE 41	8,4±0,6	2,4±0,4	4,0±0,5	4,2±0,3

Los resultados se expresan como la media ± SEM.

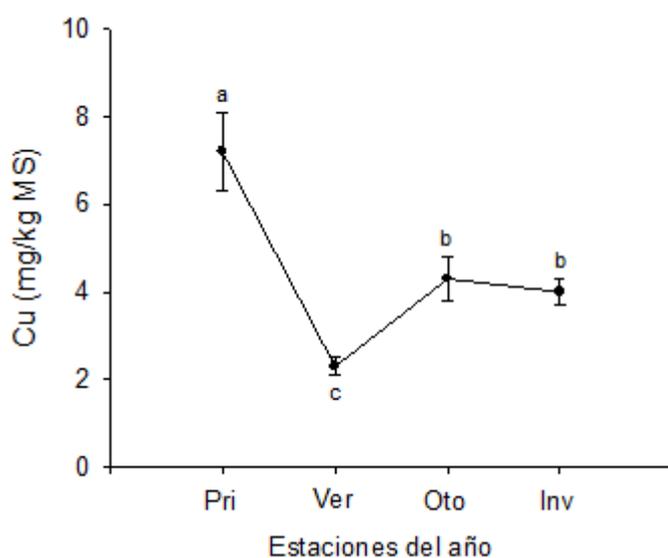


Figura 4. Contenido promedio de Cu (mg/kg base seca) por estación del año. Los resultados se expresan como la media ± SEM. Letras diferentes corresponden a diferencias significativas entre estaciones del año ($p < 0,05$).

3.1.3 Manganeso

El contenido de manganeso por sitio y por estación del año se presentan en el Cuadro 10. El análisis del contenido de Mn de las muestras de pasturas naturales utilizadas en el trabajo arrojó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las estaciones del año y entre ambientes edáficos. Se puede observar que hay diferencias estadísticamente significativas entre las distintas estaciones del año ($p < 0,05$), siendo primavera y verano las estaciones donde se observaron los valores máximos (332) y mínimos (116) respectivamente. Entre los valores de invierno y otoño existieron diferencias significativas, así como también existieron diferencias respecto de primavera y verano.

Cuadro 10. Contenido de Mn (mg/kg base seca) en las pasturas naturales de 15 sitios (ambientes edáficos) según la estación del año (primavera, verano, otoño e invierno).

Ambientes Edáficos	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
AE 6	495±88	123±4,8	184±43	200±18
AE 7	402±43	140±42	237±22	357±61
AE 8	344±26	148±20	295±100	225±55
AE 9	353±17	154±10	195±20	288±38
AE 11	356±60	106±10	216±20	236±39
AE 12	307±36	62±22	85±5,4	167±35
AE 13	268±55	65±0,7	112±11	176±32
AE 16	384±64	146±17	134±43	272±51
AE 25	316±59	148±15	189±4,4	249±54
AE 27	334±84	120±26	158±50	245±19
AE 30	123±21	89±15	383±15	331±13
AE 31	314±62	111±4,5	108±22	183±1
AE 34	428±39	76±8,5	227±53	302±50
AE 38	318±38	126±28	183±27	332±28
AE 41	93±19	79±39	60±9	81±29

Los resultados se expresan como la media ± SEM.

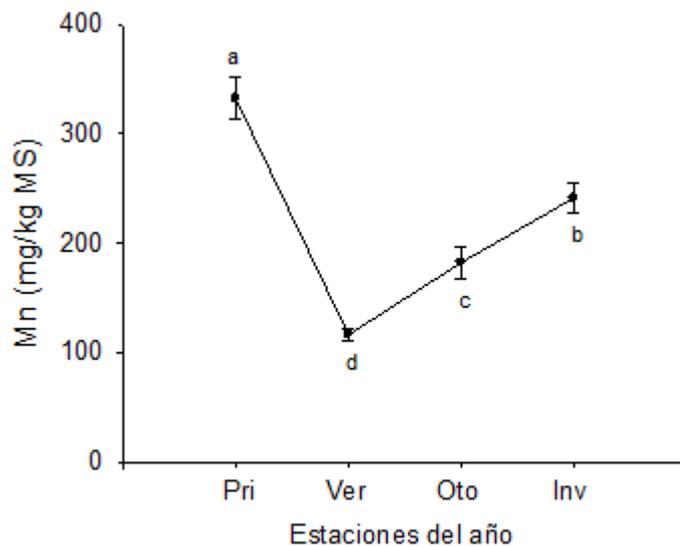


Figura 5. Contenido promedio de Mn (mg/kg base seca) por estación del año. Los resultados se expresan como la media \pm SEM. Letras diferentes corresponden a diferencias significativas entre estaciones del año ($p < 0,05$).

3.1.4 Zinc

En el Cuadro 11 se muestran los contenidos de Zn para cada sitio y estación del año. El análisis del contenido de Zn de las muestras de pasturas naturales utilizadas en el trabajo arrojó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las estaciones del año, pero no entre ambientes edáficos. Como puede observarse, la primavera y el invierno presentaron los valores máximos (25 y 20) mientras que otoño y verano presentaron los valores mínimos (13 y 10). Las diferencias fueron significativas sólo cuando se compararon ambos valores (máximo vs mínimo), ya que entre primavera e invierno y entre verano y otoño las diferencias no fueron significativas.

Cuadro 11. Contenido de Zn (mg/kg base seca) en las pasturas naturales de 15 sitios (ambientes edáficos) según la estación del año (primavera, verano, otoño e invierno).

Ambientes Edáficos	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
AE 6	28±3	26±18	11±2	18±3
AE 7	24±3	7±1	11±2	18±4
AE 8	16±2	16±5	14±5	17±5
AE 9	25±4	14±1	11±2	23±4
AE 11	17±4	7±1	11±4	11±2
AE 12	14±2	4±1	7±0	10±2
AE 13	23±3	10±1	12±1	22±3
AE 16	34±5	11±1	10±1	16±3
AE 25	24±5	9±2	13±2	27±3
AE 27	26±6	9±0	14±3	31±11
AE 30	13±2	7±1	26±4	18±1
AE 31	22±4	8±2	6±0	15±1
AE 34	19±1	7±1	13±2	18±4
AE 38	53±35	5±0	20±9	24±2
AE 41	23±3	10±2	12±2	23±3

Los resultados se expresan como la media ± SEM

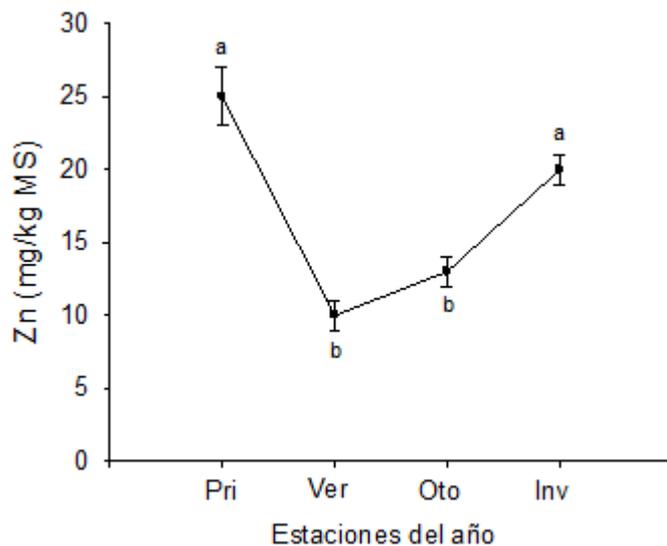


Figura 6. Contenido promedio de Zn (mg/kg base seca) por estación del año. Los resultados se expresan como la media \pm SEM. Letras diferentes corresponden a diferencias significativas entre estaciones del año ($p < 0,05$).

3.1.5 Hierro

El contenido de Fe del campo natural se presenta en el Cuadro 12 por sitio y por estación del año. El análisis del contenido de Fe de las muestras de pasturas naturales utilizadas en el trabajo arrojó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las estaciones del año, pero no entre ambientes edáficos. Se observa que en primavera los valores fueron máximos (457) mientras que en verano los valores fueron los mínimos (102). De todas formas, primavera no fue distinto significativamente a invierno, éste último no difirió de otoño y a su vez otoño no difirió de verano.

Cuadro 12. Contenido de Fe (mg/kg base seca) en las pasturas naturales de 15 sitios (ambientes edáficos) según la estación del año (primavera, verano, otoño e invierno).

Ambientes Edáficos	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
AE 6	580±96	126±38	63±8	289±56
AE 7	482±109	86±7	80±5	165±63
AE 8	622±213	130±25	258±189	147±27
AE 9	484±234	129±9	116±10	350±151
AE 11	310±81	64±8	535±457	90±18
AE 12	1103±373	74±5	88±13	522±117
AE 13	300±107	81±0	146±40	189±16
AE 16	733±261	103±13	61±11	971±415
AE 25	801±468	99±14	378±275	171±8
AE 27	170±42	86±31	136±45	226±124
AE 30	130±21	80±17	510±79	353±46
AE 31	409±82	105±16	66±5	136±33
AE 34	279±24	97±7	175±80	760±139
AE 38	183±19	127±30	281±59	206±50
AE 41	267±41	148±41	482±393	183±29

Los resultados se expresan como la media ± SEM.

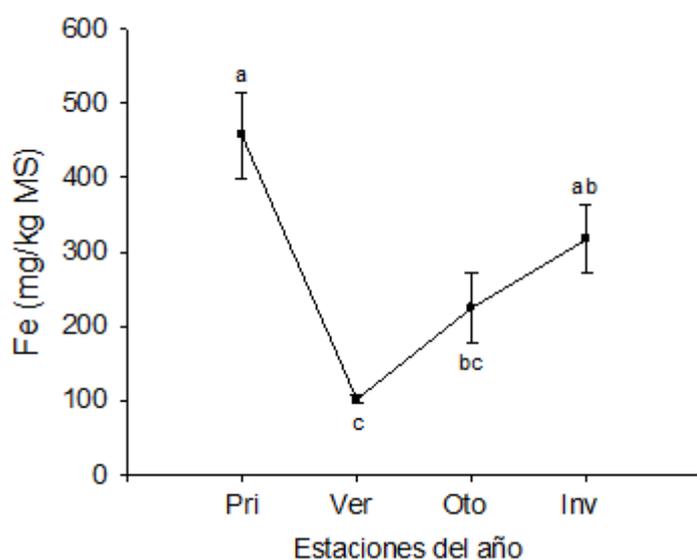


Figura 7. Contenido promedio de Fe (mg/kg base seca) por estación del año. Los resultados se expresan como la media ± SEM. Letras diferentes corresponden a diferencias significativas entre estaciones del año ($p < 0,05$).

3.1.6 Selenio

En el Cuadro 13 se observan las concentraciones de Se de las pasturas del campo natural para cada sitio y por estación. El análisis del contenido de Se de las muestras de pasturas naturales utilizadas en el trabajo arrojó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las estaciones del año y entre ambientes edáficos. Las concentraciones de selenio no presentaron grandes variaciones a lo largo de las distintas estaciones del año, siendo el otoño la estación donde se observaron los valores mínimos (0,07) y significativamente distintos del resto. Por su parte, primavera, verano e invierno no presentaron diferencias significativas entre sí.

Cuadro 13. Contenido de Se (mg/kg base seca) en las pasturas naturales de 15 sitios (ambientes edáficos) según la estación del año (primavera, verano, otoño e invierno).

Ambientes Edáficos	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
AE 6	0,52±0,20	0,03±0,00	0,03±0,01	0,31±0,02
AE 7	0,12±0,01	0,12±0,03	0,10±0,02	0,16±0,01
AE 8	0,04±0,01	0,02±0,00	0,04±0,01	0,15±0,01
AE 9	0,09±0,01	0,07±0,01	0,04±0,01	0,19±0,01
AE 11	0,01±0,00	0,11±0,01	0,15±0,02	0,09±0,01
AE 12	0,25±0,01	0,12±0,06	0,11±0,02	0,17±0,01
AE 13	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00
AE 16	0,01±0,00	0,24±0,04	0,02±0,00	0,01±0,00
AE 25	0,05±0,01	0,25±0,08	0,09±0,01	0,15±0,01
AE 27	0,04±0,01	0,03±0,01	0,07±0,01	0,06±0,01
AE 30	0,02±0,01	0,08±0,00	0,06±0,01	0,14±0,01
AE 31	0,06±0,01	0,03±0,01	0,02±0,01	0,11±0,02
AE 34	0,02±0,00	0,01±0,00	0,02±0,00	0,01±0,00
AE 38	0,24±0,02	0,20±0,07	0,12±0,01	0,20±0,07
AE 41	0,05±0,00	0,06±0,01	0,12±0,01	0,09±0,01

Los resultados se expresan como la media \pm SEM.

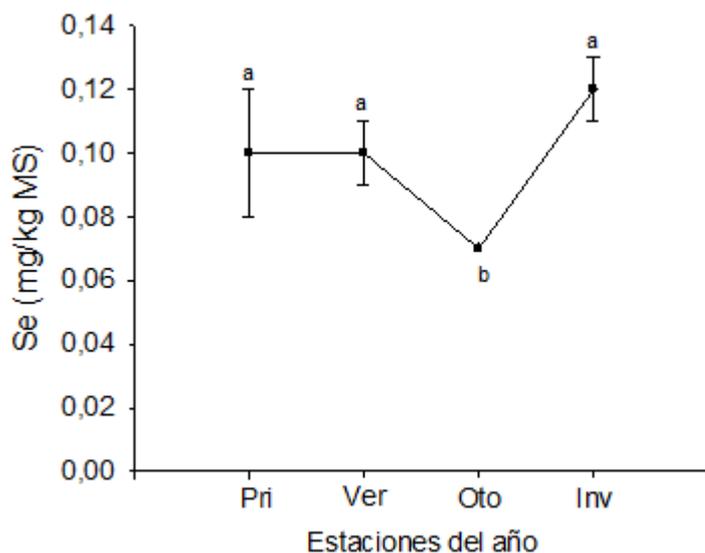


Figura 8. Contenido promedio de Se (mg/kg base seca) por estación del año. Los resultados se expresan como la media \pm SEM. Letras diferentes corresponden a diferencias significativas entre estaciones del año ($p < 0,05$).

3.2 EFECTO DEL SITIO GEOGRAFICO SOBRE EL CONTENIDO MINERAL

En el Cuadro 14, se muestran los promedios de cada mineral respecto del sitio geográfico o ambiente edáfico. Con respecto al efecto del ambiente edáfico sobre la concentración mineral del forraje, este incidió sobre el Cu, Mn, Zn y Se, mientras que para el P y el Fe no hubo diferencias significativas entre ninguno de los ambientes.

Cuadro 14. Contenido promedio de P (g/100g base seca), Cu, Mn, Zn, Fe y Se (mg/kg base seca) de las pasturas naturales por ambiente edáfico (Amb. Edá).

Amb. Edá.	P g/100g	Cu mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Fe mg/kg	Se mg/kg
AE 6	0,20a±0,03	3,7b±0,7	250bc±48	20,6ab±4,4	265a±65	0,22a±0,07
AE 7	0,22a±0,02	4,3ab±0,6	284c±36	15,0ab±2,3	203a±56	0,13bcde±0,01
AE 8	0,21a±0,03	3,6b±0,5	253cd±34	15,8ab±1,9	289a±86	0,06defg±0,02
AE 9	0,26a±0,04	3,9b±0,4	247bc±26	18,0ab±2,3	270a±76	0,10cde±0,02
AE 11	0,25a±0,04	3,2b±0,6	229bc±31	11,5ab±1,7	250a±114	0,10cdef±0,02
AE 12	0,23a±0,02	4,1b±0,9	155ab±31	8,9b±1,3	447a±151	0,16abc±0,02
AE 13	0,20a±0,03	4,3ab±0,6	155ab±27	17,0ab±1,9	179a±34	0,01g±0,00
AE 16	0,21a±0,02	6,1ab±2,1	234bc±37	17,7ab±3,1	467a±158	0,07defg±0,03
AE 25	0,24a±0,02	8,7a±3,1	225bc±26	18,0ab±2,7	363a±142	0,14bcd±0,03
AE 27	0,24a±0,03	4,3ab±0,6	215bc±33	19,9ab±3,9	154a±34	0,05efg±0,00
AE 30	0,24a±0,03	3,5b±0,7	232bc±39	16,1ab±2,4	268a±56	0,07defg±0,01
AE 31	0,24a±0,02	3,6b±0,7	179bd±29	12,7ab±2,1	179a±45	0,05defg±0,02
AE 34	0,19a±0,02	3,6b±0,4	258cd±42	14,2ab±1,8	328a±85	0,02fg±0,00
AE 38	0,20a±0,02	4,5ab±0,7	240bc±29	25,5a±9,3	199a±25	0,19ab±0,03
AE 41	0,26a±0,02	5,1ab±0,8	78a±12	17,1ab±2,1	270a±94	0,08cdefg±0,01

Los resultados se expresan como la media ± SEM

Letras diferentes corresponden a diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el caso del Cu, se podría decir que el AE 25 fue el que presentó el valor más alto. Dicho valor fue significativamente distinto a la mayoría de los ambientes. No obstante, también se puede observar que las máximas concentraciones de Cu halladas en el AE 25 no difirieron significativamente de algunos otros ambientes. De todas formas, a pesar de que las diferencias no sean estadísticamente significativas, hay valores considerablemente menores al máximo como el caso de los ambientes edáficos 7, 13, 27 y 38 los cuales tuvieron valores casi equivalentes al 50% menor respecto del valor observado en el AE 25.

Con relación a las diferencias en los contenidos promedio de Mn de los distintos ambientes edáficos, se destacan los bajos valores del ambiente 41, el cual fue significativamente distinto al de la gran mayoría de los ambientes del trabajo ($p < 0,05$). Los restantes ambientes no presentaron prácticamente

diferencias entre ellos, más allá que podría resaltarse los altos valores observados en el AE 7.

De las diferencias por sitio en las concentraciones de selenio se destacan los ambientes AE 6, AE 12, y AE 38 donde los valores promedio observados fueron los más altos y significativamente superiores a la mayoría de los ambientes restantes. Por otro lado, el ambiente AE 13 podría destacarse por presentar los valores más bajos más allá de no presentar diferencias significativas respecto de otros 7 ambientes edáficos.

Respecto del Zn, vale la pena resaltar las diferencias significativas observadas entre el AE 38 y el AE 12, ampliamente superior en favor del primero.

Finalmente, como puede observarse en el Cuadro 20 no existieron diferencias significativas entre ambientes edáficos cuando se comparan los valores promedio de fósforo y hierro.

4 DISCUSIÓN

4.1 VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO Y MINERALES TRAZA DE LAS PASTURAS NATURALES EN LAS DISTINTAS ESTACIONES DEL AÑO

El efecto de la estación del año, en combinación con el estado fisiológico de las pasturas ha sido de suma relevancia en la determinación del contenido mineral de las pasturas naturales, ya que para cada uno de los minerales considerados se registraron diferencias significativas al menos entre dos estaciones. El impacto de la estación del año y el estado fisiológico de las pasturas ya ha sido previamente identificado por otros autores como uno de los factores de mayor peso sobre el contenido mineral de las pasturas.

Tanto el cobre como el manganeso presentaron sus mayores concentraciones en planta durante la primavera y sus menores concentraciones en verano, dejando los valores de otoño e invierno como intermedios. Esta tendencia estaría en desacuerdo con trabajos nacionales previamente realizados en campo natural donde las mayores concentraciones tendieron a observarse durante el otoño e invierno con posteriores caídas en las concentraciones durante la primavera y el verano (Ungerfeld, 1998). Para el caso del cobre, hay trabajos realizados a nivel internacional que exponen la posible no ocurrencia de fluctuaciones relevantes en las concentraciones en planta en las distintas estaciones del año (Grace, 1983).

Por su parte, las concentraciones de zinc y hierro observadas en las distintas estaciones del año presentaron un comportamiento similar. Específicamente, la primavera y el invierno fueron las estaciones donde las concentraciones de dichos minerales fueron superiores, mientras que durante el verano y el otoño las concentraciones fueron menores. Los patrones de variabilidad de las concentraciones de zinc en planta observados en el trabajo están parcialmente de acuerdo con lo registrado en trabajos anteriores a nivel nacional, debido a que las mayores concentraciones fueron atribuidas al

período otoño-invernal y las menores concentraciones al período estival (Ungerfeld, 1998). A su vez, parte de la bibliografía internacional consultada expone que hay una tendencia a no observar diferencias estacionales para el zinc (Underwood, 1981). Los patrones de variabilidad estacional del hierro también están parcialmente de acuerdo con la bibliografía nacional ya que las mayores concentraciones se observaron en el invierno y las menores en primavera-verano. De todas maneras, es frecuente observar respecto de las concentraciones de hierro en planta una gran amplitud en los valores estacionales, más allá de que estadísticamente las diferencias sean consideradas no significativas.

Los niveles de selenio en planta cuantificados en el trabajo mostraron muy poca variabilidad, donde solamente podría resaltarse las concentraciones mínimas observadas en el otoño, ya que las restantes estaciones no presentaron diferencias significativas entre ellas. Los datos arrojados en este trabajo con relación a la variación estacional de selenio en campo natural constituyen un gran aporte al objetivo de caracterizar el campo natural uruguayo basado principalmente en la falta de información previa respecto de este micromineral en campo natural.

El fósforo, al igual que el selenio, no tuvo grandes variaciones en sus concentraciones estacionales, siendo los valores de otoño, invierno y verano muy similares, pero aumentando significativamente sobre la primavera. Sin embargo, la información resultante de trabajos nacionales expresa una tendencia heterogénea de las fluctuaciones de las concentraciones de fósforo en las pasturas, donde algunos observaron diferencias estacionales con superioridad en otoño-invierno (Berreta, 1998) y otros observaron que dichas concentraciones se mantenían incambiadas (Ungerfeld, 1998).

Se ha previamente discutido la influencia de factores climáticos que independientemente de su incidencia sobre el estado fisiológico de las pasturas afectan las concentraciones de minerales, donde podría resaltarse el impacto del régimen de precipitaciones sobre minerales como el fósforo y

el hierro (Aregheore et al., 2003; National Research Council, 2000). No obstante, resulta difícil la tarea de discutir el efecto clima o estación del año sobre el valor nutritivo y el contenido mineral de las pasturas naturales sin hacer hincapié en su incidencia sobre el estado fisiológico de las mismas.

Conforme a lo expresado en el párrafo anterior y en el capítulo de revisión bibliográfica, a medida que las distintas especies forrajeras transitan de un estado vegetativo hacia reproductivo ocurre una pérdida de calidad nutricional debido a una disminución de la relación hoja/tallo, donde aumenta la proporción relativa de pared celular y se diluye el contenido de minerales (Underwood, 1981).

En este contexto, sería de esperar que, entre el verano y el otoño, cuando las especies invernales y estivales respectivamente pasan a su estado reproductivo las concentraciones de minerales disminuyan. Lo contrario sucedería durante el período invierno-primavera cuando las especies se encuentran en estado vegetativo. La información proporcionada respecto de la composición específica del tapiz vegetal de los ambientes edáficos bajo estudio muestra una clara predominancia de gramíneas estivales, representando en la mayoría de los ambientes entre un 60-70% aproximadamente.

Los patrones de variabilidad estacional en planta que presentaron los minerales objeto de este estudio están fuertemente alineados con lo que a priori sería de esperar para tapices vegetales predominantemente estivales. Las máximas concentraciones observadas en primavera, y las mínimas concentraciones en verano y otoñales, coinciden con la evolución fenológica de las especies estivales. Una de las diferencias más pronunciadas respecto de trabajos nacionales anteriores es el hecho de que en éstos últimos la primavera prácticamente nunca representaba los valores máximos y el otoño en general era identificado junto con el invierno como las estaciones donde las concentraciones minerales en planta eran máximas. Estas diferencias podrían atribuirse a diversos factores, dentro de los cuales podría

mencionarse la temperatura ambiental promedio del año, las fechas de corte y la composición específica del tapiz vegetal.

Las fechas de corte pueden ser parte de la explicación de las diferencias registradas con respecto a trabajos previos nacionales, ya que las fechas de extracción de muestras en este trabajo coincidieron con el período inicial de la estación, tanto para el caso del otoño como para el caso de la primavera. Esto podría determinar que la concentración mineral del otoño fuera como de verano tardío, y que la primavera fuera un invierno tardío. Consecuentemente los valores reales del otoño podrían estar siendo subestimados y los correspondientes a la primavera sobrestimados.

La posibilidad de la ocurrencia de temperaturas estivales promedio más altas respecto de lo normal aceleraría el ingreso de las especies forrajeras al estado reproductivo, derivando en una pérdida de calidad más temprana y de mayor magnitud (mayor flujo de carbohidratos fotosintetizados hacia la pared celular). De hecho, este es uno de los grandes problemas con verdes de verano como el sorgo forrajero, el cual pierde calidad nutricional muy rápidamente en veranos con mayores temperaturas promedio. Más allá de poder constituir parte de las razones que expliquen estas diferencias observadas con trabajos anteriores sobre todo a nivel nacional, el efecto del calentamiento global sobre las temperaturas anuales promedio podría abrir un interesante debate con relación al posible impacto sobre la calidad nutricional de las pasturas naturales y la composición específica de los tapices vegetales. Datos expuestos por Bidegain (2018) de un trabajo realizado en conjunto entre Inumet, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria y NASA arrojan que el año 2017 fue el año más cálido desde 1950 hasta la actualidad. A su vez, se afirma que los años 2015, 2016 y 2017, han sido catalogados como los tres años más cálidos desde 1950 a la fecha. Si a eso se le suma el hecho que de los 18 años más cálidos registrados desde 1950, 17 ocurrieron en lo que va del siglo, esta tendencia hacia un aumento de la temperatura promedio anual

podría incidir sustancialmente en la composición mineral estacional de las pasturas nativas.

4.2 VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE FÓSFORO Y MINERALES TRAZA DE LAS PASTURAS NATURALES ENTRE LOS DISTINTOS AMBIENTES EDÁFICOS

El efecto que ejerció el ambiente edáfico sobre el contenido de minerales de las muestras analizadas en el trabajo no fue tan relevante como sí lo fue la estación del año. El ambiente edáfico no incidió sobre las concentraciones de fósforo y hierro, mientras que si lo hizo para zinc, manganeso, selenio y cobre.

Con relación al cobre, la principal diferencia significativa evidenciada entre ambientes edáficos fue la superioridad del AE 25 respecto de más de la mitad de los ambientes. La información relevada sobre trabajos realizados a nivel nacional marca la inexistencia del efecto textura del suelo sobre los contenidos de cobre en planta (Ungerfeld, 1998), lo cual es acorde a lo observado en este trabajo, ya que tanto la textura como el pH del suelo no han sido factores relevantes en la determinación de los niveles de cobre en planta. A pesar de que previamente ha sido reportada una tendencia a observar menores niveles de Cu en forrajes creciendo sobre suelos del Cristalino (Ungerfeld, 1998), en este trabajo el material madre no incidió sobre las concentraciones de Cu en el tapiz vegetal. Por otro lado, cuando se analiza la descripción de la composición botánica de los ambientes edáficos, se encuentran ciertas coincidencias con trabajos previos. En base a lo registrado previamente sobre el efecto del tapiz vegetal en las concentraciones de cobre, podría decirse que aquellos tapices con altas proporciones relativas de especies ciperáceas y otras como el *Axonopus Affinis*, serán los ambientes con menores niveles de cobre. También podría decirse que cuanto mayor sea la presencia de leguminosas mayores serían los niveles de cobre a esperar (Adams 1975), a pesar de que los trabajos nacionales reportan una tendencia a favor de las leguminosas, pero sin ser estadísticamente significativas. Los ambientes que difirieron significativamente del AE 25, es decir aquellos

ambientes con las menores concentraciones de cobre, presentaron en su tapiz vegetal una proporción de leguminosas prácticamente inexistente y altas proporciones de ciperáceas y *Axonopus Affinis* respecto de los restantes ambientes.

Otro de los minerales cuyas concentraciones presentaron diferencias significativas a la hora de comparar los ambientes edáficos fue el manganeso. Entre las diferencias observadas, la más destacable fue la inferioridad del AE 41 respecto de casi todos los ambientes. Los bajos valores de Mn registrados en este ambiente podrían deberse tanto a la textura y pH del suelo, así como también a la composición específica del tapiz. Ya ha sido previamente reportado el impacto del pH, la textura del suelo y el material madre sobre las concentraciones de Mn en planta, donde forrajes creciendo sobre suelos arenosos y ácidos de las Areniscas tienden a concentrar Mn en mayores cantidades respecto de suelos pesados de Fray bentos (Ungerfeld, 1998, Underwood, 1981, Grace, 1983). Justamente, la textura arcillosa y un pH más alto respecto del resto de los ambientes podrían ser parte de la explicación de estos resultados. Respecto del material madre, no se evidenció que fuera un factor influyente sobre los niveles de Mn en planta. A su vez, la composición específica del tapiz vegetal también podría estar contribuyendo con las diferencias observadas ya que en el AE 41 se registró una proporción relativamente alta de leguminosas, *Bromus Auleticus* y *Coelorachis Selloana*. Estas especies han sido identificadas anteriormente como de baja capacidad de acumular Mn (Ungerfeld, 1998).

El selenio por su parte también fue influenciado por el efecto ambiente edáfico. Específicamente, lo más notable fue la superioridad de los ambientes AE 6 y AE 38, mientras que el AE 13 y AE 34 fueron significativamente inferiores a la mayoría de los ambientes restantes. Con respecto a la influencia de las características edáficas sobre las concentraciones de selenio en planta, la bibliografía consultada no es unánime con los resultados expuestos ya que algunos encontraron mayores concentraciones de Se en suelos livianos

(Ungerfeld, 1998) y otros encontraron mayores concentraciones en suelos arcillosos (Smart et al., 1981). En el presente estudio, los resultados no muestran diferencias importantes entre suelos arcillosos y más livianos, aunque sí podría hablarse de una tendencia inversa respecto del pH. Cuando se agrupan los ambientes que tendieron a concentrar menos selenio en planta (con AE 13 y AE 34 incluidos) y por otro lado los que concentraron mayores cantidades (AE 6 y AE 38 incluidos), se observa que, a medida que el pH del suelo aumenta las concentraciones de Se en planta disminuyen. A pesar de que esto pueda ser solamente una tendencia ya que gran parte de los ambientes no difieren significativamente entre ellos, podría dejar abierta la posibilidad de que el pH del suelo tenga una influencia considerable sobre los niveles de Se en planta, hecho que ya ha sido previamente reportado (Silva et al., 2000).

Con relación a las concentraciones de Zn en planta, se registró una diferencia significativa entre el AE 38 y el AE 12, siendo este último inferior al primero. Los resultados surgidos de la investigación nacional evidencian que tanto el pH como la textura del suelo no repercutirían sobre las concentraciones de Zn en planta (Ungerfeld, 1998; Berreta, 1998), lo cual estaría en concordancia con lo observado en este trabajo. Contrariamente, resultados de trabajos internacionales muestran que el pH del suelo efectivamente podría influir sobre las concentraciones de Zn en el forraje, siendo estas últimas mayores cuando menor es el pH (Mitchell, 1957). En adición, la composición botánica del tapiz vegetal podría determinar variaciones en los niveles de Zn, hecho que ha sido validado a partir de datos nacionales e internacionales (Ungerfeld, 1998; Underwood, 1981). En este caso, no se han identificado diferencias en los niveles de Zn en el forraje que pudiera ser atribuido a la composición específica del tapiz vegetal.

La inexistencia del efecto “ambiente edáfico” sobre las concentraciones de fósforo y hierro difiere principalmente respecto de trabajos anteriores en el efecto de la textura y pH del suelo. En el caso particular del P, algunos autores

registraron mayores concentraciones en suelos arcillosos de Fray Bentos y Yaguarí (Ungerfeld, 1998), mientras que otros autores no encontraron diferencias (Berreta, 1998). Luego, en el caso del Fe, los resultados observados en este trabajo están en desacuerdo con trabajos nacionales previos donde la tendencia marcó una superioridad en favor de los suelos arcillosos y de mayor pH, a pesar de que las diferencias no sean estadísticamente significativas.

4.3 ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DATOS OBSERVADOS CON DATOS NACIONALES E INTERNACIONALES

El cuadro 15 compara la concentración de P y minerales traza promedio, máxima y mínima obtenidos en este trabajo con relación a los valores obtenidos en otros trabajos nacionales e internacionales. Las primeras filas corresponden a los resultados del presente trabajo.

Cuadro 15. Cuadro comparativo entre los resultados obtenidos y resultados de otros trabajos nacionales e internacionales.

		Cu mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Fe mg/kg	Se mg/kg	P g/100g
	Promedio	4,4	216	17	275	0,10	0,23
	Máximo	37,1	648	122	1735	0,87	0,57
	Mínimo	0,9	19	2	42	0,01	0,04
(Ungerfeld, 1998)	Promedio	6,8	223	24	746	-*	0,14
	Máximo	33,0	753	65	3741	-	0,42
	Mínimo	0,0	24	6	102	-	0,02
(Piaggio y Uriarte, 2005)	Promedio	7,1	187	26	738	-	0,12
	Máximo	29,8	753	65	3741	-	0,41
	Mínimo	0,7	28	6	102	-	0,05
(Schlegel et al., 2016)	Promedio	8,1	65	28	207	0,02	0,41
	Máximo	16,1	236	53	1719	0,16	0,67
	Mínimo	1,9	17	16	39	0,00	0,16
(Ahola et al., 2007)	Promedio	3,9	68	18	428	0,26	-
(Simic, 2015)	Promedio	6,6	160	32	200	0,02	0,22
	Máximo	12,0	500	60	2100	0,07	0,37
	Mínimo	4,5	40	19	50	0,01	0,11

-* Sin registro de datos.

Como puede observarse en el cuadro, las concentraciones de P de trabajos nacionales previos son sustancialmente menores a las concentraciones de P observadas en este trabajo y en trabajos internacionales. De todas formas, si se promediaran todos los datos nacionales y se compararan con datos internacionales, las concentraciones de P del campo natural en Uruguay podrían catalogarse como baja respecto de otros campos naturales. El Fe y el Mn a pesar de presentar en todos los trabajos un rango muy amplio en cuanto a los valores máximos y mínimos de sus concentraciones en planta, el campo natural en Uruguay presenta cantidades superiores de dichos minerales. Por su parte, el Cu y el Zn que estarían en bajas concentraciones en el campo natural uruguayo muestran concentraciones similares en otros campos naturales, a excepción de los datos presentados por Simic, 2015. El Se, para los pocos valores que se poseen con relación a las concentraciones de este micromineral en campo natural, se podría decir que hay una gran variabilidad, pero que a nivel nacional el campo natural presenta valores intermedios respecto de otros campos naturales.

Como conclusión, podría decirse en base a los datos presentados en el cuadro 15, que el campo natural en general es pobre en Cu y Zn, rico en Mn y Fe, posee niveles aceptables de P y niveles variables de Se. Los bajos niveles de Cu y Zn observados coinciden con los resultados del contenido de dichos microminerales de la carne vacuna uruguaya proveniente de animales terminados en campo natural. En Uruguay, el campo natural a diferencia de otros países tiene una mayor concentración de Fe y Mn, una menor concentración de P y niveles de Se intermedios. Para comprender las razones que explican estas diferencias, habría que analizar las diferencias entre los campos considerados para la obtención de los datos del cuadro, siendo la caracterización edáfica, composición botánica, clima y el manejo de la fertilización los principales factores que determinan dichas diferencias.

4.4 CONTRIBUCIÓN DEL CAMPO NATURAL A LA NUTRICIÓN MINERAL DE DISTINTAS CATEGORÍAS DE GANADO DE CARNE

Con el objetivo de capitalizar los resultados obtenidos en una formulación más precisa de los suplementos minerales utilizados en la producción de carne vacuna sobre campo natural y poder así aproximarse a una nutrición mineral de precisión en estos sistemas de alimentación, se realizó un cuadro comparativo entre los requerimientos minerales de distintas categorías de ganado de carne y los resultados obtenidos en este trabajo.

Para la estimación de los requerimientos minerales de distintas categorías de ganado de carne se partió de los siguientes supuestos:

- La categoría recria corresponde a machos castrados y hembras con menos de un año de vida y un peso vivo aproximado de 200 kg.
- La categoría terminación corresponde a machos castrados y hembras con más de un año de vida y un peso vivo aproximado de 400 kg.
- En la categoría vacas de cría se consideraron dos estados fisiológicos distintos, gestación en el último tercio y lactación temprana. El peso promedio estimado fue de 450 kg de peso vivo, y la producción de leche promedio entre 4,5 y 6,5 litros/vaca/día. Durante verano, otoño e invierno se asumió que las vacas están en gestación y la primavera corresponde a los primeros 90 días de lactación.
- Para las categorías de recria y terminación se asumieron las siguientes ganancias diarias estacionales: 650 g/d en primavera, 300 g/d en verano, 400 g/d en otoño y -250 g/d en invierno (Simeone y Beretta, 2009).

Cuadro 16. Aporte de P y minerales traza del campo natural (expresado en promedio de los 15 sitios, por estación del año) y el requerimiento de las distintas categorías de ganado de carne (extraído del National Research Council, 2000).

Aporte del Campo Natural		Requerimientos	
		Recría y Terminación	Gestación y Lactancia temprana
Estación	Cu mg/kg MS		
Primavera	7,6	10	10
Verano	2,3	10	10
Otoño	4,2	10	10
Invierno	4,0	10	10
	Mn mg/kg MS		
Primavera	332	20	40
Verano	116	20	40
Otoño	182	20	40
Invierno	241	20	40
	Zn mg/kg MS		
Primavera	24,6	30	30
Verano	10,6	30	30
Otoño	13,0	30	30
Invierno	19,5	30	30
	Fe mg/kg MS		
Primavera	451	50	50
Verano	102	50	50
Otoño	225	50	50
Invierno	310	50	50
	Se mg/kg MS		
Primavera	0,102	0,10	0,10
Verano	0,099	0,10	0,10
Otoño	0,069	0,10	0,10
Invierno	0,121	0,10	0,10
	P (%MS)		
Primavera	0,28	0,25-0,15*	0,20
Verano	0,19	0,20-0,10	0,15
Otoño	0,20	0,20-0,10	0,15
Invierno	0,22	0,20-0,10	0,15

*El primero de los valores en los requerimientos de fósforo de “recrea y terminación” corresponde a la categoría de recrea y el segundo a la categoría de terminación.

De este cuadro comparativo entre aporte del campo natural estudiado y los requerimientos estimados para las categorías consideradas permite observar que el contenido de Zn y el Cu no permitiría cubrir los requerimientos y sería insuficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales asociados a las performances preestablecidas de las distintas categorías de ganado consideradas. El Mn y el Fe no serían una limitante nutricional en dietas basada en campo natural en ningún momento del año, hecho que concuerda con resultados de trabajos anteriores donde los valores medios de estos minerales serían suficientes para satisfacer los requerimientos de los animales (Ungerfeld, 1998).

El Se sería limitante durante el otoño y el verano. Con respecto al P, las concentraciones no serían deficitarias para las categorías de recrea y engorde. Para el caso de la categoría de cría, las necesidades expuestas en el cuadro, las cuales fueron extraídas del National Research Council, 2000, no contemplan las necesidades extras de P en los casos donde además de estar gestando la vaca podría estar ganado peso. En el caso que la vaca efectivamente estuviera ganado peso, el aporte del campo natural podría ser insuficiente.

Las deficiencias de Cu en sistemas donde la base nutricional es el campo natural no es algo novedoso, ya que dicho mineral es frecuentemente catalogado como insuficiente en dietas de distintas categorías (Ungerfeld, 1998, Mattioli et al., 2013). Los resultados expuestos por este trabajo están alineados con esto ya que el Cu es deficiente para todas las categorías durante todo el año.

Como ya se ha mencionado anteriormente, en la producción de rumiantes en sistemas pastoriles extensivos a nivel mundial, el fósforo ha sido el mineral

más frecuentemente catalogado como deficiente (Underwood, 1981; McDowell, 1985; Mattioli et al., 2013; Torre et al., 2005; Ungerfeld, 1998). Sin embargo, en este trabajo se ha generado información que permitiría abrir una discusión al respecto ya que en términos generales el P no figuraría como deficiente en ningún momento del año. El P es uno de los minerales cuyas concentraciones son seriamente afectadas por las precipitaciones ocurridas, siendo dichas concentraciones menores en años más secos (National Research Council, 2000). De los datos extraídos del banco de datos agroclimáticos del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria sobre precipitaciones acumuladas del período de muestreo y el promedio anual desde 1978 al 2017, puede inferirse que las precipitaciones acumuladas durante el período de muestreo (1657 mm) y en la región geográfica donde se concentran la gran mayoría de los ambientes considerados fueron superiores al promedio anual del período 1978-2017 (1621 mm). En este trabajo los valores anuales promedio de P para la totalidad de los ambientes edáficos fue de 0,23% de la MS. Estos valores son ampliamente superiores a los registrados por el promedio de trabajos nacionales realizados entre 1941, 1944, 1965, 1980, 1981, 1982, 1984 y 1985, donde el campo natural presentó una concentración de P de 0,14% (Ungerfeld 1998). Para los años que se posee registro de precipitaciones acumuladas anuales en el banco de datos agrometeorológicos del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria como en 1980, 1981, 1982, 1984 y 1985, los mm promedio fueron 1477, 1546, 1177, 1630 y 1433 respectivamente. Podría decirse que estos valores de precipitaciones acumuladas promedio no son lo suficientemente bajos como para explicar las diferencias observadas en la concentración de P de las pasturas naturales entre la información nacional previa y la de este trabajo. De todas formas, la superioridad de precipitaciones acumuladas durante el período de extracción de muestras (Julio 2016- junio 2017) respecto del promedio de los últimos 40 años, podría explicar en parte las diferencias observadas respecto de los niveles de P en planta.

Respecto del zinc, podemos destacar que algunos de los resultados encontrados como los bajos valores promedios de Zn y la consecuente insuficiencia para satisfacer las exigencias animales es una ratificación de resultados previos para el país (Ungerfeld, 1998).

Si bien el Se aparecería como suficiente durante al menos la mitad del año para todas las categorías, es importante aclarar que hay una variabilidad importante en cuanto a los valores promedio por ambiente edáfico. Justamente hay algunos ambientes que presentan concentraciones de Se en planta suficientes para los animales durante todo el año, mientras que por otro lado hay algunos ambientes que son deficientes en Se durante la totalidad del año.

Por otro lado, a modo de reflexión, el balance realizado a partir de los datos obtenidos sobre la concentración mineral de las muestras de forraje es solamente una aproximación a lo que realmente podría estar sucediendo.

En primer lugar, sería de suma importancia repetir el trabajo durante al menos 2 a 3 años más, y en la medida de lo posible incluir una mayor cantidad de ambientes edáficos que estén mejor distribuidos espacialmente de manera tal que se abarquen ambientes más contrastantes. De esta manera se arribaría a una caracterización mineral de las pasturas naturales más acertada.

En segundo lugar, el valor bruto de la concentración mineral de las pasturas no nos proporciona toda la información necesaria para inferir con buena precisión sobre el estatus mineral de los animales sobre campo natural. Para conocer el aporte real de la dieta base es fundamental incluir información sobre factores como la composición mineral del agua de bebida, la biodisponibilidad de los minerales en el forraje, y el manejo del pastoreo efectuado en cada establecimiento. A pesar de que la bibliografía indique que la biodisponibilidad declina a medida que aumenta la proporción de pared celular, sería necesario conocer con exactitud la proporción biodisponible de los minerales en planta si pretendemos hacer un ajuste preciso en la nutrición

mineral del ganado. Por su parte, la asignación de forraje por animal, el manejo de la carga animal y la estructura de la pastura, nos proporcionarían información acerca del comportamiento ingestivo de los animales. Aspectos como la profundidad del bocado y la selección del forraje ingerido por parte del animal nos permitirán comprender cuál es la correlación entre la concentración mineral de las muestras obtenidas a una altura de corte de 2 cm del suelo y la concentración mineral del bocado efectuado por parte de los animales.

Si el objetivo final desde el punto de vista nutricional es aproximarnos a una nutrición de precisión, no cabe duda de que muestrear las pasturas es un paso fundamental. Un punto clave a la hora de discutir y promover la importancia del muestreo a nivel de cada establecimiento, es el de poder estimar la rentabilidad de dicho muestreo. Para ello, es necesario conocer de manera precisa la magnitud de las fluctuaciones del contenido mineral del forraje debido a la estación del año, a variaciones climáticas interanuales y debido al ambiente edáfico. Esta información, en conjunto con datos del comportamiento ingestivo de los animales producto del manejo, nos permitiría comprender cada cuantos años es necesario muestrear el campo y cuál es el protocolo ideal de muestreo que refleja con mayor exactitud el aporte mineral de las pasturas.

A partir de lo mencionado en el párrafo anterior, se podría presupuestar el costo del muestreo, que, sumado al beneficio del reajuste en la formulación del suplemento mineral utilizado, producto del conocimiento del aporte mineral del campo natural, nos arrojaría información esencial sobre la rentabilidad del muestreo.

Finalmente, a la hora de seleccionar el suplemento mineral a utilizar, es necesario contemplar ciertos factores como la biodisponibilidad de las fuentes minerales, la presentación del suplemento (bloque o polvo), la palatabilidad y la zona de suministro, los cuales determinarán el consumo del suplemento en cuestión (McDowell, 1996).

5 CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se puede concluir que:

1. Los contenidos de fósforo y minerales traza de las pasturas naturales presentó variaciones importantes en las distintas estaciones del año, siendo mayores en el período invierno-primavera y durante verano-otoño.
2. Los contenidos de cobre, Zn, selenio y manganeso de las pasturas naturales fueron distintos entre los ambientes edáficos. La composición específica del tapiz vegetal, el pH y la textura del suelo aparecen como factores de relevancia a la hora de evaluar las razones de las diferencias entre ambientes.
3. La comparación entre el aporte obtenido del campo natural y el requerimiento del animal permite concluir que el aporte de cobre y zinc de las pasturas naturales es insuficiente para satisfacer los requerimientos de las distintas categorías de ganado consideradas durante todo el año, mientras que las concentraciones de fósforo, hierro y manganeso si serían suficientes. El aporte de selenio sería insuficiente durante el período verano-otoño para dichas categorías.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Adams RS. 1975. Variability in mineral and trace mineral content of dairy cattle feeds. *Journal of Dairy Science*. 58 (10) :1538–1548.
- Ahola JK, Whittier JC, Mackay WS, Sampaio P, Engle TE. 2007. Characterization of forage trace mineral concentration by season in diets of beef cows grazing native range in eastern Colorado. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science*. 58: 335-338.
- Aregheore EM, & Singhe E. 2003. Seasonal variation of macro and micromineral contents of some ruminant browse species from five countries in the South Pacific Region. *Tropical Agriculture*. 80(2): 69-76.
- Bailey D, Provenza F. 2008. Mechanisms determining large-herbivore distribution. En: Prins, H. y Van Langevelde, F. (eds.) *Resource Ecology: Spatial and Temporal Dynamics of Foraging*. Wageningen: Springer, Dordrecht. (Wageningen UR Frontis Series; 23). 7-28.
- Bailey D, Gross J, Laca E, Rittenhouse L, Coughenour M, Swift D, Sims P. 1996. Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. *Journal of Range Management*. 49(5): 386-400.
- Barceló Coll J, Nicolás G, Sabater B & Sánchez R. 1995. Nutrición Mineral. En: *Fisiología vegetal*. Madrid: Ediciones Pirámide, S.A. (1). 150-167.
- Berreta EJ. 1998. Seminario de actualización en tecnologías para basalto. [En línea]. 20 febrero 2018. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630011107100024.pdf>

- Bidegain M. 2018. El 2017 fue el año más cálido en Uruguay desde que hay registros. [En línea]. 4 Julio 2018. <https://www.búsqueda.com.uy/nota/el-2017-fue-el-ano-mas-calido-en-uruguay-desde-que-hay-registros>
- Bronner F. 1998. Calcium absorption-a paradigm for mineral absorption. *Journal of Nutrition*. 128(5): 917-920.
- Cabrera MC, Saadoun A. 2012. Calidad nutricional de la carne bovina producida en Uruguay. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 21 (2):119-130
- Cabrera MC, Ramos A, Saadoun A, Brito G. 2010. Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford steers fed pasture in Uruguay. *Meat Science*. 84(3):518-528.
- Carriquiry M, Espasandín A, Soca P, Astessiano AL., Casal A, Gutiérrez V, Laporta J, López-Mazz C, Pérez-Clariget R, Bielli A, Meikle A, Naya H, Quintans G, Viñoles C, Scarsi A, Guilherme JM. 2013. Metabolismo de la vaca de carne y su cría en pastoreo de campo nativo: Un enfoque endócrino-molecular. [En línea]. 5 marzo 2018. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1365/1/18429101213135033.pdf>
- Cecarini V, Gee J, Fioretti E, Amici M, Angeletti M, Eleuteri AM, Keller JN. 2007. Protein oxidation and cellular homeostasis: emphasis on metabolism. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1773(2): 93-104.
- Corah L. 1996. Trace mineral requirements of grazing cattle. *Animal Feed Science and Technology*. 59: 61-70.
- Daun C, Akesson B. 2004. Comparison of glutathione peroxidase activity, and of total and soluble selenium content in two muscles

from chicken, turkey, duck, ostrich and lamb. *Food Chemistry*. 85(2): 295-303.

Descalzo AM, Rossetti L, Grigioni G, Irureta M, Sancho AM, Carrete J, Pensel NA. 2007. Antioxidant status and odour profile in fresh beef from pasture or grain feed cattle. *Meat Science*. 75(2): 299-307.

Descarga CO, Piscitelli HG, Zielinsky GC. 1997. Sanidad en invernada. Parasitosis gastrointestinal, queratoconjuntivitis infecciosa, enfermedades virales, desbalances minerales, plan sanitario. Invernada bovina en zonas mixtas. Agro2 de Córdoba. INTA, Centro Regional Córdoba. EEA Marcos Juárez. 141-164.

Emanuele SM, Staples CR, Wilcox CJ. 1991. Extent and site of mineral release from six forage species incubated in mobile dacron bags. *Journal of Animal Science*. 69(2):801-810.

Fairweather-Tait SJ. 1997. From absorption and excretion of minerals...to the importance of bioavailability and adaptation. *British Journal of Nutrition*. 78(2): S95-S100.

Fiske CH, Subarrow Y. 1927. The colourimetric determination of phosphorus. *Journal of Biological Chemistry*. 66:375-400.

Gatellier P, Mercier Y, Renner M. 2004. Effect of diet finishing mode (pasture or mixed diet) on antioxidant status of Charolais bovine meat. *Meat Science*. 67(3): 385-394.

Grace ND. 1983. En: Grace, ND. (eds.). "The mineral requirements of grazing ruminants". New Zealand: New Zealand Society of Animal Production. Occasional Publication N° 9: 56-83.

Greene LW, Fontenot JP & Webb KE. 1983. Site of magnesium and other macromineral absorption in steers fed high levels of potassium. *Journal of Animal Science*. 57(2): 503-540.

- Insani EM, Eyherabide A, Grigioni G, Sancho AM, Pensel NA, Descalzo AM. 2008. Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated display of beef produced in Argentina. *Meat Science*. 79(3): 444-452.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. 2018. Banco de datos agrometeorológicos. [En línea]. 25 Julio 2018. <http://www.inia.uy/gras/Clima/Precipitaci%C3%B3n-nacional/Mapas-de-precipitaci%C3%B3n-acumulada>.
- Kemp A, Deijs WB, Hemkes OJ, & Van Eys AJH. 1961. Hypomagnesemia in milking cows: Intake and utilization of magnesium from herbage by lactating cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 9(2): 134-149.
- Kovacs CS, Kronenberg HM. 1997. Maternal-fetal calcium and bone metabolism during pregnancy, puerperium and lactation. *Journal of Nutrition*. 18(6):54-60.
- Lannek N, & Lindberg P. 1975. Vitamin E and selenium deficiencies of domestic animals. *Advances in Veterinary Science and Comparative Medicine*. 19: 27-33.
- Larraín RE, Schaefer DM, Richards MP, Reed JD. 2008. Finishing steers with diets based on corn, high tannin sorghum or a mix of both: Color and lipid oxidation in beef. *Meat Science*. 79(4): 656-665.
- Matés JM, Pérez-Gómez C, Núñez de Castro I. 1999. Antioxidant enzymes and human diseases. *Clinical Biochemistry*. 32(8): 301-318.
- Mattioli GA, Fazzio LE, Picco SJ, Relling AE, Rosa DE. 2013. En: Mattioli GA, Fazzio LE, Picco SJ, Relling AE, Rosa DE. (eds.). *Nutrición mineral y vitamínica de bovinos*. La Plata: CCB Academic Press, pp. 264.

- McDowell LR. 2002. Recent advances in minerals and vitamins on nutrition of lactating cows. *Pakistan Journal of Nutrition*. 1(1): 8-19.
- McDowell LR. 1996. Feeding minerals to cattle on pasture. *Animal Feed Science and Technology*. 60(3): 247-271.
- McDowell LR. 1992. En: McDowell LR. (ed.). *Mineral in animal and human nutrition*. San Diego: Academic Press, pp. 524.
- McDowell LR. 1985. En: McDowell LR. (ed.). *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. New York: Academic Press, pp. 189-212.
- Mercier Y, Gatellier P, Renerre M. 2004. Lipid and protein oxidation in vitro, and antioxidant potential in meat from charolais cows finished on pasture or mixed diet. *Meat Science*. 66(2): 467-473.
- Millar KR. 1983. Selenium (Se). En: Grace ND. "The mineral requirements of grazing ruminants". New Zealand: New Zealand Society of Animal Production. Occasional Publication N° 9: 38-47.
- Minson DJ. 1990. Cooper. En: Minson, D.J. (ed.). *Forage in Ruminant Nutrition*. Sydney: Academic Press, pp. 316-324.
- Mitchell RL. 1957. The trace element content in plants. *Research*. United Kingdom. 10: 357.
- Morrisey PA, Sheehy PJA, Galvin K, Kerry JP, Buckley DJ. 1998. Lipid stability in meat and meat products. *Meat Science*. 49(S1): 73-86.
- National Research Council (NRC). Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition. Committee on Animal Nutrition. Board on Agricultural and Natural Resources. 2001. Minerals. En: Nutrient

- Requirements of Dairy Cattle. Washington, D.C: National Academies Press (7). pp. 105-161.
- National Research Council (NRC). Subcommittee on Beef Cattle Nutrition. Committee on Animal Nutrition. 2000. Minerals. En: Nutrient Requirements of Beef Cattle. Washington, D.C: National Academies Press (7). pp. 57-74.
- Pansu D, Duffus C, Bellaton C, Bronner F. 1993. Solubility and intestinal transit time limit calcium absorption in rats. *Journal of Nutrition*. 123(8): 1396-1404.
- Piaggio L, Uriarte G. 2005. Nutrición mineral de los ovinos en pastoreo en el Uruguay. *Producción ovina*. 17: 5-20.
- Piper CS. 1942. Investigations on copper deficiencies in plants. *The journal of Agricultural Science*. 32(2): 143-178.
- Ramos AD. 2007. Variación estacional, solubilidad potencial, ruminal e intestinal de macro y microminerales de la alfalfa (*Medicago Sativa*). Estudio in vitro e in situ. Tesis de Maestría en Área Biología. Montevideo, Uruguay. Facultad de Ciencias, Universidad de la República. pp. 4-76.
- Salisbury FB, Ross CW. 1994. Nutrición mineral. En: Salisbury FB, Ross CW. (Eds.). *Fisiología vegetal*. México: Grupo Iberoamérica (4). pp 141-148.
- Savage DA, Heller VG. 1947. Nutritional Qualities of Range Forage Plants in Relation to Grazing with Beef Cattle on the Southern Plains Experimental Range. United States Department of Agriculture. Technical Bulletin. 943: 16-19.
- Schlegel U, Wyss Y, Arrigo H, Hess D. 2016. Mineral concentrations of fresh herbage from mixed grassland as influenced by botanical

- composition, harvest time and growth stage. *Animal Feed Science and Technology*. 219: 226-233
- Seifried HE. 2003. The antioxidant conundrum in cáncer. *American Association for Cancer Research*. 63(15): 4295-4298.
- Silva JH, Quiroga MA, & Auza NJ. 2000. Selenio en el rumiante. *Relaciones suelo, planta, animal. Medicina Veterinaria*. 17(10): 229-246.
- Simeone A, Beretta V. 2009. Reformulando la ganadería en Uruguay. *Unidad de Producción Intensiva de Carne*. [En línea]. 10 marzo 2018. <http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2009.pdf>
- Simic J. 2015. Concentration of trace and major elements in mountainous grasslands of Bosnia and Herzegovina in relation to soil properties and plant species. Master Thesis. Norway. Norwegian University of Life Sciences. 60 p.
- Smart ME, Gudmundson J, Christensen DA. 1981. Trace Mineral Deficiencies in cattle: A review. *The Canadian Veterinary Journal*. 22(12): 372-376.
- Soca P, Espasandín A, Carriquiry M. 2013. Oferta de forraje, grupo genético de las vacas y flushing: aportes a las mejoras de resultado productivo y mitigación de la variabilidad climática de la cría en campo natural. [En línea]. 17 febrero 2018. http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/fpta%2048_2013.pdf
- Spears, J.W. 2003. Trace minerals bioavailability in ruminants. *Journal of Nutrition*. 133(5):1506s-1509s.
- Suttle N, & Field AC. 1969. Studies on magnesium in ruminant nutrition. Effect of potassium and magnesium intakes on development of

hypomagnesemia in sheep. *British Journal of Nutrition*. 23(1): 81-90.

Terevinto A, Cabrera MC, Saadoun A. 2015. Catalase, SOD and GPx Activities in Triceps brachii Muscle from Aberdeen Angus Steers Finished on Pasture, Pasture and Concentrate, or Concentrate. *American Journal of Food and Nutrition*. 3(5): 118-124.

Torre MH, Viera I, Facchin G, Kremer E, Baran EJ, Porochin T, Didonato V, Irigoyen C, Irigoyen J, Saldanha S, Bussi J, Ohanian M, & Fuentes J. 2005. Incidence of hipocupremia in cattle in northern Uruguay and its alleviation with an injected Cu-Phenylalanine complex. *Livestock Production Science*. 95: 49-56.

Underwood EJ, Suttle NF. 1999. En: Underwood EJ, Suttle NF. (eds.) *The mineral nutrition of livestock*. Wallingford: CABI Publishing (3). pp 614.

Ungerfeld E. 1998. Factores que afectan el contenido de minerales en pasturas naturales y el estado nutricional de vacunos y ovinos en Uruguay. [En línea]. 12 setiembre 2017. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429070509103357.pdf>