

**TESIS
PARA OPTAR AL TÍTULO DE**

**DOCTOR de la UNNE
EN RECURSOS NATURALES**

TITULO

**“ALGUNAS PROPIEDADES QUIMICAS DE DOS ESPECIES VEGETALES
FORRAJERAS PARA ESTABLECER SU ORIGEN GEOGRAFICO”**

Doctorando:

Ing. Agr. Mgter. Aldo Ceferino BERNARDIS

Director:

Dr. Eduardo MARCHEVSKY (UNSL-CONICET)

Co-Director:

Dr. Roberto Pellerano (UNNE-CONICET)

2018

1. Agradecimientos

Al Dr. Eduardo Marchevsky por haber aceptado dirigirme, por su constante apoyo, generosidad y amistad.

Al Dr. Roberto Gerardo Pellerano por acompañarme en todo momento, por su amistad y su constante apoyo.

A la Facultad de Ciencias Agrarias por brindarme la posibilidad de realizar esta tesis.

A la Universidad Nacional del Nordeste por el apoyo económico recibido a través de la Secretaría de Ciencia y Técnica.

A los integrantes del Dpto. de Física y Química-FCA y a todos aquellos colegas y amigos que de una u otra manera me aportaron sugerencias y me brindaron su apoyo en todo momento.

A los integrantes de Cátedra de Botánica Sistemática de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNNE – en especial al Ing. Agr. Ricardo Vanni por colaborar con la identificación de las especies vegetales.

A los integrantes del Herbario del IBONE quienes procesaron los ejemplares de las especies vegetales depositadas en el Herbario.

2. Financiación

Esta tesis ha sido financiada por los siguientes proyectos de investigación:

1. PI A 009-2010. Valor nutritivo de especies forrajeras y la gestión ambiental en la producción ganadera del NEA. Periodo 01/01/11 – 12/12/14. Resol N° 982/10 CS. Universidad Nacional del Nordeste. Proyecto Acreditado.
2. PI: A 006-2014. Valor nutritivo de alimentos y variables ambientales en la producción ganadera del NEA. Periodo 01/01/15 – 12/12/18. Resol N° 201/14 CS. Universidad Nacional del Nordeste. Proyecto Acreditado.

3. Publicaciones derivadas de la tesis

3.1. Presentaciones en Reuniones Científicas

1. Hidalgo, M., Villafañe, R., Bernardis, A., Marchevsky, E., Pellerano, R. 2012. Preconcentración de plomo en material vegetal de *Andropogon lateralis* proveniente de la región nordeste de la provincia de Corrientes. IV Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental SETAC Argentina – Buenos Aires, octubre pp. 267.
2. Bernardis, A., Villafañe, R., Pellerano, G. y Marchevsky, E. 2012. Determinación de 5 microelementos en material vegetal en dos especies forrajeras provenientes de la provincia de Corrientes por espectrometría de emisión atómica por plasma acoplada inductivamente. XXIX Congreso Argentino de Química. 3 – 5 de octubre, Mar del Plata. pp. 213.

3. Bernardis, A., Villafañe, R., Furlong, O., Marchevsky, E., Pellerano, G. 2012. Micronutrient contents in selected native grasses from Corrientes province. XXX Reunión Científica Anual de la Sociedad de Biología de Cuyo. 6 – 7 de diciembre, Potrero de los Funes – San Luis. pp 85.
4. Villafañe, R., Bernardis, A., Gaiad, A, J., Marchevsky, E., Pellerano, R. 2013. Assesment of Mineral Contents in Aerial Parts of *Schizachyrium Microstachyum*. XXXI Reunión Anual Sociedad Biología de Cuyo, Lugar: Mendoza.
5. Bernardis, A.; Fernández, J.; Pellerano, G.; Marchevky, E. 2018. Sustentabilidad mineral de pastizales de *Andropogon lateralis* Nees en Corrientes, Argentina. VIII Congreso Nacional de Manejo de Pastizales Naturales y el IV Congreso del Mercosur de Manejo de Pastizales Naturales. 15 al 17 de mayo de 2018 en las ciudades de Olta y Chamental, provincia de La Rioja (Argentina). Trabajo aceptado.

3.2. Trabajos en revistas

1. Bernardis, A.; Pellerano, G.; Villafañe R.; Marchevky, E. 2017. Perfil mineral en los pastizales de *Andropogon lateralis* y *Sorghastrum setosum* (Gramineae) en Corrientes, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo, 49 (2): 203-217.

INDICE GENERAL

Índice General.....	V
Índice de Figuras	VIII
Índice de Cuadros.....	X
Resumen.....	XII
Palabras claves.....	XVIII
Capítulo 1 - Introducción.....	1
1.1. Introducción.....	1
Capítulo 2.....	11
2.1. Hipótesis.....	11
2.2. Objetivos.....	11
Capítulo 3 El sitio de estudio.....	12
3.1. Ubicación geográfica.....	12
3.2. Caracterización del sitio de estudio.....	18
3.3. El suelo. Características.....	19
3.3.1. Orden Entisoles.....	20
3.3.2. Suborden Acuentes.....	21
3.3.3. Gran Grupo Psamacuentes.....	22
3.3.4.1. Subgrupo Psamacuentes Spódicos.....	22
3.3.4.2. Subgrupo Psamacuentes Típicos.....	23
3.3.5. Familia Arenosa.....	23
3.3.6.1. Serie Chavarría.....	23
3.3.6.2. Serie Pampín.....	24
3.4. Los pastizales.....	25

3.4.1. Pastizales de <i>Andropogon lateralis</i>	26
3.4.2. Pastizales de <i>Sorghastrum setosum</i>	28
3.5. Los elementos minerales.....	29
Capítulo 4 - Metodología.....	33
4.1. Introducción.....	33
4.2. Área de referencia.....	33
4.3. Muestras vegetales.....	38
4.3.1. Obtención y tratamiento.....	38
4.3.2. Composición florística.....	39
4.3.3. Ejemplares testigos.....	39
4.4. Muestras de suelo.....	41
4.5. Tratamiento de las muestras.....	41
4.6. Validación de la metodología analítica.....	43
4.6.1. Calibración Instrumental.....	44
4.6.2. Calidad analítica.....	46
4.7. Estimación de elementos minerales extraídos por la producción animal..	49
4.8. Diseño Experimental.....	51
4.9. Programas computacionales específicos.....	52
Capítulo 5 – Resultados y Discusión.....	53
5.1. Composición florística.....	53
5.1.1. Pastizales de <i>A. lateralis</i>	53
5.1.2. Pastizales de <i>S. setosum</i>	55
5.2. Contenido de minerales.....	55
5.2.1. Minerales esenciales.....	56
5.2.2. Elementos minerales probablemente esenciales.....	63

5.2.3. Elementos minerales con función incierta.....	66
5.3. Composición química inorgánica de las Series de suelos Chavarría y Pampín.....	67
5.4. Relaciones ocultas presentes en los datos químicos determinados.....	71
5.4.1. Relación entre minerales en la biomasa.....	71
5.4.2. Diferencia de cationes y aniones en la biomasa (DACAD).....	74
5.4.3. Extracción de elementos alcalinos.....	75
5.5. Composición multielemental.....	77
5.5.1. Suelos.....	77
5.5.2. Partes aéreas.....	77
5.6. Análisis multivariado los resultados.....	77
5.7. Correlaciones.....	80
5.7.1. Correlaciones planta-suelo.....	80
5.7.2. Correlación entre contenidos elementales de cada especie vegetal.....	82
5.8. Modelo clasificatorio de plantas de acuerdo a la serie de suelo.....	83
5.9. Modelo de clasificación de plantas de acuerdo al origen geográfico.....	87
5.10. Análisis jerárquicos de agrupamientos.....	89
5.11. Agrupamiento de variables.....	90
5.12. Elementos minerales tóxicos.....	92
5.13. Balance de elementos minerales y sustentabilidad de los pastizales.....	98
Capítulo 6 – Conclusiones.....	101
Capítulo 7 – Bibliografía.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 3

Figura 3.1. Región Neotropical y Provincias biogeográficas de la Argentina según Cabrera (1976).....	13
Figura 3.2. Formación fitogeográfica de Corrientes.....	14
Figura 3.3. Ríos y espejos de agua de la provincia de Corrientes.....	15
Figura 3.4. Aptitud de las tierras de la provincia de Corrientes.....	16
Figura 3.5. Suelos agrícolas. Clases I, II, III	17
Figura 3.6. Suelos ganaderos Clases V, VI y VII.....	17

Capítulo 4

Figura 4.1. Área de referencia A, B y C. Ubicación de los sitios de muestreos.....	34
Figura 4.2. Pastizales de <i>A. lateralis</i> - paja colorada.....	37
Figura 4.3. Pastizales de <i>S. setosum</i> - paja amarilla.....	37
Figura 4.4. Esquema de la distribución de las parcelas de muestreo de la vegetación y suelo en cada sitio elegido y pastizal.....	39
Figura 4.5. Espectrómetro ICP-OES Varian Vista-PRO radial.....	43

Capítulo 5

Figura 5.1. Matriz de correlaciones entre variables determinadas en la composición multielemental de la especie <i>A. lateralis</i>	82
Figura 5.2. Matriz de correlaciones entre variables determinadas en la composición multielemental de la especie <i>S. setosum</i>	83
Figura 5.3. Gráfico biplot con los resultados del ACP aplicado a los datos multielementales correspondiente a las muestras de <i>A. lateralis</i>	85

Figura 5.4. Gráfico biplot con los resultados del ACP aplicado a los datos multielementales correspondiente a las muestras de <i>S. setosum</i>	87
Figura 5.5. Scores correspondientes a las muestras de <i>A. laterlis</i>	88
Figura 5.6. Scores correspondientes a las muestras de <i>S. setosum</i>	89
Figura 5.7. Dendograma obtenido al agrupar las variables medidas en todas las especies estudiadas.....	90
Figura 5.8. Dendograma clasificando muestras de acuerdo a la serie de suelo donde fueron recolectadas.....	91
Figura 5.9. Prospectiva de la extracción de P, Ca, K y Mg del suelo por la producción bovina.....	99
Figura 5.10. Prospectiva de la extracción de Na, Cu, Zn y Mn del suelo por la producción bovina.....	100

ÍNDICE DE CUADROS

Capítulo 3

Cuadro 3.1. Clasificación taxonómica de los suelos utilizados.....	20
--	----

Capítulo 4

Cuadro 4.1. Sitios elegidos para la toma de muestras de suelo y parte aérea de los pastizales.....	35
--	----

Cuadro 4.2. Registro de las especies testigos (herbario CTES), sitios de muestreos, localidad, serie de suelo y coordenadas GPS.....	40
--	----

Cuadro 4.3. Longitudes de onda y límite de detección metodológico para cada elemento determinado por ICP-OES bajo condiciones óptimas.....	45
--	----

Cuadro 4.4. Prueba de adición del estándar y % de recuperación.....	47
---	----

Cuadro 4.5. Espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS) Prueba de adición del estándar y % de recuperación.....	49
---	----

Capítulo 5

Cuadro 5.1. Porcentaje de composición florística promedio de los pastizales de <i>A. lateralis</i> y <i>S. setosum</i> en relación a la producción de materia seca para cada serie de suelo.....	54
--	----

Cuadro 5.2. Contenido de minerales esenciales de la materia seca de los pastizales de <i>A. lateralis</i> y <i>S. setosum</i>	58
---	----

Cuadro 5.3. Contenido de elementos minerales probablemente esenciales de la materia seca en los pastizales de <i>A. lateralis</i> y <i>S. setosum</i>	65
---	----

Cuadro 5.4. Contenido de elementos minerales con función incierta de la materia seca en los pastizales de <i>A. lateralis</i> y <i>S. setosum</i>	66
---	----

Cuadro 5.5. Contenido total de elementos minerales de las series de suelo	
---	--

Chavarría y Pampín.....	68
Cuadro 5.6. Relación entre los elementos minerales de la materia seca en los pastizales de <i>A. lateralis</i> y <i>S. setosum</i>	70
Cuadro 5.7. Extracción de elementos alcalinos (K^+ , Ca^{++} y Mg^{++}) en $kg\ ha^{-1}$ año ⁻¹ por los pastizales de <i>A. lateralis</i> y <i>S. setosum</i>	72
Cuadro 5.8. Extracción de elementos alcalinos (K^+ , Ca^{++} y Mg^{++}) en $kg\ ha^{-1}$ para producir 1tn de materia seca.....	76
Cuadro 5.9. Composición multielemental de los suelos analizados por ICP-OES.....	76
Cuadro 5.10. Composición mineral de la parte aérea de las especies vegetales <i>A. lateralis</i> y <i>S. setosum</i> , analizados por ICP-OES.....	78
Cuadro 5.11. Coeficientes de correlación (<i>r</i> de Pearson) entre las distintas especies <i>A. lateralis</i> (AL) y <i>S. setosum</i> (SS) y las series de suelo Chavarría (SSC) y Pampín (SSP).....	81
Cuadro 5.12. Contenido de elementos pesados en suelo.....	97

RESUMEN

El interés de los consumidores de conocer el origen geográfico de los alimentos se ha incrementado en los últimos años, preocupados por la información de las declaraciones de autenticidad y etiquetado, que originan problemas de la adulteración o el fraude de calidad inferior y motivada por la Seguridad Alimentaria.

Los problemas de autenticidad de los alimentos en la forma de adulteración o descripción incorrecta han existido desde hace mucho tiempo, probablemente desde que se ofertan alimentos a la venta. Esta cuestión de la autenticidad también incluye a las áreas de calidad y clasificación de alimentos. El fraude alimentario es un problema global que afecta al prestigio de las empresas, dificulta los mercados y deteriora la confianza de los consumidores. La globalización de la economía, el aumento de las importaciones y exportaciones, y los tratados de libre comercio han propiciado un mayor intercambio y acceso de los alimentos a nivel mundial; junto con ello se han incrementado los problemas asociados a los fraudes tales como la adulteración, sustitución, la intencionalidad y falsificación.

La demanda de los consumidores ha llevado a desarrollar y estandarizar métodos analíticos robustos que puedan confirmar rápidamente la información dada por la etiqueta, prevenir el fraude alimentario, asegurar el cumplimiento de las regulaciones y la seguridad y verificar la procedencia de los alimentos.

El uso de indicaciones geográficas de procedencia de productos agroalimentarios como garantía de calidad se maneja de manera informal, sin necesidad de registro ni reconocimiento oficial y cuya regulación es parte del etiquetado. Estas indicaciones geográficas mediante el registro de signos distintivos se reconocen como denominacio-

nes de origen, con contenido geográfico. Por lo general esto está legislado por los países que ofrecen un marco regulatorio para su uso.

No existen parámetros publicados de caracterización que permitan garantizar la autenticidad de la producción de forraje de las especies *Andropogon lateralis* Nees y *Sorghastrum setosum* (Griseb.) Hitchc. Se ha informado que estas especies tienen perfiles distintos en el contenido de elementos minerales y estos son potencialmente útiles para caracterizar y relacionar al origen botánico y geográfico a través de la construcción de bases de datos con múltiples parámetros analizados (huella dactilar). Las organizaciones necesitan de estrategias para diferenciarse de sus competidores en una economía globalizada. En consecuencia, se hace necesario poseer herramientas sólidas que permitan certificar el origen geográfico de los productos agroalimentarios.

Los objetivos fueron:

- Contribuir al conocimiento de la composición química inorgánica de las partes aéreas de las especies forrajeras naturales *A. lateralis* y *S. setosum*.
- Contribuir al conocimiento de la composición química inorgánica de las series de suelos Chavarría (Entisol, acuentes, psamacuentes spodic) y Pampín (Entisol, acuentes, psamacuentes típico), de importancia regional para la producción de estas especies.
- Realizar una búsqueda de posibles relaciones ocultas presentes en los datos químicos determinados.
- Proponer modelos matemáticos que permitan predecir la procedencia geográfica de futuras muestras vegetales.
- Detectar la presencia y niveles de elementos de interés ambiental y/o nutricional, que pudieran afectar las cadenas alimenticias donde intervienen los pastizales de *A. lateralis* y de *S. setosum* objeto de esta tesis.

El sitio elegido para la realización del estudio fue las series de suelo Chavarría y Pampín en la región occidental de la provincia de Corrientes, República Argentina. Se utilizaron pastizales de *Andropogon lateralis* - Nees (Andropogoneae, Poaceae), cuyo nombre común es paja colorada y pastizales de *Sorghastrum setosum* (Griseb) Hitchc, cuyo nombre común es paja amarilla. Se determinó la concentración en suelo y en material vegetal los elementos minerales fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), hierro (Fe), cinc (Zn), cobre (Cu), cobalto (Co), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), yodo (Y), selenio (Se), cromo (Cr) y azufre (S), flúor (F), litio (Li), silicio (Si), vanadio (V), níquel (Ni), arsénico (As), plomo (Pb), estaño (Sn), cadmio (Cd), boro (B), aluminio (Al), bromo (Br), bario (Ba), erbio (Er) y titanio (Ti), germanio (Ge), antimonio (Sb), cesio (Cs), torio (Th), talio (Tl), berilio (Be), bismuto (Bi), uranio (U), circonio (Zr), plata (Ag), escandio (Sc) y galio (Ga) utilizando un espectrómetro ICP-OES Varian Vista-PRO radial, a 167-785 nm. El diseño experimental para la toma de muestras fue de 10 bloques completos al azar con 3 repeticiones. Los tratamientos corresponden a la serie de suelo Chavarría y serie de suelo Pampín y a los pastizales de *A. lateralis* y de *S. setosum*.

El estudio permitió determinar la composición florística de los pastizales de *A. lateralis* (paja amarilla) y *S. setosum* (paja colorada) establecidos en las series de suelo Chavarría y Pampín, en cuatro sitios del noroeste de la provincia de Corrientes, Argentina. Las especies vegetales que encontraron en estos pastizales fueron: *A. lateralis*, *S. setosum*, *Schizachyrium microstachyum*, *Sporobolus sp*, *Axonopus sp*, *Setaria parviflora var. Parviflora*, *Sorghastrum nutans*, *Paspalum notatum*, *Desmodium incanum*, *Desmodium barbatum*, Ciperáceas y otras especies. En cada pastizal existió una especie vegetal dominante que aportó la mayor parte de la materia seca. *A. lateralis* aportó el 58 % de la materia seca de la biomasa aérea en la serie de suelo Chavarría y el

55 % en la serie de suelo Pampín. La especie *S. setosum* aportó el 40,0 % en la serie de suelo Chavarría y el 35,1 % en la serie de suelo Pampín.

El análisis químico consistió en la determinación de la concentración de 32 elementos minerales en la materia seca de las especies *A. lateralis* y *S. setosum* y del conjunto de especies que conforman los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*, en cuatro sitios diferentes y en las series de suelo Chavarría y Pampín de la provincia de Corrientes, Argentina.

Esto permitió:

a) Establecer la contribución de elementos minerales esenciales, probablemente esenciales y con función incierta en la dieta para bovinos de carne. En las dos especies los elementos esenciales P, Ca, Mg, Fe, Cu y Co no presentaron diferencias significativas entre especies y series de suelo. La concentración de Na y Zn se diferenció significativamente con mayor aporte en *A. lateralis*. Los elementos probablemente esenciales Li, B y Ti se diferenciaron significativamente con un mayor aporte en *A. lateralis*, mientras que Si y Ba presentaron mayor concentración en *S. setosum*.

b) El análisis de la composición mineral de las series de suelos Chavarría y Pampín permitieron conocer la concentración total de 32 elementos. La concentración de los elementos se diferenció significativamente entre sitios y series de suelo en la mayoría de los elementos determinados. Los contenidos de P, Ca, K, Zn y Sr siguen un patrón similar, donde el sitio 1 tuvo la mayor concentración y el sitio 4 la menor concentración. En general las concentraciones de los elementos minerales esenciales para los vegetales y animales se encuentran por debajo de los niveles considerados

normales. La fertilidad es baja para estas series de suelo ya que son deficientes en P, Ca, K, Mg, Na, Zn y Cu.

c) La diferencia de cationes y aniones en la composición de la dieta (DCAD), formada por la parte aérea de las especies forrajeras de los pastizales, si bien tienen valores positivos, no alcanza al valor de +20 mEq que se considera aceptable para el ganado bovino productor de carne.

d) La extracción de elementos alcalinos es mayor en los pastizales de *A. lateralis*. Los pastizales estudiados extraen menos elementos alcalinos que el cultivo de maíz o trigo. Dado el pH bajo de estos suelos y con muchos años de pastoreo continuo, es lógico que estén afectados por un proceso de acidificación.

e) Relaciones entre elementos minerales en la biomasa aérea, en general las relaciones Ca/P, Na/K (mEq), K/Ca+Mg (mEq) y Cu/Fe de los pastizales se encuentran dentro de los valores de referencia para la producción bovina de carne. No se ajusta a los valores de referencia para K//Mg yNa/Mg (mEq) debido a la baja concentración de Mg.

f) La extracción de elementos alcalinos K, Ca y Mg fue mayor en *A. lateralis*. Los pastizales extraen menos elementos alcalinos que el trigo para producir una tonelada de grano. La extracción de elementos alcalinos del suelo a través de los sucesivos ciclos productivos con pastoreo continuo y sin una estrategia de reposición de los mismos podrían producir un proceso de acidificación de los suelos.

g) Correlación suelo planta: la especie *A. lateralis* presentó valores de correlación positiva para el K en la serie de suelo Pampín y el Zn en la serie de suelo

Chavarría. Para *S. setosum* presentó una correlación positiva en las concentraciones de Ca, P, Si, Sr y Zn con la serie Pampín; y Al, Cu, Mn, Ti y Zn con la serie Chavarría.

h) Origen Geográfico de las especies: con la composición multielemental de las especies analizadas respecto de la serie de suelo y al origen geográfico mediante el Análisis de Componentes Principales, análisis jerárquico de agrupamiento y dendrograma de cada especie presentaron una fuerte tendencia a agruparse de acuerdo con la serie de suelo donde fueron recolectadas.

i) La concentración de los elementos minerales en la biomasa aérea y en el suelo permitieron analizar las relaciones Ca/P y Na/K que resultaron estar dentro de niveles aceptables; K/Mg con valores mayores a los recomendados; K/Ca+Mg cerca de niveles críticos, que indican que podrían generarse problemas de hipomagnesemia si no se suplementa con minerales a base de Mg. La relación Cu/Mo y Cu/Fe fueron altas y no afectarían la disponibilidad de Cu.

j) Correlación suelo planta: la especie *A. lateralis* solo presentó valores de correlación positiva para el K con la serie Pampín y el Zn con serie Chavarría. La especie *S. setosum* presentó una correlación positiva en las concentraciones de Ca, P, Si, Sr y Zn con la serie Pampín; y Al, Cu, Mn, Ti y Zn con la serie Chavarría. Las diferencias en la acumulación de elementos entre las especies vegetales se hacen evidentes, al analizar por separado las posibles correlaciones para cada una de las dos especies.

k) Elementos minerales tóxicos: en el área de estudio, dada la baja intensificación en la producción, el escaso uso de fertilizantes y la baja presencia de industrias, las concentraciones detectadas de metales pesados As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb en

suelo y vegetales no llega a niveles críticos que pueden ser un peligro para la salud animal y humana. Es un ambiente adecuado para ser preservado.

1) El balance de elementos minerales del suelo se ve afectado por la extracción continua de nutrientes. Esto provoca un progresivo deterioro de la fertilidad del suelo poniendo en peligro la sustentabilidad del sistema productivo. En esas condiciones no se podría asegurar una producción de materia seca similar a la actual. En las condiciones ensayadas se observa que el K es el elemento que se agotaría más rápidamente del suelo seguida del P. Para mantener el balance de elementos minerales se tendría que establecer una estrategia de fertilización que permita reponer aquellos nutrientes que son exportados de la unidad de producción.

En base a los resultados obtenidos en este trabajo, se puede concluir que los mayores aportes fueron: la determinación en la composición florística de los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*; la profundización del conocimiento de la composición mineral de los pastizales y de las series de suelo Chavarría y Pampín, el conocimiento de los elementos esenciales de interés nutricional para las especies vegetales y ganado vacuno. También elementos a nivel de trazas con función probablemente esencial y con función desconocida, se consideraron los elementos pesados o tóxico y se analizaron las relaciones entre los elementos minerales. Fundamentalmente a través del estudio quimiométrico se pudo establecer la procedencia geográfica de las especies en estudio, mientras que el análisis de elementos minerales, con esta metodología estadística puede aplicarse a un sistema de trazabilidad de productos regionales.

Palabras clave: Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES); Espectrometría de masas de plasma acoplada inductivamente (ICP-MS); Análisis discriminante lineal. Trazabilidad

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El interés de los consumidores de conocer el origen geográfico de los alimentos se ha incrementado en los últimos años, preocupados por la información de las declaraciones de autenticidad y etiquetado, que originan problemas de la adulteración o el fraude de calidad inferior, motivados por la definición más importante sobre Seguridad Alimentaria: “Todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a suficientes alimentos, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos, a fin de llevar una vida activa y sana” (FAO, 1996). Este concepto se vio seriamente comprometido en lo relativo a la inocuidad, con la aparición de la Encefalopatía Espongiforme Bovina (EEB), popularmente denominada como “enfermedad de las vacas locas” en el Reino Unido, los brotes de *Escherichia coli* H7O157 en los EE. UU., la presencia de melanina en leche y derivados destinados a bebés en la China. Los brotes de Peste Porcina Clásica (PPC) en Europa, es una de las enfermedades que más daño causan a la economía del sector porcino en el del mundo, al igual que la fiebre del Valle del Rift (RVF) en África e Influenza Aviar (IA) en Asia. La red de corrupción establecida para comercializar carne vencida o no apta para el consumo, adulterada con productos químicos en Brasil, han acrecentado esta preocupación a una escala global (Chen *et al.*, 2009; Escobar *et al.*, 2010; Ricolfe *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2017). Los problemas de autenticidad de alimentos en la forma de adulteración o descripción incorrecta han existido desde hace mucho tiempo, probablemente desde que se ofertan alimentos a la venta. Esta cuestión de la autenticidad también incluye las áreas de calidad y

clasificación de alimentos. El fraude alimentario es un problema global que afecta al prestigio de las empresas, dificulta los mercados y deteriora la confianza de los consumidores. (Weese *et al.*, 2015). Se trata de un tema emergente que se está convirtiendo en una cuestión de importancia en las organizaciones estatales, industrias, consumidores y para los investigadores (Espinoza *et al.*, 2015). El fraude alimentario es más frecuente en ciertas cadenas de alimentarias. En tres bases de datos internacionales, los mayores fraudes citados son las especias y las hierbas, el aceite de oliva, los productos del mar, los productos lácteos, la carne y otros aceites y grasas (Ruth y Granato, 2017). La globalización de la economía, el aumento de las importaciones y exportaciones, y los tratados de libre comercio han propiciado un mayor intercambio y acceso de los alimentos a nivel mundial; junto con ello los problemas asociados a los fraudes tales como la adulteración, sustitución, la intencionalidad y falsificación se han incrementado (Spink y Moyer, 2015; Wasinski y Osek, 2013; Esteki *et al.*, 2017). Algunos países de la Unión Europea y en los Estados Unidos, entre otros, pueden garantizar que se compruebe la autenticidad de algunos productos alimenticios a través mecanismos previstos en la legislación (Ruiz *et al.*, 2013).

La demanda de los consumidores ha llevado a desarrollar y estandarizar métodos analíticos robustos que puedan confirmar rápidamente la información dada por la etiqueta, prevenir el fraude alimentario, asegurar el cumplimiento de las regulaciones y la seguridad y verificar la procedencia de los alimentos (Heaton *et al.*, 2008). Para ello, se han desarrollado diferentes enfoques para determinar la autenticidad de los alimentos, incluyendo su origen geográfico. En determinadas regiones o zonas se dan ciertas circunstancias naturales históricas que, como es sabido,

permiten que los productos obtenidos en ellas sean reconocidos por su especial calidad, lo que da lugar a que su valoración en el mercado sea superior a la de los productos de la competencia. Un estudio de los consumidores de carne de cordero en Noruega e Italia mostró que el país de origen es importante, ya que en ambos países se prefirió la carne nacional. Además, se identificó una mayor probabilidad de comprar carne de pastoreo de cordero en pastizales de montaña que de pastoreo de corderos en pastizales de tierras bajas (Hersleth *et al.*, 2012). La aceptación y elección de la carne de vacuna por parte de los consumidores españoles, franceses y británicos están asociadas con el país de origen como la característica más importante de la elección de la carne, con preferencia por la carne producida localmente. El segundo factor más significativo que influyó en la elección de la carne de la mayoría de los consumidores fue la alimentación de los animales seguido del precio de la carne con preferencia por la carne de animales de pastoreo y el precio más bajo (Realini *et al.*, 2013).

Las denominaciones de origen y de calidad diferenciada tienen una larga historia en España y otros países europeos (Díaz Yubero, 2011). El uso de indicaciones geográficas de procedencia de productos agroalimentarios como garantía de calidad, se manejan de manera informal, sin necesidad de registro ni reconocimiento oficial y cuya regulación es parte del etiquetado (Castillo Linares *et al.*, 2017). Estas indicaciones geográficas mediante el registro de signos distintivos se reconocen como denominaciones de origen, con contenido geográfico. Por lo general esto está legislado por los países que ofrecen un marco regulatorio para su uso, cuyos productos reciben protección mediante una variedad de sistemas, y con frecuencia utilizan una combinación de dos o más de los sistemas con arreglo a distintas tradiciones jurídicas, en el marco de condiciones históricas y económicas particulares (Díaz Yubero, 2011;

OMPI, 2013). Adherirse al cumplimiento de los estándares requiere de una organización capaz de afrontar ciertos costos.

El uso de Indicaciones Geográficas constituye una herramienta utilizada para distinguir productos que tienen un origen geográfico concreto y cuyas cualidades, reputación y/o características se deben esencialmente a ese lugar de origen (OMPI, 2013). No obstante, el hecho de que un determinado signo desempeñe esta función depende de la legislación del país que la pone en práctica y de la percepción que tengan de ese signo los consumidores. Habitualmente, las indicaciones geográficas se utilizan para los productos agrícolas, los alimentos, los vinos y las bebidas espirituosas, la artesanía y los productos industriales.

Para proteger una indicación geográfica existen tres formas principales:

- Los regímenes especiales de protección;
- La certificación o marcas colectivas;
- Las modalidades centradas en las prácticas comerciales, incluido los regímenes administrativos de aprobación de productos.

El alcance o las condiciones son diferentes para cada una de las formas de protección (OMPI, 2013).

Los sistemas de gestión de calidad permiten la identificación del origen geográfico o denominación de origen a través de la trazabilidad. La palabra denominación deriva del latín *denominatio*, -ōnis y se define como el nombre, título o sobrenombre con que se distinguen las personas y las cosas. Denominación de origen, es la denominación oficial asignada a ciertos productos como garantía de su

procedencia y calidad (Real Academia Española, 2016).

La palabra Trazabilidad es una adaptación del inglés traceability, que derivada de to trace significa “rastrear”. La Real Academia Española (2016) define trazabilidad como:

1. Posibilidad de identificar el origen y las diferentes etapas de un proceso de producción y distribución de bienes de consumo.
2. Reflejo documental de la trazabilidad de un producto.
3. Propiedad de un resultado de medida que permite relacionarlo con una referencia superior mediante una cadena documentada de calibraciones.

Según Asociación Española de Codificación Comercial (AECOC) 2017, “la trazabilidad es el conjunto de procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministro, en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas.” Según la Norma ISO 8402 (1994), la trazabilidad o rastreabilidad es la "aptitud para rastrear la historia, la aplicación o la localización de una entidad mediante identificaciones registradas".

La Norma ISO 22000 (2005) define trazabilidad como: “la capacidad de seguir el movimiento de un alimento a través de etapas especificadas de producción, procesado y distribución”. Aclara que el movimiento se puede relacionar con el origen de los materiales, la historia del procesado o la distribución del alimento, pero recomienda que esté limitado a “un paso adelante y un paso atrás” en la cadena

alimentaria.

En el Codex Alimentarius se define la trazabilidad como “la habilidad para seguir el movimiento de un alimento a través de los pasos específicos de producción, procesamiento y distribución” (Comisión del Codex Alimentarius, 2006).

La trazabilidad puede tener diferente propósito, así tenemos los siguientes tipos:

1. Trazabilidad interna o trazabilidad de procesos: trazabilidad dentro de la propia organización.

2. Trazabilidad descendente (hacia delante): saber cuales son los productos expedidos por la organización, acotados con alguna información de trazabilidad (lote, fecha de caducidad/consumo preferente) y saber sus destinos y clientes.

3. Trazabilidad ascendente (hacia atrás): saber cuales son los productos que son recibidos en la organización, acotados con alguna información de trazabilidad (lote, fecha de caducidad/consumo preferente), y quienes son los proveedores de esos productos o materias primas.

La trazabilidad es una herramienta que se utiliza no sólo para la inocuidad y la calidad, sino también para exigencias de identidad preservada, procedencia y autenticidad. Esto incluye producción orgánica y libre de plaguicidas, lugar de origen, Indicación Geográfica Protegida y los alimentos producidos de forma sostenible (Vizuet, 2014). La globalización de los mercados hace disminuir las ventajas competitivas. Para las materias primas y productos alimenticios, un atributo puede

aportar dicha ventaja conociendo la región o país de origen. Ofrecer productos de calidad para acceder a mercados especializados se hace una necesidad cada vez mayor debido a que se requiere un alto contenido nutricional, inocuidad en los productos y atributos más atractivos para los consumidores, con el propósito de ser competitivos (Montoya y Leonardo, 2016). Las preferencias del consumidor y los tratados de libre comercio entre los países exigen la búsqueda de opciones para lograr una diferenciación en los productos derivados de la producción animal, con el fin de potenciar las producciones regionales. Determinar el origen geográfico de los forrajes es relevante para garantizar la seguridad alimentaria en toda la cadena de la producción. Permite, en caso de eventuales problemas, el retiro inmediato del mercado de la partida en cuestión, sin dañar al sector completo.

La trazabilidad constituye una herramienta al servicio de la calidad alimentaria. A los fines alimentarios, la identificación de especies vegetales a través de la observación de parámetros o características exteriores es una tarea difícil y poco fiable y aún más cuando se encuentran procesadas o en pequeñas cantidades. Ante esta situación para poder implementar un sistema de trazabilidad se necesita contar con un sistema de certificación y cadenas de custodias. Estos sistemas en muchos casos son poco confiables por ser vulnerables. Esta situación hace necesario recurrir al uso de otros sistemas más confiables, como ser la evaluación de la trazabilidad química por métodos de huellas dactilares, que mediante técnicas analizan las muestras directamente o después de procedimientos simples (Pellerano 2012; Zhao *et al.*, 2017; Potortí *et al.*, 2017).

Estas técnicas miden la composición química (metabolitos de bajo peso molecular en

lípidos, aminoácidos, péptidos, ácidos nucleicos, ácidos orgánicos, vitaminas, tioles, carbohidratos, elementos minerales) de los productos alimentarios, que representan metabolitos finales de procesos celulares e indican la respuesta de los sistemas biológicos a una variedad de influencias genéticas y ambientales. Mediante el uso adecuado de técnicas analíticas modernas de alto rendimiento y calidad como ser Cromatografía de Gases GC (Gas Chromatography), Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia HPLC (High-Performance Liquid Chromatography), Cromatografía Líquida de Ultra Performance UPLC (Ultra Performance Liquid Chromatography), Electroforesis Capilar CE (Capillary Electrophoresis), análisis de multielementos utilizando espectroscopia de emisión de plasma acoplado inductivamente junto a un espectrofotómetro de emisión óptico (ICP-OES) e ICP-espectrometría de masas (ICP-MS) se utilizan para construir la huella dactilar química (Saavedra Charca *et al.*, 2016). Los datos obtenidos son analizados mediante métodos estadísticos multivariantes que admiten caracterizar y clasificar a las muestras y relacionarlos con el origen geográfico, la autenticación de origen, con las especies botánicas y tipo de suelo. Además, permite la evaluación nutricional del alimento (von Bargen *et al.*, 2014; Zhao *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2017).

La utilización de los métodos computacionales para la metodología de la huella dactilar puede ayudar a clasificar las muestras individuales de acuerdo con su composición química mediante el análisis de componentes principales (PCA) y el análisis de conglomerados (AC). Una de las mayores ventajas de la metodología de la huella dactilar a través de métodos quimiométricos apropiados es la capacidad de discriminar diferentes tipos de especies y subespecies en un solo análisis, lo que indica

que es uno de los métodos más simple (Sârbu *et al.*, 2012; Milivojević *et al.*, 2013).

Existe evidencia del uso de esta metodología en varios países del mundo. El contenido de elementos minerales de la miel de la región Nordeste de Rumania fue utilizado como una herramienta adecuada para su análisis de autenticidad de orígenes botánicos diferentes y permitió la clasificación. Se utilizó un método de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) para determinar 27 elementos en la miel (Oroian *et al.*, 2015).

El contenido de elementos inorgánicos en los pastizales ha sido utilizado para caracterizar el valor nutritivo y establecer si cubren los requerimientos minerales para la alimentación del ganado bovino. Además de caracterizar a los pastizales y a los suelos donde crecen estas especies nativas, permite valorar el contenido de elementos denominados pesados o tóxicos tales como Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Cromo (Cr), Arsénico (As), Cadmio (Cd) entre otros. Los perfiles de minerales en el tejido foliar podrían variar de acuerdo con el lugar de origen en términos de contenido del elemento, basado en las diferencias de composiciones químicas entre las especies de diferentes zonas de producción (Pellerano *et al.*, 2008). No existen parámetros publicados de caracterización que permitan garantizar la autenticidad de la producción de forraje de las especies *Andropogon lateralis* Nees y *Sorghastrum setosum* (Griseb.) Hitchc. Se ha informado que estas especies tienen perfiles distintos en el contenido de elementos minerales y estos son potencialmente útiles para caracterizar y relacionar el origen botánico y geográfico a través de la construcción de bases de datos con múltiples parámetros analizados (huella dactilar). Las organizaciones necesitan de estrategias para diferenciarse de sus competidores en una economía globalizada, en

consecuencia, se hace necesario poseer herramientas sólidas que permitan certificar el origen geográfico de los productos agroalimentarios.

CAPÍTULO 2

2.1. HIPÓTESIS

Es posible determinar modelos estadísticos multivariantes que expliquen la procedencia geográfica de dos especies vegetales de importancia regional como forrajeras, teniendo en cuenta la composición mineral (elementos mayoritarios, trazas y ultra-trazas), de material botánico y suelo de cultivo analizados por técnicas analíticas espectrométricas de última generación.

2.2. OBJETIVOS

- Contribuir al conocimiento de la composición química inorgánica de las partes aérea de las especies forrajeras naturales *A. lateralis* y *S. setosum*.
- Contribuir al conocimiento de la composición química inorgánica de las series de suelos Chavarría (Entisol, acuentes, psamacuentes spodic) y Pampín (Entisol, acuentes, psamacuentes típico), que son de importancia regional para la producción de las especies *A. lateralis* y *S. setosum*.
- Realizar una búsqueda de posibles relaciones ocultas presentes en los datos químicos determinados.
- Proponer modelos matemáticos que permitan predecir la procedencia geográfica de futuras muestras vegetales.
- Detectar la presencia y niveles de elementos de interés ambiental y/o nutricional que pudieran afectar las cadenas alimenticias donde intervienen los pastizales de *A. lateralis* y de *S. setosum* objeto de esta tesis.

CAPÍTULO 3

EL SITIO DE ESTUDIO

3.1. Ubicación geográfica

El área de referencia comprende a la provincia de Corrientes (Argentina), que forma parte de la llanura Chaco-Pampeana, y constituye una extensa planicie sudamericana denominada Región Neotropical, que se extiende desde el desierto de Sonora, en el límite entre Estados Unidos y México, hasta el límite sur de Sudamérica continental (Cabrera, 1976). Pertenece a una cuenca muy antigua, con cobertura sedimentaria. Forma el abanico aluvial del sistema del río Paraná que cubre el NO y parte del SO de la provincia. Se mantuvo estable durante todo el Cuaternario Superior (Iriondo y Paira, 2007; Contreras, 2011). Su paisaje se desarrolla con suaves ondulaciones y con un fuerte modelado de los ríos de llanura que la surcan (Popolizio, 1977; Sartori *et al.*, 1917). El relieve es bajo a muy bajo, predominando el aspecto de planicies en el oeste y suaves colinas en el este. Dentro de esta gran unidad denominada llanura mesopotámica, con alturas que van de 28 m, en el Sudoeste, hasta 220 m de altitud, en el Nordeste. Desde el punto de vista fitogeográfico, pertenece al Chaco Húmedo u Oriental y representa una transición gradual entre las Provincias Biogeográficas Paranaense, del Espinal y Chaqueña (Cabrera, 1976), Figura 3.1.

Convergen aquí especies de distintos orígenes biogeográficos representando el límite de distribución para muchas formas, tanto selváticas como del Chaco, y de las Pampas. Las formaciones selváticas se encuentran en forma de isletas y en galerías en los bordes de cursos fluviales, en una gran matriz de pastizales o sabanas que dominan

en superficie, denominadas localmente campos (Escobar *et al.*, 1996; Giraudo y Povedano, 2017).

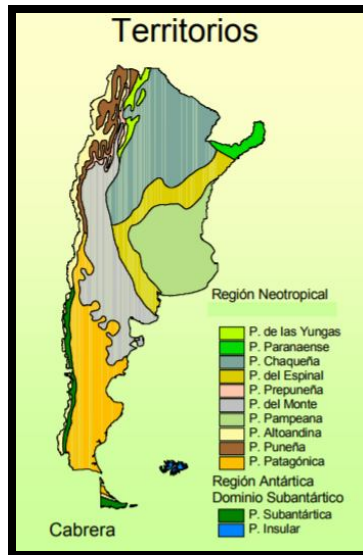


Figura 3.1. Región neotropical y provincias biogeográficas de la Argentina según Cabrera (1976).

La provincia de Corrientes se divide dentro de la gran unidad de la llanura Correntino – Misionera en tres unidades geomorfológicas muy bien definidas: 1. Lomas y planicies embutidas, 2. Depresión poligenética del Iberá y 3. Planicie de erosión oriental (Escobar *et al.*, 1996). Estas unidades se distribuyen según el mapa de la Figura 3.2.

Los límites entre las formaciones son aproximados y en general las áreas transicionales son amplias y los cambios entre formaciones graduales.

Las lomadas arenosas ocupan un 35% del sector occidental, están dispuestas en abanico, a partir de la localidad de Ituzaingó, entre las que se extienden grandes

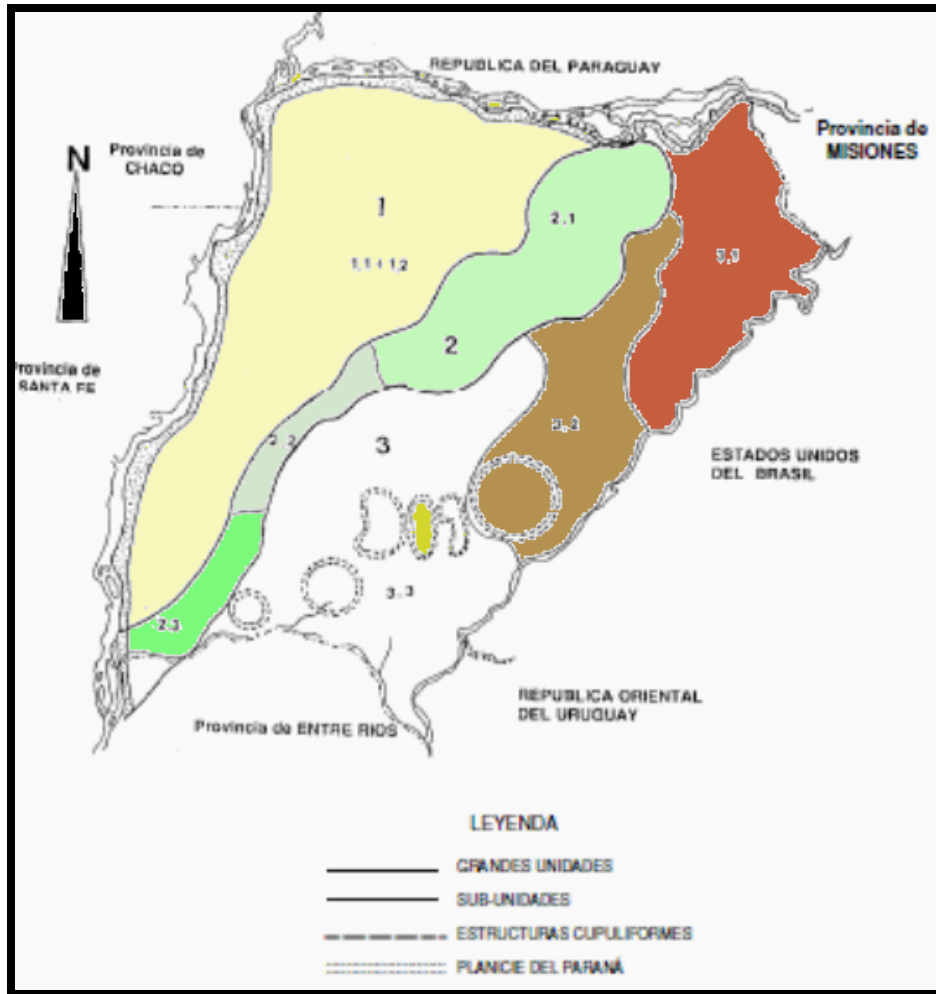


Figura 3.2. Formación fitogeográfica de Corrientes. Grandes unidades: 1. Lomas y planicies embutidas (1.1. Lomadas y 1.2. Planicies embutidas); 2. Depresión poligenética del Iberá (2.1. Depresión del Iberá, 2.2. Depresión del Río Corriente, 2.3. Depresión del Sarandí – Barrancas) y 3. Planicie de erosión oriental (3.1. Remanente misionero, 3.2. Estructura cupuliforme desmantelada, 3.3. Estructura cupuliforme escalonada). Fuente: Escobar *et al.*, 1996.

planicies inundables según los estadios hídricos, algunas de las cuales desembocan en arroyos o ríos afluentes del Paraná (Figura 3.3). Las lomadas están caracterizadas por una atractiva formación de parque, con especies mixtas del ambiente chaqueño y

misionero, y se encuentran tapizadas por numerosas lagunas, por lo que se constituyen en emplazamiento de la mayor parte de las localidades de esta subunidad.

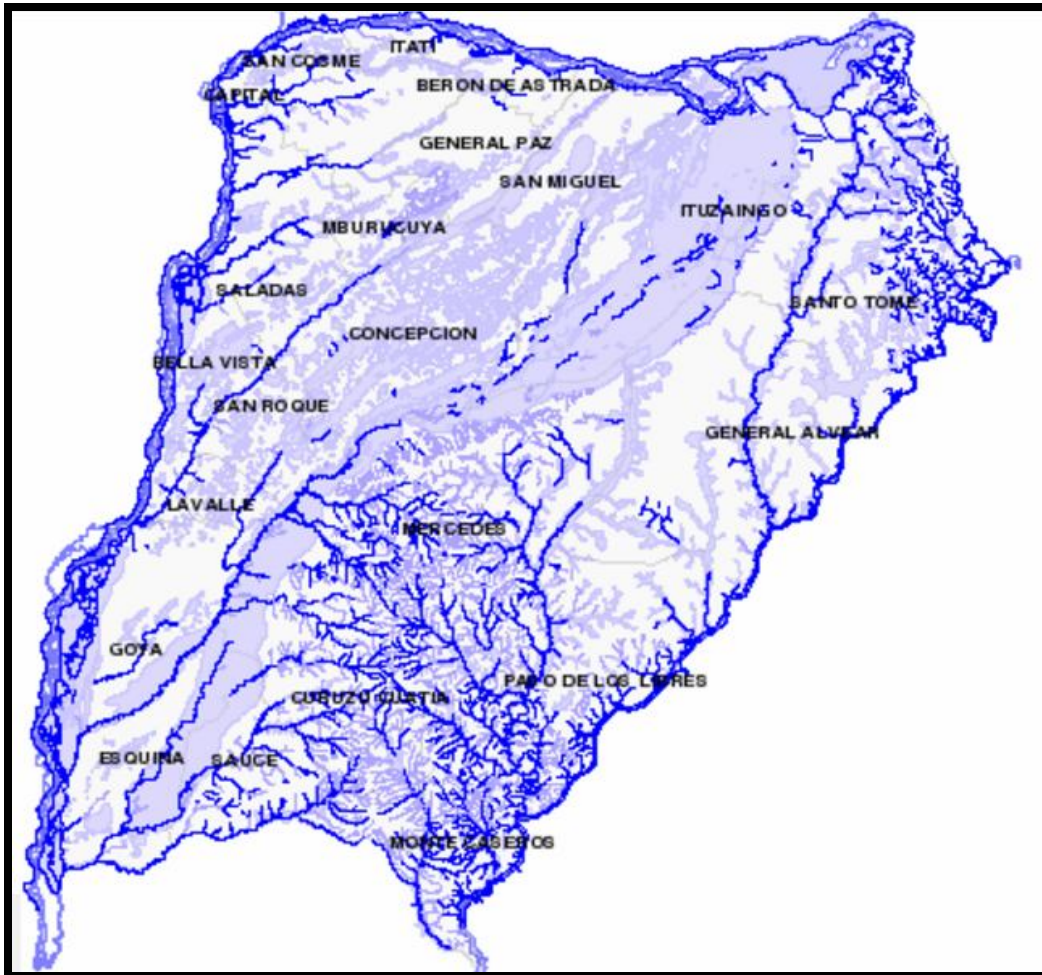


Figura 3.3. Ríos y espejos de agua de la provincia de corrientes. Escala 1: 3.700.000.

Fuente: Ríos y arroyos de Corrientes. Geo – INTA (1916).

El espacio se encuentra fuertemente parcelado y dedicado a la agricultura tradicional y el cultivo del arroz. En las planicies embutidas de naturaleza arcillosa, poco permeables, caracterizadas por ser áreas periódicamente inundables, se desarrolla la ganadería extensiva (Capurro *et al.*, 1970; Popolizio, 1980b; Escobar *et al.*, 1996).

La aptitud de las tierras de la provincia de Corrientes se puede observar en la Figura 3.4).

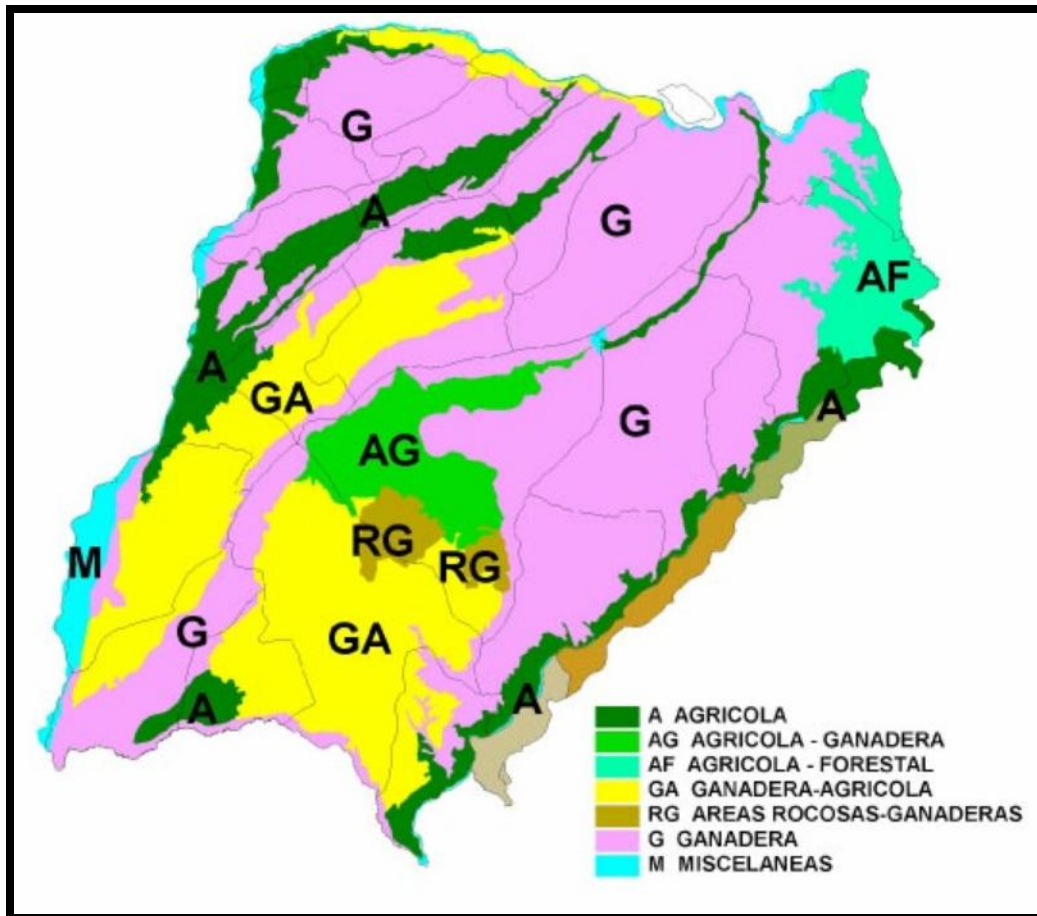


Figura 3.4. Aptitud de las tierras de la provincia de Corrientes. Fuente: Aptitud y Uso Actual de las Tierras Argentinas Geo – INTA (1916).

Los suelos agrícolas Clases I, II y III son escasos en la provincia (Figura 5). Los suelos destinados a la ganadería son las Clases V, VI y VII (Figura 6).

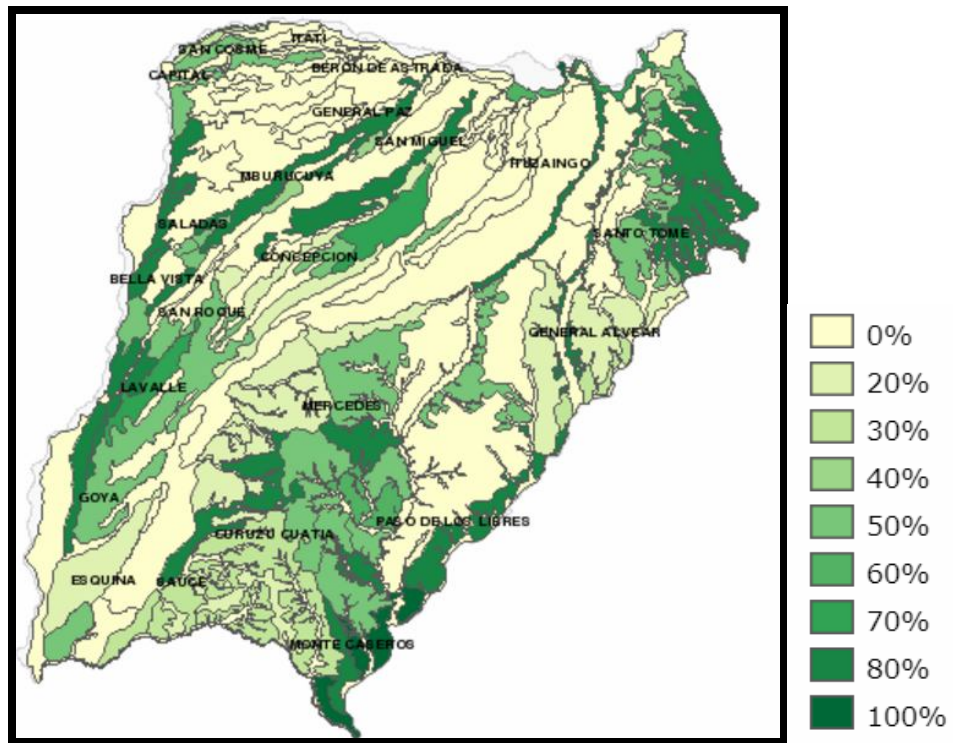


Figura 3.5. Suelos agrícolas Clases I, II, III. Fuente: Geo-INTA 2016.

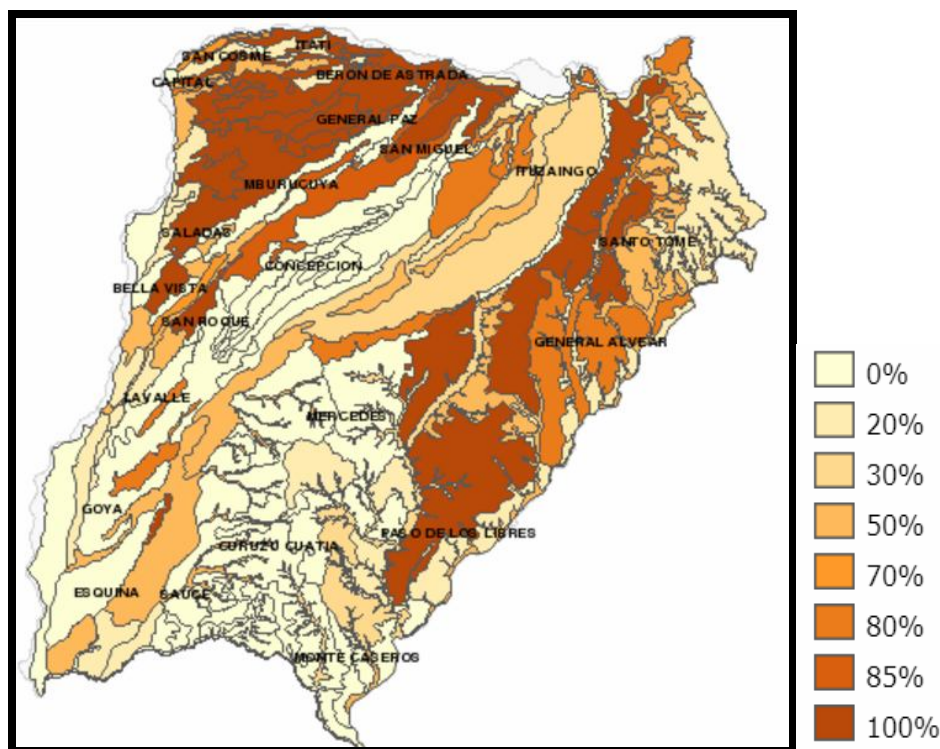


Figura 3.6. Suelos ganaderos Clases V, VI y VII. Fuente: Geo-INTA 2016.

3.2. Características del sitio de estudio

El sitio elegido para la realización del estudio fue la región occidental de la provincia de Corrientes, República Argentina, en los Departamentos San Cosme, Itatí, Verón de Astrada, San Luis del Palmar, General Paz, San Miguel, Concepción, San Roque, Lavalle, Goya, Bella Vista, y Saladas. Desde el punto de vista fitogeográfico pertenece dominio Chaqueño. La distribución de la vegetación responde básicamente a los gradientes térmicos y pluviométricos registrados en el área. Pertenece al distrito oriental de la Provincia Chaqueña y al subdistrito correntino, donde encontramos:

- a) Sector del parque chaqueño-correntino del quebracho colorado (*Schinopsis balansae*).

b) Sector de las sabanas gramíneas de *A. lateralis*, palmares de yatay (*Syagrus yatay*) y parques de *Prosopis* spp.

3.3. El suelo. Características

La provincia de Corrientes presenta una gran heterogeneidad de suelos y se refleja en los 7 Ordenes reconocidos; los Alfisoles ocupan el 29,4 % de la superficie provincial y le siguen los Molisoles con 28,3 %, Entisoles 18,8 %, Inceptisoles 7 %, Vertisoles 6,3 %, Ultisoles 4,2% y por último los Histosoles con 3,9 %, de acuerdo al sistema taxonómico en uso en el país (NRCS, 2014) hasta la categoría de Series, describiéndose un total de 175 Series de Suelo (Escobar *et al.*, 1996).

Las unidades taxonómicas se utilizan para clasificar a los suelos dentro de un sistema, pero no indican como están distribuidos en el terreno. Para ello se recurre al uso de las unidades cartográficas, que son áreas definidas y delimitadas en el plano, las que contienen en un espacio geográfico acotado, diferentes clases de suelos tanto a nivel taxonómico (desde órdenes hasta subgrupos de suelos) como a nivel utilitario (capacidad de uso o uso potencial del suelo), que indican el agrupamiento de suelos en asociaciones o complejos. La Unidad Cartográfica es una colección de áreas definidas y designadas en términos de la(s) clase(s) de suelo(s) que las componen. Cada unidad cartográfica difiere en algún aspecto de todas las otras y tiene una identificación única en el mapa de suelos (Ligier, 2014). Para la provincia de Corrientes se describen 101 Unidades Cartográficas (Escobar *et al.*, 1996).

Las series de suelo son unidades taxonómicas, con suelos semejantes, desarrollados a partir de un mismo material originario, con igual secuencia de

horizontes y demás características morfológicas principales similares.

Otra característica destacable de los suelos de la provincia de Corrientes es el exceso de agua debido a su fisiografía, clima y suelos. La superficie provincial esta ocupada en un 59,5 % por cuerpos de agua y suelos de régimen ácuico con encharcamientos e inundaciones de distinta intensidad. El régimen ácuico caracteriza a muchos suelos de la provincia y se refiere a aquellos que permanecen por varios días al año bajo condiciones de inundación, resultando en anaerobiosis y reducción química del perfil en la zona de influencia de las raíces (Escobar *et al.*, 1996).

En la Argentina para el ordenamiento de los suelos se utiliza la Clasificación Norteamericana "Soil Taxonomy". Dicho sistema taxonómico se divide en las siguientes clases o categorías: Orden, Suborden, Gran grupo, Subgrupo, Familia y Serie.

Para este estudio, las muestras fueron tomadas de las Serie de suelo Chavarría y Pampín (NRCS, 2014), que corresponden a la siguiente clasificación (ver Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Clasificación taxonómica de los suelos utilizados.

Orden	Suborden	Gran Grupo	Subgrupo	Familia	Serie
Entisoles	Acuentes	Psamacuentes	Spodicos	Arenosa	Chavarría
			Típicos	Arenosa	Pampín

3.3.1. Orden Entisoles

Los Entisoles son suelos minerales jóvenes, con historia pedogenética muy corta, derivados tanto de materiales aluviónicos como residuales, de los cuales

dependen mineralmente. Son suelos formados por una capa de materiales no consolidados, alterados, como fragmentos de roca, granos minerales y todos los otros depósitos superficiales (regolito), que descansan sobre roca sólida inalterada. Tienen menos del 30 % de fragmentos rocosos. Se han desarrollado en distintos regímenes de humedad, temperatura, vegetación, materiales parentales y edad. En general estos suelos no evidencian desarrollo de horizontes pedogenéticos; la mayoría solo posee un horizonte superficial claro, de poco espesor y generalmente pobre en materia orgánica (epipedón ócrico). También pueden incluir horizontes enterrados, siempre que se encuentren a más de 0,50 m. de profundidad que permanecen jóvenes debido a que son enterrados por los aluviones antes de que lleguen a su madurez. Su topografía es variable, entre plana a extremadamente empinada, con textura moderadamente gruesa a fina. Los rasgos comunes de este Orden de suelo son la ausencia virtual de horizontes y su naturaleza mineral. No tienen horizontes de diagnóstico (grupo de propiedades cuantitativamente definidas y que sirven para identificar las unidades de suelos). En Corrientes presenta cuatro Subórdenes: Acuentes, Fluventes, Ortentes, Psamentes (Escobar *et al.*, 1996; Soil Survey Staff, 2006; NRCS, 2014).

3.3.2. Suborden Acuentes

Dentro de este suborden de suelos, se reconocen en la provincia de Corrientes tres grandes grupos: Fluvacuentes, Epiacuentes y Psamacuentes. Poseen un régimen de humedad ácuico, caracterizado por permanecer durante períodos prolongados saturados con agua. Son suelos de áreas pantanosas, deltas, márgenes de lagos, depósitos arenosos muy húmedos y en planicies de inundación de ríos o arroyos. Los colores de los materiales son azulados o grises con moteados. La mayoría se ha

desarrollado sobre sedimentos recientes y la vegetación que los cubre tolera el exceso de humedad. Presentan un subsuelo arcilloso, fuertemente moteado. La napa freática se encuentra en la superficie del suelo o muy próxima a ella la mayor parte del tiempo (Escobar *et al.*, 1996; NRCS, 2014).

3.3.3. Gran Grupo Psamacuentes

Este gran grupo de suelos se encuentra muy difundido en la provincia de Corrientes y los subgrupos presentes son spódico (sp); humacuéptico (hm); típico (tc) y mólico (mo). Poseen una clase por tamaño de partículas arenosa, en todos los subhorizontes entre el A1 y 100 cm. ó a un contacto lítico o paralítico (lo que sea más somero), se evidencian moteados grises y algunos han desarrollado un horizonte subsuperficial blanquecino (spódico), pero que no puede ser caracterizado como diagnóstico. Otros muestran una acumulación de carbono orgánico de poco espesor y tienen baja saturación con bases (Escobar *et al.*, 1996; NRCS, 2014)

3.3.4.1. Subgrupo Psamacuentes Spódicos

Estos suelos presentan una secuencia de horizontes A, C, Ebg y 2Btg. El horizonte A es ócrico, arenoso, el horizonte Ebg es álbico, arenoso y a través de un límite abrupto y ondulado se pasa a un horizonte 2Btg, argílico, de lenta permeabilidad. Su limitación principal está dada por la presencia de una napa colgada sobre la base del horizonte Eb. Este subgrupo se caracteriza por presentar un horizonte álbico próximo a la superficie, seguido por un horizonte que posee un valor en húmedo más oscuro que el horizonte E. Ocupan la mayor superficie en la provincia y se ubican principalmente en lomas suavemente onduladas con numerosas lagunas circulares.

Serie: Chavarría. (Escobar *et al.*, 1996; NRCS, 2014).

3.3.4.2. Subgrupo Psamacuentes Típicos

Estos suelos presentan la secuencia de horizontes A, AC, C y 2Btb. Se observan capas de texturas arenosas y masivas, hasta más de 120 cm. Todo el perfil presenta moteados y concreciones de hierro-manganeso, debido a la acción de una napa colgada que fluctúa cerca de la superficie. Se presenta en forma de lomas arenosas con pendientes suaves y presencia de lagunas circulares. Serie: Pampín. (Escobar *et al.*, 1996; NRCS, 2014).

3.3.5. Familia Arenosa

Tienen una clase textural arenosa o arena francosa, incluyendo menos de 50 por ciento (por peso) de partículas de arena muy fina en la fracción de tierra fina (NRCS, 2014).

3.3.6.1. Serie Chavarría

Constituye una de las Series de suelo de mayor distribución y superficie dentro de la provincia de Corrientes. Se ubica en relieve normal, en posición de media loma a media loma baja, con pendientes de 1 a 1,5 %, en planicies arenosas pardo amarillentas. El tapiz vegetal esta compuesto por pajonales de *Andropogon lateralis*, acompañado de *Axonopus sp.*, *Schizachirium sp.*, *Sporobolus sp.* y otros de hábitos húmedos como las especies de las familias Ciperáceas y Centella. El escurrimiento es lento a medio, la permeabilidad moderadamente lenta y el drenaje es imperfecto a moderado. Presenta un horizonte ócrico, arenoso-franco, seguido de un EB, albico, de

colores claros, arenoso, con abundante moteados, sobrepuesto a un argilico, enterrado (Btbg), franco-arcilloso-arenoso, de lenta permeabilidad. Se destaca un cambio textural abrupto entre ambos horizontes que dificulta la entrada del agua, produciéndose una falsa napa de agua que fluctúa hasta cerca de la superficie, con movimientos laterales por el Ebg, ocasionando erosión subsuperficial. Esta napa freática generalmente está unida a numerosas lagunas circulares que existen en este ambiente. La profundidad efectiva generalmente es coincidente con el techo de la napa colgante (0,50 a 0,60 m). Son suelos de muy baja fertilidad, con escaso tenor de materia orgánica, bajo contenido de bases de cambio y capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), débilmente ácidos y de pobre retención de humedad en los horizontes superiores. Presentan muy severas limitaciones que restringen la elección de plantas y requieren un manejo cuidadoso. Las principales limitantes se refieren al exceso de humedad con sobresaturación por tiempos prolongados, además de su baja fertilidad natural. El uso actual es la ganadería extensiva, no obstante, es utilizado para forestación y agricultura, con los consiguientes riesgos, si no se mejoran las condiciones de drenaje y fertilidad. Se ubica en la Clase IVw y el Índice de Productividad es de 16 (Escobar *et al.*, 1996; NRCS, 2014).

3.3.6.2. Serie Pampín

Se ubica en relieve normal, posición de loma, con pendientes de 1 a 1,5%. El tapiz vegetal está compuesto de *Paspalum notatum*, *Cynodon sp.*, *Sporobolus sp.* y *Axonopus sp.* El escurrimiento es medio, la permeabilidad moderadamente lenta y el drenaje moderado a imperfecto, con peligro de sobresaturación con agua en épocas de grandes lluvias. Son suelos profundos, compuestos por un manto arenoso de 1,20 m de

espesor, en donde se diferencia un horizonte superficial ócrico, enriquecido por materia orgánica, arenoso, pardo a pardo grisáceo oscuro, fuertemente ácido; que se sobrepone a un material antiguo 2Btb, soterrado, gris a gris amarillento, gleyzado de textura franco-arenosa, en donde actúa una napa colgante. El horizonte C, es pardo pálido, arenoso, con moteados de color pardo fuerte y cromas altos, con concreciones de hierro manganeso, grandes. La profundidad efectiva es mayor a 100 cm y la retención de humedad es muy baja. Presenta limitaciones muy severas que restringen la elección de cultivos por: baja fertilidad, susceptibilidad a la erosión eólica y exceso de humedad en períodos de lluvias excesivas. Generalmente se utilizan para cultivos anuales en forma ocasional. El uso actual es el de campo natural de pastoreo, forestación y cultivos de hortalizas. La clase por capacidad de uso es IVw y el Índice de productividad es 20 (Escobar *et al.*, 1996; NRCS, 2014).

3.4. Los pastizales

Los pastizales son aquellos ecosistemas en donde predomina la vegetación herbácea con la presencia de una especie vegetal dominante y de mayor participación en la producción de biomasa aérea, y un conjunto de otras especies acompañantes que integran el tapiz vegetal. Así surgen los nombres de los pastizales de *A. lateralis* y pastizales de *S. setosum*. Estos ecosistemas son de origen natural constituyendo extensos biomas y se los destina para la producción ganadera extensiva. En el nordeste argentino los pastizales son utilizados como fuente principal de forraje para el ganado doméstico, por lo que su estado y tendencia resulta fundamental en términos de sustentabilidad y desarrollo (Golluscio *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2017). Ocupan aproximadamente el 95% del área dedicada a esa actividad (Porta *et al.*, 2017). Las

especies vegetales que componen estos pastizales en su gran mayoría son gramíneas megatérmicas, de crecimiento estival y de actividad fotosintética del tipo C4. Estas características determinan limitantes para la producción ganadera, como ser la escasa producción de forraje en el período invernal y la baja calidad de la dieta fuera de la estación de crecimiento (Porta *et al.*, 2017). Otra de las limitantes importantes para el desarrollo de la ganadería en esta región lo constituye la deficiencia de minerales en el suelo, principalmente fósforo (P), Calcio (Ca), Cinc (Zn), cobre (Cu) entre otros, que a su vez se manifiesta en bajas concentraciones de estos elementos en el tejido foliar. Esto determina que los animales durante todo el año tengan una dieta pobre en minerales, lo cual implica tener la necesidad de realizar una suplementación mineral para no limitar la producción (Pizzio *et al.*, 2005; Porta *et al.*, 2017).

Considerando la utilización por el ganado los pastizales están integrados por un conjunto de especies vegetales deseables, intermedias e indeseables (Huss *et al.*, 1996; Bernardis *et al.*, 2005; Coirini *et al.*, 2017).

3.4.1. Pastizales de *Andropogon lateralis*

Para el estudio se utilizó:

Andropogon lateralis - Nees (Andropogoneae, Poaceae). Nombre común: paja colorada, capii pyta. El nombre del género proviene del griego aner andr-(hombre) y pogon (barba), aludiendo a las vellosidades de los pedicelos de las espiguillas estériles masculinas. Pertenece a la familia de las poáceas (Watson y Dallwitz, 2008), originario de Sudamérica. Es una planta de matas altas y porte erecto, hojas de color verde ceniciento de 0,40 a 0,60 m de longitud. Produce abundantes cañas florales de

hasta 1,50 m de altura, que cuando maduran son de color pardo-rojizos por esta característica recibe el nombre de paja colorada. Es una especie perenne, cespitosas, de ciclo estival, crece desde agosto a mayo, observándose rebrotes en invierno cuando hay aumentos de temperatura. Inicia la emisión de cañas florales en septiembre siendo máxima en noviembre, diciembre y termina en marzo. Su distribución no está relacionada al tipo de suelo (Fernández *et al.*, 1993). Está presente en casi todas las regiones fitogeográficas, constituyendo la gramínea que domina los pastizales de la provincia, formando pajonales con el *S. setosum* en las lomadas arenosas, campos altos con afloramientos rocosos, malezales (bajos inundables temporariamente) y el triángulo del noroeste de la provincia de Corrientes, alternando con el pasto jesuita o con el pasto horqueta en el centro sur. (Sampedro, 2002).

Es una especie forrajera y constituye un componente dominante de una amplia área de pajonales de toda la provincia, en esas situaciones su cobertura está alrededor del 60 %, en otras es un componente secundario. Su contribución al rendimiento total en pasturas de mosaico es de un 25 % del peso. Tiene buena aceptabilidad y se lo considera de buen valor forrajero, con valores proteicos oscilan entre 6 % en verano y 10 % en invierno en estado de rebrote. Su contenido promedio de fósforo es de 0,90 %. Los valores de Materia Seca Digestible de las partes verdes oscilan entre 52,2 y 56,8 %. Presenta el problema del rápido encañado, y esto dificulta su utilización por parte del ganado. Para controlar el encañado se recurre al fuego (Trindade *et al.*, 1999), corte o carga alta (Nabinger y Faccio Carvalho, 2009). Los campos con dominancia de esta especie soportarían cargas promedios de 0,75-0,80 U.A. ha⁻¹ año⁻¹, para lograr una buena utilización y una buena producción de carne ha⁻¹ (Casco *et al.*, 1995).

3.4.2. Pastizales de *Sorghastrum setosum*

Sorghastrum setosum (Griseb) Hitchc. Nombre común: paja amarilla, pasto indio. Descripción: gramínea en matas grandes, erectas robustas, cespitosas, con rizomas cortos. Son plantas con hojas basales de 0,80 a 1 m de longitud. Posee cañas florales ralas, de hasta 1,80 m de altura, simples, erectas, delgadas, rígidas, con entrenudos cilíndricos, glabros o ligeramente pilosos cerca de los nudos. Panícula de 0,10 a 0,40 m, laxa, erecta. Espiguillas pardas, que al madurar adquiere una coloración castaño-amarillenta, por ello su nombre de "paja amarilla". Es una especie perenne de crecimiento estival. Su etapa de floración y fructificación ocurre de octubre a marzo (Davidse *et al.*, 1994; Zuloaga y Morrone, 1996). Se distribuye en regiones tropicales y subtropicales de América, desde México, América Central, e Islas del Caribe, hasta Sudamérica, en Colombia, Venezuela, Guyana, Guayana Francesa, Bolivia, Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina. En Argentina en las provincias de Formosa, Chaco, Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Santa Fe, Buenos Aires, Tucumán y Jujuy. Se la encuentra entre 0 a 1000 m de altura sobre el nivel del mar (Administración de Parques Nacionales, 2017). Habita en bosques abiertos, sábanas, en áreas bajas, anegadizas, suelos arenosos y en arcillosos-negros. El área de mayor presencia en Corrientes es la región de los malezales, y es poco frecuente en el sur de la provincia. Forma grandes poblaciones casi puras o a veces se asocia con paja colorada y numerosos géneros de ciperáceas (Fernández *et al.*, 1993). Produce gran cantidad de materia seca, es un pasto de follaje semi-duro en el rebrote y "duro" en su madurez. Forman grandes matas, que al ser cortados o quemados, los animales consumen bastante bien el rebrote pero luego rápidamente es poco aceptado por el ganado, por lo que se lo considera de escaso valor

nutritivo. (Sampedro, 2002; Bernardis *et al.*, 2005).

3.5. Los elementos minerales

Los elementos minerales son sustancias inorgánicas, presentes en la naturaleza formando parte del suelo, agua, aire y están presentes en todos los tejidos biológicos y fluidos corporales. Su presencia es necesaria para el mantenimiento de ciertos procesos físico-químicos que son esenciales para la vida. Los minerales son constituyentes químicos utilizados por los seres vivos de muchas maneras. Participan activamente en el metabolismo biológico y ciertos minerales son esenciales para la vida y no generan energía (Hays y Swenson, 1985; Malhotra, 1998; Eruvbetine, 2003; Ozcan, 2003).

Los elementos minerales se pueden clasificar según:

- La cantidad de elemento mineral requerida por el vegetal o animal: macroelementos, microelementos y elementos ultra-trazas.
- La función bioquímica o la participación biológica en el metabolismo: elementos minerales esenciales, elementos minerales probablemente esenciales y elementos minerales con función incierta.
- Elementos minerales tóxicos para los seres vivos.

Los elementos minerales esenciales incluyen: fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), hierro (Fe), cinc (Zn), cobre (Cu), cobalto (Co), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), yodo (Y), selenio (Se), cromo (Cr) y azufre (S). Los probablemente esenciales son: fluor (F), litio (Li), silicio (Si), vanadio (V), níquel (Ni), arsénico (As), plomo (Pb), estaño (Sn), cadmio (Cd), boro (B), aluminio (Al), bromo (Br), bario (Ba), erbio (Er) y titanio (Ti). Elementos minerales

con función incierta se incluyen: germanio (Ge), antimonio (Sb), cesio (Cs), torio (Th), talio (Tl), berilio (Be), bismuto (Bi), uranio (U), circonio (Zr), plata (Ag), escandio (Sc) y galio (Ga). (Norton, 1982; NRC, 2001; Eruvbetine, 2003).

Elementos minerales tóxicos para los seres vivos: todos los elementos minerales cuando se encuentran en altas concentraciones en el suelo, disponible para los vegetales o en la dieta animal, provocan algún trastorno al metabolismo. Algunos elementos muy utilizados y conocidos, como el As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Ag, Pb, V (NRC, 2005), resultan sustancias tóxicas, a pesar de que algunos de ellos son necesarios para la vida, pero cuando por algún motivo natural o producto de la actividad del hombre, se acumulan en altas concentraciones en el suelo, agua y forraje, animales y el hombre se convierten en tóxicos muy peligrosos. Los flujos de elementos en el sistema suelo-planta dependen sobre todo de las condiciones del suelo (nivel de contaminación, estado de oxidación del elemento, textura, acidez, contenido de materia orgánica, entre otros factores) que determinan la biodisponibilidad de estos elementos. Por otra parte, distintas especies tienen distintos patrones de absorción a nivel raíz y de traslocación y acumulación de elementos en la biomasa aérea (Dominguez, 2010).

Ha sido bien reconocida la importancia de los elementos minerales en la nutrición vegetal, animal y humana (Underwood, 1971; Darby, 1976; Soetan *et al.*, 2010). Las deficiencias o alteraciones en la nutrición de los vegetales pueden ocasionar deficiencias en los animales que se alimentan con los mismos y causan una variedad de trastornos (Gordon, 1977). Cuando un microelemento es deficiente, se produce un síndrome característico que refleja las funciones específicas del nutriente en el

metabolismo vegetal y/o animal. Los microelementos son componentes esenciales de los sistemas enzimáticos. Las deficiencias simples o condicionadas de elementos minerales tienen, por tanto, efectos profundos sobre el metabolismo y la estructura del tejido. Para evaluar la ingesta dietética y la adecuación de los minerales, es necesario recolectar información sobre el contenido en elementos minerales de los alimentos, las dietas y el agua (Rao y Rao, 1981; Simsek y Aykut, 2007). Hay poca información sobre el contenido en elementos traza en el suelo y en vegetales que son utilizados como alimento por el ganado. La importancia de los elementos minerales en los seres humanos, los animales y la nutrición de las plantas no pueden ser sobredimensionadas. La presencia de elementos minerales en la alimentación animal es vital para los procesos metabólicos del animal. El pastoreo de ganado procedente de países tropicales a menudo no recibe suplementos minerales excepto sal común y debe depender casi exclusivamente del forraje para sus necesidades de minerales (McDowell *et al.*, 1984). Las deficiencias o desequilibrios minerales en los suelos y forrajes responden en parte a la baja producción animal y problemas reproductivos. La acidez del suelo y la estación son factores que afectan la captación de minerales por las plantas. Las plantas usan estos minerales como componentes estructurales en carbohidratos y proteínas; Moléculas orgánicas en el metabolismo, como el magnesio en la clorofila y el fósforo en el ATP; Activadores enzimáticos como el potasio, y para mantener el equilibrio osmótico. El calcio está altamente implicado en la formación y estabilidad de las paredes celulares, en el mantenimiento de la estructura de la membrana y la permeabilidad y participa en crecimiento el mantenimiento de la firmeza de los frutos. Activa algunas enzimas, regula muchas respuestas de células a estímulos. Bajos suministros producen deformación de las hojas, los brotes terminales

mueren y la raíz reducida (Belakbir *et al.*, 1998; Soetan *et al.*, 2010). Los elementos minerales desempeñan un papel importante en la salud y los estados patológicos de los seres humanos y los animales domésticos. Por ejemplo, la anemia por deficiencia de hierro y el bocio debido a la deficiencia de yodo se informan que son problemas de importancia para la salud pública en algunas comunidades (Deosthale y Belavady, 1978; Soetan *et al.*, 2010). Los elementos de rastreo de importancia para las personas con VIH son el zinc y el selenio. El selenio es un antioxidante que aumenta la función inmune. Se ha informado que el zinc, usualmente tomado para estimular el sistema inmune, debilita la función del sistema inmune y disminuye los niveles de calcio en los hombres VIH positivos (O 'Connor, 1995; Wood, 2000). Los contenidos de elementos minerales en el suelo y en vegetales permiten encontrar las causas de la formación de huellas dactilares minerales y así poder establecer la trazabilidad mediante los efectos combinados del origen geográfico con las series de suelo y sus interacciones sobre el contenido mineral.

La concentración de elementos minerales del suelo puede ser modificada por el uso de fertilizantes químicos, enmiendas, estiércoles, cenizas, productos fitosanitarios, actividad industrial y minera. Cuando se trata de metales pesados como: el plomo, mercurio, cadmio, arsénico entre otros, producen contaminación en el suelo, son fácilmente lixiviados y acumulados en los vegetales, animales, alimentos y finalmente se incorporan a los ríos alterando la cadena trófica, provocando riesgos potenciales debido a que originan serios problemas en la salud humana y animal (Waisberg *et al.*, 2013). Una forma de mitigar la movilidad y toxicidad de elementos pesados es la adición de estiércol o materia orgánica al suelo (Mollon *et al.*, 2016).

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1. Introducción

En este capítulo se presentan los aspectos metodológicos que se ha adoptado, la estrategia de indagación y el diseño de las diferentes fases de la investigación desarrollada. Se explican la forma y prácticas seguidas mediante las cuales se obtuvieron las muestras vegetales y de suelo. Los procedimientos para identificar las especies vegetales y depositar en el herbario ejemplares testigos. Se describe la validación de la metodología analítica para la determinación de la concentración de elementos minerales, la calibración de los instrumentos de medición y la calidad de éstas. Se expone el procedimiento que recibieron los datos obtenidos, y finalmente se presenta el tratamiento estadístico de las mismas.

4.2. Área de referencia

El experimento se condujo en la región occidental de la provincia de Corrientes, República Argentina, en los Departamentos San Cosme, General Paz, San Miguel y San Roque. El área de referencia se encuentra situada según el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) entre los puntos:

- A. S27°20'17.20" W58°35'52.51"
- B. S27°38'43.03" W57°06'00.16"
- C. S28°56'52.70" W58°57'50.15"

Los puntos A, B y C forman un triángulo en el sector noroeste de la provincia de Corrientes (Figura 4.1). Abarca una superficie de aproximadamente 1.400.000 ha. La altitud del área de estudio se sitúa entre los 60 y 72 m.s.n.m. según imágenes satelitales de Google Earth (2015).

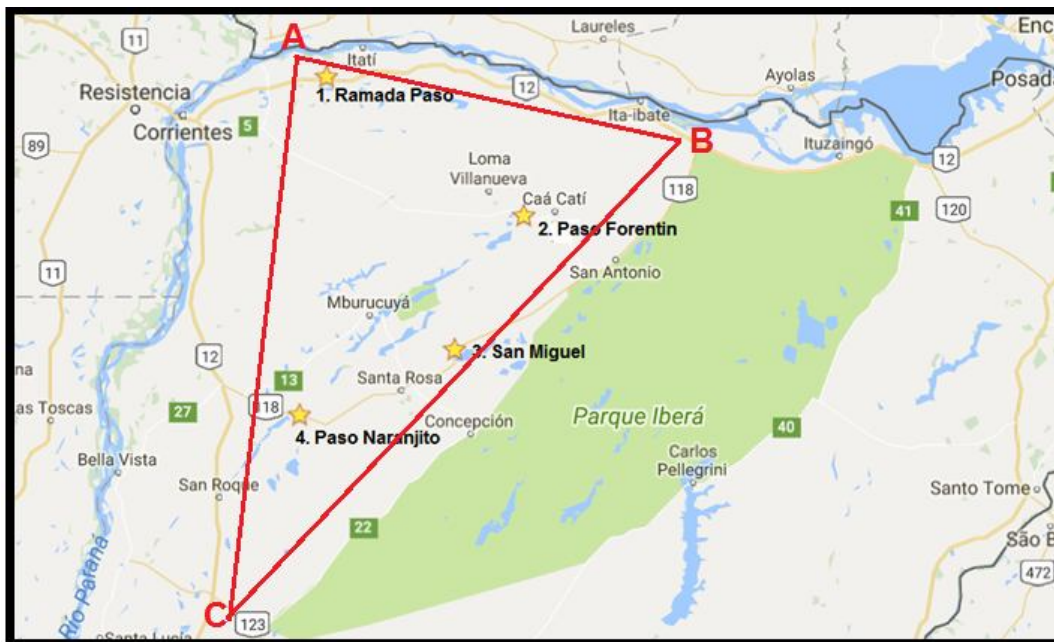


Figura 4.1. Área de referencia A, B y C. Ubicación de los sitios de muestreo: 1. Ramada Paso (San Cosme); 2. Paso Florentín (General Paz); 3. San Miguel (San Miguel) y 4. Paso Naranjito (Concepción). Corrientes, Argentina.

Con la información de imágenes satelitales del área de estudio y las referencias del mapa básico de suelo de la provincia de Corrientes, Argentina, respetando la descripción y clasificación taxonómica original (Escobar *et al.*, 1996; Ligier *et al.* 2001), de mapas temáticos (Carnevalli 1994), y de las características de los sedimentos (Herbst y Santa Cruz 1985), se identificaron cuatro sitios: 1. Ramada Paso (Departamento de San Cosme); 2. Paso Florentín (Departamento de General Paz); 3.

San Miguel (Departamento de San Miguel) y 4. Paso Naranjito (Departamento de Concepción) de la provincia de Corrientes, Argentina.

La posición de los cuatro sitios seleccionados según el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se puede observar en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1: Sitios elegidos para la toma de muestras de suelo y parte aérea de los pastizales.

Sitio de muestreo	Localidad	Serie de suelo	Coordenadas GPS
1	Ramada Paso	Chavarría	S27.35336 W58.36231
2	Paso Florentín	Pampín	S27.76016 W57.72132
3	San Miguel	Chavarría	S28°08'48 W57°56'46
4	Paso Naranjito	Pampín	S28.33755 W58.44935

Los sitios elegidos son representativos del campo natural, con un historial similar de manejo ganadero extensivo (principalmente con ganado bovino) por más de 15 años. En estos agroecosistemas no se realizó una intensificación en la producción de carne, esto significa mantener los recursos (personal, campo y animales) sin el empleo de una elevada cantidad de energía e insumos extra prediales. La unidad que se utiliza para expresar la capacidad de carga corresponde a la Unidad Animal (UA) igual a Equivalente Vaca (EV). De acuerdo con la definición dada por la Society for Range Management (1974) y Scarnecchia y Kothmann (1982), la UA corresponde a una “vaca de carne de 454 kg (1.000 lb) que amamanta un ternero menor a seis meses, y que en conjunto consumen diariamente alrededor de 12 kg de materia seca (26 lb)”. En estos sistemas de producción en promedio la carga animal es de 0,8 UA ha⁻¹. La carga

animal es el aspecto de manejo más importante, define en gran parte la producción del rodeo y la estabilidad ecológica y productiva de los pastizales.

Los sitios seleccionados (Figura 4.1. y Cuadro 4.1.), corresponden a la serie de suelo Chavarría en los Departamentos de San Cosme y San Miguel; la serie de suelo Pampín en los Departamentos General Paz y Concepción de la provincia de Corrientes. En cada sitio se localizaron pastizales de *A. lateralis* Nees (Figura 2) y de *S. setosum* (Griseb.) Hitchc (Figura 3). Esto se realizó observando el predominio de las especies para poder identificar los pastizales. A fin de homogeneizar la vegetación, en la primavera y antes de la toma de las muestras se realizaron clausuras, que consistieron en cercar una superficie entre 5 a 10 ha. Las clausuras permitieron proteger cada uno de los sitios para que no ingrese ganado de modo que la vegetación se desarrolle en forma natural, sin ser consumidas por los animales.



Figura 4.2. Pastizales de *A. lateralis* - paja colorada



Figura 4.3. Pastizales de *S. setosum* paja amarilla

4.3. Muestras vegetales

4.3.1. Obtención y tratamiento

En cada sitio y tipo de pastizal a partir de un punto, sobre una transecta de 100 m de longitud, en forma de zig-zag, se tomaron al azar las muestras (Figura 4.4.). Con el auxilio de un marco de hierro de 1 x 1 m se colectaron 10 muestras con tres repeticiones de la parte aérea de las especies forrajeras que conformaban del tapiz vegetal, cortando con una tijera a una altura de 2 cm sobre el suelo. Se eliminó el material muerto encontrado. Cada muestra fue identificada con una etiqueta. Las muestras fueron tomadas en el período estival y el estado fenológico fue al comienzo de la floración.

Se llevaron las muestras al laboratorio de la Cátedra de Química Analítica y Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNNE, para su procesamiento. Parte del material vegetal identificado y clasificado por especie vegetal fue estabilizado en estufa de aire forzado a 65° C hasta humedad higroscópica constante. Luego de pesado se molió por medio de un molino a cuchillas con tamiz de 0,5 mm.

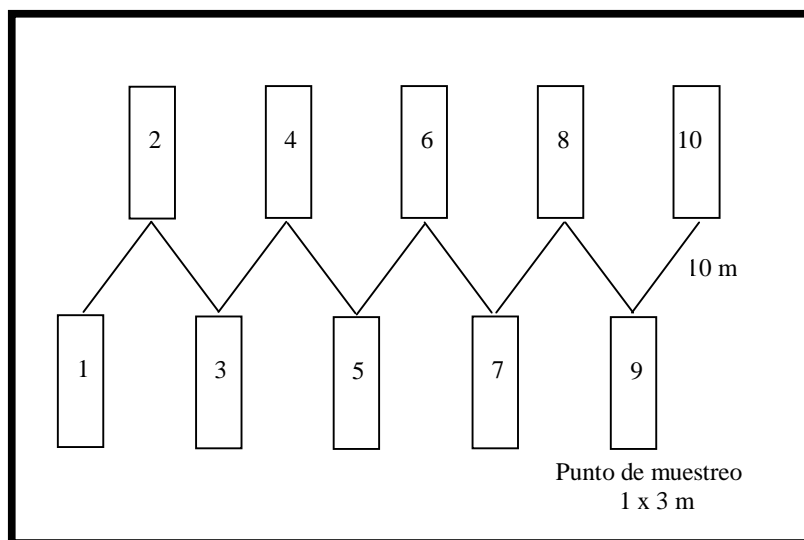


Figura 4.4. Esquema de la distribución de las parcelas de muestreo de la vegetación y suelo en cada sitio elegido y pastizal.

4.3.2. Composición florística

Los pastizales se caracterizan por tener una especie vegetal predominante y un conjunto de otras especies vegetales acompañantes. Considerando la utilización por el ganado los pastizales están integrados por un conjunto de especies deseables, intermedias e indeseables (Bernardis *et al.*, 2017). El mayor aporte en la producción de materia seca de los pastizales es aportado por las especies dominantes que lo constituyen. Para determinar el porcentaje de la composición florística de la biomasa forrajera para cada tipo de pastizal y sitio, se consideró en base al peso seco de cada una de las especies vegetales que integraba el tapiz (Huss *et al.*, 1996).

4.3.3. Ejemplares testigos

En cada sitio se identificaron ejemplares testigos de las especies dominantes y se procedió a realizar una colección en el terreno de muestras que fueron preparadas de

acuerdo a procedimientos estandarizados de herborización. Estos procedimientos incluyen la colección de uno a tres ejemplares por especie, tomando la muestra lo más completa posible. Los ejemplares colectados fueron prensados en el campo y etiquetados siguiendo la metodología taxonómica convencional y se enviaron al Herbario del Instituto de Botánica del Nordeste (IBONE) en Corrientes, Capital, donde fueron identificadas y/o confirmada su identidad, por integrantes de la Cátedra de Botánica Sistemática y Fitogeografía de la Facultad de Ciencias Agrarias UNNE. Los ejemplares testigos depositados se encuentran registrados con el nombre A.C. Bernardis - (herbario CTES), lugar de colecta, coordenadas GPS, y serie de suelo correspondiente (Cuadro 4.2.).

Cuadro 4.2. Registro de las especies testigos (herbario CTES), sitios de muestreos, localidad, serie de suelo y coordenadas GPS.

Sitio de muestreos	Identificación	Especie	Localidad	Serie de suelo	Coordenadas GPS
1	ACB-0010	<i>A. lateralis</i>	Ramada Paso	Chavarría	S27.35336 W58.36231
	ACB-0015	<i>S. setosum</i>			
2	ACB-0020	<i>A. lateralis</i>	Paso Florentin	Pampín	S27.76016 W57.72132
	ACB-0025	<i>S. setosum</i>			
3	ACB-0030	<i>A. lateralis</i>	San Miguel	Chavarría	S28°08'48 W57°56'46
	ACB-0035	<i>S. setosum</i>			
4	ACB-0040	<i>A. lateralis</i>	Paso Naranjito	Pampín	S28.33755 W58.44935
	ACB-0045	<i>S. setosum</i>			

Se identificaron otras especies vegetales que estaban presentes en los pastizales que constituyen las especies acompañantes y no se hicieron ejemplares de herbario de

estas especies.

4.4. Muestras de suelo

En cada sitio donde se tomaron las muestras vegetales y siguiendo con las recomendaciones de Lutens y Salazar (2000), con el auxilio de una pala tipo vizcachera de 10 cm de diámetro se tomó una muestra de suelo con tres repeticiones a una profundidad de 0,20 m. El muestreo se realizó a lo largo de la transecta de 100 m de longitud, obteniéndose 30 muestras de suelo para cada serie y sitio. Las muestras de suelo fueron colocadas en bolsas de polietileno identificadas y se llevaron al laboratorio donde se procedió al secado natural en la sombra. Una vez seco se homogeneizaron con mortero y se tamizaron mediante malla metálica de 1 mm. Se eliminaron las raíces presentes en las muestras.

4.5. Tratamiento de las muestras

Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente en el laboratorio y se tamizó con malla N° 20. Las muestras de las especies vegetales se estabilizaron a 65 °C en estufa con circulación de aire forzado. Se molieron en molino tipo Wiley con malla N° 20. Para eliminar el agua remanente de las muestras de suelo y de las especies vegetales se secó en estufa a 105 °C durante 48 hs. Luego se pesó 5 g de cada muestra y fue puesto en crisol de porcelana con tapa y se llevó a mufla a 550 °C durante 1 hora y luego enfriado, se le añadió 15 ml de ácido clorhídrico, 10 ml de ácido nítrico y 5 ml de ácido perclórico. Se evapora hasta casi seco. Se deja enfriar y se agregan 11,25 ml de HCl y 3,75 ml de HNO₃, se adicionan 5 ml de solución de Indio de 500 mg kg⁻¹ utilizado como estándar interno y se lleva a 50 ml y agitando enérgicamente; los

reactivos usados fueron de pureza analítica.

Las concentraciones de los elementos minerales fueron determinadas por medidas absorciométricas de emisión por plasma, usando un espectrómetro ICP-OES Varian Vista-PRO radial, a 167-785 nm. Este instrumento posee un excelente desempeño en la determinación simultánea de diversas especies químicas. Posee un Detector en formato CCD (charge coupled devices) (CCDs), con la ventaja de capturar todo el espectro de longitud de onda en una lectura sin escanear con lo que se ahorra tiempo y costo de argón. El ICP simultáneo significa corrección de fondo y estandarización interna simultánea dando resultados más precisos y exactos con excelente tiempo de estabilidad y con calibración automática y periódica del laboratorio de Alex Stewart Argentina en San Martín Mendoza (Figura 4.5). Posee un rango dinámico lineal entre mg kg^{-1} y % en cualquier longitud de onda. Automáticamente asigna a cada resultado a la longitud de onda apropiada. El instrumento permite confirmar simultáneamente la confiabilidad del dato entregando resultados automáticos en línea, mientras dura el análisis. Trabaja a dos longitudes de onda por cada elemento, lo que hace que posea un nivel de exactitud en los resultados en forma permanente, confirmando la no existencia de interferencias.

El ICP-OES permite introducir la muestra en forma variable, fácilmente intercambiable para sustancias orgánicas, acuosas o ácidas. Posee otros beneficios muy importantes como estandarización interna simultánea y corrección de fondo simultánea. En síntesis, este instrumento permite realizar el análisis de muestras complejas en forma rápida, segura, con muy buena resolución y sensibilidad adecuada. Las técnicas analíticas aplicadas fueron validadas por parámetros de aseguramiento de

la calidad en los cuales los valores de coeficiente de correlación, límites de detección y cuantificación, precisión y recuperación de la espícula confirmaron que los métodos eran eficientes y de acuerdo con los criterios establecidos por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (Realini *et al.*, 2013).



Figura 4.5. Espectrómetro ICP-OES Varian Vista-PRO radial (Laboratorio Alex Stewart, en la localidad de San Martín, Mendoza, Argentina).

4.6. Validación de la metodología analítica

Las concentraciones de 32 elementos a nivel de vestigios en las muestras de material vegetal y suelo fueron determinadas mediante espectrometría de emisión atómica por plasma inducido (ICP-OES). Las muestras fueron previamente calcinadas.

La espectrometría de emisión se basa en la producción y detección de espectros de líneas emitidos durante los procesos de des-excitación radiactiva de electrones que

sufren transiciones entre niveles excitados superiores y niveles excitados inferiores. Los espectros de líneas son específicos para cada elemento y la adecuada selección de una línea y su aislamiento por medio de un sistema dispersivo permite al analista verificar la presencia de ese elemento y determinar su concentración. Por esta razón, el primer paso que se realiza en espectrometría de emisión atómica es la selección de longitudes de onda a las que se realizarán las lecturas específicas para cada elemento. Se debe tener en cuenta además que las diferentes líneas de emisión de cada elemento poseen diferentes características de sensibilidad y especificidad. En este trabajo esta selección se realizó siguiendo los lineamientos propuestos en el Method 200.7 U.S. EPA (1994) que establece los criterios a tener en cuenta. Estos son: (a) longitudes de onda específicas o libres de interferencias para cada elemento, (b) sensibilidad y concentración esperada de los elementos de interés en las muestras. Las longitudes de onda seleccionadas se muestran en la Cuadro 4.3.

4.6.1. Calibración Instrumental

Se confeccionaron rectas de calibración para cada elemento a partir de patrones triplicados y empleando 5 niveles de concentración. Las diluciones se prepararon a partir de soluciones estándar certificados para espectrometría atómica (TraceCERT®). Se utilizaron seis patrones monoelementales de 1000 mg L⁻¹ de Ba, Be, Pb, Ti, Sb y Tl; además de un patrón multielemental conteniendo 100 mg L⁻¹ de Cr, Mn, Fe, Co, V, Ni, Cu, Zn, Ag y Cd. Los coeficientes de regresión obtenidos para cada recta de calibración tuvieron un R² ajustado comprendido entre 0,9986 a 0,9998. Estas rectas de calibración fueron luego utilizadas para la cuantificación de estos elementos en muestras reales. Adicionalmente, (Cuadro 4.3.) se determinaron los límites de

detección metodológicos (LDM). Los mismos están definidos como 3 veces la desviación estándar (σ) de la medida de 11 blancos de procedimiento. Estos blancos han sido preparados y analizados en diferentes días y de manera no consecutiva. El Cuadro 4.3. resume los MDL para cada elemento, los cuales implican el factor de dilución, y el límite de detección instrumental (LDI), el cual solo contempla la viabilidad de la medida con el ICP-OES.

Cuadro 4.3. Longitudes de onda y límite de detección metodológico para cada elemento determinado por ICP-OES bajo condiciones óptimas.

Elemento	Long. de Onda [nm]	LDM [mg L ⁻¹]
Ba	455,403	0,9
Be	313,042	0,2
Cd	226,502	2,3
Co	228,616	4,7
Cr	267,716	4,7
Cu	324,754	3,6
Fe	220,353	4,1
Mn	257,610	0,9
Mo	202,030	5,3
Ni	231,602	10,0
Pb	220,350	2,2
Sb	206,833	2,1
Ti	334,941	5,0
Tl	190,802	2,4

Por otro lado, se realizaron lecturas replicadas de una solución estándar conteniendo todos los elementos dentro de un mismo día de trabajo y en distintos días de trabajo, con nuevas condiciones de sintonización del equipo. Estas mediciones se realizaron con el objeto de evaluar la precisión del método, teniendo en cuenta la repetibilidad y reproducibilidad del mismo. Valores inferiores a 4,62 % de desviación estándar relativa (RSD) se obtuvieron para las mediciones realizadas en un mismo día (repetibilidad) y valores inferiores a 7,25 % se alcanzaron para mediciones replicadas en distintos días (reproducibilidad), por lo que se puede afirmar que la precisión de la metodología propuesta es adecuada.

4.6.2. Calidad analítica

Adición de estándar interno. Previo a la digestión se agregó a cada muestra ya pesada en las bombas de teflón, 1,0 mL de una solución de In (10 mg L^{-1}) preparada a partir de una disolución patrón certificada (CRM) de In en ácido nítrico (1000 mg L^{-1}), como estándar interno. La concentración de este elemento se determinó luego de manera simultánea al resto de analitos por ICP-OES, y se calculó el porcentaje de recuperación del mismo. Este procedimiento de agregado de estándar interno permitió evaluar la calidad de los pretratamientos aplicados a las muestras y posibles pérdidas que pudieran ocurrir durante las etapas de digestión. El elemento indio (In) se seleccionó debido a que en ensayos cualitativos previos practicados en tres muestras problemas seleccionadas al azar, dicho elemento se encontraba a niveles no detectables. Como resultado de este ensayo se obtuvo un valor promedio de $96,5 \% \pm 4,3 \%$ de recuperación en 10 muestras seleccionadas al azar, por lo que se puede afirmar que el pretratamiento aplicado a la muestra resultó adecuado para los niveles

de exactitud requeridos en este trabajo.

Estudio de recuperación. En el Cuadro 4.4 se observan los resultados obtenidos para la evaluación del grado de recuperación de cada uno de los elementos analizados, empleando el método de adición de estándar, el cual es considerado como un método adecuado para evaluar recuperación.

Cuadro 4.4. Prueba de adición del estándar y % de recuperación.

Elemento	Concentración adicionada	Muestra sin adición de estándar	Muestra con adición de estándar	Recuperación (n = 3)
	[mg L ⁻¹]	[mg L ⁻¹]	[mg L ⁻¹]	[%]
Ba	10,0	135,3	146,8	101,2
Be	0,25	0,23	0,50	103,1
Cd	0,25	0,21	0,47	102,8
Co	1,0	3,9	4,9	99,8
Cr	1,0	6,2	7,2	99,6
Cu	5,0	20,9	25,9	100,3
Fe	25,0	8305	8425	101,1
Mn	25,0	295	318,3	99,3
Mo	0,25	0,052	0,312	103,3
Ni	1,0	5,6	6,5	99,4
Pb	5,0	30,1	32,4	92,3
Sb	0,25	1,10	1,38	102,1
Tl	5,0	96	105,2	104,1
Ti	0,25	0,25	0,52	104,4

Tal como se puede observar los porcentajes de recuperación para todos los elementos se encontraron entre 92,3% (Pb) y 104,4% (Ti), lo que indica que el método propuesto es adecuado para cuantificar los analitos en la matriz problema, desde el punto de vista del porcentaje de recuperación de los mismos.

Comparación de los resultados con un método de referencia. La exactitud de un método analítico se asegura por medio de materiales de referencia certificados con una matriz similar a las muestras problema. Sin embargo, al momento de la realización de los análisis de esta tesis, no se disponía de un material de referencia certificado con una matriz similar en el laboratorio. Por esta razón, se propuso analizar de forma paralela dos muestras seleccionadas al azar (una muestra), en un laboratorio acreditado mediante una técnica de referencia para asegurar la calidad de las determinaciones analíticas. La técnica de referencia seleccionada fue la espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS). Esta es una técnica de análisis elemental e isotópico que se viene imponiendo como técnica de referencia, debido a sus bajos límites de detección y robustez de los análisis. Los resultados obtenidos para cada elemento se resumen en el Cuadro 4.5.

4.7. Estimación de elementos minerales extraídos por la producción animal

Teniendo en cuenta que en el área de estudio y que en estos sistemas productivos no es habitual realizar prácticas de fertilización de los pastizales para reponer los elementos minerales que se extraen con la producción bovina, el balance resulta negativo. El mismo se lo obtiene por diferencia entre la cantidad de elementos minerales que existe en el suelo y la cantidad que sale de la unidad productiva.

Cuadro 4.5. Espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS)

Prueba de adición del estándar y % de recuperación.

Elemento	ICP-MS n = 3		ICP-OES n = 3		Recuperación %
	Promedio	SD	Promedio	SD	
	[mg L ⁻¹]	[mg L ⁻¹]	[mg L ⁻¹]	[mg L ⁻¹]	
Ba	143,1	1,50	141,2	2,28	98,7
Be	0,254	0,016	0,23	0,011	90,5
Cd	0,103	0,005	0,10	0,014	103,0
Co	3,71	0,036	3,67	0,017	98,9
Cr	6,42	0,022	6,50	0,036	101,2
Cu	12,35	0,050	12,56	0,152	101,7
Mn	215,4	3,64	229,7	9,620	106,6
Mo	0,036	0,004	0,034	0,007	94,4
Ni	4,78	0,055	4,84	0,345	101,3
Pb	26,05	0,820	28,14	0,685	108,0
Sb	0,530	0,037	0,582	0,049	109,8
Ti	73,1	1,452	71,2	1,205	97,4
Tl	0,140	0,012	0,152	0,045	108,6

La lluvia incorpora fundamentalmente nitrógeno de la atmósfera. En el sistema productivo considerado no existen rotaciones de cultivos y generalmente varía la carga animal a lo largo del año (SEAE, 2008). La salida de elementos minerales es por la extracción por la producción bovina del ganado que se vende. Los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum* en los sitios de estudios (lomadas arenosas Noroeste de la

provincia) y según registros de varios años (Pizzio *et al.*, 2016), con el manejo de la carga variable, ajustando la misma a la curva de producción de pasto que en promedio en forma anual es de 5000 kg ha⁻¹ se logran productividades promedio de 200 kg PV ha⁻¹ año⁻¹ (Rearte, 2007; Pizzio, *et al.*, 2013). Existen otras salidas que suponen pérdidas de elementos (la erosión hídrica y eólica), pero éstas, en general, son menos importantes y más difíciles de estimar. Para esta productividad, se requiere un consumo de aproximadamente de 1600 kg de materia seca de biomasa forrajera. Un animal vacuno de acuerdo con su edad y su estado corporal, necesita determinada cantidad de forraje para producir 1 kg de carne. En las tablas de alimentación se pueden encontrar valores de 7 a 9 kg de pasto (medido en materia seca) para producir 1 kg de carne, valores comunes de “eficiencia de conversión” del pasto consumido en carne (Cibils y Fernández, 2002). Todo lo que cosecha el animal no es aprovechado, una parte de ese forraje pasa por el tracto digestivo sin ser degradado, esto constituyen las heces que vuelven al suelo al igual que la orina. Se considera que a una profundidad de 0.20 m del suelo se concentra el 80 % de las raíces de los pastizales.

Con la información de la concentración de los elementos minerales en suelo y en la materia seca aérea de los pastizales, se establecieron relaciones entre los mismos. Se evaluó la diferencia entre cationes y aniones de la dieta animal (DCAD) mediante la ecuación (Marin, 2000; Ciria Ciria *et al.*, 2005; Sánchez González, 2013):

$$\text{DCAD (mEq)} = (\text{mEqNa} + \text{mEqK} + \text{mEqCa} + \text{mEqMg}) - (\text{mEqCl} + \text{mEqS} + \text{mEq P}).$$

La extracción de elementos alcalinos del suelo por parte de las especies vegetales es un proceso natural, y entre los más importantes encontramos al Ca, Mg y K. La disminución de la concentración en el suelo de estos elementos alcalinos, por

debajo de ciertos niveles, puede afectar a la producción de biomasa de las especies forrajeras (Milani, 2015).

Conociendo la concentración de elementos minerales de las especies forrajeras, se puede predecir la respuesta animal a la suplementación mineral y desarrollar estrategias de manejo de los recursos forrajeros (Mayland y Shewmaker, 1997). Se puede estimar la cantidad de elementos minerales que se extraen por año. Hidalgo *et al.*, (2002) simularon cómo sería la proyección de estas en los sucesivos ciclos de producción respecto de las concentraciones totales en el suelo. Bernardis *et al.*, (2017) consideraron los elementos esenciales P, Ca, Mg, K, Na, Mn, Cu y Zn por ser los de mayor importancia en la nutrición animal. Con la información obtenida de la extracción de elementos minerales por la producción bovina se simuló en el tiempo el remanente de elementos esenciales en el suelo.

4.8. Diseño Experimental

El diseño experimental para la toma de muestras fue de 10 bloques completos al azar con 3 repeticiones. Los tratamientos corresponden a las series de suelo Chavarría y Pampín y a los pastizales de *A. lateralis* y de *S. setosum*. El modelo estadístico utilizado para el análisis de los datos fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \text{bloque } i + \text{pastizal } j + \text{serie } k + \text{pastizal } j \times \text{serie } k + \epsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} = variable dependiente, μ = media de Y (variable dependiente), bloque i = efecto fijo del i ésimo bloque o repetición, pastizal = el efecto del j -ésimo pastizal (tratamiento), ($j=1,\dots,b$), serie k = efecto fijo de k ésimo serie y ϵ_{ij} = es el

error residual.

4.9. Programas computacionales específicos

Todos los cálculos matemático-estadísticos fueron realizados con distintos programas disponibles en la UNSL y en la UNNE, entre los que se puede nombrar: Unscrambler 6.0 (CAMO, 1996), Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013) y R-project (R-development-core-team 2011). En la actualidad se posee la licencia para el uso de los programas citados anteriormente, excepto el último que es un programa de código abierto gratuito, diseñado con fines académicos.

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias por Test de Tukey con una significancia ($p < 0,05$). Este análisis permitió comparar los contenidos de elementos del suelo entre los sitios de muestreo y comparar los contenidos de elementos entre los pastizales y los sitios.

Para poder modelar la procedencia geográfica de las muestras en estudio, fue necesario manejar un gran número de datos proveniente de los valores de concentración de los distintos elementos inorgánicos estudiados y la gran cantidad de muestras. Para ello se utilizaron métodos estadísticos (quimiométricos) multivariable de análisis, mediante análisis de componentes principales (PCA) y análisis de conglomerado (CA).

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Composición florística

Los pastizales se caracterizan por ser un bioma donde predomina la vegetación herbácea. Con una especie vegetal dominante que, por lo general, posee porte alto y que, por su abundancia, en un determinado lugar, condiciona las relaciones entre el conjunto de las demás especies que crecen al ras del suelo. Las especies predominantes son las megatérmicas con alta capacidad fotosintética (C4). Vegetan por arriba de la isoterma anual de 20°C y tienen mayor eficiencia en el uso del agua y menor calidad nutritiva que los pastizales de zonas templadas (Martin, 2005). En el Cuadro 5.1, se presenta la composición florística promedio de los pastizales de *A. lateralis* y de *S. setosum*, para cada serie de suelo, o el aporte en la producción de materia seca de cada una de las especies que conforman estos pastizales. Las especies predominantes son de ciclo primavero-estivo-otoñal.

5.1.1. Pastizales de *A. lateralis*

La especie dominante y de mayor participación en la producción de biomasa aérea, en las dos series de suelos fue *A. lateralis* que aportó el 58 % en la serie de suelo Chavarría y el 55 % en la serie de suelo Pampín.

Desde el punto de vista forrajero el principal aporte lo realiza la familia de las poáceas (gramíneas), mientras que la familia de leguminosas aporta del 3,5 % al 4,2 % de la materia seca. La familia de las ciperáceas aporta un 3 % a 4 % de la materia seca

en las series de suelo Chavarría y Pampín respectivamente. No se encontró diferencia significativa del aporte de materia seca entre las series de suelos. Hack *et al.*, (2009) y Castelan *et al.*, (2013) reportan valores similares para otros pastizales con predominio de *A. lateralis* de la provincia de Corrientes, Argentina.

Cuadro 5.1. Porcentaje de composición florística promedio de los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum* en relación a la producción de materia seca para cada serie de suelo.

Especies vegetal	% de composición florística de los Pastizales de			
	<i>A. lateralis</i>		<i>S. setosum</i>	
	Series de suelos			
	Chavarría	Pampín	Chavarría	Pampín
<i>Andropogon lateralis</i>	58,1 ± 2,5	55,1 ± 3,2	11,2 ± 1,8	9,4 ± 0,9
<i>Sorghastrum setosum</i>	8,2 ± 0,7	7,0 ± 0,6	40,0 ± 2,1	35,1 ± 3,6
<i>Schizachyrium microstachyum</i>	3,0 ± 0,3	5,9 ± 0,2	4,1 ± 0,3	8,0 ± 0,7
<i>Sporobolus sp</i>	6,0 ± 0,6	4,3 ± 0,3	4,5 ± 0,3	4,3 ± 0,2
<i>Axonopus sp</i>	3,1 ± 0,3	4,6 ± 0,2	3,9 ± 0,2	5,1 ± 0,3
<i>Setaria parviflora var. parviflora</i>	2,3 ± 0,3	2,0 ± 0,2	1,1 ± 0,2	6,8 ± 0,8
<i>Sorghastrum nutans</i>	2,1 ± 0,2	1,1 ± 0,3	4,8 ± 0,4	6,7 ± 0,6
<i>Paspalum notatum</i>	2,2 ± 0,4	6,5 ± 0,8	3,1 ± 0,2	5,8 ± 0,3
<i>Desmodium incanum</i>	2,1 ± 0,3	1,2 ± 0,2	2,0 ± 0,1	2,0 ± 0,2
<i>Desmodium barbatum</i>	1,4 ± 0,2	3,0 ± 0,2	1,1 ± 0,1	1,9 ± 0,2
Ciperáceas	4,5 ± 0,5	4,2 ± 0,3	12,0 ± 0,9	3,9 ± 0,5
Otras especies	7,0 ± 0,8	5,1 ± 0,3	12,2 ± 0,8	11,0 ± 0,7

Los valores representan la media de n = 40 por tipo de pastizal y el desvío estándar.

5.1.2. Pastizales de *S. setosum*

La especie dominante y de mayor participación en la producción de biomasa aérea, en las dos series de suelos fue *S. setosum*, que aportó el 40,0 % en la serie de suelo Chavarría y el 35,1 % en la serie de suelo Pampín. Estos resultados, con pequeñas variaciones de la composición botánica de pastizales fueron reportados por (Fernández *et al.*, 1993; Bernardis *et al.*, 2005; Porta *et al.*, 2008; Hack *et al.*, 2009; Castelán *et al.*, 2013). La familia de las leguminosas aporta 3,1 % a 3,9 % de la materia seca en las series de suelo Chavarría y Pampín respectivamente.

Las especies presentes en estos pastizales constituyen la base de la alimentación para la ganadería y animales silvestres, y son reservorios de flora y fauna, proporcionando además diversos beneficios por los servicios ecosistémicos que prestan (Latterra *et al.*, 2009; Cerutti y Mónaco, 2017).

5.2. Contenido de minerales

Se presentan los resultados del contenido promedio ($n = 40$) de elementos minerales de la materia seca del conjunto de especies vegetales que conforman la parte aérea de cada pastizal. El límite de detección (LD) del equipo utilizado (ICP-OES) está expresado en mg kg^{-1} de ceniza (Cuadro 5.2). Las concentraciones de elementos minerales esenciales de la materia seca no presentaron interacción entre serie de suelo y tipo de pastizal. Para algunos elementos minerales las concentraciones fueron menores al límite de detección. Por ser la base de la alimentación de la ganadería se presentan los valores de requerimientos y la concentración máxima tolerable de los elementos minerales para la categoría bovinos de carne (NRC, 2001; cuadro 5.2). A

los minerales, desde el punto de vista de la nutrición animal se los clasifica en minerales esenciales, probablemente esenciales, de función incierta y tóxicos (NRC, 2005). Por otra parte, existieron diferencias significativas ($p < 0,05$) para los elementos B, Ba, K, Li, Mn, Na, Si, Ti, Tl y Zn.

5.2.1. Minerales esenciales: P, Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu, Co, Mo, Mn, Se y Cr.

Fósforo

El contenido de P de la materia seca no presentó diferencias significativas ($p < 0,05$). Los valores observados 426 mg kg^{-1} y 326 respectivamente para pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum* indican que no cubre el requerimiento de referencia de 2600 mg kg^{-1} (Mufarrege, 2004). Estos valores confirman el déficit del contenido de P de los pastizales en la zona de muestreo (Mufarrege, 2004). Sampedro (2002) observó valores más altos (900 mg kg^{-1}) en pastizales del NEA y destaca la deficiencia de P en el forraje durante todo el año. La fertilización con P del campo natural constituye una alternativa; Porta *et al.*, (2008) obtuvieron incrementos del 17,0 % del fósforo foliar en pastizales con agregado de 90 kg ha^{-1} de P. La deficiencia de P es la más frecuente a nivel mundial en rumiantes a pastoreo (Soto y Reinoso, 2012). El déficit produce disminución en el crecimiento, deficiencia para alimentarse y disminución en la producción. Se recomienda la suplementación mineral con P cuando la concentración de este es inferior a 1400 mg kg^{-1} en la materia seca del forraje (Mufarrege, 2004). La deficiencia de P en los pastizales, probablemente se relaciona a la baja disponibilidad de P en el suelo (Mufarrege, 2004; Tomei *et al.*, 2006).

Calcio

La concentración de Ca no presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre pastizales, con valores por debajo del requerimiento para el ganado de bovino, 4000 mg kg^{-1} (Norton, 1982). Las concentraciones de Ca observadas son inferiores a las reportadas por (Bernardis, *et al.*, 2005; Mufarrege, 2002; Mufarrege, 2004), para otros pastizales. Fernández *et al.*, (1993), registraron para pastizales de *A. lateralis* incrementos del 0,17 % de Ca en la materia seca cuando realizaron prácticas de quemas del pastizal en forma bienal.

Magnesio

El contenido de Mg registró valores por debajo de los niveles críticos 2000 mg kg^{-1} (NRC, 2001). Mufarrege (1999) reporta valores de 0,20 % en la materia seca de forrajeras naturales y Pechin *et al.*, (2017) en pastizal natural y pasto llorón cita valores de 0,05 a 0,07 %. Los forrajes tropicales en su mayoría presentan valores de Mg inferior al requerimiento (López *et al.*, 2008).

Sodio

La concentración de Na presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tipos de pastizales y por debajo del valor crítico que es de 100 mg kg^{-1} (NRC, 2001), Para pastizales de semejantes características, se observaron valores de entre 0,02 a 0,06 % (Mufarrege, 2002; Sampedro, 2002). Norton (1982), señala que las gramíneas tropicales son limitadas en contenido de Na. Esto indica que la mayoría de los forrajes no contienen la cantidad suficiente del elemento para cubrir las necesidades de los animales para una correcta nutrición, por lo que es necesaria una suplementación con

cloruro de sodio. En el NEA, del 80 al 90 % de las pasturas naturales son deficientes

Cuadro 5.2. Contenido de elementos minerales esenciales de la materia seca de los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*, Limite detección (LD). Requerimiento y concentración máxima tolerable para el ganado vacuno productor de carne.

ELEMENTO	LD mg kg ⁻¹ ceniza	Pastizal		Requerimiento	[Máximo] tolerable
		<i>A. lateralis</i>	<i>S. Setosum</i>		
		mg kg ⁻¹ de materia seca			
Fósforo (P)	0,15	426 ± 5 A	326 ± 4 A	2600	10000
Calcio (Ca)	0,021	553 ± 6 A	549 ± 6 A	4000	20000
Magnesio (Mg)	0,06	258 ± 3 A	225 ± 3 A	2000	4000
Sodio (Na)	0,06	100 ± 2 B	70 ± 2 A	100	10000
Potasio (K)	0,45	2194± 9 B	1419 ± 7 A	7000	30000
Hierro (Fe)	0,012	30 ± 1 A	36 ± 1 A	50	1000
Zinc (Zn)	0,006	16 ± 1 B	7 ± 1A	30	500
Cobre (Cu)	0,009	2 ± 0,5 A	2 ± 0,5 A	10	100
Cobalto (Co)	0,006	0,04±0,1A	0,05 ±0,1 A	0,10	10
Molibdeno (Mo)	0,015	< 0,01	< 0,01	0,1	5 – 6
Manganeso (Mn)	0,003	57± 2 A	94 ± 2 B	40	1000
Iodo (I)	...	0,26*	0,26*	0,5	50
Selenio (Se)	0,15	< 0,09	< 0,07	0,10	2
Cromo (Cr)	0,012	< 0,01	< 0,01	1	1000
Azufre (S)	...	0,25*	0,25*	1500	4000
Fluor (F)	...	< 0,20*	< 0,20*	...	40
Cloro (Cl)	...	...	...	2000	24000

En las filas: Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los valores representan la media de 40 muestras por tipo de pastizal y el desvío estándar. *Valores bibliográficos para la región NEA (Mufarrege, 2003).

en Na (Bavera, 2005). La deficiencia de Na en rumiantes incrementa la concentración

de K en saliva y líquido ruminal, provocando una disminución de la absorción de Mg (Pechin *et al.*, (2017).

Potasio

La concentración de K registró valores por debajo del nivel crítico (7000 mg kg⁻¹), con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre pastizales. Estos valores son inferiores a las isolíneas de K de los pastizales para la región NEA reportada por Mufarrege (2004).

El contenido de K en los pastizales está relacionado a la concentración del elemento en el suelo, a la especie, al estado fenológico y a las variaciones por la época del año (López *et al.*, 2008). Para mantener el nivel de K requerido por el vacuno en los forrajes, es necesario incorporar fertilizantes a la pastura (Marschener, 1986; Mufarrege, 2004). La deficiencia de K se manifiesta como una reducción en el consumo y pérdida de peso.

Hierro

La concentración de Fe presentó valores inferiores al requerimiento que es de 50 mg kg⁻¹. Sin diferencias significativa ($p < 0,05$) entre pastizales. Valores similares son informados por Mufarrege (2003) para la provincia de Corrientes. El Fe se hace más disponible a bajos pH (ácido) lo que permite una mayor absorción por la planta. El contenido de Fe en los vegetales varía con el tipo de suelo, condiciones climáticas y especie de planta.

Zinc

La concentración de Zn registró valores por debajo del nivel crítico 30 mg kg^{-1} . Ambos pastizales muestran un déficit en la concentración de Zn y presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tipo de pastizales. Esto confirma lo informado por Mufarrege (1999) y Bernardis *et al.*, (2005), quienes encontraron que en la Región del NEA la concentración de Zn es inferior a 20 mg kg^{-1} de la materia seca de los pastos naturales. La concentración de Zn disminuye con la madurez del forraje. Existen varias formas de suplementar con Zn, incorporando en la ración ó en las mezclas minerales, algunas de las sales, como óxido de zinc, sulfato, cloruro, carbonatos ó una sustancia orgánica que contenga Zn para evitar, entre otros, problemas de paraqueratosis de piel.

Cobre

La concentración de Cu encontrada no cubre el requerimiento para el ganado bovino productor de carne, cuyo nivel crítico es de 10 mg kg^{-1} . En pastizales similares de la región se informan valores de $3,9$ a $6,8 \text{ mg kg}^{-1}$ (Mufarrege, 2003; Postma *et al.*, 2010). La deficiencia de Cu en los forrajes se presenta cuando los suelos tienen deficiencia natural de Cu y por interacciones con otros elementos minerales como Fe, Zn, Cd, Mo y S. El contenido de Cu en las pasturas varía con el tipo de suelo (pH, contenido de materia orgánica), especie de planta, estado de madurez, manejo y clima (Underwood y Suttle, 1999). En todas las regiones de la Argentina se manifiesta una deficiencia de Cu y ha sido reconocida como enfermedad endémica (Minatel *et al.*, 2004; Postma *et al.*, 2010). El ganado ovino es la especie más sensible a la intoxicación, ya que tolera apenas 25 mg kg^{-1} de peso vivo. En el ganado bovino

consumos de 220 a 880 mg kg⁻¹ de peso corporal pueden causar la muerte (International Cadmium Association, 2011; Bilandžić, *et al.*, 2012).

Cobalto

La concentración de Co encontrada no cubre el requerimiento para el ganado bovino productor de carne, cuyo nivel crítico es de 0,10 mg kg⁻¹. Valores similares fueron obtenidos por Mufarrege (1999). Balbuena *et al.* (2013), en la provincia del Chaco, Argentina, obtuvieron valores de entre 0,07 a 0,24 mg kg⁻¹ en pastizales del este de las provincias de Formosa y Chaco.

Molibdeno

La concentración de Mo fue menor a 0,01 mg kg⁻¹ en ambos pastizales y este valor no cubre el nivel crítico de 0,1 mg kg⁻¹. Mufarrege (2003) cita valores bibliográficos de 0,8 mg kg⁻¹ en la materia seca de pastos de la región del NEA. Balbuena *et al.* (2013) registraron valores de 3 a 42 mg kg⁻¹ de Mo en *Melilotus alba* en la provincia del Chaco, Argentina. Los altos niveles de Mo parecen ser frecuentes en pasturas cultivadas en varias zonas del país y pueden ser tóxicas. Esto indica que debería suplementarse con Cu para contrarrestar un posible efecto tóxico del microelemento.

Manganeso

El contenido de Mn presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tipos de pastizales. Los contenidos encontrados superan los requerimientos del ganado bovino, cuyo valor crítico es de 40 mg kg⁻¹ y se encuentran por debajo de la concentración

máxima tolerable de 1000 mg kg^{-1} (NRC, 2001). Las altas concentraciones encontradas pueden explicarse por la presencia de concreciones de Fe y Mn en la serie de suelos Pampín (Escobar *et al.*, 1996). Los valores obtenidos son inferiores a lo informado por Mufarrege (2003) que registró valores de 351 mg kg^{-1} . En la Región NEA el contenido de Mn de los pastizales es un reflejo del nivel del elemento en los suelos, siendo suficientemente alto como para que no se produzcan deficiencias del elemento en el ganado bovino.

Selenio

La concentración de Se fue inferior al nivel crítico de $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$. No presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tipo de pastizales. En el ganado bovino ha sido diagnosticada la deficiencia de Se por el análisis de muestras de sangre tomadas en distintas partes del país, desde el Chaco a la cuenca del Salado (Mufarrege, 1999). Un suplemento con Se o Cr orgánico-quelados incrementa la degradabilidad de la materia seca, de la fibra detergente neutra y de la fibra detergente ácida en el rumen de novillos, pero no afecta a la proteína cruda (Chávez Solis, 2012).

Cromo

La concentración de Cr fue menor a $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ en ambos tipos de pastizales analizados, y los valores son inferiores al requerimiento que es de 1 mg kg^{-1} . El papel fisiológico predominante del Cr radica en que es integrante del factor de tolerancia a la glucosa que potencia la insulina (Ciria Ciria *et al.*, 2005). La dieta de terneros en crecimiento con el agregado de $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cr como picolinato de Cr ó polinicotinato de Cr, aumentó la tasa de desaparición de glucosa. Agregando Cr a la

ración 0,2 a 1,0 mg kg⁻¹ de Cr, se aumentó la ganancia de peso vivo y la respuesta inmune en terneros afectados por el transporte (NRC, 2001).

En los pastizales estudiados los resultados muestran que los minerales más deficientes fueron P, Na, Cu, Zn, Ca, Mg y Se. Esto coincide con McDowell y Arthington (2005) que los forrajes tropicales son a menudo deficientes en elementos esenciales.

5.2.2. Elementos minerales probablemente esenciales: Li, Si, V, Ni, As, Pb, Sn, Cd, B, Al, Ba, Sr, Ti.

En el Cuadro 5.3, se presentan las concentraciones de elementos probablemente esenciales en los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*. Ciertos autores han demostrado para algunas especies animales que el Ar, B, Pb, Si y V (NRC, 2001; NRC 2005) son esenciales, pero no hay evidencia de que estos minerales son de importancia práctica en el ganado bovino. Así la ingesta fisiológica (1-3 mg kg⁻¹ de dieta) de boro sugiere que el mismo es necesario para una salud ósea óptima, función cerebral y función inmune en animales superiores y humanos (Nielsen, 1996, 2002a). Sin embargo, aunque la evidencia es similar, el B no es consistentemente aceptado como un nutriente esencial para animales superiores como lo es para las plantas (NRC, 2005). El Ba no se considera un nutriente esencial para plantas o animales (NRC, 2005).

No se han establecidos los niveles de requerimiento de los elementos probablemente esenciales, excepto para el Ni.

El As generalmente no se acepta como un nutriente esencial para animales

superiores, sin embargo, la gran cantidad de respuestas a la privación aparente de arsénico ($< 35 \mu\text{g} / \text{kg}$ de dieta para cabras) y otras especies informados por más de un grupo de investigación sugiere que puede tener una función esencial o beneficiosa en ultra cantidades traza (Anke, 1986; Uthus, 1994; Nielsen, 1998). En la cabra, el cerdo y la rata, los signos más consistentes de aparente la privación de As se ha deprimido el crecimiento y anormal reproducción caracterizada por una disminución de la fertilidad y un aumento mortalidad perinatal (NRC, 2005).

El Cd no se considera un nutriente esencial para las plantas superiores y los animales (NRC, 2005). Sin embargo, una serie de estudios con roedores, pollos y ganado reportaron un aumento de peso cuando se agregaron niveles bajos de Cd a las dietas (Bokori *et al.*, 1995).

No se sabe que el Pb sea un nutriente esencial para los animales y no participa en ninguna función bioquímica beneficiosa conocida. Sin embargo, en varios estudios, la adición de Pb a la dieta de ratas y cerdos mejoró las tasas de crecimiento y metabolismo lipídico (Reichlmayr-Lais y Kirchgessner, 1981; Kirchgessner *et al.*, 1991; Manser, 1991) y mejoró la producción de huevos en pollos (Mazliah *et al.*, 1989; NRC, 2005).

Para algunos de los elementos minerales probablemente esenciales se conoce los niveles máximos tolerables. En las muestras analizadas, la concentración de elementos en la materia seca registró valores por debajo del nivel crítico. Ahora bien, se encontró diferencia significativa ($p < 0,05$) entre tipos de pastizales para Li, Si, B, Ba y Ti.

Cuadro 5.3. Contenido de elementos minerales probablemente esenciales de la materia seca de los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*, Limite Detección (LD). Requerimiento y concentración máxima tolerable para el ganado vacuno productor de carne.

ELEMENTO	LD mg kg ⁻¹ ceniza	A.	S.	Requeri- miento	[Máximo] tolerable
		<i>lateralis</i>	<i>Setosum</i>		
mg kg ⁻¹ de materia seca					
Litio (Li)	0,006	2,69 ± 0,1 B	2,06 ± 0,1 A	...	...
Silicio (Si)	0,06	64,28 ± 2A	96,50 ± 3 B	...	...
Vanadio (V)	0,009	0,11 ± 0,08 A	0,09 ± 0,05 A	...	...
Níquel (Ni)	0,03	0,02 ± 0,01 A	0,02 ± 0,01A	1	50
Arsénico (As)	0,106	< 0,03	< 0,03	...	50
Plomo (Pb)	0,084	< 0,05	< 0,05	...	30
Estaño (Sn)	0,051	< 0,03	< 0,03	...	...
Cadmio (Cd)	0,003	0,03 ± 0,01A	0,04 ± 0,01 A	...	0,05
Boro (B)	0,009	3,87 ± B	1,48 ± A	...	5
Aluminio (Al)	0,060	35,45 ± A	31,55 ± A	...	1000
Bario (Ba)	0,003	6,43 ± A	10,43 ± B	...	1000
Estroncio (Sr)	0,001	6,74 ± A	7,35 ± A	...	2000
Titanio (Ti)	0,006	1,88 ± B	1,30 ± A	....	...

En las filas: Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los valores representan la media de 40 muestras por tipo de pastizal y el desvío estándar.

5.2.3. Elementos minerales con función incierta: Sb, U, Ag, Tl, Th, Hg, F, Br.

La concentración de Sb, U, Ag, Tl, Th, Hg, F y Br en la materia seca de ambos pastizales está por debajo del límite de detección (LD) de cada elemento (Cuadro 5.4) para la metodología utilizada (ICP-AES). Estos elementos minerales no tienen una función reconocida en el metabolismo animal por lo tanto no se estableció niveles de requerimiento y no se conocen los niveles máximos tolerables, excepto para Hg, F y Br (NRC, 2001; NRC, 2005).

Cuadro 5.4. Contenido de elementos minerales con función incierta de la materia seca de los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*, Limite detección (LD). Requerimiento y concentración máxima tolerable para el ganado vacuno productor de carne.

ELEMENTO	LD mg kg ⁻¹ ceniza	A.	S.	Requerimiento (se desconoce)	[Máximo] tolerable
		<i>lateralis</i>	<i>Setosum</i>		
mg kg ⁻¹ de materia seca					
Antimonio (Sb)	0,063	< 0,04	< 0,04	...	...
Uranio (U)	0,450	< 0,29	< 0,29	...	...
Plata (Ag)	0,021	< 0,01	< 0,01	...	...
Talio (Tl)	0,081	0,26 A	0,45 B	...	...
Torio (Th)	0,090	< 0,06	< 0,06	...	...
Mercurio (Hg)	0,030	< 0,002	< 0,002	...	2
Bromo (Br)	...	...	...	...	200

En las filas: Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas (p<0,05).

Los valores representan la media de 40 muestras por tipo de pastizal.

No se sabe que el Hg sea un elemento esencial para los animales. En varios

experimentos en roedores, cerdos y pollos, los bajos niveles de mercurio inorgánico aumentaron la tasa de crecimiento; sin embargo, este efecto no se observó en todos los experimentos (Johnston y Savage, 1991; NRC, 2005).

5.3. Composición mineral de las Series de suelos Chavarría y Pampín.

El contenido total de elementos de las series de suelo Chavarría y Pampín, para cada sitio de muestreo analizado se presentan en el Cuadro 5.5. Los valores son promedio de 10 muestras con tres repeticiones y a una profundidad de 0,20 m. Se analizaron 32 elementos, de los cuales 16 elementos superaron el valor límite de detección (LD) del equipo utilizado (ICP-OES) en mg kg^{-1} de ceniza.

Los elementos minerales fueron agrupados de acuerdo con la clasificación de esenciales, probablemente esenciales, y con función incierta (NRC, 2005).

El contenido de P presentó diferencias significativas entre los sitios de muestreos ($p < 0,05$). El sitio 1 fue el de mayor concentración de fósforo y el de menor concentración fue el sitio 4, que corresponden a la serie Chavarría y Pampín respectivamente. Los valores de fósforo total encontrados corroboran que en general, los suelos de la provincia de Corrientes son deficientes en P, con menos de 60 mg kg^{-1} de fósforo total (Pizzio *et al.*, 2016). El P se encuentra en el suelo formando compuestos orgánicos e inorgánicos. La cantidad de P disponible para los vegetales es muy baja en comparación con la cantidad total del P en el suelo. Los niveles promedio de P total fueron $50,29 \text{ mg kg}^{-1}$ y $36,01 \text{ mg kg}^{-1}$ para las series Chavarría y Pampín, respectivamente, valores por debajo del nivel crítico 100 mg kg^{-1} . Por lo tanto, los pastizales naturales de la región de estudio son deficientes en P y es necesario corregir

Cuadro 5.5. Contenido total de elementos minerales en suelos de las series Chavarría y Pampín, para cada sitio de muestreo analizado.

Elementos	LD mg kg ⁻¹	Serie Chavarría		Serie Pampín	
		Sitio 1	Sitio 3	Sitio 2	Sitio 4
Elementos minerales esenciales (mg kg ⁻¹ de M.S.)					
Fósforo (P)	0,15	57,69 d	42,88 c	39,23 b	32,80 a
Calcio (Ca)	0,021	138,12 d	124,28 c	92,86 b	78,25 a
Magnesio (Mg)	0,06	47,17 c	74,65 d	24,99 b	17,15 a
Sodio (Na)	0,06	60,23 b	57,82 a	115,61 c	125,22 d
Potasio (K)	0,45	98,67 d	97,00 c	60,76 b	54,67 a
Hierro (Fe)	0,012	871,89 b	1805,64 d	958,82 c	399,52 a
Zinc (Zn)	0,006	5,95 d	5,33 c	4,21 b	3,54 a
Cobre (Cu)	0,009	13,35 b	24,36 c	7,16 a	7,01 a
Cobalto (Co)	0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Molibdeno (Mo)	0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015
Manganeso (Mn)	0,003	73,88 b	107,04 d	78,60 c	41,81 a
Iodo (I)	...	...	...	...	...
Selenio (Se)	0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Cromo (Cr)	0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,012
Azufre (S)	...	...	...	...	...
Fluor (F)	...	...	...	...	...
Cloro (Cl)	...	...	...	...	...
Elementos minerales probablemente esenciales (mg kg ⁻¹ de M.S.)					
Litio (Li)	0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Silicio (Si)	0,060	385,68 c	407,66 d	306,25 b	231,78 a
Vanadio (V)	0,009	5,76 b	23,31 d	8,52 c	3,75 a
Níquel (Ni)	0,030	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Arsénico (As)	0,106	< 0,106	< 0,106	< 0,106	< 0,106
Plomo (Pb)	0,084	< 0,084	< 0,084	< 0,084	< 0,084
Estaño (Sn)	0,051	< 0,051	< 0,051	< 0,051	< 0,051
Cadmio (Cd)	0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Boro (B)	0,009	6,61 c	3,60 b	1,74 a	8,48 d
Aluminio (Al)	0,060	955,09 b	1879,84 a	1161,48 c	399,75 d
Bario (Ba)	0,003	13,72 a	28,79 c	19,02 b	19,16 b
Estroncio (Sr)	0,001	2,82 d	2,41 c	1,56 b	0,24 a
Titanio (Ti)	0,006	15,41 a	16,99 c	15,66 b	15,46 ab
Elementos minerales con función incierta (mg kg ⁻¹ de M.S.)					
Antimonio (Sb)	0,063	< 0,063	< 0,063	< 0,063	< 0,063
Uranio (U)	0,450	< 0,450	< 0,450	< 0,450	< 0,450
Plata (Ag)	0,021	< 0,021	< 0,021	< 0,021	< 0,021
Talio (Tl)	0,081	< 0,081	< 0,081	< 0,081	< 0,081
Torio (Th)	0,090	< 0,090	< 0,090	< 0,090	< 0,090
Mercurio (Hg)	0,030	< 0,030	< 0,030	< 0,030	< 0,030
Bromo (Br)	...	...	...	...	...

En las filas: Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas (p < 0,05).

estas deficiencias durante todo el año tal como lo sugiere Pizzio *et al.*, (2016).

Los contenidos de Ca, K, Zn y Sr siguen un patrón similar al del P, ya que se observó el sitio 1 con la mayor concentración y mientras que el sitio 4 fue el de menor concentración de Ca, con diferencias significativas entre sitios y series de suelo. Por otra parte, el mayor contenido de Mg y Si se registró en el sitio 3.

Los contenidos de Fe, Mn y V siguen un patrón muy similar, con la mayor concentración en el sitio 3 y menor concentración en el sitio 4, con diferencias significativas ($p < 0,05$).

El contenido de Na y Al fue mayor en el sitio 4 y menor en el sitio 3, con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sitios y series de suelo. Valores menores a 125 mg kg^{-1} de Na total en suelo son considerados deficientes, por lo que se los debería suplementar al ganado durante todo el año con sodio tal como lo sugieres Pizzio *et al.*, (2016).

La concentración de Cu en las muestras de suelo estudiadas fue en promedio de $18,85$ y $7,9 \text{ mg kg}^{-1}$ para las series Chavarría y Pampín respectivamente. El sitio 3 presentó la mayor concentración mientras que los sitios 2 y 4 no presentaron diferencias significativas. Son suelos pobres en Cu estos resultados confirman lo determinado por Mufarrege (2003).

En general las concentraciones de los elementos minerales esenciales para los vegetales y animales se encuentran por debajo de niveles considerados normales, esto coincide con lo afirmado por Escobar *et al.*, (1996) que la fertilidad es baja para estas

series de suelo.

En el Cuadro 5.6 se presentan los resultados de la composición de elementos minerales promedios para cada serie de suelo, analizados por ICP-OES. Estos valores representan la concentración total de cada elemento, pero no indican que esta sea la concentración de elementos disponibles para los vegetales. En general los resultados indican que la concentración de elementos esenciales para los vegetales es baja, y concuerda con lo determinado por Escobar *et al.*, (1996) y por Ligier *et al.* (2001).

Cuadro 5.6. Composición multielemental de los suelos analizados por ICP-OES.

Elemento	Chavarría [mg kg ⁻¹]	Pampín [mg kg ⁻¹]	Elemento	Chavarría [mg kg ⁻¹]	Pampín [mg kg ⁻¹]
Ag	< 0,021	< 0,021	Mo	< 0,015	< 0,015
Al	1417 ± 65	762 ± 38	Na	59 ± 2	96 ± 24
As	< 0,106	< 0,106	Ni	< 0,030	< 0,030
B	5,10 ± 2	5,11 ± 2	P	50 ± 10	55 ± 11
Ba	21,25 ± 4	19,09 ± 7	Pb	< 0,084	< 0,084
Ca	131,20 ± 10	85,55 ± 12	Sb	< 3,15	< 3,15
Cd	< 0,003	< 0,003	Se	< 0,150	< 0,150
Co	0,91 ± 0,08	0,33 ± 0,05	Si	396 ± 15	280 ± 22
Cr	< 0,012	< 0,012	Sn	< 0,051	< 0,051
Cu	18,86 ± 4	7,09 ± 1	Sr	2,61 ± 0,3	1,08 ± 0,3
Fe	2338 ± 207	781 ± 33	Th	< 4,5	< 4,5
Hg	< 0,030	< 0,030	Ti	38 ± 3	18 ± 2
K	155 ± 8	65 ± 18	Tl	< 0,081	< 0,081
Li	< 0,3	< 0,3	U	< 22,5	< 22,5
Mg	60 ± 11	27 ± 8	V	14,53 ± 3	6,14 ± 2
Mn	90 ± 23	76 ± 7	Zn	5,63 ± 0,4	2,86 ± 0,1

Valores medios obtenidos a partir del análisis de 30 muestras de suelo de cada serie y el desvío estándar.

La concentración total de los elementos minerales representa la reserva de nutrientes que se dispone en forma natural para la producción ganadera, y parte de estos elementos son retirados en forma anual a través de la producción de carne. Las proporciones relativas entre todos los elementos son características de cada sitio o región.

Con la metodología utilizada y el ICP-OES se determinaron 32 elementos minerales, de los cuales 15 presentaron una concentración por debajo del límite de cuantificación.

5.4. Relaciones ocultas presentes en los datos químicos determinados

5.4.1. Relación entre minerales en la biomasa

El aporte de elementos minerales del forraje debe satisfacer el requerimiento de acuerdo con la categoría de animal y la ganancia de peso diaria, pero una concentración mayor o menor de uno o de otro elemento podrá incrementar el requerimiento de un tercero. Esto ocurre por simple competencia de algunos agentes transportadores y otras por interacción metabólica (Avila Teller *et al.*, 2010). Aquí analizamos algunas de estas relaciones (Cuadro 5.7).

Relación Ca/P: El contenido de Ca en las series de suelos analizadas es bajo, lo que propicia un contenido en los pastizales que no cubren el requerimiento para bovinos de carne. Si bien la relación Ca/P se encuentra dentro de los valores de referencia. Las concentraciones de P en la materia seca no cubren los requerimientos. Las concentraciones de P no superan a las de Ca en ambos pastizales (NRC, 2001). Esto evidencia que se requiere de una fertilización con Ca y P al suelo o bien una

suplementación con Ca y P en la dieta de los bovinos.

Relación Na/K (mEq): Los valores encontrados fueron similares en ambos pastizales, y son valores aceptables comparados con los de referencia. El K trabaja en conjunto con el Na para facilitar la entrada y salida de nutrientes a las células (actividad de la bomba Na/K) y ayuda a mantener el balance de agua en la célula (Greene, 2000).

Cuadro 5.7. Relación entre los elementos minerales de la materia seca en los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*.

Relación	Pastizal de <i>A. lateralis</i>	Pastizal de <i>S. setosum</i>	Valores de Referencia
Ca/P	1,30	1,68	1 a 2
Na/K (mEq)	0,08	0,08	Mayor a 0,024
K/Mg	8,51	6,31	Menor a 3,5
K/Ca+Mg (mEq)	2,30	1,58	Menor a 2,2
Na/Mg (mEq)	0,41	0,33	Menor a 0,11
Cu/Mo	205	204	Mayor a 2
Cu/Fe	0,07	0,06	Mayor a 0,04

Relación K/Mg: los valores determinados de la relación K/Mg en los dos pastizales estudiados fueron mayores a la referencia < 3,5. Dado el bajo contenido de Mg en los pastizales existe el riesgo de ocurrencia en los animales bovinos una hipomagnesemia (Sykes, 1993; Wittwer, 1996), que se produce cuando el Mg del pastizal es inferior a 2000 mg kg⁻¹ de la materia seca.

Relación K/Ca+Mg (mEq): es el potencial tetanizante, calculado a partir de la

fórmula de Kemp y t'Hart (1953). Cuando esta relación es menor de 2,2 los casos de tetania serían inferiores a 0,7 % mientras que, cuando la relación es mayor de 3,0 los casos serían del orden del 15,0 % (Mufarrege, 1999; Mufarrege, 2000). En ambos pastizales las concentraciones de Mg se encuentran por debajo del requerimiento y la relación K/Ca+Mg están próximas al umbral de riesgo. Pechin *et al.*, (2017) reporta en pastizales naturales de la provincia de La Pampa, Argentina, valores entre 0,94 y 1,41. Es necesario considerar el Mg que es aportado por el agua de bebida. Estos resultados indicarían que podrían generarse problemas de hipomagnesemia si no se suplementa con minerales a base de Mg.

Relación Na/Mg (mEq): los valores se encuentran por encima de la referencia (< a 0,11), indicando que la concentración de Mg es baja.

Relación Cu/Mo: los valores fueron altos en ambos pastizales, debido a los bajos contenidos de Mo. Se utiliza esta relación para evaluar el contenido de Cu del pasto. Los signos de hipocuprosis se manifiesta cuando la relación es menor que 2:1 (Mufarrege, 2003). El Mo y el S disminuyen la absorción verdadera del Cu, los molibdatos y sulfuros reaccionan en el rumen formando tiomolibdatos y estos reaccionan con el Cu formando compuestos totalmente insolubles. En el ganado bovino, concentraciones de Mo de 3 a 20 mg kg⁻¹ volvieron inadecuadas concentraciones de Cu de 7 a 14 mg kg⁻¹ del pasto (Mufarrege, 2003). En la Argentina la deficiencia de Cu en la mayoría de las regiones es condicionada, ya que existe un bloqueo del Cu del pasto por la presencia de Mo y S (Postma *et al.*, 2010). Evidentemente, esto no ocurre en los pastizales en estudio.

Relación Cu/Fe: el Fe al igual que el Mo es un potente antagonista del Cu en

terneros. La acción depresiva del Fe (se estima más de 250 mg kg⁻¹) y del Mo serían aditivas (Mufarrege, 1999). En los pastizales analizados la concentración de Fe es bajo por lo que no afectaría la disponibilidad de Cu.

5.4.2. Diferencia de cationes y aniones en la biomasa (DACAD).

La diferencia de cationes y aniones en la composición de la dieta (DCAD), formada por la parte aérea de las especies forrajeras de los pastizales de *A. lateralis* fue de: + 8,42 mEq/100 g y para *S. setosum* fue de: +17,88 mEq/100 g. Se considera que el DCAD alcance valores de +20 mEq (Ciria et al., 2005). La aplicación de la DCAD se constituye en una herramienta nutricional sumamente útil para favorecer la producción de las vacas lactantes. Los aniones tienen un efecto acidogénico en el organismo, mientras que los cationes son originan residuos alcalinos. Los cambios en el equilibrio ácido-base metabólico pueden afectar la actividad enzimática celular y la estructura de los receptores hormonales, reduciendo la producción de los animales y la resistencia a los desequilibrios metabólicos. Sin embargo, la manipulación técnica de este equilibrio puede contribuir a mejorar la salud, la producción y la reproducción. La DCAD óptima se sitúa en torno a +38 mEq/100 g de ms. Dentro de la DCAD conseguida se requiere que las relaciones sodio/potasio y sodio/cloro estén equilibradas (Marin, 2000). Para reducir el índice de hipocalcemia se recomienda el suministro de sales aniónicas en vacas antes del parto. Cuando la DCAD es negativa -10 a -20 mEq contribuye a mejorar el metabolismo del calcio y ayuda a reducir la incidencia de hipocalcemia (Sánchez González, 2013).

Los minerales trazas también podrían incluirse, pero en general la cantidad (porcentaje de la dieta) capaz de causar un desequilibrio ácido-base, sería mucho más

allá de los niveles tóxicos de estos minerales (NRC, 2005).

5.4.3. Extracción de elementos alcalinos

A partir de la concentración de elementos minerales de la parte aérea de los pastizales fue posible calcular los kg ha^{-1} de K, Ca y Mg extraídos anualmente por la producción animal. La disminución de la concentración en el suelo de estos elementos alcalinos, por debajo de ciertos niveles, afectaría la producción de biomasa de las especies forrajeras por alguna de las siguientes razones:

- Los elementos esenciales no son reemplazables en su función dentro del metabolismo vegetal por otros elementos y en consecuencia, la escasez de un elemento en particular repercutirá indefectiblemente sobre la producción.
- La nutrición vegetal está condicionada no sólo por el contenido de nutrientes en el suelo, sino también por las concentraciones relativas de cada uno de ellos respecto de otros elementos, con los cuales pueden tener interacciones.
- La menor concentración de bases produce una disminución del pH, acidificando el suelo, afectando aún más a la producción.

El valor del pH promedio en las muestras de suelos fue:

Serie Cavaría: $\text{pH} = 4,4 \pm 0,2$ y en la Serie Pampín $\text{pH} = 5,2 \pm 0,1$. Estos valores son muy cercanos a lo determinado por Escobar *et al.*, (1996) para estas series de suelo de la provincia de Corrientes.

En el Cuadro 5.8 se presentan las estimaciones de extracción de elementos alcalinos en forma anual por los pastizales, considerando una producción de 2700 kg

de materia seca que es el equivalente para una producción animal de 200 kg ha⁻¹.

Cuadro 5.8. Extracción de elementos alcalinos (K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺) en kg ha⁻¹ año⁻¹ por los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*.

Pastizal	Utilización del forraje kg ha ⁻¹	K ⁺ kg ha ⁻¹	Ca ⁺⁺ kg ha ⁻¹	Mg ⁺⁺ kg ha ⁻¹	Total = (K ⁺ + Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺) kg ha ⁻¹
<i>A. lateralis</i>	2700	5,92	1,49	0,69	8,10
<i>S. setosum</i>	2700	3,83	1,48	0,61	5,92

En el Cuadro 5.9 se presentan los resultados de extracción para la producir 1 tonelada de materia seca. Se compara con valores de referencia de la producción de cultivos extensivos como maíz y trigo.

Cuadro 5.9. Extracción de elementos alcalinos (K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺) en kg ha⁻¹ para producir 1tn de materia seca.

Especie	K ⁺ kg tn ⁻¹	Ca ⁺⁺ kg tn ⁻¹	Mg ⁺⁺ kg tn ⁻¹	Total = (K ⁺ + Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺) kg tn ⁻¹
<i>A. lateralis</i>	2,19	0,55	0,26	3,00
<i>S. setosum</i>	1,42	0,55	0,23	2,20
Maíz (grano)	3,40	0,20	0,95	4,55
Trigo (grano)	4,70	0,38	1,99	7,07

Si bien no está cuantificado, existe la posibilidad de que estos campos con muchos años de pastoreo continuo estén afectados por un proceso de acidificación. Para revertir esta situación existen en el mercado productos para la reposición de los

elementos alcalinos, pudiendo utilizarse el CaCO_3 (carbonato de calcio), $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ (dolomita) y el KCl (cloruro de potasio). Es necesario enfatizar la idea que una ganadera sin reposición de nutrientes se presenta como un planteo productivo poco sostenible en el tiempo.

5.5. Composición multielemental

Los parámetros principales de la estadística descriptiva, como media, desviación estándar, coeficiente de variación, máximo y mínimo se utilizaron para caracterizar las propiedades del suelo y los contenidos de elementos minerales en suelo y vegetales. Los resultados se presentan resumidos en Cuadros y permiten conocer los valores medios, así como la variabilidad de las variables analizadas.

5.5.1. Suelos

En el Cuadro 5.6 se presentan los resultados de la composición de elementos minerales promedios para cada serie de suelo, analizados por ICP-OES.

5.5.2. Partes aéreas

En el Cuadro 5.10 se presenta el contenido promedio ($n= 60$) de elementos minerales totales de la principal especie vegetal que integran cada uno de los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*.

5.6. Análisis multivariado los resultados

El análisis multivariado de los resultados obtenidos de la concentración de elementos minerales fue realizado en muestras del material vegetal, con el objeto de explorar la

Cuadro 5.10. Composición mineral de la parte aérea de las especies vegetales *A. lateralis* y *S. setosum*, analizados por ICP-OES.

Elemento	<i>A. lateralis</i> mg kg ⁻¹	<i>S. setosum</i> mg kg ⁻¹
Ag	< 0,01	< 0,01
Al	33,6 ± 6,5 A	30,89 ± 4,3 A
As	< 0,03	< 0,03
B	3,82 ± 0,5 B	1,54 ± 0,6 A
Ba	6,39 ± 1,4 A	10,48 ± 1,5 B
Ca	561 ± 18,4 A	554 ± 15,8 A
Cd	0,03 ± 0,01 A	0,04 ± 0,01 A
Co	0,04 ± 0,01 A	0,05 ± 0,01 A
Cr	< 0,01	< 0,01
Cu	2,0 ± 0,02 A	2,0 ± 0,02 A
Fe	28,8 ± 0,9 A	35,2 ± 1,1 A
Hg	< 0,002	< 0,002
K	2194 ± 72 B	1419 ± 81 A
Li	2,7 ± 0,03 B	2,1 ± 0,02 A
Mg	251 ± 8,9 A	219 ± 9,2 A
Mn	59,3 ± 2,9 A	96,8 ± 3,6 B
Mo	< 0,01	< 0,01
Na	103 B	72,3 A
Ni	0,02 ± 0,01 A	0,02 ± 0,01 A
P	430 ± 14,7 A	328 ± 12,6 A
Pb	< 0,05	< 0,05
S	0,25 ± 0,01 *	0,25 ± 0,01 *
Sb	< 0,04	< 0,04
Se	< 0,07	< 0,07
Si	66,1 ± 2,3 A	98,5 ± 2,6 B
Sn	< 0,03	< 0,03
Sr	6,75 ± 0,02 A	7,33 ± 0,02 A
Th	< 0,06	< 0,06
Ti	1,89 ± 0,01 B	1,29 ± 0,01 A
Tl	0,24 ± 0,01 A	0,46 ± 0,01 B
U	< 0,29	< 0,29
V	0,11 ± 0,01 A	0,09 ± 0,01 A
Y	0,26 ± 0,01 *	0,26 ± 0,01 *
Zn	16,0 ± 2,3 B	6,7 ± 0,8 A

Letras mayúsculas distintas en la fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Los valores representan la media de 60 muestras por especie vegetal ± desvío estándar.

*Valor de referencia según Contreras *et al.*, 2003

posible presencia de patrones o relaciones algorítmicas entre los valores de

concentraciones determinados. Estos patrones presentes en la estructura de datos pueden brindar información adicional resultante del análisis pormenorizado de los datos, con la asistencia de herramientas quimiométricas. Estas herramientas pertenecen a la familia de técnicas utilizadas en el Análisis Exploratorio de Datos (EDA). Una de las características más sobresalientes que tienen en común estos métodos, es que en general, la aplicación de estas herramientas a una matriz de datos se propone como objetivo representar la información disponible de manera gráfica, en un número de dimensiones reducidas, para lograr una interpretación visual accesible. En general se cumple que usando información gráfica se consigue una interpretación más directa y confiable de similitudes, diferencias, tendencias, grupos y correlaciones en los datos, en lugar de utilizar complicadas tablas o series de números. El otro axioma del EDA es que el foco de atención está en los datos, en lugar de la hipótesis. Esto significa, en sentido figurado, que el analista no realiza suposiciones previas sobre la distribución de datos o ajuste a modelos estadísticos establecidos, sino que se busca visualizar la estructura de datos, dando prueba de su naturaleza, de las relaciones entre ellos, el significado de la información que se encuentra por debajo de lo que se ha evaluado en ellos, o incluso la ausencia completa de cualquiera de esto, si es el caso.

Para la realización se utilizaron las siguientes herramientas de manera secuencial:

- Técnicas para analizar las relaciones presentes entre las variables determinadas.
- Reducción del número de variables mediante el uso del método de Análisis de las Componentes Principales (ACP).

- Análisis de posible agrupamiento entre muestras de acuerdo a las similitudes entre las mismas, Análisis Cluster Jerárquico (HCA).

Técnicas para analizar relaciones entre variables

Las correlaciones permitieron establecer las relaciones lineales entre diferentes parámetros, ya que miden como están relacionadas linealmente las variables. No obstante, si entre las variables existe algún tipo de correlación no lineal no se puede detectar mediante este análisis. Las correlaciones se establecieron mediante el cálculo de los coeficientes de correlación de Pearson (r). Se estudiaron las correlaciones entre los contenidos multielementales, en suelo y planta, como así también las correlaciones presentes en los contenidos multielementales en las partes aéreas de las especies *A. lateralis* y *S. setosum* estudiados.

5.7. Correlaciones

5.7.1. Correlaciones planta-suelo

En el Cuadro 5.11 se presentan las correlaciones entre el contenido de elementos traza en las plantas y su contenido en el suelo, agrupados de acuerdo a las distintas especies y serie de suelo donde fueron recolectadas.

Como se puede observar, a pesar de la gran influencia que puede tener el contenido de los elementos del suelo sobre la concentración en plantas, los contenidos de un mayor número de elementos de la especie *S. setosum* resultan influenciados por la serie de suelo. Así, las muestras de esta especie presentan una correlación positiva en las concentraciones de Ca, P, Si, Sr y Zn con la serie Pampín; y Al, Cu, Mn, Ti y Zn

con la serie Chavarría. La especie *A. lateralis* solo presenta valores de correlación positiva para el K (SSP) y el Zn (SSC). Los valores negativos en los coeficientes de correlación indican una proporcionalidad inversa en cuanto a las variaciones de los contenidos en suelo y planta de los contenidos elementales.

Cuadro 5.11. Coeficientes de correlación (r de Pearson) entre las distintas especies *A. lateralis* (AL) y *S. setosum* (SS) y las series de suelo Chavarría (SSC) y Pampín (SSP).

Elementos minerales	Especie + serie suelo			
	AL+SSP	AL+SSC	SS+SSP	SS+SSC
Al	-0,13	0,24	0,41	0,86
B	0,50	0,19	-0,06	-0,76
Ba	-0,32	-0,67	-0,74	-0,65
Ca	-0,35	0,34	0,73	-0,35
Cu	-0,07	-0,70	0,50	0,56
Fe	-0,06	-0,17	0,04	0,35
K	0,65	-0,09	-0,18	0,57
Mg	0,40	-0,52	0,69	-0,18
Mn	-0,51	-0,33	0,17	0,64
Na	-0,17	0,13	-0,33	-0,07
P	0,21	0,17	0,54	-0,04
Si	-0,02	0,37	0,72	0,39
Sr	-0,50	-0,08	0,68	-0,44
Ti	-0,23	0,16	-0,59	0,61
V	-0,34	0,25	0,19	0,49
Zn	0,00	0,75	0,69	-0,32

Los valores resaltados con color fueron significativos en la prueba de hipótesis para coeficientes de correlación con un 95% de confianza.

5.7.2. Correlación entre contenidos elementales de cada especie vegetal

Los resultados de las correlaciones entre el contenido de elementos trazas en las partes aéreas de las especies vegetales estudiadas, se presentan en forma gráfica en las Figuras 5.1 y Figura 5.2. El análisis de las correlaciones permite observar las interacciones positivas, o negativas, que tienen lugar entre los elementos en su absorción y acumulación por las plantas.

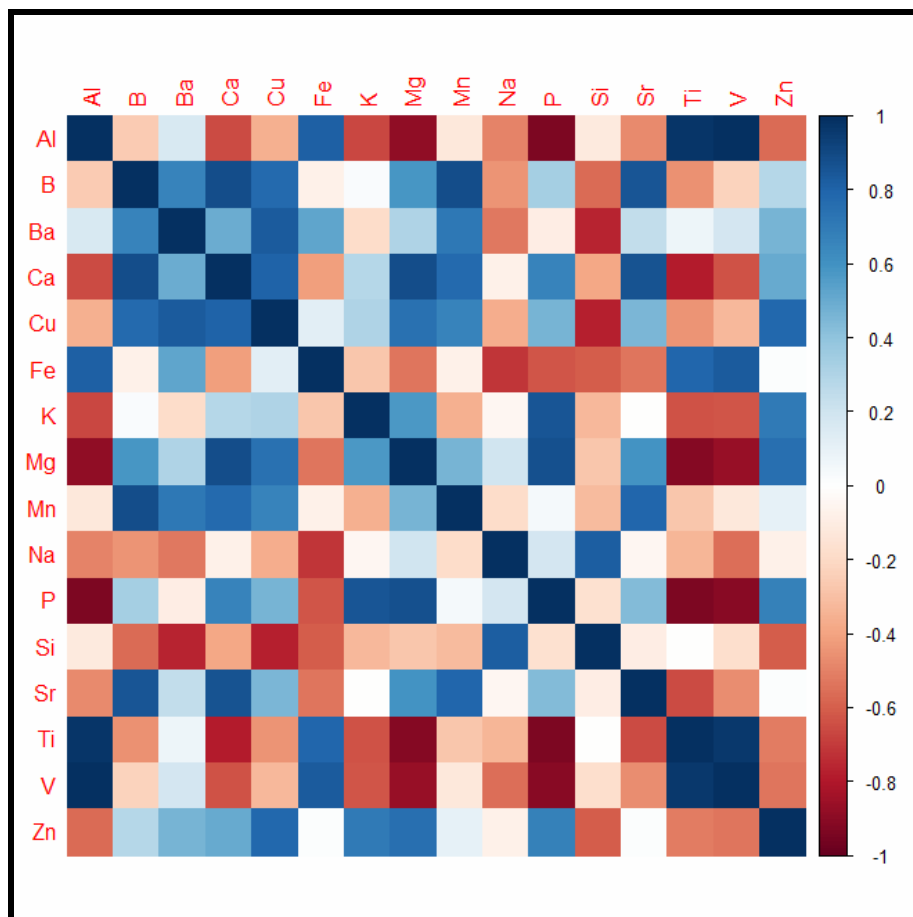


Figura 5.1. Matriz de correlaciones entre variables determinadas en la composición multielemental de la especie *A. lateralis*.

Las diferencias en la acumulación de elementos entre las especies vegetales se

hacen visibles, al analizar por separado las posibles correlaciones para cada una de las dos especies.

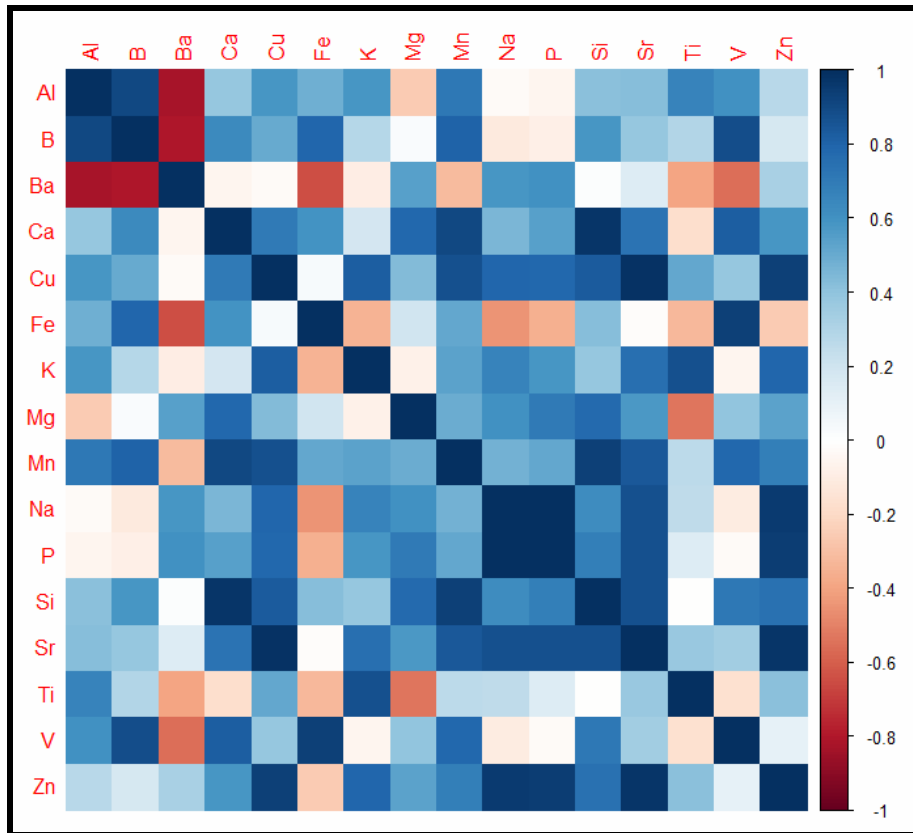


Figura 5.2. Matriz de correlaciones entre variables determinadas en la composición multielemental de la especie *S. setosum*.

5.8. Modelo clasificatorio de plantas de acuerdo a la serie de suelo

Con el objeto de elaborar un modelo clasificatorio de los datos de composición multielemental de las muestras vegetales analizados con respecto a la serie de suelo donde fueron recolectadas, se realizó en primer término un análisis de componentes principales (ACP), para obtener una primera impresión con respecto a la distribución de los datos en un espacio matemático de dimensiones reducidas. El Análisis de

Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de las dimensiones (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo es reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí. Un aspecto clave en ACP es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada a priori, sino que será deducida tras observar la relación de los factores con las variables iniciales (habrá, pues, que estudiar tanto el signo como la magnitud de las correlaciones). Esto no siempre es fácil, y será de vital importancia el conocimiento que el experto tenga sobre la materia de investigación. En general, resulta muy útil la representación gráfica de los resultados obtenidos mediante la ACP. Para ello se realizan al menos dos gráficos en el plano definido por las primeras variables, que son las que contienen mayor proporción de varianza presente en los datos, el gráfico de loading (representa en forma de vectores las correlaciones entre variables objeto de estudio) y el gráfico de scores (representa en forma de gráfico de distribución de puntos a la distribución de muestras en este nuevo espacio matemático generado).

Para obtener resultados comparables, es necesario que todas las variables signifiquen lo mismo, para lo cual es necesario que todas se midan bajo la misma escala. Esto se consigue al normalizar los datos, con lo que cada variable tiene media igual a cero y varianza unidad.

La aplicación del ACP a los resultados obtenidos se resume en las Figuras 5.3 y 5.4 que muestran gráficos tipo biplot. Los biplots son un tipo de gráfico exploratorio

que permiten resumir en una única representación al gráfico de dispersión de scores, proyectado sobre el gráfico de vectores correspondiente a los loadings.

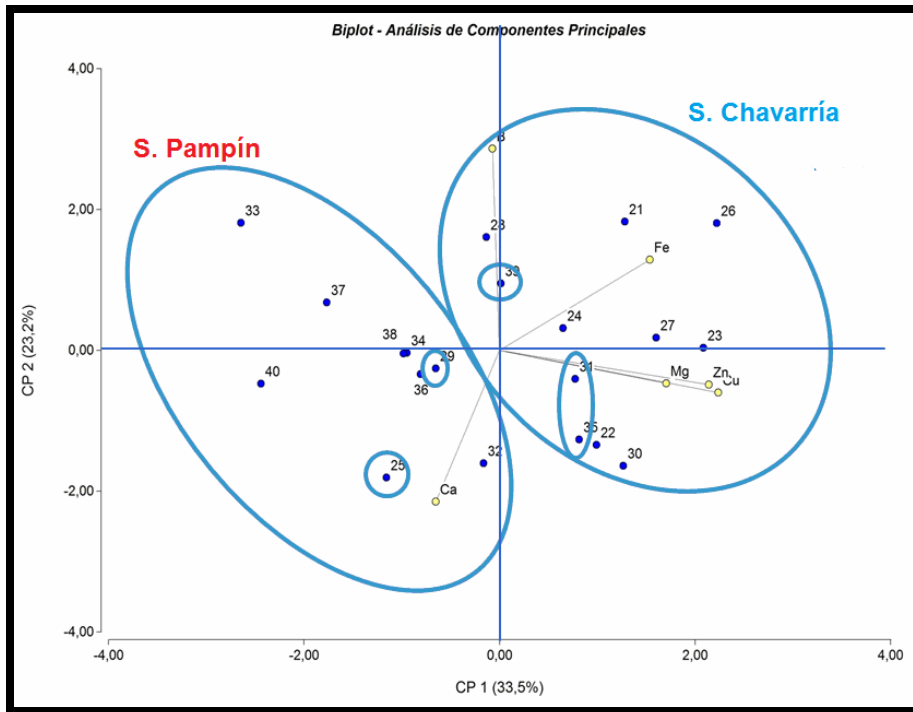


Figura 5.3. Gráfico biplot con los resultados del ACP aplicado a los datos multielementales correspondiente a las muestras de *A. lateralis* en las series de suelo Chavarría y Pampín.

Tal como se puede observar en la Figura 5.3, las muestras de *A. lateralis* presentan una fuerte tendencia a agruparse de acuerdo a la serie de suelo donde fueron recolectadas. En general, la CP1 les asigna valores positivos a las muestras provenientes de la serie Chavarría y negativos a las de la serie Pampín. Los valores positivos en esta CP se corresponden con elevadas concentraciones de los elementos Fe, Mg, Zn y Cu, mientras que los negativos se corresponden principalmente con las concentraciones de Ca. La CP2 se encuentra correlacionada de forma opuesta a las

concentraciones de B (positivos) y Ca. La distribución de scores en este gráfico se presenta de manera homogénea, no visualizándose la presencia de valores atípicos (outliers) en la proyección del espacio correspondiente a las dos primeras componentes, que resumen un 56,7% de la varianza total de los datos.

En la Figura 5.4, se observa ahora el biplot correspondiente a la aplicación del ACP a las muestras de *S. setosum*. Esta proyección de valores vuelve a mostrar una correlación positiva entre las concentraciones de Cu, Mg y Zn con la CP1. Sin embargo, las concentraciones de B, Fe, y en menor medida de Ca, presentan proyecciones negativas con esta CP. La PC2, muestra ahora proyecciones opuestas en las concentraciones de Fe y Ca (positivas) versus las de B. La distribución de los scores vuelve a aparecer agrupada de acuerdo a las series de suelo de origen de los pastizales, aunque ahora puede observarse la presencia de una muestra (número 1) que aparece fuera de la elipse correspondiente al 95% de probabilidades para la serie Chavarría. Esta muestra debe ser tratada con precaución dado que ejerce una fuerte influencia en la distribución de los demás scores. Finalmente, este gráfico correspondiente a las dos primeras CPs resume un 54,4% de la varianza total de los datos.

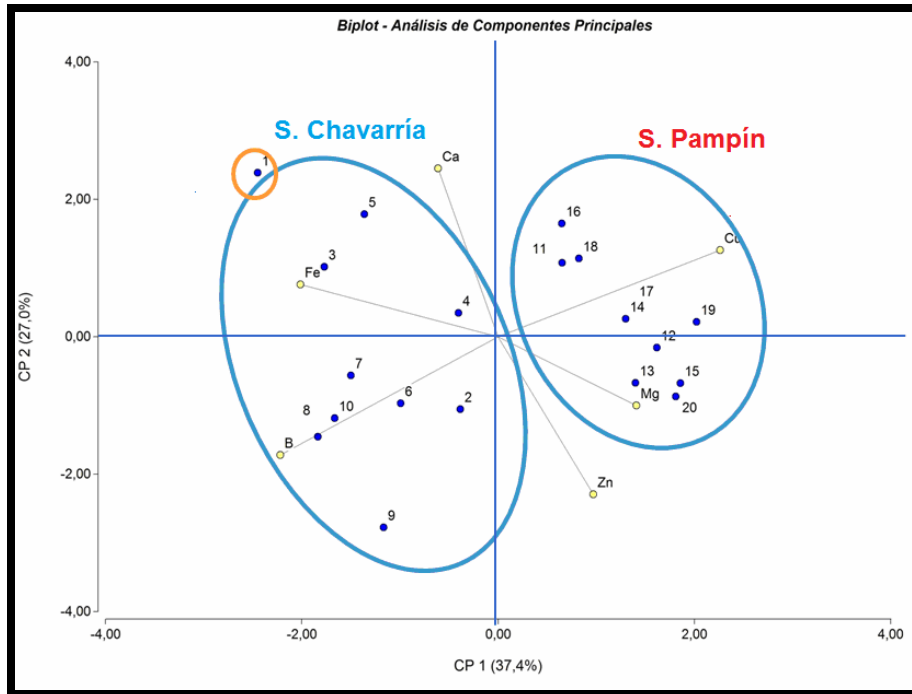


Figura 5.4. Gráfico biplot con los resultados del ACP aplicado a los datos multielementales correspondiente a las muestras de *S. setosum* en las series de suelo Chavarría y Pampín.

5.9. Modelo de clasificación de plantas de acuerdo al origen geográfico

Al clasificar las muestras de acuerdo al origen geográfico de los pastizales mediante el ACP, vuelve a observarse una tendencia a agruparse, sin embargo, ahora con un mayor grado de solapamiento entre grupos. Dicho solapamiento se hace evidente al graficar las elipses de distribución con un 95% de probabilidades de pertenecer al grupo correspondiente. En la Figura 5.5 se presenta el gráfico de scores correspondiente a las dos primeras CPs de las muestras de *A. lateralis*. Se evidencia que las muestras correspondientes a las tomadas en Paso Florentín y Ramada Paso, poseen todos valores positivos en la CP1. Dichos scores presentan una mayor

dispersión en el espacio generado, indicando una gran variabilidad en los resultados. Como consecuencia se observa una cierta tendencia a superponerse entre grupos de muestras.

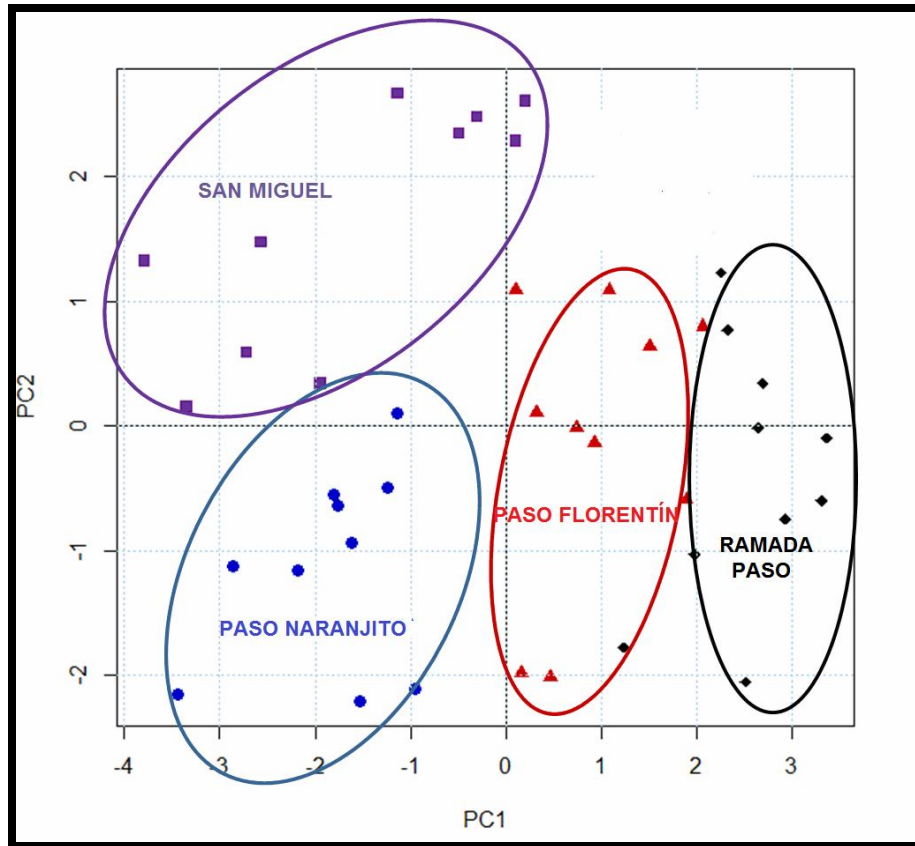


Figura 5.5. Scores correspondientes a las muestras de *A. lateralis*.

En la Figura 5.6 se representan los valores correspondientes a los scores de las muestras de *S. setosum* clasificadas de acuerdo con el origen geográfico mediante el ACP de las mismas. Si bien se observa una gran dispersión en los scores, se puede clasificar las muestras de acuerdo a su origen. Las muestras de Ramada Paso y San Miguel fueron las que presentaron mayor dispersión en el espacio multivariante.

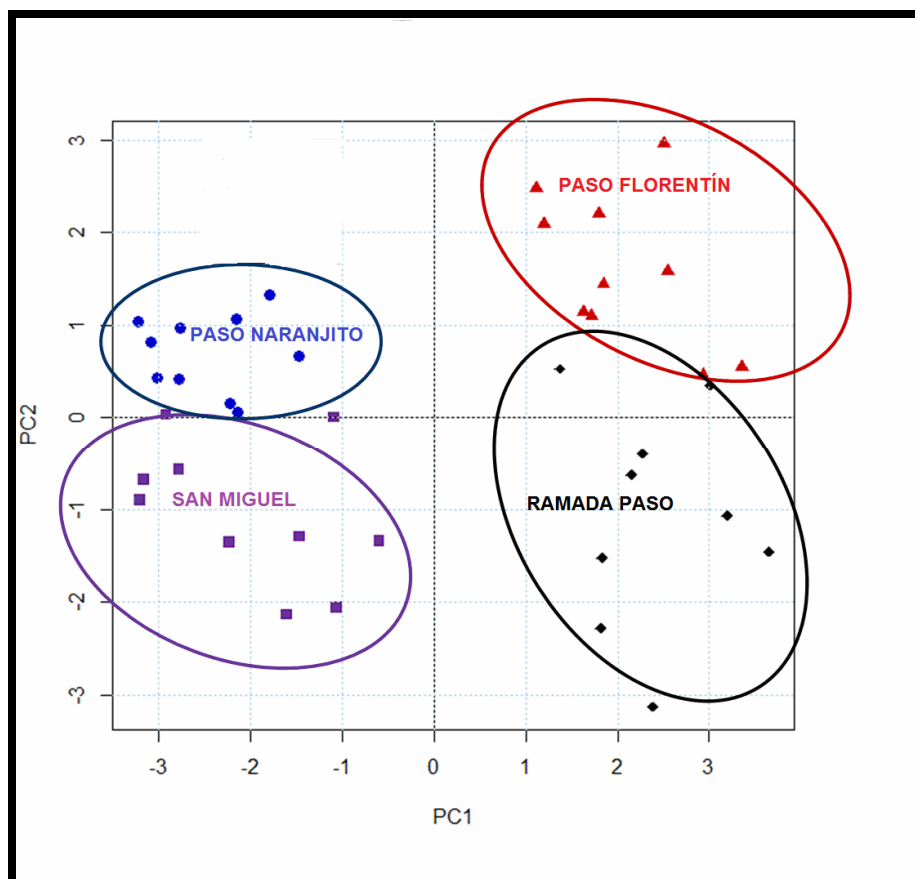


Figura 5.6. Scores correspondientes a las muestras de *S. setosum*

5.10. Análisis jerárquico de agrupamientos

Otro tipo de análisis multivariado útil para el estudio de los datos es el análisis jerárquico de agrupamiento (HCA - Hierarchical cluster analysis), un método fundamentalmente gráfico que permite la asociación en familias, tanto de parámetros como de las muestras analizadas. HCA es la técnica de reconocimiento de patrones sin supervisión más utilizada en la quimiometría. Esta técnica implica la determinación de relaciones entre muestras sin utilizar información previa sobre estas relaciones. En este trabajo, en todos los casos se ha utilizado el método de agrupamiento de Ward, la correlación como medida de similitud entre variables y la distancia euclídea como

medida de similitud entre muestras.

5.11. Agrupamiento de variables

Los resultados obtenidos se muestran de forma gráfica a través del dendograma correspondiente para cada especie (Figuras 5.7 y 5.8).

El agrupamiento de variables se ha realizado de menor a mayor complejidad. Se consideró como medida de la distancia a los coeficientes de correlación (adimensionales).

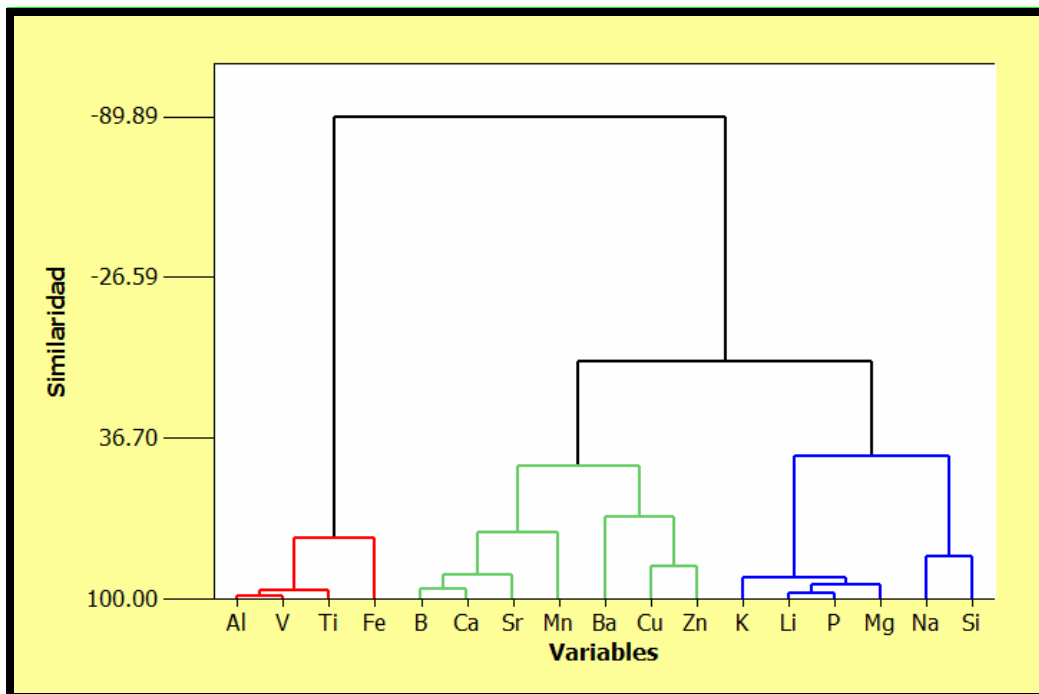


Figura 5.7. Dendrograma obtenido al agrupar las variables medidas en todas las especies estudiadas.

Así, se observa que existe una tendencia en las variables a formar tres grupos principales. Así, se observa un primer grupo muy homogéneo formado por elementos

tales como el Fe, Al, V y Tl; un segundo grupo que incluye a los elementos alcalinos térreos (Ca, Sr y Ba) junto a los elementos traza (B, Mn, Cu y Zn); un tercer grupo formado por los elementos alcalinos (Na, K, Li), junto con un alcalino térreo (Mg) y elementos que habitualmente se encuentran formando oxoaniones (P y Si).

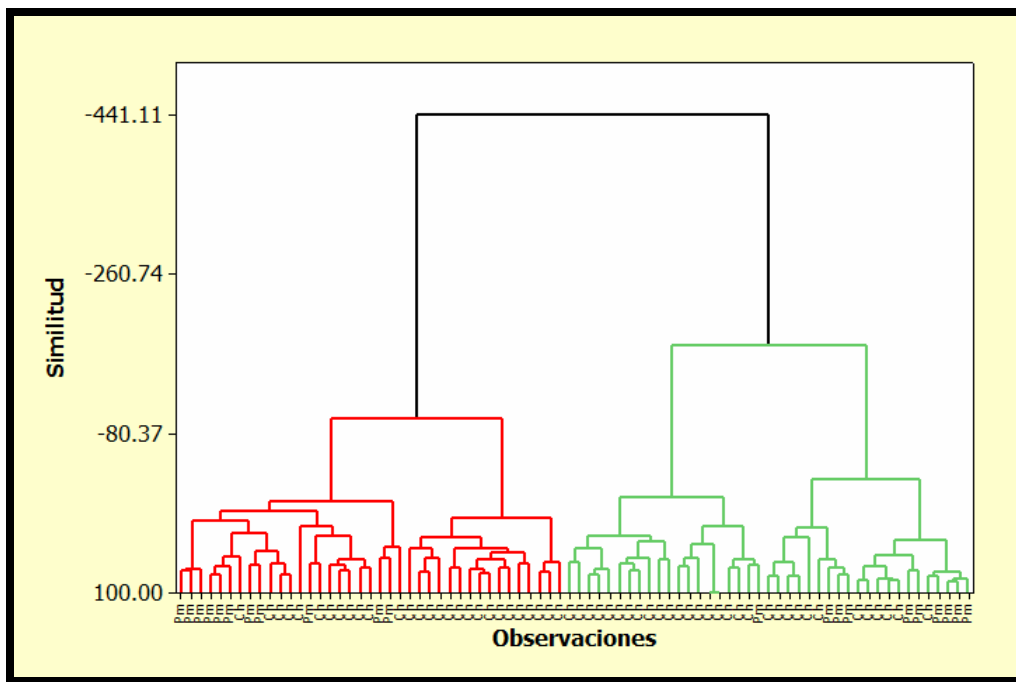


Figura 5.8. Dendrograma clasificando muestras de acuerdo a la serie de suelo donde fueron recolectadas. Pm = Serie Pampín. Ch = Serie Chavarría.

Al usar el análisis de conglomerados por el método de Ward aplicado a la composición multielemental de las muestras vegetales identificadas de acuerdo a la serie de suelo donde fueron recolectadas, se puede observar en el dendrograma obtenido que las muestras tienden a formar grupos homogéneos de acuerdo a su origen.

5.12. Elementos minerales tóxicos

Todos los elementos minerales cuando se encuentran en altas concentraciones en la dieta animal provocan algún trastorno al metabolismo. Algunos elementos minerales tan utilizados y conocidos, como el As, Cd, Cr, Hg, Ni, Ag, Pb, V (NRC, 2005) en forma iónica o formando compuestos químicos, son sustancias tóxicas, a pesar de que algunos de ellos son necesarios para la vida. Pero cuando por algún motivo natural o producto de la actividad del hombre se acumulan en altas concentraciones en el aire, suelo, agua y forraje se convierten en elementos tóxicos muy peligrosos. La transferencia de estos elementos desde matrices ambientales a la cadena agroalimentaria es un fenómeno que está siendo estudiado en distintas regiones del mundo (Pérez Carrera *et al.*, 2007). Este fenómeno se ve favorecido por la contaminación industrial, tecnológica, agropecuaria y minera. El uso de diversos fertilizantes químicos con metales pesados, trae aparejado su probable incorporación a los cursos de aguas superficiales y subterráneos, a los vegetales, animales y alimentos, provocando una alteración de la sostenibilidad de la cadena trófica, estimulando riesgos potenciales en la naturaleza y en la sociedad, debido a que originan serios problemas en la salud humana y animal (Waisberg *et al.*, 2013; Londoño Franco *et al.*, 2016).

Los flujos de elementos minerales en el sistema suelo-planta dependen de las condiciones del suelo (nivel de contaminación, textura, acidez, contenido en materia orgánica, entre otros factores) que determinan la biodisponibilidad de estos elementos. En efecto, distintas especies vegetales tienen distintos patrones de absorción en la raíz y de transferencia y acumulación de elementos en la biomasa aérea (Dominguez, 2010;

Bernardis *et al.*, 2012).

La Legislación Argentina en el Decreto Reglamentario 831/93 - Ley Nacional 24.051 (1991) de residuos peligrosos, actualmente vigente, establece niveles guía de calidad de suelos para uso agrícola. Dado que las concentraciones de elementos minerales analizados en el suelo y parte aérea de las especies vegetales no superan los valores de referencia de para ser considerados tóxico (NRC, 2005), solo se describen los elementos de una relativa alta densidad, denominados pesados, y que son tóxicos o venenosos en concentraciones incluso muy bajas. Estos incluyen al As, Cd, Cr, Hg, Ni y Pb, entre otros. Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse. Esto significa un aumento en la concentración de un elemento químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (Méndez *et al.*, 2009).

Arsénico

El As es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre y se encuentra como mineral de cobalto en la superficie de las rocas, combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn (Londoño Franco *et al.*, 2016). El contenido de As en el suelo varía ampliamente, y su concentración en suelos no contaminados de manera general se sitúa aproximadamente entre 0,1 y 40 mg kg⁻¹ (Adriano, 2001; Pérez Carrera *et al.*, 2007).

En la Argentina, las fuentes naturales de arsénico y los principales factores geoambientales que determinan su distribución han sido caracterizadas regionalmente (Ferpozzi *et al.*, 2008). La región Mesopotámica nororiental, que comprende a las

provincias de Misiones, Corrientes, norte de Entre Ríos y una franja de Formosa, Chaco y parte de Santa Fe es una región que se considera sin contaminación natural de As en las aguas naturales.

La llanura chaco pampeana es conocida mundialmente por su riqueza natural en el contenido de As. Esto ubica a nuestro país entre los más contaminados en sus aguas subterráneas (García *et al.*, 2017).

La concentración de As total en las muestras de suelo ensayadas fue menor a $0,106 \text{ mg kg}^{-1}$ (Cuadro 5.10), valor que está muy por debajo del nivel de referencia 20 mg kg^{-1} de suelo, considerado como límite en suelos contaminados. En la totalidad de las muestras analizadas en los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum* las concentraciones de As halladas fueron menores a $0,03 \text{ mg kg}^{-1}$ de materia seca. Estos valores se encuentran por debajo de valores de referencia, siendo el límite considerado tóxico para el ganado vacuno es de 50 mg kg^{-1} (NRC, 2005). En general, en las especies vegetales el contenido de As rara vez excede de 1 mg kg^{-1} , a excepción de las especies vegetales con capacidad de concentrar As, como ser algunas especies de helechos (Wilkins y Salter, 2003), el raigrás (*Lolium multiflorum* L.) y la avena forrajera (*Avena sativa* L.) (Freire de Melo *et al.*, 2009).

Cadmio

El Cd es poco abundante en la corteza terrestre y a bajas concentraciones puede ser tóxico para todos los organismos vivos (Rodríguez-Serrano *et al.*, 2008). Este elemento se asocia al Zn y es relativamente raro en la naturaleza (Londoño-Franco *et al.*, 2016) ya que no se encuentra en estado libre, siendo la greenockita (sulfuro de

cadmio) el único mineral de Cd (Eurachem, 2014). Las concentraciones de Cd total en las muestras de suelos analizadas fueron $< 0,003 \text{ mg kg}^{-1}$ (Cuadro 5.10), valores muy inferiores al límite crítico de 3 mg kg^{-1} de Cd total en suelo según se referencia en la Ley N°24.051 (1991) y lo indicado por el comité mixto de OMS-FAO (1992). Según Pérez García y Ascona Cruz (2012), el Cd llega a los suelos agrícolas por deposición aérea (41%) con los fertilizantes fosfatados, el uso de lodos y residuos industriales (54%) y por aplicación de abono de estiércol (5%). Con relación a los fertilizantes fosforados, la principal materia prima de éstos es la roca fosfórica, constituida principalmente por apatita, que, además de fósforo, contiene Cd en cantidades que varían entre 8 y 500 mg kg^{-1} (Laegreid *et al.*, 1999; Bonomelli *et al.*, 2003). En el área de estudio la aplicación de fertilizante fosfatado no es una práctica habitual, al igual que el uso de lodos y residuos industriales y por lo que por el momento los niveles de cadmio en suelo son muy bajos. En los pastizales de *A. lateralis* y *S. setuosa* las concentraciones de Cd fueron de $0,03$ y $0,04 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente, valores por debajo del nivel considerado tóxico $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ (NRC, 2005). La administración de dosis elevadas de Cd ($50\text{-}100 \text{ mg kg}^{-1}$) en la dieta en ganado ovino y bovino durante 49 semanas produjo abortos y fetos muertos o morían al nacer (Goodman y Gilman, 2013). Para la mayoría de los seres vivos la principal fuente de exposición al Cd son los alimentos y el agua (Rogers *et al.*, 2012). La Organización Mundial de la Salud (2013) y Franco *et al.*, (2016) mencionan que la presentación y severidad de los signos, síntomas y alteraciones en el organismo se relacionan con las cantidades, el tiempo de exposición y con la vía de entrada del metal.

Plomo

El Pb es considerado uno de los contaminantes ambientales más importantes, y su uso está altamente regulado debido a su alto nivel de toxicidad (IPCS, 1989; ATSDR, 2007). La concentración de Pb total en los suelos estudiados fue menor a $0,084 \text{ mg kg}^{-1}$, valores inferiores a la referencia (Cuadro 5.10). En las muestras vegetales analizadas el contenido de Pb fue menor a $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$, siendo el valor máximo tolerable de 30 mg kg^{-1} para el ganado vacuno.

Níquel

El Ni forma parte de la corteza terrestres y se indica que el contenido total en los suelos del mundo varía entre 0,2 y 450 mg kg^{-1} siendo su contenido medio de entre 19 y 22 mg kg^{-1} (Kabata-Pendias y Mukherjee, 2007); Los contenidos en todas las muestras de suelos estudiados fueron menor a $0,03 \text{ mg kg}^{-1}$, valores muy inferiores a la media mundial y al valor de referencia (Cuadro 5.10).

El Ni, aunque es esencial para las plantas superiores como cofactor de la enzima ureasa y por su efecto en la nodulación de las leguminosas y en la nitrificación y mineralización del N (Kabata-Pendias y Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias, 2010), su exceso en forma disponible a los vegetales puede ser tóxico (Muñiz Ugarte *et al.*, 2015).

En los vegetales se citan valores que varía entre 0,34 y $14,6 \text{ mg kg}^{-1}$ (Kabata-Pendias, 2010; Muñiz Ugarte *et al.*, 2015). Los valores determinados experimentalmente fueron de $0,02 \text{ mg kg}^{-1}$ en las dos especies vegetales.

Cuadro 5.12. Contenido de elementos pesados en suelo (media n = 20) y valores máximos admitidos para suelos de uso agrícola en Argentina (ley 24.051)

Elemento mineral	Serie Chavarría mg kg ⁻¹	Serie Pampín mg kg ⁻¹	Valores máximos mg kg ⁻¹
Arsénico	< 0,106	< 0,106	20
Bario	21,25 ± 4,23	19,09 ± 3,65	750
Berilio	...	...	4
Cadmio	< 0,003	< 0,003	3
Cinc	5,63 ± 0,43	2,86 ± 1,32	600
Cobalto	0,91 ± 1	0,33 ± 0,23	40
Cobre	18,86 ± 4,84	7,09 ± 1,31	150
Cromo	< 0,012	< 0,012	750
Estaño	< 0,051	< 0,051	5
Mercurio	< 0,030	< 0,030	0,8
Molibdeno	< 0,015	< 0,015	5
Níquel	< 0,030	< 0,030	150
Plata	< 0,021	< 0,021	20
Plomo	< 0,084	< 0,084	375
Selenio	< 0,150	< 0,150	2
Talio	< 0,081	< 0,081	1
Vanadio	14,53 ± 5,25	6,14 ± 3,76	200

Mercurio

La concentración de Hg en los suelos analizados fue menor a 0,03 mg kg⁻¹, niveles por debajo del umbral de referencia (Cuadro 5.10) para suelos agrícolas. Se trata de un elemento poco abundante en los suelos naturales no contaminados, variando su concentración entre 0,02 y 0,41 mg kg⁻¹ (McBride, 1994; Camargo Garcia *et al.*, 2015). La concentración de Hg en la parte aérea de los pastizales analizados fue menor a 0,002 mg kg⁻¹, siendo el límite tolerable para el ganado bovino de 2 mg kg⁻¹.

En el área de estudio, dada la baja intensificación en la producción, el escaso uso de fertilizantes y baja presencia de industrias, las concentraciones detectadas de los metales pesados As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb en el suelo y vegetales no llega a niveles críticos que pueden ser un peligro para la salud animal y humana, indicando que es un ambiente adecuado para preservarlo.

5.13. Balance de elementos minerales y sustentabilidad de los pastizales

El balance de nutrientes resulta de la diferencia entre la cantidad de nutrientes que salen y entran de la unidad productiva. Considerando la capa de suelo explorada por las raíces en períodos anuales (González y Pomares, 2008), se realizó una estimación para la serie de suelo Chavarría y el pastizal de *A. lateralis* de las extracciones de elementos minerales por la producción bovina de carne. En la Figura 5.9 se consideraron al P, K, Ca y Mg. Los elementos minerales Na, Mn, Zn y Cu se presentan en la Figura 5.10. Al no realizar intervenciones, la extracción continua de nutrientes provoca un progresivo deterioro de la fertilidad del suelo poniendo en peligro la sustentabilidad del sistema productivo (Martinez 2002; Cruzate y Casas, 2012). En esas condiciones no se podría asegurar una producción de materia seca similar a la actual.

Realizando una prospectiva del pastizal de *A. lateralis*, en 50 años se extraerían en los sucesivos ciclos productivos aproximadamente 33 % del K, 13 % del P, 7 % del Mg, 6 % del Ca, 2 % del Na, 3 % de Zn, 1 % de Mn y 0,13 % de Cu del contenido total del suelo. En las condiciones ensayadas se observa que el K es el elemento que se agotaría más rápidamente del suelo, seguido del P. Las estimaciones de extracción de nutrientes realizadas son similares a las obtenidas por Cruzate y Casas (2012), quienes

mencionan que el P va disminuyendo de 1 a 2 mg kg⁻¹ año⁻¹, así mismo, se presentan las ecuaciones de las tendencias que permiten estimar las extracciones a través del tiempo. También se presenta el coeficiente de ajuste R². En todos los casos analizados el R² fue superior a 0,90.

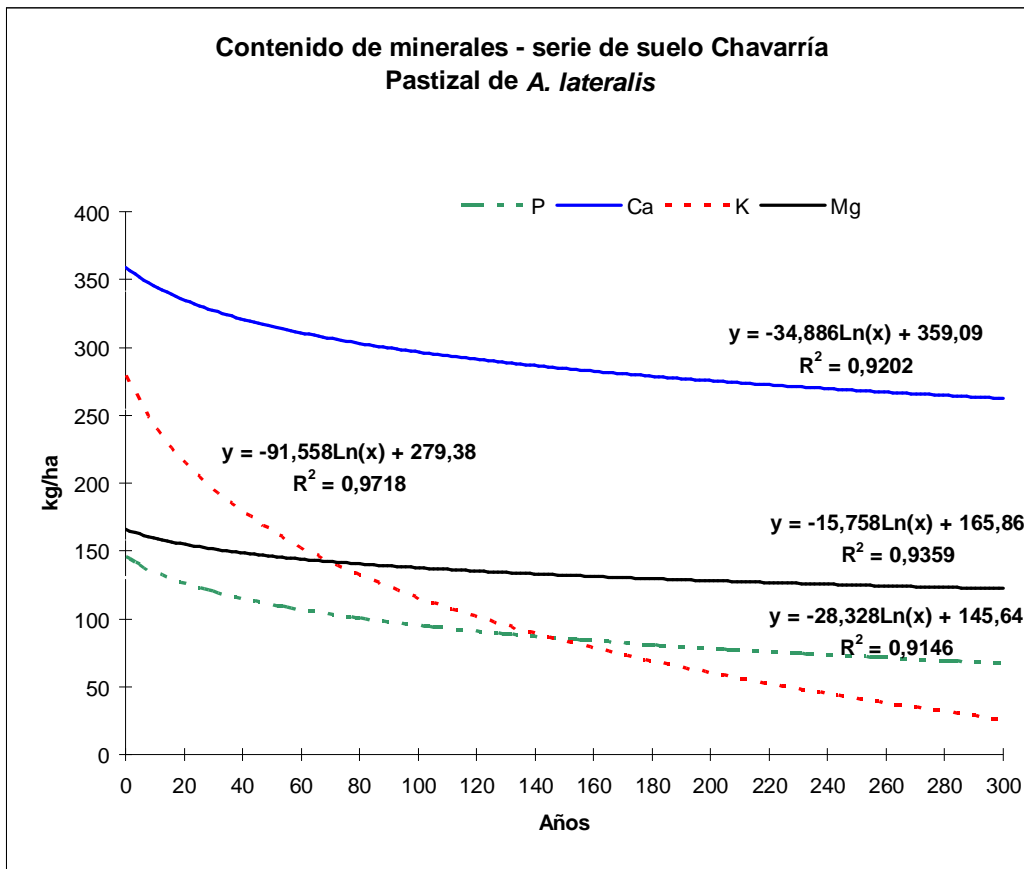


Figura 5.9. Prospectiva del remanente de los elementos P, Ca, K y Mg del suelo producidos por la producción bovina.

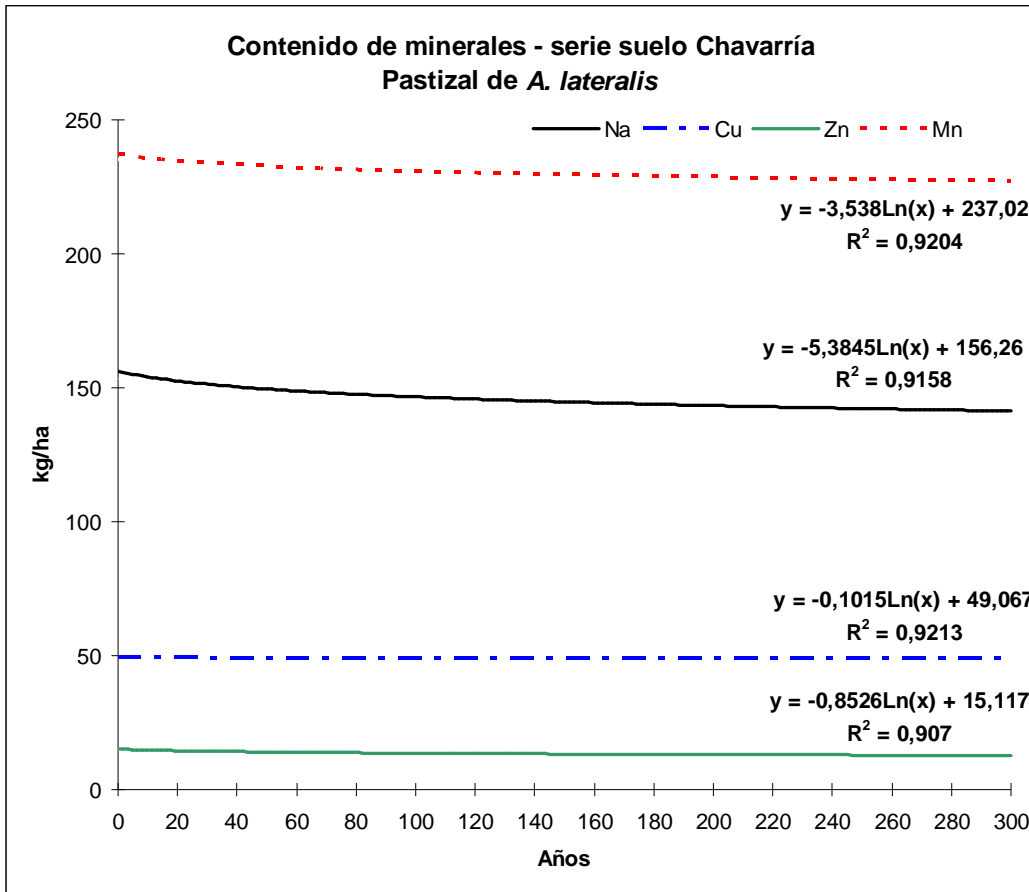


Figura 5.10. Prospectiva del remanente de los elementos Na, Cu, Zn y Mn del suelo producidos por la producción bovina.

Para mantener el balance de elementos minerales se tendría que establecer una estrategia de fertilización que permita reponer aquellos nutrientes que son exportados de la unidad de producción. Sólo así se podrá mantener la fertilidad química de los suelos, uno de los componentes clave de un manejo ambientalmente sustentable.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

El estudio permitió determinar la composición florística de los pastizales de *A. lateralis* (paja colorada) y *S. setosum* (paja amarilla) establecidos en las series de suelo Chavarría y Pampín, en cuatro sitios del noroeste de la provincia de Corrientes, Argentina. Las especies vegetales que se encontraron en estos pastizales fueron: *A. lateralis*, *S. setosum*, *Schizachyrium microstachyum*, *Sporobolus sp*, *Axonopus sp*, *Setaria parviflora var. Parviflora*, *Sorghastrum nutans*, *Paspalum notatum*, *Desmodium incanum*, *Desmodium barbatum*, Ciperáceas y en menor medida otras especies. En cada pastizal existió una especie vegetal dominante que aportó la mayor parte de la materia seca junto a otras especies. *A. lateralis* aportó el 58 % de la materia seca de la biomasa aérea en la serie de suelo Chavarría y el 55 % en la serie de suelo Pampín, mientras que la especie *S. setosum* aportó el 40,0 % en la serie de suelo Chavarría y el 35,1 % en la serie de suelo Pampín. Esto indica que en ambas series de suelo, *A. lateralis* aportó más del 50 % del total de materia seca en los lugares donde era predominante. Las especies acompañantes fueron *S. Setosum*, *Schizachyrium microstachyum*, *Sporobolus sp*, *Axonopus sp*, *Setaria parviflora var. Parviflora*, *Sorghastrum nutans*, *Paspalum notatum*, *Desmodium incanum*, *Desmodium barbatum*, Ciperáceas entre otras. Mientras que, en los lugares donde *S. setosum* era predominante aportó hasta un 40 % del total de la materia seca y las especies acompañantes fueron *A. lateralis*, *Schizachyrium microstachyum*, *Sporobolus sp*, *Axonopus sp*, *Setaria parviflora var. Parviflora*, *Sorghastrum nutans*, *Paspalum*

notatum, *Desmodium incanum*, *Desmodium barbatum*, Ciperáceas entre otras.

El análisis químico consistió en la determinación de la concentración de 32 elementos minerales en la materia seca de las especies *A. lateralis* y *S. setosum* y del conjunto de especies que conforman los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum*, en cuatro sitios diferentes y en las series de suelo Chavarría y Pampín de la provincia de Corrientes, Argentina.

Esto permitió:

a) Establecer la contribución de los elementos minerales esenciales, probablemente esenciales y con función incierta en la dieta para bovinos de carne. En las dos especies los elementos esenciales P, Ca, Mg, Fe, Cu y Co no presentaron diferencias significativas entre especies y series de suelo. La concentración de Na y Zn se diferenció significativamente con mayor aporte en *A. lateralis*. Los elementos probablemente esenciales Li, B y Ti se diferenciaron significativamente con un mayor aporte en *A. lateralis*, mientras que Si y Ba presentaron una mayor concentración en *S. setosum*.

b) El análisis de la composición mineral del suelo de las series Chavarría y Pampín permitieron conocer la concentración total de 32 elementos. La concentración de estos elementos se diferenció significativamente entre sitios y series de suelo en la mayoría de los elementos determinados. Los contenidos de P, Ca, K, Zn y Sr siguen un patrón similar, siendo el sitio 1 el de mayor concentración y el sitio 4 el de menor concentración. En general las concentraciones de los elementos minerales esenciales para los vegetales se encuentran por debajo de niveles considerados normales. La

fertilidad es baja para estas series de suelo. Son deficientes en P, Ca, K, Mg, Na, Zn y Cu. Se puede inferir que se podrían manifestar deficiencias en animales que consuman estas especies vegetales.

c) La diferencia de cationes y aniones en la composición de la dieta (DCAD), formada por la parte aérea de las especies forrajeras de los pastizales de *A. lateralis* fue de: + 8,42 mEq/100 g y para *S. setosum* fue de: +17,88 mEq/100 g. Si bien tiene valores positivos, no alcanza al valor que se considera aceptable, +20 mEq para el ganado bovino productor de carne.

d) La extracción de elementos alcalinos K, Ca y Mg fue mayor en los pastizales de *A. lateralis* que en los de *S. setosum*. Los pastizales estudiados extraen menos elementos alcalinos que el cultivo de maíz o de trigo para producir una tonelada de grano. El pH de los suelos estudiados es bajo, quizás afectados por un proceso de acidificación como consecuencia de la extracción de elementos alcalinos por parte de la producción bovina a través de los sucesivos años de pastoreo continuo y sin el agregado de estos.

e) Relaciones entre elementos minerales en la biomasa aérea: si bien, en general las relaciones Ca/P, Na/K (mEq), K/Ca + Mg (mEq) y Cu/Fe de los pastizales estudiados se encuentran dentro de los valores de referencia para la producción bovina de carne, existe una deficiencia de P, Ca y Mg. Las relaciones K/Mg y Na/Mg (mEq) no alcanzan a los valores de referencia debido a la baja concentración de Mg en la biomasa.

f) Correlación suelo planta: la especie *A. lateralis* presentó valores de

correlación positiva para el K en la serie de suelo Pampín y el Zn en la serie de suelo Chavarría. Para *S. setosum* presentó una correlación positiva en las concentraciones de Ca, P, Si, Sr y Zn con la serie Pampín; y Al, Cu, Mn, Ti y Zn con la serie Chavarría.

g) Origen Geográfico de las especies: con la información de la composición multielemental de las especies estudiadas y análisis multivariado (quimiometría) mediante el análisis de componentes principales, análisis jerárquico de agrupamiento y dendrograma de cada una de las especies, se observó que presentaron una fuerte tendencia a agruparse de acuerdo a la serie de suelo de donde fueron recolectadas las mismas. También se agruparon según el sitio de muestreo: Ramada Paso, Paso Florentín, San Miguel y Paso Naranjito. Estos resultados muestran que a partir de la composición multielemental de las especies estudiadas es posible determinar el origen geográfico de las mismas.

h) La concentración de los elementos minerales en la biomasa aérea y en el suelo permitieron analizar las relaciones Ca/P y Na/K fueron adecuadas; K/Mg con valores mayores a los recomendados; K/Ca+Mg cerca de niveles crítico, que indican que podrían generarse problemas de hipomagnesemia si no se suplementa con minerales a base de Mg. La relación Cu/Mo y Cu/Fe fueron altas y no afectaría la disponibilidad de Cu.

i) Correlación suelo planta: la especie *A. lateralis* solo presenta valores de correlación positiva para el K con la serie Pampín y el Zn con serie Cavaría. En la especie *S. setosum* presentó una correlación positiva en las concentraciones de Ca, P, Si, Sr y Zn con la serie Pampín; y Al, Cu, Mn, Ti y Zn con la serie Chavarría. Las diferencias en la acumulación de elementos entre las especies vegetales se hacen

evidentes, al analizar por separado las posibles correlaciones para cada una de las dos especies.

j) Elementos minerales tóxicos en el área de estudio dado la baja intensificación en la producción, el escaso uso de fertilizantes y baja presencia de industrias, las concentraciones detectadas de metales pesados As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb en suelo y vegetales no llegan a niveles críticos que pueden ser un peligro para la salud animal y humana. Es un ambiente adecuado para ser preservado.

k) El balance de elementos minerales del suelo se ve afectado por la extracción continua de nutrientes. Esto provoca un progresivo deterioro de la fertilidad del suelo poniendo en peligro la sustentabilidad del sistema productivo. En esas condiciones no se podría asegurar una producción de materia seca similar a la actual. En las condiciones ensayadas se observa que el K es el elemento que se agotaría más rápidamente del suelo seguida del P. Para mantener el balance de elementos minerales se tendría que establecer una estrategia de fertilización que permita reponer aquellos nutrientes que son exportados de la unidad de producción.

En base a los resultados obtenidos en este trabajo, se puede concluir que los mayores aportes fueron la composición florística de los pastizales de *A. lateralis* y *S. setosum* y la profundización del conocimiento de la composición mineral de los pastizales y de las series de suelo Chavarría y Pampín. Elementos esenciales de interés nutricional para las especies vegetales y ganado vacuno. También elementos a nivel de trazas con función probablemente esencial y con función desconocida. Se consideraron los elementos pesados o tóxicos. Se analizó las relaciones entre los elementos minerales. A través del estudio quimiométrico se pudo establecer la procedencia

geográfica de estas especies en estudio. El análisis de elementos minerales con esta metodología estadística puede aplicarse a un sistema de trazabilidad de productos regionales.

CAPÍTULO 7

BIBLIOGRAFÍA

Administración de Parques Nacionales. Sistema de Información de Biodiversidad (SIB). 2017. www.sib.gov.ar. Consulta: 04/04/2017.

Adriano, D. 2001. Arsenic in Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. Ed. Springer -Verlag, 2nd ed. Chapter 7, pp 220 - 256.

Anke, M. 1986. Arsenic. Ed. W. Mertz. Trace Elements in Human and Animal Nutrition. Orlando, FL: Academic Press. Vol. 2, pp 347–372

Asociación Española de Codificación Comercial (AECOC). 2017. Comité de Seguridad Alimentaria. Consulta 02/08/17.
<https://www.aecoc.es/servicios/implantacion/trazabilidad/#/login>.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 2007. Toxicological profile for lead. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 528 pp.

Avila Teller, S., Gutierrez Chavez, A.J. 2010. Producción de leche con ganado bovino. Ed. Manual Moderno. 2° ed. Vol. 1, 424 pp.

Balbuena, O., McDowell, L., Luciani, C., Conrad, J., Wilkinson, N., Martin, F.

2013. Estudios de la Nutrición Mineral de los Bovinos para carne del este de las provincias de Chaco y Formosa (Argentina). 5. Cobalto y Selenio. Rev. Veterinaria Argentina. (56): 6 25-32.

Bavera, G.A. 2005. Suplementación mineral del bovino a pastoreo y referencias en engorde a corral. <http://www.produccion-animal.com.ar>. Consulta 19/05/15.

Belakbir, A., Ruiz, J., Romero, L. 1998. Yield and fruit quality of pepper (*Capsicum annum* L.) in response to bioregulators. Hort. Sci. 33: 85- 87.

Bernardis, A. C., Roig, C. A., Bemasar Vilches, M. 2005. Productividad y calidad de los pajonales de *Sorghastrum setosum* (Griseb.) Hitchc. en Formosa, Argentina. Agricultura Técnica, 65 (2): 177-185.

Bernardis, A.; Pellerano, G.; Villafañe R.; Marchevky, E. 2017. Perfil mineral en los pastizales de *Andropogon lateralis* y *Sorghastrum setosum* (Gramineae) en Corrientes, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo, 49 (2): 203-217.

Bernardis, A., Villafañe, R., Pellerano, G. y Marchevsky, E. 2012. Determinación de 5 micro elementos en material vegetal en dos especies forrajeras provenientes de la provincia de Corrientes por espectrometría de emisión atómica por plasma acoplada inductivamente. XXIX Congreso Argentino de Química. 3 – 5 de octubre, Mar del Plata. pp. 213.

Bilandžić, N., Dović, M., Sedak, M. 2012. Trace element levels in raw milk

from northern and southern regions of Croatia. *Food Chemistry*, 4 (2): 63–66.

Bokori, J., Fekete, S., Kadar, I., Koncz, J., Vetesi, F., Albert, M. 1995. Complex study of the physiological role of cadmium. III. Cadmium loading trials on broiler chickens. *Acta Veterinaria Hungarica*, 43 (2-3): 195-228.

Bonomelli, C., Bonilla, C., Valenzuela, A. 2003. Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. *Pesquisa Agropecuaria Brasil, Brasilia*, 38:1179-1186.

Cabrera, A.L. 1976. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo 2, Fascículo I: Regiones Fitogeográficas Argentinas*. Editorial Acme S.A.e.I. Buenos Aires. 85 pp.

Camargo Garcia, J. C., Arias Morales, J. P., Muñoz Paredes, D. 2015. Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia. *Acta agronómica*, 64 (2): 165-177.

CAMO AS. *The Unscrambler 6.0 computer program manual*. Trondheim: Camo As, 1996.

Capurro, R., Escobar, E., Carnevali, R. 1970. *Mapa de suelos de la Provincia Corrientes (Primera etapa)*. Convenio Gobierno de la Provincia Corrientes- INTA- Universidad Nacional del Nordeste. T 1 y 2.

Carnevali, R. 1994. *Fitogeografía de la provincia de Corrientes*. Gobierno de la provincia de Corrientes-INTA, 324 pp.

Casco, J.F., Bernardis, A.C., Goldfarb, M.C. 1995. Chemical composition variation under simulated management strategies os *Andropogon lateralis* Nees. Fifth International Rangeland Congress. Salt Lake Cyty, Utah, USA. 23-28 july. Abstracts. pp 11.

Castelan, M. E.; Porta, M.; Hack, C. M.; Salvia, M. T.; Ciotti, E. M. 2013. Ambientes pastoriles de un establecimiento foresto-ganadero de la localidad de Chavarría (Corrientes). Rev. Agrotecnia. Argentina 21 (1): 18-23.

Castillo Linares, E., Santoyo Cortés, H., Muñoz Rodríguez, M., Rodríguez Padrón, B. 2017. Indicaciones geográficas de productos agroalimentarios en México. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, 246:117-142

Cerutti, A., Mónaco, N. 2017. Relación entre biomasa aérea y producción primaria neta con las variaciones estacionales de precipitaciones y temperaturas en pastizales del sur de la provincia de Córdoba. European Scientific Journal, ESJ, 13 (5): 117-133.

Chávez Solis, A. U. 2012. Efecto del cromo y selenio quelados en la degradación y fermentación ruminal en dietas para novillos en finalización. Disponible en: colposdigital.colpos.mx <http://hdl.handle.net/10521/1760>. Consulta 16/05/2015.

Cibils R., Fernández E. 2002. Utilización de las pasturas. Cartillas UEDY, Planagro, Uruguay. INIA La Estanzuela. Consulta 05/12/2017. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/34-utilizacion_pasturas.pdf

Ciria Ciria, J.; Villanueva Marín, R.; Ciria García de la Torre, J. 2005. Avance en nutrición mineral en el ganado bovino. E.U.I: Agrarias de Soria, Universidad de Valladolid, España. IX Seminario de Pastos y Forrajers. 50 pp.

Codex Alimentarius. 2006. Principios para la rastreabilidad/rastreo de productos como herramienta en el contexto de la inspección y certificación de alimentos. Consulta 10/10/17.

http://www.codexalimentarius.org/input/download/standards/10603/CXG_060s.pdf.

Coirini, R., Karlin, M., Llaya, G., Sánchez, S., Contreras, A., Zapata, R. 2017. Evaluación de prácticas de desmonte selectivo y clausuras temporales en sistemas degradados del Chaco árido (Argentina). *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2): 73-90.

Contreras, F. I. 2011. Evolución de las lagunas en función de la pendiente, Lomada Norte. Provincia Corrientes, Argentina. *Terra Nueva Etapa*, 27 (42): 145-163.

Contreras, P. A., Ceballos, A., Matamoros, R., Wittwer, F. 2003. Contenido de yodo en forrajes de predios lecheros de las Regiones IX y X de Chile. *Archivos de medicina veterinaria*, 35(1): 75-79.

Cruzate, G. A., Casas, R. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de la Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 6: 7-14.

Darby, W.J. 1976. Trace elements in human health and disease, Prasad AS and Oberleas D. Eds. Academic Press, New York, San Francisco, London, 1-17.

Davidse, G., Sánchez, M. S., Chater, A.O. 1994. *Flora mesoamericana*.

Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. Vol. 6, 543 pp.

Deosthale, Y.G., Belavady, B. 1978. Mineral and Trace Element Composition of Sorghum grain: Effect of Variety, Location and Application of the Nitrogen Fertilizer. *Ind. J. Nutr. Dietet.* 15: 302- 308.

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C. 2013. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

Díaz Yubero, I. 2011. Denominaciones de origen e indicaciones geográficas como garantía de calidad. *Distribución y consumo*, 117 (mayo-junio): 5-21.

Dominguez, M. T. 2010. Elementos traza en el sistema planta-suelo: implicaciones para la ecología de especies leñosas mediterráneas y la restauración de zonas contaminadas. *Rev. Ecosistemas*, 19 (1): 92 - 96. <http://www.revistaecosistemas.net>. Consulta: 23/06/2015.

Eruvbetine, D. 2003. Canine Nutrition and Health. A paper presented at the seminar organized by Kensington Pharmaceuticals Nig. Ltd., Lagos on August 21.

Escobar, A., Faure, R., Sosa, D., Ponce, P., Vega, S. 2010. Melamina. Un problema potencial para la salud animal y humana como adulterante en los alimentos con énfasis en la leche. *Revista de Salud Animal*, 32 (1): 22-31.

Escobar, E., Ligier, H., Melgar, R., Matteio, H., Vallejos, O. 1996. Mapa de suelos de la provincia de Corrientes 1:500.000. Ed. INTA. EEA Corrientes. Argentina.

430 pp.

Espinoza, T., Mesa, F. R., Valencia, E., Quevedo, R. 2015. Tipos de fraudes en carnes y productos cárnicos: una revisión. *Scientia Agropecuaria*, 6 (3): 223-233.

Esteki, M., Vander Heyden, Y., Farajmand, B., Kolahderazi, Y. 2017. Qualitative and quantitative analysis of peanut adulteration in almond powder samples using multi-elemental fingerprinting combined with multivariate data analysis methods. *Food Control*, 82: 31-41.

Eurachem, G. 2014. *The Fitness for Purpose of Analytical Methods A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics*. 2 ed. Ohio (USA), p.p. 52-73.

FAO. 1996. Cumbre Mundial sobre la Alimentación. Declaración de Roma sobre la seguridad alimentaria mundial. <http://www.fao.org/docrep/003/w3613s/w3613s00.htm>.

Fernández, J. G.; Benítez, C. A.; Royo Pallares, O.; Pizzio, R. 1993. Principales forrajeras nativas del medio este de la provincia de Corrientes. Serie Técnica N° 23. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Mercedes, Corrientes, Argentina. 2° Ed. 91 pp.

Ferpozzi, L., Décima, M., Jara, A., Moser, L. 2008. Geociencia y salud. *Ciencia Hoy*. Volumen 18 (103). <http://www2.faba.org.ar/fabainforma/427/ABCL.htm>. Consulta 16/10/16.

Franco, L. F. L., Muñoz, P. T. L., Garcia, F. G. M. 2016. Los riesgos de los

metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14 (2): 145-153.

Freire de Melo R., Luiz Eduardo Dias L.D., Vargas de Mello J., Juraci Alves de Oliveira J. 2009. Potencial de quatro espécies herbáceas forrageiras para fitorremediação de solo contaminado por arsênio. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:455-465

García, L., Colombini, E., Andriulo, A. 2017. ¿El contenido de arsénico en pergamino limita el desarrollo humano? <https://inta.gob.ar/personas/garcia.leticia>. Consulta 26/01/18.

Geo-INTA. 2016. Suelos de la provincia de Corrientes. <http://www.geointa.inta.gob.ar/2016/09/23/suelos-de-la-provincia-de-corrientes-1500-000/>. Consulta: 30/08/2017.

Giraudó, A., Povedano, R. 2017. Avifauna de la región biogeográfica Paranaense o Atlántica Interior de Argentina: biodiversidad, estado del conocimiento y conservación Disponible en: http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_12/37.htm. Consulta: 17/01/2017.

Gobierno de la provincia de Corrientes. Ministerio de Producción. Área de Cartografía y GIS. 2015. <http://www.geomat-maps.com.ar/mptt/map.phtml>. Consulta: 14/03/2015.

Golluscio, R. A., Deregibus, V. A., Paruelo, J. M. 1998. Sustainability and range management in the Patagonian steppes. *Ecología Austral*, 8 (2): 265-284.

González, V., Pomares, F. 2008. La fertilización y el balance de nutrientes en

sistemas agroecológicos. Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Madrid, 24 pp

Goodman y Gilman. 2013. Las Bases Farmacológicas de la Terapéutica. 11 ed. Madrid (España): Interamericana Editores, 2017 pp.

Google Earth, 2015. <https://www.google.com.ar/intl/es/earth/>

Gordon, R.F. 1977. Poultry Diseases. The English Language Book Society and Bailliere Tindall, London

Greene, L.W. 2000. Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. Proc Amer Soc Anim Sci. J Anim Sci 77: E1-9.

Hack, C. M.; Ciotti, E. M; Castelán, M. E.; Porta, M.; Tomei, C. 2009. Efecto de dos sistemas de pastoreo en la producción de materia seca y la composición florística de un pastizal de *Andropogon lateralis* Nees. Revista Agrotecnia. Argentina. 19 (1): 19 -24.

Hays, V.W., Swenson, M.J. 1985. Minerals and Bones. In: Dukes' Physiology of Domestic Animals, Tenth Edition pp. 449-466.

Heaton, K., Kelly, S. D., Hoogewerff, J., Woolfe, M. 2008. Verifying the geographical origin of beef: The application of multi-element isotope and trace element analysis. Food Chemistry, 107 (1): 506–515.

Herbst, R., y Santa Cruz, J. N. 1985. Mapa litoestratigráfico de la provincia de Corrientes. D´ Orbigniana 2: 1-50.

Hersleth, M., Næs, T., Rødbotten, M., Lind, V., Monteleone, E. 2012. Lamb

meat: Importance of origin and grazing system for Italian and Norwegian consumers. *Meat Science*, 90 (4): 899-907.

Hidalgo, L. G., Bianchini, M. R., Eyherabide, G. 2002. Composición mineral en especies de pastizal de la Pampa Deprimida. *Investigación Agraria: Producción y Protección de Vegetales*, 17(1): 143-156.

Huss, D., Bernardón, A., Anderson, D., Brun, J. 1996. 2° ed. Principios de manejo de praderas naturales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Of. Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile. 272 pp.

International Cadmium Association. 2011. <http://www.cadmium.org>. Consulta 14/10/2014.

IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1989. Environmental Health Criteria 85—Lead, Environmental Aspects. Geneva: World Health Organization.

Iriondo, M., Paira, A. 2007. “Physical Geography of the Basin”, en Iriondo, M., Paggi, J., Parma, M. (Eds.). *Geomorphology. The Middle Paraná River - Limnology of a Subtropical Wetland*. Berlin, Springer, pp 7-31.

Johnston, J. N., Savage, G. P. 1991. Mercury consumption and toxicity with reference to fish and fishmeal. *Nutr. Abstr. Rev. (Series A)* 61:74–116.

Kabata-Pendias, A. 2010. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4ta ed., edit. CRC Press. <http://www.crcnetbase.com/doi/book/10.1201/b10158>. Consulta

28/11/2015. 407 pp.

Kabata-Pendias, A. y Mukherjee, A. B. 2007. Trace Elements from Soil to Human. Edit. Springer Berlin Heidelberg. http://link.springer.com/pter/10.1007/978-3-540-327141_1. Consulta: 28/11/2015. 519 pp.

Kemp, A., t'Hart, M.L. 1953. Grass tetany in grazing milking cows. Netherlands Journal of Agricultural Science 5: 4-17.

Kim, J. S., Hwang, I. M., Lee, G. H., Park, Y. M., Choi, J. Y., Jamila, N., Kim, K. S. 2017. Geographical origin authentication of pork using multi-element and multivariate data analyses. Meat science, 123: 13-20.

Kirchgessner, M., D. L. Plass, and A. M. Reichlmayr-Lais. 1991. Lead deficiency in swine. Pp. 11–21 in Proceedings of the Seventh Internacional Symposium on Trace Elements in Man and Animals (Tema 7), B. Momcilovic, ed. Dubrovinik: IMI

Laegreid, M.; Bockman, O. C.; Kaarstad, E. O. 1999. Agriculture fertilizers and environment. Wallingford: CAB. 294 pp.

Laterra, P., Orúe, E., Zelaya, M., Booman, G., Cabria, F. 2009. Jerarquización y mapeo de pastizales según su provisión de servicios D.K. ecosistémicos. Campos sulinos, 128 pp.

Ley Nacional 24.051. 1991. Residuos peligrosos. Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina.

Ligier, H. D. Kurtz, D., Matteio, H., Perucca, R. y Vallejos, O. 2001. Suelos y vegetación de los departamentos de Curuzú Cuatiá y Sauce. Provincia de Corrientes, INTA. Estación Experimental Agropecuaria Corrientes, 282 pp.

Ligier, H.D., A.R. Perucca, D.B. Kurtz, S.C. Perucca. 2014. Estrategias de planificación Territorial como aporte al Desarrollo Rural. En Ordenamiento Territorial. Conceptos, métodos y experiencias. Libro electrónico FAO (www.fao.org/publications).

Londoño Franco, L.F., Londoño Muñoz, P. A., Muñoz-García, F.A. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 14 (2): 145-153.

López, M.; Godoy, S.; Alfaro, C.; Chico, C. F. 2008. Evaluación de la nutrición mineral en sabanas bien drenadas al sur del estado Monagas, Venezuela. Rev. Científica FCV-LUZ (Maracaibo). 18 (2): 197-206.

Luters, A., & Salazar, J. C. 2000. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Traducción al español del: "Soil Quality Test Kit Guide". Argentina, Instituto de Suelos.

Malhotra, V.K. 1998. Biochemistry for Students. Tenth Edition. Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd, New Delhi, India.

Manser, W. W. 1991. Lead—an essential trace element. J. Pak. Med. Assoc. 41:48.

Marín, A. L. M. 2000. Importancia de la diferencia catión-anión en la

alimentación. Mundo Ganadero. www.produccion-animal.com.ar. Consulta 06/12/17

Marschener, H. 1986. Mineral nutrition in higher plants. Functions of Mineral Nutrients: Macronutrients. USA. Ed. Academic Press. 180 pp.

Martin, G.O.(h). 2005. Estructura y composición del pastizal natural. Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán (FAZ-UNT). Serie Técnica N° 78: 49 pp.

Martínez, F. F. 2002. Soja en la región pampeana. *Idia XXI*. Buenos Aires-Argentina, 2 (3): 29-32.

Martínez, G. G., Ciari, G., Gaitan, J., Caruso, C., Nagahama, N., Opazo, W., Escobar, J. 2017. Análisis de la evolución del clima y los pastizales naturales en el noroeste de la provincia de Chubut, Argentina, durante el período 2000-2014: identificación de variables asociadas a la disminución de las existencias ganaderas en la región. *AgriScientia*, 34 (1): 47-57.

Mayland H.F., Shewmaker G.E., 1997. Seasonal changes in forage quality of C-3 grasses on sagebrush grasslands. Proceedings of XXIII International Grassland Congress. June 8-19. Winnipeg, Saskatoon, Canadá. Session 17, 17-18

Mazliah, J., S. Barron, E. Bental, and I. Reznik. 1989. The effect of chronic lead intoxication in mature chickens. *Avian Dis.* 33:566–570.

McBride, M. B. 1994. Environmental chemistry of soil. Oxford University Press. 406 p.

McDowell, L. R., Arthington, J. 2005. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Universidad de Florida. IFAS. USA. pp: 6–47.

McDowell, L. R., Conrad, J. H., Ellis, G. I. 1984. Mineral deficiencies and imbalances and their diagnosis. Proc. Symp. on Herbivore nutrition in subtropics and tropics, Pretoria pp. 67-88.

Méndez, J. P., Ramírez, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., García, F. P. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10 (1): 29-44.

Milani, E. 2015. La extracción de bases en suelos agrícolas de la Cuenca del Salado. INTA. E.E.A. Cuenca del Salado. Divulgación Técnica. <https://inta.gov.ar/documentos/la-extraccion-de-bases-en-suelos-agricolas-de-la-cuenca-del-salado>. Consulta 12/12/2017.

Milivojević, J., Rakonjac, V., Pristov, J. B., Maksimović, V. 2013. Classification and fingerprinting of different berries based on biochemical profiling and antioxidant capacity. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 48 (9): 1285-1294.

Minatel, L., buiffarini, M.A., Scarlata, E.F., Dallorso, M.E., Carfagnini, J.C. 2004. Niveles de cobre, hierro, zinc y selenio en bovinos del nordeste de la provincia de Buenos Aires. Rev. Arg. De prod. Animal, 24 (3-4): 225- 235

Mollon, L. C., Norton, G. J., Trakal, L., Moreno-Jimenez, E., Elouali, F. Z., Hough, R. L., Beesley, L. 2016. Mobility and toxicity of heavy metal (loid)s arising from contaminated wood ash application to a pasture grassland soil. Environmental

Pollution, 218, 419-427.

Montoya, M., Leonardo, J. 2016. Aportes Para la Obtención de Origen (DOP) del Queso Cabra Mediante la Aplicación de Cartografía Temática y Análisis Multivariantes.

<http://dspace.ucundinamarca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1437>. Consulta 15/06/17. (Doctoral dissertation).

Mufarrege D. 1999. Los minerales en la alimentación de vacunos para carne en la Argentina. INTA Mercedes, Corrientes, Argentina. Divulgación Técnica. 36 pp.

Mufarrege, D. 2002. EL Calcio en la alimentación del ganado bovino para carne. E.E.A. INTA Mercedes, Corrientes. Argentina. Noticias y Comentarios N° 359. 5 pp.

Mufarrege, D. 2003. El cobre en la ganadería del NEA. E.E.A. INTA Mercedes, Corrientes, Argentina. Noticias y Comentarios N° 381. 4 pp.

Mufarrege, D. 2003. El hierro y el manganeso en la alimentación del ganado de carne en la región NEA. INTA EEA. Corrientes, Argentina. Noticias y Comentarios N° 376. 5 pp.

Mufarrege, D. 2004. EL fósforo en los pastizales de la región NEA. E.E.A INTA Mercedes, Corrientes, Argentina. Noticias y Comentarios N° 388. 4 pp.

Mufarrege, D. 2004. El potasio en la ganadería de la región NEA. E.E.A INTA Mercedes, Corrientes, Argentina. Noticias y Comentarios N° 385. 5 pp.

Muñiz Ugarte O., Mirelys Rodríguez Alfaro M., Alfredo Montero Álvarez A., Juan Estévez Álvarez J., Aguiar Accioly A., Araujo Do Nascimento C.W. 2015. El níquel en suelos y plantas de Cuba. *Cultivos Tropicales*, vol. 36, N° especial, pp. 25-33

Nabinger, C., de Faccio Carvalho, P.C. 2009. Ecofisiología de sistemas Pastoriles: Aplicaciones para su sustentabilidad. *Agrociencia*. Vol XIII N° 3 Número especial pag 18 – 27

Nielsen, F. H. 1996. Evidence for the nutritional essentiality of boron. *J. Trace Elem. Exp. Med.* 9:215–229.

Nielsen, F. H. 1998. Ultratrace elements in nutrition: current knowledge and speculation. *J. Trace Elem. Exp. Med.* 11:251–274.

Nielsen, F. H. 2002. The nutritional importance and pharmacological potential of boron for higher animals and human. In *Boron in plant and animal nutrition* Springer, Boston, MA, pp 37-49.

Norma ISO 22000:2005. International Organization for Standardization. 2005. *Food Safety Management Systems - Requirements for any organization in the food chain.*

Norma ISO 8402:1994. International Organization for Standardization. 1994. *Quality Management and Quality Assurance-Vocabulary.*

Norton, B. W. 1982. Differences between species in forage quality. En: Hacker, J.B. (Ed.). *Nutritional limits to animal production from pastures.*

Commonwealth Agricultural Bureau. Farmhand Royal, UK, pp. 90-110.

NRC (National Research Council). 2001. Seventh Revised Edition. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Washington, DC. USA. National Academies Press. 488 pp.

NRC (National Research Council). 2005. 2nd Edition. Mineral Tolerance of Animals. Washington, DC. USA. The National Academies Press. 511 pp

NRCS (Servicio de Conservación de Recursos Naturales). 2014. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Claves para la Taxonomía de Suelos Décima Segunda Edición. 410 pp.

O' Connor, B.B. 1995. Vernacular health care response to HIV and AIDS. *Alternative Therapies* 1 (5): 35-52.

OMPI (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual). 2013. Indicaciones Geográficas. http://www.wipo.int/geo_indications/es/. Consulta 12/07/17.

Organización Mundial de la Salud (OMS) - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1992. Evaluación de diversos aditivos alimentarios y los contaminantes mercurio, plomo y cadmio. Información Técnica N° 50.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 1980. Inorganic Mercury. *IPCS Environment Health Criteria*, 118 (1): 92.

Oroian, M., Amariei, S., Leahu, A., Gutt, G. 2015. Multi-element composition

of honey as a suitable tool for its authenticity analysis. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 65 (2): 93-100.

Ozcan, M. 2003. Mineral Contents of some Plants used as condiments in Turkey. *Food Chemistry* 84: 437-440.

Ozulku, G., Yildirim, R. M., Toker, O. S., Karasu, S., Durak, M. Z. 2017. Rapid detection of adulteration of cold pressed sesame oil adulterated with hazelnut, canola, and sunflower oils using ATR-FTIR spectroscopy combined with chemometric. *Food Control*, 82: 212-216.

Pechin, G. H., Cseh, S., Kenny, O. 2017. Hipomagnesemia en vacas de cría en un campo de la zona del caldenal. *Ciencia Veterinaria*, 13 (1): 70-75.

Pellerano, R. G., Mazza, S. S., Marigliano, R. A., Marchevsky, E. J. 2008. Multielement analysis of Argentinean lemon juices by instrumental neutronic activation analysis and their classification according to geographical origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (13): 5222-5225.

Pellerano, R. G., Uñates, M. A., Cantarelli, M. A., Camiña, J. M., Marchevsky, E. J. 2012. Analysis of trace elements in multifloral Argentine honeys and their classification according to provenance. *Food Chemistry*, 134 (1): 578-582.

Pérez Carrera, A., Fernández Cirelli, A. 2007. Problemática del arsénico en la llanura sudeste de la provincia de Córdoba. Biotransferencia a leche bovina. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires. Versión on line.

Pérez García, P. E., Ascona Cruz, M. I. 2012. Los efectos del cadmio en la salud. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas. Volumen, 17 (3): 199-205

Pizzio, R., Bendersky D. y Barbera, P. 2013. Niveles de utilización de un pastizal de *Andropogon lateralis*, en el centro sur de Corrientes. Actas del VI Congreso Nacional de la Asociación Argentina para el manejo de Pastizales naturales. 12 al 15 de abril. Santa Rosa. La Pampa, pp 245.

Pizzio, R., Bendersky D., Barbera P. 2016. Caracterización de los pastizales correntinos. VII Congreso Nacional de Manejo de Pastizales Naturales X Encuentro de Ganaderos del Pastizal del Cono Sur. 5 y 6 de Noviembre de 2016 – Virasoro – Corrientes. pp 7–13

Pizzio, R.M., Delfino, D., Rivero, L., Fernandez, J.G. 2005. Mejoramiento del campo natural en el Departamento de Curuzú Cuatiá. Boletín Noticias y Comentarios (INTA Ediciones), N° 399.

Popolizio, E. 1977. Contribución a la Geomorfología de la Provincia de Corrientes. Revista Geociencias VII y VIII. Centro de Geociencias aplicadas de la Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Chaco.

Popolizio, E. 1980b. Geomorfología de las, áreas inundadas e inundables del NEA Seminario sobre Planeamiento de áreas inundables. Asociación Internacional de Recursos Hídricos. Corrientes.

Porta, M., Hack, C. M., Castelán, M. E., Golluscio, R. A. 2017. Incorporación de *Vicia sativa* L. y fertilización fosfatada en un pastizal del nordeste

argentino. Revista veterinaria, 28 (1): 56-61.

Porta, M.; Hack, C. M., Tomei, C., Ciotti, E. M., Castelán, M. E. 2008. Producción de materia seca y fósforo foliar en un pastizal del nordeste de la provincia de corrientes. Rev. Agrotecnia. Argentina. 18: (1) 3 - 5.

Postma, G. C., Minatel, L., Carfagnini, J. C. 2010. Deficiencia de cobre en bovinos en pastoreo de la Argentina. Revista Argentina de Producción Animal. 30 (2): 189 -198.

Potortí, A. G., Lo Turco, V., Saitta, M., Bua, G. D., Tropea, A., Dugo, G., Di Bella, G. 2017. Chemometric analysis of minerals and trace elements in Sicilian wines from two different grape cultivars. Natural Product Research, 31 (9): 1000-1005.

Rao, C.N., Rao, B.S.N. 1981. Trace element content of Indian foods and the dietaries. Indian J. Med. Res. 73: 904-909.

R-development-core-team 2011

Real Academia Española. 2016. <http://www.rae.es/>. Consulta 10/05/16.

Realini, C. E., i Furnols, M. F., Sañudo, C., Montossi, F., Oliver, M. A., Guerrero, L. 2013. Spanish, French and British consumers' acceptability of Uruguayan beef, and consumers' beef choice associated with country of origin, finishing diet and meat price. Meat science, 95 (1): 14-21

Rearte, D. 2007. La producción de carne en Argentina. Informe Programa Carnes. INTA. Argentina. Disponible

en: www.inta.gov.ar/balcarce/carnes/prodcarne.htm.

Reichlmayr-Lais, A. M., and M. Kirchgessner. 1981. (In German; English Summary.) Essentiality of lead for growth and metabolism. *Z. Tierphysiol. Tierernahr. Futtermittelkd.* 46:1–8.

Ricolfe, J. S. C., Barrio, J. E. R., Vera, J. M. B. 2011. Importancia del origen geográfico en el consumo de productos agroalimentarios. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 15.

Rodríguez-Serrano, M., Martínez-de la Casa, N., Romero-Puertas, M.C., del Río, L.A., Sandalio, L.M. 2008. Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas* 17 (3): 139-146. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/409>. Consulta 12/08/17.

Rogers, J.M., Stewart, M., Petrie, J.G., Haynes, B.S. 2012. Depoiment and management of metals produced during combustion of CCA treated timbers. *Hazard Material*, 2 (4): 500-505.

Ruiz, E. P. Z., O'Donnell, C. P., Izquierdo, M. L. 2013. Aplicación de la quimiometría en la determinación de autenticidad de bebidas espirituosas. *Revista Cubana de Ingeniería*, 4 (1): 33-40.

Ruth, S. M. V., Granato, D. 2017. Food Identity, Authenticity and Fraud: The Full Spectrum. 49 pp.

Saavedra Charca, W., Vásquez-Villalobos, V., Rojas-Padilla, C. 2016. Técnicas analíticas empleadas en metabólomica de alimentos. *Agroindustrial*

Science, 5 (2): 191-210.

Sampedro, D. 2002. Sistemas pecuarios de la zona campos de Argentina: tecnología y perspectivas. Reunión del grupo técnico en forrajeras del cono sur zona campos, XIX. Mercedes, Corrientes, Argentina. Memorias pp. 16 – 30.

Sampedro, D.H. 2002. XIX Reunión del grupo técnico en forrajeras del Cono Sur zona campos. Mercedes, Corrientes, Argentina. Memorias. INTA EEA. Mercedes. ISSN 987-521-061-7

Sánchez González, J. M. 2013. El balance catión-anión en la nutrición del ganado lechero. *Nutrición Animal Tropical*, 2 (1): 3-29.

Sârbu, C., Naşcu-Briciu, R. D., Kot-Wasik, A., Gorinstein, S., Wasik, A., Namieśnik, J. 2012. Classification and fingerprinting of kiwi and pomelo fruits by multivariate analysis of chromatographic and spectroscopic data. *Food Chemistry*, 130 (4): 994-1002.

Sartori, J., Fernando, S., Belén Colasurdo, M. 2017. El espacio y los recursos: el análisis arqueofaunístico mediante SIG en los distintos ambientes de la provincia de Santa Fe (Argentina). *Antípoda. Revista de Antropología y Arqueología*, 28: 99-125.

Scarnecchia, D. L y M.M. Kothmann. 1982. A Dynamic approach to grazing management terminology. *Journal of Range Management* 35(2): 262-264.

Simsek, A., Aykut, O. 2007. Evaluation of the microelement profile of Turkish hazelnut (*Corylus avellana* L) varieties for human nutrition and health. *Int. J. Food*

Sci. Nutr. 58: 677-688.

Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE). 2008. La fertilización y el balance de nutrientes en sistemas agroecológicos. Oficina permanente SEAE Cami del Port, s/n. Km 1 Edif. ECA, Patio Int 1º Apdo 397 E-46470 Catarroja (Valencia) E-mail:seae@agroecologia.net <http://www.agroecologia.net>

Society for Range Management. Range Term Glossary Committee, y Kothmann, M. M. 1974. A glossary of terms used in range management. 2nd ed.

Soetan, K. O., Olaiya, C. O., Oyewole, O. E. 2010. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants-A review. African Journal of Food Science, 4 (5): 200-222.

Soil Survey Staff. 2006. Keys to Soil Taxonomy (10th edition). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (http://www.soils.usda.gov/technical/classification/tax_keys/keysweb.pdf).

Soto, C., Reinoso, V. 2012. Suplementación con fósforo en ganado de carne a pastoreo. REDVET Rev. Electrónica de veterinaria. 13 (7): 1-13. Consulta 02/07/15. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070712.html>.

Spink, J., Moyer, D. 2015. Introducing Food Fraud Including Translation and Interpretation to Russian, Korean, and Chinese Languages. Food Chemistry 189: 102-107.

Sykes, A. 1993. Hipomagnesemia en bovinos. In: Jornadas Chilenas de

Buiatria, 1. Osorno. Anales. Osorno: Sociedad Chilena de Buiatria. 21-28 pp.

Tomei, C. E., Hack, C. M., Porta, M. 2016. Deficiencias de nutrientes minerales en suelos del Nordeste Argentino. Ensayos de invernadero. Agrotecnia, (16), 17-21.

Trindade, J.P.P; Quadros, L.F.; Rocha, M.G. 1999b. Estimativa de taxa de crescimento de lâminas foliares em afilhos de *Andropogon lateralis* Nees. Em pastagem natural submetida a manejos de quima e pastajo. In: Moraes. A. et al (ED.) Simposio Internal "Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology". Nais. Curitiba. 24 a 26/08/1999. Curitiba: UFPR. P. 280-283.

U.S. EPA. 1994. Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Revisión 4.4. Cincinnati, OH

Underwood, E. J. 1971. Trace elements in human and animal nutrition. Ed. 3. New York, USA, Academic Press, Inc..

Underwood, J.; Suttle, F. 1999. 3Th Ed. The detection and correction of mineral imbalances. The Mineral Nutrition of Livestock. Wallingford, UK. CABI Publishing. 600 pp.

Uthus, E. O. 1994. Arsenic essentiality and factors affecting its importance. Pp. 199–208 in Arsenic. Exposure and Health, W. R. Chappell, C. O. Abernathy, and C. R. Cothorn, eds. Northwood, UK: Science and Technology Letters.

Vizuet, D. I. A. 2014. Sistemas de Trazabilidad en la Gestión de Alimentos.

Sincal@. <https://sincalmx.wordpress.com/tag/i-a-diana-vizuet/>. Consulta 12/08/17.

Von Barga, C., Brockmeyer, J., Humpf, H. U. 2014. Meat authentication: A new HPLC–MS/MS based method for the fast and sensitive detection of horse and pork in highly processed food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62 (39): 9428–9435.

Waisberg, M., Joseph, P., Hale, B., Beyersmann, D. 2013. Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology*, 3 (4): 95-117.

Wasinski, B., Osek, J. 2013. New methods of meat species identification and detection of meat adulterations. *Medycyna Weterynaryjna* 69 (6): 348-352.

Weesepeel, Y. J. A., van Ruth, S. M. 2015. Inventarisatie van voedsel fraude: mondiaal kwetsbare productgroepen en ontwikkeling van analytische methoden in Europees onderzoek (N° 2015.014). RIKILT Wageningen UR.

Wilkins, C., Salter, L. 2003. Arsenic hyperaccumulation in ferns: a review. *Royal Society of Chemistry, Environmental Chemistry Group Bulletin*, 8-10 pp

Zhao, H., Yu, C., Li, M. 2017. Effects of geographical origin, variety, season and their interactions on minerals in tea for traceability. *Journal of Food Composition and Analysis*, 63: 15-20.

Zhao, Y., Wang, D., and Yang, S. 2016. Effect of organic and conventional rearing system on the mineral content of pork. *Meat Science*, 118: 103–107.