



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE VETERINARIA**

**REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META-ANÁLISIS DEL CONSUMO VOLUNTARIO DE  
CONCENTRADO QUE REALIZAN LOS BOVINOS CUANDO SE EMPLEA NaCl  
EN EL ALIMENTO COMO LIMITADOR DEL CONSUMO**

por

**Candela BIDAGARAY USLENGHI  
Gonzalo GONZALEZ CONTRERA**

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


MODALIDAD: Trabajo de Investigación

**PAYSANDÚ  
URUGUAY  
2022**


**PÁGINA DE APROBACIÓN**

Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa:

  
Gonzalo Fernández

Segundo miembro (Tutor):

  
Germán Antúnez


Tercer miembro:

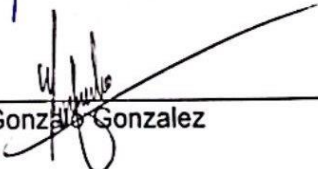
  
Alejandro Britos

Fecha:

21/12/2022

Autores:

  
Candela Bipagaray

  
Gonzalo Gonzalez

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecer a nuestro tutor de tesis Germán Antúnez por el apoyo y el tiempo dedicado.

Al personal de biblioteca por ayudarnos en la búsqueda y gestión de la bibliografía.

A la facultad por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales.

Agradecer al Dr. Agustín Álvarez por aportar en nuestros conocimientos como futuros profesionales.

Un especial agradecimiento a nuestras familias y amigos, por el apoyo brindado y el incentivo a formarnos como futuros profesionales, así como también ser mejores personas cada día.

## TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁG.
PÁGINA DE APROBACIÓN .....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTOS .....	2
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS .....	4
1. RESUMEN .....	5
2. SUMMARY.....	6
3. INTRODUCCIÓN .....	7
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	8
4.1. El uso de concentrados para la alimentación de bovinos en Uruguay .....	8
4.2. Objetivos de la suplementación con concentrados.....	8
4.3. Suplementación diaria vs suplementación con autoconsumo .....	10
4.4. Problemas que se producen con el consumo excesivo de concentrado.....	10
4.5. Metabolismo del Na <sup>+</sup> y Cl <sup>-</sup> en los animales .....	11
4.6. Requerimientos de Na <sup>+</sup> y Cl <sup>-</sup> en rumiantes .....	12
4.7. Toxicidad por NaCl.....	14
4.8. Limitadores de consumo .....	14
5. HIPÓTESIS .....	17
6. OBJETIVOS.....	17
6.1. Objetivo general .....	17
6.2. Objetivos específicos.....	17
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
7.1. Criterios de búsqueda bibliográfica.....	18
7.2. Criterios de elegibilidad de trabajos científicos (inclusión/exclusión).....	18
7.3. Extracción y síntesis de datos .....	19
7.4. Cálculos y estimaciones.....	19
7.5. Análisis estadístico .....	20
8. RESULTADOS .....	22
8.1. Resultados de la búsqueda y conformación de la base de datos .....	22
8.2. Análisis de los trabajos incluidos .....	22
8.3. Relación entre los niveles de NaCl y el consumo voluntario de suplementos o DTM realizado por los bovinos.....	27
9. DISCUSIÓN .....	30
10. CONCLUSIONES .....	34
11. BIBLIOGRAFÍA .....	35

## LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Contenido	página
<b>CUADROS</b>	
<b>Tabla 1.</b> Base de datos y las respectivas estrategias de búsqueda empleadas para la búsqueda de publicaciones.....	18
<b>Tabla 2.</b> Estudios incluidos en la revisión sistemática y meta-análisis sobre el efecto del NaCl sobre el consumo de concentrado.....	24
<b>Tabla 2.</b> (Continuación).....	25
<b>Tabla 3.</b> Resumen de algunas de las variables relevante de los experimentos incluidos en la revisión sistemática y meta- análisis.....	26
<b>FIGURAS</b>	
<b>Figura 1.</b> Diagrama de flujo PRISMA con el número de publicaciones identificadas, el proceso de cribado con el detalle de las causas de exclusión y el número de publicaciones incluidos en la revisión sistemática y meta análisis.....	22
<b>Figura 2.</b> Forest plot con efecto promedio del consumo máximo voluntario de NaCl (% del peso vivo) que realizan los bovinos cuando el alimento incluye NaCl como limitador de consumo en dietas con alta (> 60%) o baja ( $\leq$ 60%) concentración de nutrientes digestibles totales.....	27
<b>Figura 3.</b> Forest plot del efecto promedio del consumo máximo voluntario de NaCl (% del peso vivo) que realizan los bovinos adultos (novillos, toros y vaquillonas) y terneros (de ambo sexos) cuando el alimento incluye NaCl como limitador de consumo.....	28
<b>Figura 4.</b> Relación entre los niveles de NaCl en el alimento (X) y el consumo de materia seca del concentrado expresado como % del peso vivo (Y).....	29

## 1.RESUMEN

El objetivo fue estimar, a través de una revisión sistemática y herramientas meta-analíticas, el consumo voluntario de concentrados que realizan los bovinos cuando se emplea NaCl como limitador de la ingesta voluntaria en un sistema de alimentación en autoconsumo. Para ello se realizó, en primer lugar, una revisión sistemática y posteriormente el meta-análisis de los datos cuantitativos de interés. La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos SciDirect, Scopus, EBSCO, PubMed, PlosOne, Google Scholar, Oxford Academic y Silo-UY, de las cuales se recuperaron 762 registros. Del total de publicaciones, 47 estaban duplicadas, mientras que 663 fueron descartadas en base al título y el resumen. Las 52 publicaciones restantes fueron examinadas detalladamente a texto completo para completar el proceso de cribado, resultando en 16 publicaciones que fueron incluidas en la revisión sistemática y meta-análisis. Para comparar los resultados de diferentes estudios se empleó el consumo de concentrado expresado como porcentaje del peso vivo de los animales. El consumo voluntario de concentrado ( $Y$ ) en función del nivel de NaCl ( $X$ ), se analizó a través de un modelo de regresión lineal simple empleando el PROC MIXED y PROC REG de SAS. El modelo incluyó el efecto fijo del nivel de NaCl y el efecto aleatorio del estudio. Los resultados de cada estudio fueron ponderados a través del inverso del EEM e incluidos en el modelo a través de la opción WEIGHT. El efecto promedio de todos los estudios sobre el consumo máximo de NaCl como % del peso vivo y sus intervalos de confianza fue realizado con un modelo aleatorio mediante el software CMA. La revisión sistemática se basó en los datos de 16 publicaciones que incluyen los resultados de 22 experimentos y 32 tratamientos en los que se empleó NaCl para limitar el consumo. El rango de años de las publicaciones fue de 1973 a 2021. Los estudios fueron realizados tanto en Uruguay ( $n= 5$ ) como en otros países ( $n= 11$ ), empleando terneros, vaquillonas, novillos y toros, tanto en confinamiento ( $n= 5$ ) como a pastoreo ( $n= 11$ ) y con niveles de inclusión de NaCl de 2,5 a 45% de la materia seca (MS). Se encontró una correlación significativa e inversamente proporcional entre el consumo voluntario de MS del concentrado y el nivel de inclusión de NaCl ( $r= 0,98$ ,  $R^2= 0,95$ ;  $P < 0,01$ ). Por cada 10 puntos porcentuales de NaCl, disminuye 0,5 puntos porcentuales el consumo voluntario de MS del alimento con NaCl. El consumo máximo de NaCl promedio de todos los estudios fue equivalente a 0,116% del peso vivo de los bovinos (IC 95%: 0,097-0,137%;  $P < 0,01$ ). Este modelo de regresión permite predecir el consumo de suplemento de acuerdo al nivel de NaCl en el alimento en diferentes categorías de bovinos en crecimiento, tanto en pastoreo ( $n= 11$ ) como en confinamiento ( $n= 5$ ). Se concluye que el consumo máximo de NaCl de los bovinos a través del alimento se encuentra entre 0,096 y 0,13% del peso vivo, existiendo una relación inversamente proporcional entre el nivel de NaCl y el consumo voluntario de concentrado. Adicionalmente el modelo de regresión desarrollado permite estimar de forma precisa el consumo voluntario de MS del alimento a partir del nivel de inclusión de NaCl.

## 2. SUMMARY

The aim of this study was to estimate, through meta-analytical approach, the voluntary intake of concentrates feed by cattle when NaCl is used as an intake limiter in a self-feed system. First, a systematic review was done followed by a meta-analysis of the quantitative data. The publication search was carried out in the SciDirect, Scopus, EBSCO, PubMed, PlosOne, Google Scholar, Oxford Academic and Silo-UY databases, of which 762 items were retrieved. Of the total publications, 47 were duplicates, while 663 were discarded based on title and abstract. The remaining 52 publications were examined in detail to complete the screening process, resulting in 17 publications that were included in the systematic review and meta-analysis. To compare the results of different studies, the consumption of concentrate expressed as a percentage of the body weight was used. The voluntary consumption of concentrate (Y) as a function of the NaCl level (X), was analysed through a simple linear regression model using the PROC MIXED of SAS. The model included the fixed effect of NaCl level and the random effect of the study. The results of each study were weighted through the inverse of the SEM and included in the model through the WEIGHT statement. The summary effect of all the studies on the maximum consumption of NaCl as % of body weight and its confidence intervals was carried out with a random model using the Compressive Metanalysis software. The systematic review was based on data from 16 publications including the results of 22 experiments and 32 treatments using NaCl. The year range of the publications was from 1973 to 2021. The studies were carried out both in Uruguay (n= 5) and in other countries (n= 11), using calves, heifers, steers and bulls, both in confinement (n= 5) as grazing (n= 11) and with NaCl inclusion levels of 2.5 to 45% of dry matter (DM). A significant and inversely proportional correlation was found between the voluntary intake of concentrate DM and NaCl inclusion level ( $r= 0.98$ ,  $R^2= 0.95$ ;  $P < 0.01$ ). For every 10 percentage points of NaCl, the voluntary DM intake of the NaCl feed decreases by 0.5 percentage points. The average maximum NaCl intake of all the studies was equivalent to 0.116% of the bovine live weight (95% CI: 0.097-0.137%;  $P < 0.01$ ). This model allows to predict the consumption of supplement according to the level of NaCl in different categories of growing cattle, both in grazing (n= 11) and in confinement (n= 5). It is concluded that the maximum NaCl consumption of cattle through feed is between 0.096 and 0.13% of live weight, there being an inversely proportional relationship between the NaCl level and the voluntary consumption of concentrate. Additionally, the regression model developed allows to accurately estimate the voluntary consumption of DM of the food from the level of inclusion of NaCl.

### 3. INTRODUCCIÓN

El uso de concentrados para la alimentación de bovinos de carne y leche se ha incrementado en Uruguay en los últimos años (Methol y Gorga, 2021). Según diferentes relevamientos, el porcentaje de productores ganaderos que suplementan con concentrados o con sales minerales es de entre 26% y 51% (Gómez y Ferreira, 2013; Gómez, 2017; Gómez y Saravia, 2016), con diferencias importantes entre zonas del país y orientaciones ganaderas. Uno de los factores que ha contribuido a la creciente adopción de la suplementación ha sido la difusión del uso de los comederos de autoconsumo y el uso de concentrados que incluyen limitadores de la ingesta como el NaCl (Rovira y Velazco, 2012).

Una de las dificultades frecuentemente reportadas cuando se emplea NaCl como limitador del consumo, son las diferencias entre los consumos pre-establecidos y los observados, observándose en la mayoría de los casos consumos superiores (Blasina, Piñeyrúa y Renau, 2010) y en menor medida inferiores a los pre-establecidos (Algorta, Iruleguy y López, 2015). Altos consumos de concentrado reducen el pH ruminal, lo cual puede generar mayor riesgo de acidosis, o generar mayores tasas de sustitución de pastura por concentrado (Bargo, Muller, Kolver y Delahoy, 2003).

Dos de las referencias más utilizadas para establecer los niveles de inclusión de NaCl para limitar el consumo de concentrado (Rich, Armbruster y Gill, 1976; Berger y Rasby, 2011) son artículos de difusión, basado en pruebas de campo y no en trabajos científicos. Por otra parte, mucho de los trabajos de investigación en los que se utiliza NaCl como limitador de consumo de suplemento, especialmente en aquellos trabajos realizados con animales en pastoreo, tienen bajo número de repeticiones experimentales (animales o potreros), lo que disminuye la precisión de las mediciones. Además, en los experimentos se suelen utilizar uno, dos o tres niveles de NaCl en el suplemento, por lo que la integración de varios trabajos permite aumentar el rango de análisis.

En base a lo mencionado anteriormente, se considera necesario sintetizar y analizar la información científica publicada para desarrollar herramientas que permitan predecir el consumo voluntario de concentrado que realizan los bovinos cuando se incluyen NaCl para limitar la ingesta de concentrado en sistemas de autoconsumo.



## **4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 El uso de concentrados para la alimentación de bovinos en Uruguay**

Uruguay se encuentra ubicado en una región considerada la principal exportadora de carne vacuna del mundo. El 72% de nuestra producción es exportada, además de considerarnos el principal país consumidor de carne vacuna. Estos aumentos cursaron con mayores faenas, pero sin afectar la estabilidad del número de ganado, esto pudo ser logrado por la intensificación y mejoras de la alimentación de los animales. Una de ellas la implantación de pasturas mejoradas y por otro lado la suplementación, la cual cobra relevancia en forrajes con baja concentración de energía (Cajarville, Aguerre, Santana y Repetto, 2011).

Según estimaciones realizadas por la Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA) el consumo de concentrados para la alimentación de bovinos se ha incrementado 28% en Uruguay durante el periodo 2007 a 2020 (Methol y Gorga, 2021). En particular en los sistemas de producción de carne este aumento ha sido de 18% en el período mencionado anteriormente (Methol y Gorga, 2021). A nivel de establecimientos, algunos estudios reportan que el porcentaje de productores ganaderos que realizan suplementación de tipo estratégico es de 26% en zonas cercanas a la ciudad de Tacuarembó (Gómez y Ferreira, 2013), de 35% de los productores ganaderos del norte del Río Negro (Gómez, 2017) y 51% de los productores ganaderos en las sierras del este (Gómez y Saravia, 2016).

### **4.2 Objetivos de la suplementación con concentrados**

La suplementación puede tener diferentes fines según el sistema de producción, se puede usar como una herramienta anual permanente, o de forma circunstancial de acuerdo a las condiciones climáticas, disponibilidad de forraje, categorías de animales (Rovira, 1996) y relaciones de precios entre el ganado y los granos. En la mayoría de los casos la suplementación con concentrados se ha limitado a situaciones de crisis forrajeras durante períodos de sequía (Vittone et al., 2015), aunque en los últimos años se ha incrementado el uso de concentrados como parte de estrategias de manejo tales como el destete precoz (Cepeda, Scaiewicz y Villagrán, 2005), la suplementación de la recría durante el invierno (Vittone et al., 2015) y el engorde (Simeone y Beretta, 2005).

Una alta proporción de sistemas ganaderos se encuentran ubicados en zonas con suelos con limitaciones productivas que no permiten la implantación de pasturas anuales o perennes (Henderson, Iribarne y Silveira, 2015), a esto se suman factores climatológicos adversos tales como sequía o inundaciones lo cual llevan a pérdidas económicas (Vittone et al., 2015). De esta manera la incorporación de suplementos se ha incrementado, generando mayor estabilidad productiva en los sistemas de producción y la adopción de nuevas tecnologías de proceso (Perea y Fanego, 2017).

Cuando los bovinos tienen acceso a pasturas de baja calidad, como por ejemplo campo natural diferido, la suplementación con concentrados que aportan nitrógeno a nivel ruminal, permite que logren mayores consumos de forrajes, aumentan la digestibilidad de la dieta e incrementen el desempeño productivo y/o reproductivo (McGuire, Bohnert, Schauer, Falck, y Cooke, 2013). En otras situaciones, como por ejemplo cuando los bovinos tienen acceso a pasturas implantadas de alta calidad la

suplementación con granos de cereales (1% PV) permite aumentar el consumo total de MS sin repercutir en el consumo de forraje (Aguerre, Kozloski, Cajarville, Repetto, 2013; Antúnez, 2015). La suplementación no solo posibilita aumentar el peso de los animales, sino que además incrementa la carga animal, y con ello mejora el empleo de las pasturas (Ferrari, 2011).

Por otra parte, la suplementación permite acelerar tiempos de los procesos productivos, a través de la mejora en el aprovechamiento digestivo de los nutrientes, lo que repercute en el desempeño productivo (Vittone et al., 2015). El costo, la disponibilidad de recursos y el grado de dificultad de aplicación son algunas de las condicionantes para la adopción de estas, como también los valores del mercado (Vittone et al., 2015). Por ello se hace énfasis en la incorporación de tecnologías que amolden al manejo (Romera, Morris, Hodgson, Stirling y Woodward, 2005).

Siempre que se implemente la suplementación, se esperan efectos que se relacionan a la interacción que hay entre el forraje, el suplemento y el animal, en donde se ven varias repercusiones (Ustarroz y De León, 2006). Un trabajo en el que utilizaron 5 novillos, sobre festuca de baja calidad, con suplementos en base a N, hallaron un aumento en el consumo de forraje, sin embargo no encontraron diferencias en la digestibilidad de la MO (McGuire et al., 2013).

Beretta y Simeone (2008), aseguran que terneros pastando sobre campo natural durante el invierno tienen pérdidas de peso alrededor de 150-200 g/día. Pero afirman que se puede obtener ganancias de 250 g/día, suplementando los mismos a niveles equivalentes a 0,7-1% del PV con concentrados energético-proteicos. En términos generales, los verdes de invierno tienen bajos niveles de carbohidratos solubles, lo cual genera menor eficiencia en el aprovechamiento ruminal de los compuestos nitrogenados (proteínas y nitrógeno no proteico), ya que buena parte de ellos difunden a nivel de las paredes del rumen y se metaboliza a urea en el hígado para luego eliminarse por orina, todo este proceso tiene, además, un costo energético (Solimano, 2003, Banchemo y Vaz Martins, 2005 citado por Algorta et al., 2015). La suplementación en pastoreo es considerada una herramienta eficaz para aumentar la utilización de la pastura, siempre y cuando se ajusten determinadas variables, relacionadas al animal, forraje y manejo (Elizalde, 2003).

La respuesta a la suplementación (entendida como los kilogramos extras de ganancia diaria/kg de suplemento consumido) es determinada por varios factores entre ellos la pastura, el suplemento y el animal. En relación a la pastura, algunos autores concuerdan que la respuesta a la suplementación la determina en gran medida la disponibilidad de forraje (Baldi, Mieres y Banchemo, 2008). Otro factor importante es la calidad de los forrajes, en el caso de los verdes de invierno los cuales tienen una calidad superior, se observó una baja de la respuesta a la suplementación (Baldi et al., 2008).

En un resumen de varios trabajos realizados con bovinos en pastoreo en Uruguay, se encontró una relación cuadrática entre la asignación de forraje y la ganancia media diaria de peso vivo (GMD), donde la GMD aumentó en forma decreciente a medida que aumentó la asignación de forraje (Clariget et al., 2021). En dicho trabajo se concluye que es posible predecir la GMD cuando se incluye en el modelo algunas variables tales como el PV inicial, época del año, nivel de suplementación, entre otras y de esta forma evaluar el beneficio de la suplementación.

En lo que refiere al suplemento es relevante conocer las características del mismo. Por ejemplo, la composición química, la cantidad de energía metabolizable y la digestibilidad del almidón. En lo que refiere a la cantidad de suplemento la respuesta a la suplementación se sitúa en un rango de 0,5 a 1,0% del peso vivo, en porcentajes superiores a esto la respuesta a la suplementación se reduce como resultado de un aumento en la tasa de sustitución del forraje por el suplemento (Baldi et al., 2008). En relación al factor animal, es relevante la edad del mismo, como también el estado fisiológico. La respuesta a la suplementación en animales jóvenes es superior debido a su mayor eficiencia de conversión (Baldi et al., 2008).

#### **4.3 Suplementación diaria vs suplementación con autoconsumo**

A mediados de la década del 80 se comienza a promover la utilización de comederos de autoconsumo y en los años 2000 se difundió de forma masiva, acompañando el proceso de intensificación que presentaron en términos generales los sistemas ganaderos de Uruguay. Esta tecnología tuvo buena adopción debido a que permitía solucionar limitantes en las instalaciones tales como la carencia de corrales o la falta de mano de obra que permitiera el suministro diario de alimentos. Dichos comederos, permiten almacenar el alimento, el cual se libera a las bateas a medida que los animales consumen (Rovira y Velazco, 2012).

Más allá de las ventajas de índole operativas, el uso de estos comederos, el uso de limitadores de la ingesta como el NaCl generaron interrogantes sobre el desempeño productivo y la eficiencia de la suplementación en comparación con los sistemas de suplementación diaria. En este sentido, varios trabajos realizados en INIA- Uruguay, no hallaron diferencias significativas en las ganancias de peso entre la suplementación diaria y la suplementación en autoconsumo (Rovira y Velazco, 2012). Otros autores (Vittone et al., 2015) restringieron el consumo utilizando 7,5 % de NaCl en la ración con alto contenido de urea y no pudieron restringir el consumo de concentrado, lo cual fue atribuido a la baja disponibilidad y calidad del forraje. Dichos autores recomiendan hacer ajustes en los niveles de NaCl para lograr la ganancia de peso objetivo y tener en cuenta las dimensiones del potrero y las características del mismo (Vittone et al., 2015).

El uso de estos sistemas de auto suministro necesita de algún método para poder limitar el consumo, dentro de las alternativas empleadas más frecuentemente en diferentes países se encuentra el NaCl. Se ha sugerido que utilizando niveles mayores a 5% de NaCl en el concentrado restringe el consumo. No obstante, son diversas las variables que afectan la efectividad, entre ellas, la categoría o la edad, el peso vivo de los animales, la calidad de forraje, la cantidad de sales que contiene el agua de bebida, entre otros. Por ello cada establecimiento de acuerdo a las condiciones debe realizar los ajustes pertinentes (Berger y Rasby, 2011).

#### **4.4 Problemas que se producen con el consumo excesivo de concentrado**

La principal desventaja de los sistemas de suplementación con comederos de autoconsumo, en comparación con la suplementación diaria, es la pérdida de control del consumo de concentrado que realizan los animales (Rovira y Velazco, 2012). Un consumo excesivo de concentrado por parte de algunos o todos los animales del lote, puede generar casos de acidosis clínica que puede generar la muerte de animales o subclínica, que se caracteriza por bajos índices de conversión (Maresca, s.f).

Algunos autores concuerdan que, para lograr la máxima respuesta biológica y económica en relación a la suplementación, los animales deberían consumir concentrados en cantidades equivalentes próximas al 1% de su peso vivo. Aseguran que cuando el consumo supera el 1% del PV la digestión de la fibra del forraje disminuye, se ve afectada negativamente la eficacia de la suplementación y podría verse comprometida la salud ruminal (Stritzler, 2004; Rovira, 2014).

Para maximizar la respuesta a la suplementación debe haber una correcta relación entre el suplemento y el forraje (Pordomingo, 1999). La suplementación no solo tiene efectos sobre los animales, sino que también sobre la pastura debido a que generalmente se observa una disminución del consumo de la misma, efecto que se conoce como sustitución. La tasa de sustitución varía ampliamente de acuerdo a la calidad de la pastura, con forrajes de baja calidad la sustitución puede ser de 0,2- 0,5 kg de forraje por kg de suplemento consumido, mientras que con pasturas de alta calidad las tasas de sustitución suelen ser mayores y varían de 0,5 a 1,0 kg de pastura por kg de suplemento (Cangiano, 1997). Otro tipo de respuesta frecuentemente observada es la adición, en donde los animales suplementados obtienen un aumento de ganancia de peso respecto a los no suplementados, debido a un incremento del consumo total de alimento (Stritzler, 2004). A su vez hay una interacción entre la adición y la sustitución, las cuales ocurren en simultáneo, generalmente cuando hay restricción de algún nutriente en la pastura que es obtenido a través de la suplementación (Ustarroz y De León, 2006).

#### **4.5 Metabolismo del Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en los animales**

Tanto el Na<sup>+</sup> como el Cl<sup>-</sup> son minerales que se consideran esenciales para la vida animal (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, NASEM, 2021). Ambos se consideran en conjunto, ya que se complementan en algunas funciones básicas como la regulación del medio interno (Demetrio, 1999). Los rumiantes en particular, han evolucionado consumiendo alimentos con baja concentración de Na<sup>+</sup> y alto contenido en K<sup>+</sup> como lo son los forrajes, por lo tanto, desarrollaron mecanismos eficientes de conservación, como lo es la reabsorción renal (NASEM, 2021). Tanto el exceso como el déficit de Na<sup>+</sup> es regulado mediante el mecanismo de excreción y reabsorbido en los túbulos renales, mecanismo que está regulado por la hormona aldosterona que es secretada por la glándula adrenal (Suttle, 2010).

La deficiencia de Na<sup>+</sup> se produce por déficit en la dieta, por las condiciones climáticas en las que se encuentran los rumiantes que aumentan las pérdidas (aumento de la sudoración y pérdida a través de la saliva) y con menor frecuencia por enfermedades digestivas que aumentan las pérdidas de Na<sup>+</sup>. Si bien la carencia de Na<sup>+</sup> es rara, la misma puede ocurrir en animales alimentados en forrajes con muy alta concentración de K<sup>+</sup> (Suttle, 2010), debido a que se incrementa la excreción de Na<sup>+</sup> por orina (Greene, Fontenot y Webb, 1983). Si bien en los rumiantes se ha reportado casos de deficiencias de Na<sup>+</sup>, no hay muchos reportes con respecto al Cl<sup>-</sup>, se supone que es debido a que el Cl<sup>-</sup> va asociado al Na<sup>+</sup> cuando se administra NaCl (Rovira y Velazco, 2012).

Varios autores aseguran no encontrar diferencias en la concentración de estos minerales en sangre cuando suplementan animales con o sin NaCl como limitador de consumo, estos son capaces de soportar altas concentraciones de NaCl siempre y cuando tengan agua con bajo contenido de minerales a disposición (Chicco, Shultz, Ríos, Plasse y Burguera, 1971; Riggs, Colby y Sells, 1953). Sin embargo, algunos

autores hallaron ligeramente aumentada la concentración de  $K^+$  en sangre cuando fueron suplementadas con suplementos que incluía 6% de NaCl como limitador de consumo (Amaral, Croom, Rakes, Leonard y Linnerud, 1985).

Se estima que el consumo de agua se incrementa en un 50-75% con el consumo de NaCl en el alimento (Rich, Armbruster y Gill, 1976). En Arizona se realizó un estudio en donde determinaron que para eliminar un kilogramo de NaCl se necesitan producir 19 litros de orina (Sewell, 1993). Como consecuencia de este mayor consumo de agua que se realiza para mantener la homeostasis, los animales luego de la comida se encuentran saciados durante un largo tiempo (Meyer, Weir, Ittner y Smith, 1955; Berger y Cunha, 2006).

Un estudio estableció una relación directamente proporcional entre el NaCl de la dieta y la excreción de nitrógeno, es decir a mayor ingesta de NaCl, mayor será la excreción de N en la orina (Spek, Bannink, Gort, Hendriks y Dijkstra, 2012). En relación a la excreción de nitrógeno en las heces, este aumenta cuando aumenta la ingesta del mismo en la dieta (Weiss et al., 2009). En un estudio se propuso el aumento en los niveles de NaCl en la dieta como forma de diluir las concentraciones de nitrógeno en orina (da Silva, Alves, Urquiaga y Boddey, 2018). En dicho estudio concluyeron que la producción de orina se veía afectada, así como también la concentración de nitrógeno en la orina, pero no encontraron aumento en la excreción total de urea a través de la orina cuando aumentaron los niveles de NaCl en el suplemento. La excreción de nitrógeno en materia fecal no sufre tanta variación con respecto a la excreción de nitrógeno en orina (Dijkstra et al., 2013). Incluso en el estudio de da Silva et al. (2019) no encontraron variaciones en la concentración de nitrógeno en heces, aun variando los niveles de sales minerales en la dieta.

#### **4.6 Requerimientos de $Na^+$ y $Cl^-$ en rumiantes**

Entre los 17 minerales que requiere el vacuno se encuentra el  $Na^+$  y el  $Cl^-$ , los cuales son clasificados como macrominerales. Estos minerales frecuentemente se encuentran en concentraciones óptimas en los piensos, pero otros son insuficientes por lo tanto se debe recurrir a la suplementación para poder suplir los requerimientos de los animales. Cuando la suplementación con minerales supera los requerimientos, conjuntamente aumenta la excreción de los mismos en sus desechos, por ello debemos evitar la suplementación masiva de los mismos para prevenir problemas ambientales. En el líquido extracelular el principal catión actuante es el  $Na^+$ , y el principal anión es el  $Cl^-$ , de aquí la importancia de estos dos minerales (National Research Council, NRC, 2000).

Morris (1980), definió que los vacunos no lactantes requieren de 0,06 al 0,08%, las vacas lactantes requieren 0,10% de  $Na^+$  en la MS. Los requerimientos de  $Cl^-$  no están claramente definidos, y no se ha comprobado en condiciones prácticas las deficiencias de este (Neathery et al., 1981). Incluso en 1979 se realizó un estudio en terneros, utilizando 0,038% de  $Cl^-$  y se desempeñaron de la misma manera que aquellos en donde se le suministró 0,5% (Burkhalter, Neathery, Miller, Whitlock y Allen, 1979).

El NASEM (2021) realizaron una revisión sobre los requerimientos de  $Na^+$  en donde reconocieron que valores anteriormente pautados (0,015 g  $Na^+$ /Kg de PC) podía ser fijado para vaquillonas o vacas maduras, pero no así para vacas en lactancia, por lo tanto, fijaron el requerimiento de mantenimiento en 0,038 g de  $Na^+$ /Kg peso corporal. Los rumiantes tienen apetito por el  $Na^+$ , por lo tanto, hay que ser cuidadoso cuando

se administra el mismo *ad libitum* para evitar excedentes en el consumo (Morris, 1980).

La deficiencia de  $\text{Na}^+$  se evidencia por signos inespecíficos, entre ellos pica, mayor consumo de agua y mayor producción de orina en las primeras semanas, la reducción del consumo de alimento, disminución del crecimiento y producción de leche se evidencian más tardíamente (Mattioli, 2020). Frente a un déficit de  $\text{Na}^+$ , el mismo es reabsorbido por el riñón en respuesta a la hormona aldosterona producida por la glándula suprarrenal (Suttle, 2010). La concentración de  $\text{Na}^+$  en suero o plasma no es considerado un indicador confiable del estado del  $\text{Na}^+$  (NRC, 2000).

Por lo tanto, para evaluar el estado del mismo se utiliza la proporción  $\text{Na}^+:\text{K}^+$  en saliva, la cual en condiciones normales es 20;1. La respuesta a la suplementación se genera cuando la relación  $\text{Na}^+:\text{K}^+$  se encuentra por debajo de 10:1 (Morris, 1980).

El contenido de  $\text{Na}^+$  y cloro en los productos animales son más altos que en los productos vegetales (Mattioli, 2020), además en los forrajes hay importantes variaciones del contenido de  $\text{Na}^+$  debido a variaciones del mismo en los suelos (Mattioli, 2020). Dentro de los compuestos disponibles para complementar el  $\text{Na}^+$ , se halla el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) y bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) (NRC, 2000).

Meyer et al. (1955) utilizaron 9,33% de  $\text{NaCl}$  en vacunos durante 84 días en donde lograron tolerarlo sin efectos colaterales. Posteriormente, Leibholz, Kellaway y Hargreave (1980) utilizaron 6,5% de  $\text{NaCl}$  en dietas de terneros y encontraron disminuciones en el consumo de materia orgánica y menor crecimiento de los terneros.

En una revisión realizada por López et al. (2021) se citan una serie de trabajos dónde se reporta que consumos excesivos de  $\text{NaCl}$  (más allá de los requerimientos diarios), genera un mayor gasto energético para la metabolización y eliminación de estos iones, aumentos en la producción de calor y disminuye la eficiencia energética en varias especies de mamíferos. Entre el 20- 30% del gasto energético basal de los animales está dado por el movimiento de  $\text{Na}^+$  y potasio a través de las membranas celulares (Baldwin, Smith, Taylor y Sharp, 1980; Milligan y McBride, 1985). Mantener el equilibrio osmótico es muy costoso energéticamente y esto conlleva a reducir el desempeño productivo animal (López et al., 2021). Cuando el agua de bebida contiene alto contenido de  $\text{NaCl}$  afecta negativamente el consumo de materia seca, sin embargo, se ve un impacto mayor en la GMD y en la eficiencia alimenticia (López et al., 2021).

El National Reserch Council, (1980, citado por NRC 2000) estimaron que la concentración máxima tolerable de  $\text{NaCl}$  en el alimento era de 9,0%. Posteriormente, el NRC (2000), aseguran que la concentración máxima tolerable en dieta es de 4,5% en bovinos en crecimiento. En vacunos se estimó que 1% es el porcentaje de sal en agua de bebida sin efectos adversos, ya que cuando la sal está presente en el agua es más tóxica que cuando está en el alimento (Weeth, Haverland y Cassard, 1960; Weeth y Haveland, 1961). Un trabajo realizado en los 60´ estableció que niveles de 1,25 a 2,0% de  $\text{NaCl}$  en agua, produjeron anorexia, pérdida de peso, redujeron la ingesta de agua y shock (Weeth et al., 1960).

#### **4.7 Toxicidad por NaCl**

Algo a tener presente es la toxicidad por excesivo consumo de NaCl. Los rumiantes están altamente adaptados a consumir altas concentraciones de sal (Morris, 1980), pero de todas maneras se ha visto casos de intoxicaciones (Osweiler, Carr, Sanderson, Carson y Kinker, 1995). Internacionalmente son contradictorios los efectos que se han evaluado con respecto al NaCl sobre el desempeño productivo de los bovinos (Rovira y Velazco, 2012).

La intoxicación aparece en situaciones particulares, es el caso de restricciones en el acceso al agua, o al someter los animales a grandes volúmenes de NaCl siendo anteriormente privados de la misma o incluso cuando el agua disponible tiene importantes cantidades de sales (Rich, Armbruster y Gill, 1976). Según Sewell (1993), el vacuno tiene la capacidad de concentrar en la orina alrededor de 2,3% de sal, siempre y cuando tengan suficiente agua a disposición, de lo contrario se acumulan niveles tóxicos de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en la sangre (Sewell, 1993).

Al parecer, la tolerancia de los bovinos al consumo excesivo de NaCl (por encima de sus requerimientos), es muy variable (Rovira y Velazco, 2012). Según la extensa y profunda revisión realizada por Rovira y Velazco (2012), los bovinos pueden tolerar rangos de consumos máximos diarios equivalentes a 0,10% a 0,15% de su peso corporal.

#### **4.8 Limitadores de consumo**

La principal dificultad en los sistemas de autosuministro es poder ajustar el consumo deseado en los animales con el fin de proporcionar los nutrientes requeridos (Bowman y Sowell, 1997). Para intentar superar esta problemática se han probado diferentes compuestos que podrían tener el potencial de limitar el consumo de suplemento. Dentro de los componentes más difundidos se encuentra el NaCl (Rovira, Velazco, y Quintans, 2007; Beretta y Simeone 2008; Rovira 2014), pero también se han probado otros compuestos tales como la piedra caliza, hidróxido de calcio, óxido de magnesio, carbonato de calcio y monensina (Croom et al., 1982; 1985; Schauer, Lardy, Slanger, Bauer y Sedivec, 2004; Sugg, 2013).

En las raciones comerciales se suele utilizar niveles de 0,5 a 1,0% de NaCl, en estos niveles, el NaCl tiene efecto saborizante y promueve el consumo. Cuando el mismo se utiliza como limitador de consumo se emplean niveles que pueden ir de 8 a 30% de la MS (Maresca, s.f) o incluso superiores (Rich, Armbruster y Gill, 1976), dependiendo del consumo que se quiera lograr. Siempre que se utiliza NaCl como limitador de consumo se recomienda el uso de una presentación con una granulometría similar al concentrado, para lograr una mezcla homogénea y evitar la selección (Maresca, s.f).

En Estados Unidos, específicamente en la Universidad de Dakota del Norte, realizaron dos experimentos que tenían como objetivo comparar a bovinos sobre pasturas nativas con o sin suplementación y comparar la eficacia de diferentes limitadores de consumo tales como el cloruro y sulfato de amonio, el hidróxido de calcio y el NaCl (Schauer, Lardy, Slanger, Bauer y Sedivec, 2004). Según estos autores se puede limitar el consumo de alimento mediante la incorporación de NaCl o hidróxido de calcio. En dicho trabajo se observó que no existen diferencias significativas cuando se utiliza hidróxido de calcio al 7%, en relación a la utilización de 18% de NaCl (Schauer, Lardy, Slanger, Bauer y Sedivec, 2004). Además, reportaron que el hidróxido de

calciogénero un mayor consumo de suplemento que el cloruro y sulfato de amonio, a la vez que el NaCl fue mejor limitador de consumo que el cloruro y sulfato de amonio. No obstante, en los dos experimentos (realizados en años consecutivos) los consumos de suplemento encontrados en los animales del tratamiento con NaCl fueron superior al que ellos esperaban.

A pesar de la aparente eficacia del NaCl para limitar el consumo de concentrado, varios trabajos han reportado una alta variabilidad en la ingesta (Bowman y Sowell, 1997) entre animales y entre días consecutivos (Reuter, Moffet, Horn, Zimmerman, y Billars, 2017). Adicionalmente, se ha observado que a medida que pasa el tiempo durante el cual los bovinos consumen concentrado con el agregado de NaCl, el consumo voluntario de concentrado aumenta (Schauer, Lardy, Slanger, Bauer y Sedivec, 2004; Reuter, Moffet, Horn, Zimmerman, y Billars, 2017). Se ha sugerido que esto podría estar dado por una disminución de la sensibilidad de los bovinos al mismo (Schauer, Lardy, Slanger, Bauer y Sedivec, 2004), por lo que algunos autores recomiendan ajustar la concentración durante el periodo de suplementación (Beeson, Perry y Mohler, 1957; Rovira y Velazco, 2012).

Por otra parte, se ha reportado algunos efectos negativos a nivel digestivo del consumo de NaCl, tales como una menor digestibilidad del forraje (Moseley y Jones, 1974). Existen muchos estudios que investigan la repercusión del aumento de NaCl en la dieta de los rumiantes, sin embargo, estos han arrojado resultados poco concluyentes. En ovejas suplementadas con concentrados ricos en proteínas, la inclusión de NaCl generó aumentos en la concentración de  $\text{Cl}^-$  en plasma (Hemsley, 1975), sin embargo, no se observaron cambios a nivel plasmático en novillos de engorde cuando utilizaron 3 y 7% de NaCl (Croom, Harvey, Froetschel y Linnerud, 1982). En vacas lecheras no encontraron efecto sobre la producción de leche y solo encontraron pequeñas variaciones en la composición de la misma cuando utilizaron 6% de NaCl en el concentrado (Amaral et al., 1985).

Algunos trabajos en donde se utilizó cloruro de calcio en proporciones de 2,5 a 5,0% de la MS del concentrado, se reportó que el mismo permitió limitar el consumo de del concentrado a 1% del peso vivo (Kunkle, Johns, Poore y Herd, 2000). En un experimento se utilizaron NaCl, caliza y caliza más NaCl como limitadores de consumo de una dieta total mezclada (DTM) de novillos en terminación (Croom, Harvey, Amaral y Spears, 1985). En dicho trabajo encontraron que cuando utilizaban piedra caliza al 2%, no vieron efectos sobre el consumo del alimento, de la misma forma sucedió cuando usaron NaCl al 5% asociado a 2% de piedra caliza. Pero esta última asociación, sin embargo, disminuyó la ganancia total de peso. Los niveles de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  en el suero sanguíneo no se vieron afectados por el empleo de NaCl, caliza o sus combinaciones (Croom et al., 1985).

Se ha sugerido que otros compuestos tales como el sulfato de calcio son efectivo para limitar el consumo, inclusive cuando es utilizado en menores dosis que el NaCl, aunque puede generar problemas de poliencfalomalacia (Schauer et al., 2004). También se ha propuesto que el óxido de magnesio, por su baja palatabilidad, puede ser utilizado como limitador de consumo (Schauer, Lardy, Slanger, Bauer y Sedivec, 2004). Sin embargo, cuando se utilizaron en bovinos en rangos de entre 0,25 a 1,75% de óxido de magnesio en la MS del concentrado, no se obtuvieron cambios en el consumo de suplemento (Paisley, Ackerman y Horn, 1997).

Mac Loughlin (2005) asegura que la utilización de grasas y aceites al 10% logran restringir el consumo al 1,0 a 1,5% de PV animal. Rovira y Velazco (2012), realizaron



un experimento en donde evaluaron la cáscara de arroz como limitador de consumo, en donde no obtuvieron resultados ya que los animales consumieron suplemento por encima de lo esperado. Sin embargo, la cáscara de arroz resultó efectiva evitando problemas metabólicos en los animales como la acidosis.

La monensina, que es un antibiótico del grupo de los ionóforos, se ha utilizado como leve limitador del consumo en dietas que se utilizan para terminación de bovinos a corral (Horn, Beck, Andrae y Paisley, 2005). La eficacia de la monensina ha sido observada en dietas con altos contenidos de concentrados o cuando se utiliza combinada con otros limitadores, en donde además mejora la eficiencia de conversión y reduce la incidencia de problemas metabólicos como la acidosis (Horn, Beck, Andrae y Paisley, 2005). En otros trabajos, con animales en pastoreo suplementados con comederos de autoconsumo y en donde los concentrados representaron menos del 50% de la dieta, la eficacia de la monensina para controlar el consumo de concentrado no ha sido demostrada cuando se ha empleado sola o en combinación con otros compuestos (Sugg, 2013).

## **5. HIPÓTESIS**

Es posible predecir mediante una revisión sistemática y meta-análisis el consumo voluntario de concentrado que realizan los bovinos cuando son suplementados, en comederos de autoconsumo, con concentrados que incluyen altas concentraciones de NaCl como limitador del consumo.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1 Objetivo general**

El objetivo fue estimar el consumo máximo de NaCl que realizan los bovinos y desarrollar a través de técnicas meta-analíticas, un modelo de regresión que permita predecir el consumo voluntario de concentrado en bovinos cuando se emplea NaCl como limitador de la ingesta en un sistema de suplementación con comederos de autoconsumo.

### **6.2 Objetivos específicos**

Realizar una revisión sistemática y análisis estadístico descriptivo de los trabajos publicados y seleccionados según los criterios de elegibilidad establecidos.

Estimar el consumo máximo promedio de NaCl que realizan los bovinos en proporción al peso vivo, con su respectivo intervalo de confianza.

Analizar la relación entre el consumo de MS del alimento con NaCl y el nivel de inclusión de NaCl.

Desarrollar ecuaciones de regresión lineal simple para predecir el consumo voluntario de concentrado según los niveles de inclusión de NaCl.

## 7 MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1 Criterios de búsqueda bibliográfica

Para implementar la revisión sistemática y meta-análisis se realizó la búsqueda bibliográfica en las siguientes bases de datos y repositorios bibliográficos: SciDirect, Scopus, EBSCO, PubMed, PlosOne, Google Scholar, Oxford Academic y Silo-UY. Los criterios de búsqueda empleados en cada una se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Base de datos y las respectivas estrategias de búsqueda empleadas para la búsqueda de publicaciones.

Base de datos	Interface	Términos de búsqueda
SciDirect	Elsevier	cattle AND "sodium chloride" AND supplement OR "self-fed supplements" NOT sheep NOT goat NOT human NOT rat NOT chickens
Scopus	Elsevier	cattle AND "sodium chloride" AND supplement OR "self-fed supplements" AND NOTsheepAND NOTgoatAND NOThumanAND NOTratAND NOTchickens
Ebsco	Ebsco	cattle* AND "sodium chloride" AND supplement* OR "self-fed supplements"
PubMed	NCBI	cattle* AND "sodium chloride" AND supplement* OR "self-fed supplements"
SCIELO	SCIELO	cattle AND supplement AND "sodium chloride"
PlosOne	PlosOne	cattle AND supplement AND "sodium chloride"
Oxford Academic Press	Oxford Academic	cattle AND supplement AND "sodium chloride"
Silo-Uy	Silo-Uy	Suplementación AND autoconsumo OR Sal

Fecha de última búsqueda: 20 de octubre de 2022.

### 7.2 Criterios de elegibilidad de trabajos científicos (inclusión/exclusión)

Se recopilaron artículos completos, resúmenes en congresos nacionales e internacionales, tesis de posgrados, tesis de grado y otras publicaciones que cumplieron los criterios de elegibilidad que se mencionan a continuación. Se incluyeron trabajos publicados en inglés, portugués y español, realizados con bovinos que tuvieron libre acceso a alimentos concentrados con NaCl como limitador del consumo. Se eliminaron posibles duplicaciones de trabajo que fueron publicados de diferentes formas (ej. tesis y artículo completo o resumen en congreso).

Solo se consideraron aquellos trabajos donde se determinó el consumo individual o grupal de concentrado, que incluyera niveles mayores a 1% de NaCl, y que el tratamiento fuera aplicado en más de una unidad experimental por tratamiento (2 o más repeticiones). Se consideró como unidad experimental al animal o al grupo de animales, en base a si el consumo de alimento con NaCl se determinó en forma individual o colectiva. Solo se incluyeron aquellos trabajos donde se reportaron las medidas de dispersión asociada al consumo medio de concentrado (error estándar de la media o desvío estándar). No se incluyeron trabajos en los que el suplemento se ofreció en forma de bloques diseñados para que los animales lamieran.

El proceso de cribado de las publicaciones obtenidas durante la búsqueda se presenta a través del diagrama de flujo PRISMA (Page et al., 2021). En dicho diagrama se reporta el número de registros identificados según los criterios de búsqueda empleados (Tabla 1), el número de registros incluidos, el número de registros excluidos y los motivos de las exclusiones (Page et al., 2021). El proceso de cribado fue realizado por dos grupos (tesistas y tutor) y las diferencias fueron discutidas y consensuadas caso a caso.

### **7.3 Extracción y síntesis de datos**

De cada trabajo seleccionado se recopiló: lugar dónde se realizó, raza/s bovinas empleadas, número de animales por tratamiento, tratamientos aplicados en forma individual o colectiva, unidades experimentales en cada tratamiento, días de aplicación de los tratamientos, sistema de alimentación (pastoreo o confinamiento), peso vivo y sus medidas de dispersión, edad de los animales, estación del año, alimento base (pastura, silo, heno, dieta total mezclada, etc.), nivel de oferta forraje, composición del alimento base (%MS, %PC, %FND, %FAD, NDT, EM), tipo de concentrado (granos, alimentos balanceados, subproductos industriales, otros), forma física (molido, achatado, quebrado, peletizado), composición del concentrado (%MS, %PC, %FND, %FAD, NDT, EM), % de NaCl en el concentrado, aditivos en el concentrado (ionóforos, lasolócidos, otros), forma de suministro (comederos electrónicos, comederos autoconsumo colectivos, calan-gate, otros), consumo de agua de bebida (no se incluye la consumida con el alimento), variación promedio diaria de peso vivo con sus medida de dispersión y consumo promedio de concentrado con sal con sus medidas de dispersión.

Cuando los datos se encuentran en tablas, se tomó los valores de las medias y el error estándar de la media (EEM) reportados, o se calculó el EEM a partir del desvío estándar (DE). En aquellos casos en los que se reportó valores mediante gráficos, se empleó la herramienta WebPlotDigitize- Versión 4.5 (Ankit Rohatgi, 2022) para extraer los datos de la forma más precisa posible.

### **7.4 Cálculos y estimaciones**

Peso vivo promedio: cuando no fue reportado, el mismo se calculó como la suma del peso vivo final más el inicial/2.

Ganancia diaria de peso: cuando las ganancias diarias de peso vivo no fueron reportadas, las mismas se calcularon cómo la diferencia entre el peso vivo final e inicial dividido el número de días entre las mediciones.

Consumo de forraje: cuando no fue determinado o reportado, se estimó mediante el National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, NASEM, (2016), considerando el peso vivo inicial, el peso vivo final, los días del experimento, el acceso o no a pastoreo, la disponibilidad de pastura (kg/ha), la superficie de pastoreo, el uso o no de implantes anabólicos, el uso o no de aditivos tales como monensina o lasalócidos, la composición química del concentrado y de la pastura. Cuando la composición química de los alimentos no fue reportada o se reportó parcialmente, se emplearon datos de tablas de NASEM (2016, 2021), Mieres (2004), de Blas, García-Rebollar, Gorrachategui, Mateos (2019) y FeedPedia (2022).

El consumo total de MS: cuando no fue reportado, se calculó como la suma del consumo de MS de concentrado más el consumo reportado o estimado de MS del

forraje (ver forma de estimación). Dichos consumos se presentan cómo % del peso vivo promedio.

Proporción de forraje/concentrado en la dieta: se calculó en base a los kg de forraje reportados o estimados sobre el consumo de concentrados reportado x 100. Consumo de concentrado: cuando fue reportado cómo kg/animal/día, se convirtió a kg de MS/100 kg de peso vivo, para poder comparar los resultados entre tratamientos y estudios. Cuando los resultados de consumo o peso vivo fueron reportados en otras unidades, los mismos fueron convertidos a kg de MS y kg de peso vivo, respectivamente.

Requerimientos diarios de Na<sup>+</sup> (g/d): fueron calculados según el NASEM (2021), considerando el consumo diario de MS (1,45 x kg MS) y las ganancias diarias de peso vivo (1,40 x kg ganancias diaria de peso).

Consumo de Na<sup>+</sup>: fue calculado a partir de la concentración reportada x el consumo diario de MS. Cuando la concentración de Na<sup>+</sup> no fue reportada, la misma se estimó a partir de tablas de referencia citadas anteriormente, considerando la concentración promedio para cada alimento individual que componía la dieta. Los datos se reportan en relación % del peso vivo.

Consumo de agua (l/d): cuando no fue reportado, se estimó mediante el modelo NASEM (2016), considerando las mismas variables de entrada empleadas para estimar el consumo de forraje (ver descripción).

## 7.5 Análisis estadístico

A partir de la base de datos se realizó un análisis descriptivo de las principales variables cuantitativas: edad, peso vivo, % de NaCl en el concentrado, consumo de concentrado, consumo de NaCl, consumo diario de NaCl por kg de peso vivo. El consumo máximo de NaCl que realizan los bovinos en forma voluntaria fue estimado mediante un meta-análisis de efectos aleatorios, para establecer el efecto promedio y su intervalo al 95% de confianza. El modelo aleatorio supone que los estudios en el análisis son una muestra aleatoria de un universo de estudios potenciales, y dicho análisis se emplea en la inferencia. El mismo fue realizado mediante la versión gratis de prueba del software Comprehensive Metanalysis 4.5, considerando el consumo diario promedio de NaCl cómo % del peso vivo y el desvío estándar de cada observación. También se realizó el análisis de subgrupos considerando la categoría *Adultos* (novillos, toros y vaquillonas) y *Terneros* (machos y hembras). Por otro lado, se establecieron subgrupos en base a la composición de la dieta total, estableciendo el grupo de *Alta* (> 60 %) y *Baja* (≤ 60 %) concentración de NDT.

Posteriormente se realizó un análisis de meta-regresión entre el porcentaje de NaCl en el concentrado más el contenido de NaCl estimado de los alimentos (X) y el consumo de alimento con NaCl que realizan los bovinos en relación a su peso vivo (Y). Se utilizó un modelo de regresión lineal simple empleando el PROC MIXED de SAS de acuerdo a la metodología propuesta por St-Pierre (2001) y Sauvant et al. (2008) En el modelo se consideró a cada estudio cómo efecto aleatorio y se ponderó la precisión de los mismos considerando 1/EEM, tal como proponen St-Pierre (2001) y Sauvant et al. (2008). De esta forma el modelo consistió en:

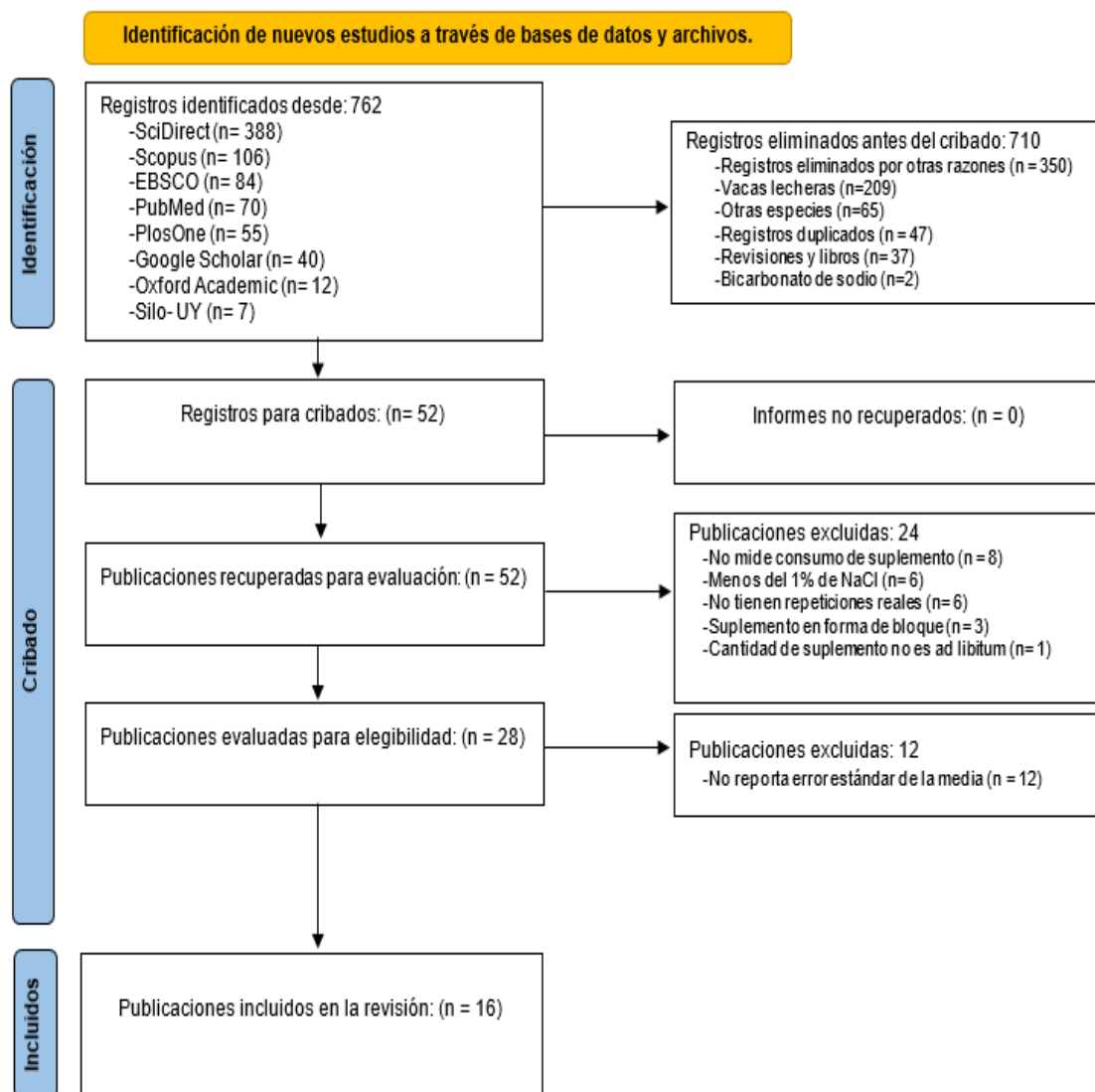
$$Y_{ij} = B_0 + (B_1X) + S_i + W_j + e_{ij},$$

dónde,  $Y$  representa la variable dependiente,  $X$  representa la variable independiente,  $S$  representa el efecto aleatorio del estudio,  $W$  representa la ponderación de cada estudio, mientras que  $e$  representa los errores aleatorios. Se analizaron los residuales, los cuales fueron empleados para ajustar la ecuación de predicción tal como propone St-Pierre (2001). Se consideraron diferencias significativas cuando  $P < 0,05$ .

## 8 RESULTADOS

### 8.1 Resultados de la búsqueda y conformación de la base de datos

La revisión sistemática se basó en 16 publicaciones que pasaron el proceso de cribado detallado en el diagrama PRISMA (Figura 1). Solamente 16 de los 52 trabajos seleccionados por título y resumen (32,7%) fueron incluidos en la revisión sistemática y meta-análisis (Figura 1). El rango de años de las 16 publicaciones fue de 1973 a 2021 y se incluyen 9 artículos en revistas científicas arbitradas, 5 tesis de grado, 1 tesis de maestría y 1 reporte de proyecto.



**Figura 1.** Diagrama de flujo PRISMA (Page et al., 2020) con el número de publicaciones identificadas, el proceso de cribado con el detalle de las causas de exclusión y el número de publicaciones incluidos en la revisión sistemática y meta-análisis.

### 8.2 Análisis de los trabajos incluidos

En la tabla 2 se resume la información de los 20 experimentos reportados en las 16 publicaciones analizadas. Se incluyen experimentos realizados tanto a nivel nacional (n= 5) como en el extranjero (n= 15). Los trabajos fueron realizados con bovinos de

diferentes categorías [terneros (n = 7), vaquillonas (n= 1), novillos (n= 7) y toros (n= 1)], tanto en confinamiento (n=5) como a pastoreo (n =11), empleando porcentajes de NaCl de 2,5 a 45% de la MS del suplemento o de la dieta total mezclada (DTM). El 72,3% de los estudios utilizaron concentrados como suplemento y el 27,5% restante el concentrado formaba parte de una DTM. No se encontraron trabajos que incluyeran niveles de NaCl superiores a 45% y que cumplieren con los criterios de elegibilidad establecidos en el protocolo de la revisión sistemática. De los 12 estudios realizados en sistema de pastoreo, solamente 5 de ellos se realizaron sobre campo natural (pasturas nativas<sup>1</sup>).

El consumo de suplemento, expresado como porcentaje del peso vivo (PV) tuvo un mínimo y un máximo de 0,1- 4,0%, respectivamente. El porcentaje de proteína cruda de los suplementos o DTM en los distintos tratamientos tuvo un mínimo de 6,2% y un máximo de 44 %.

Solamente 2 de los 20 experimentos reportaron la fuente y la composición del agua de bebida consumida por los animales y su posible aporte de minerales. La composición completa de los alimentos utilizados fue reportada en 8 de los experimentos publicados y solamente en 4 se reportó la composición mineral de los alimentos.

---

<sup>1</sup> Pasturas nativas incluyen: campo natural de Uruguay y pasturas nativas de otros países mencionadas originalmente en inglés como: *blue grama*, *native tallgrass prairie* y *bluestem range pastures*.



**Tabla 2.** Estudios incluidos en la revisión sistemática y metaanálisis sobre el efecto del NaCl sobre el consumo de concentrado.

Estudio	País	Razas <sup>1</sup>	Categoría	Sistema	Diseño experimental	N° Trat	UE	n° UE <sup>2</sup>	Fuente fibra	Alimento + NaCl <sup>3</sup>	%Dieta +NaCl	% NaCl
Bailey et al., 1973	CAN	HL	Terneros	Corral	No reportado	3	Grupo	9-10	Heno pradera	Cebada	12-14	15-25
Croom et al., 1982-Exp 1	EE.UU	AAxHE	Novillos	Corral	Bloques al azar	1	Individuo	6	Casc. algodón	DTM	100	3-7
Croom et al., 1982-Exp 2	EE.UU	AAxHE	Novillos	Corral	Bloques al azar	3	Individuo	6	Cas. algodón	DTM	100	5
Croom et al., 1985	EE.UU	HE	Novillos	Corral	Bloques al azar	2	Individuo	4	Casc. algodón	DTM	100	4,5
Schauer et al., 2004_1	EE.UU	NR	Novillos	Pastoreo	Bloques al azar	1	Grupo	2	Pastura nativa	MC	28	16
Schauer et al., 2004_2	EE.UU	NR	Novillos	Pastoreo	Bloques al azar	1	Grupo	2	Pastura nativa	MC	32	16
Larson et al., 2012	EE.UU	NR	Terneras	Pastoreo	Bloques al azar	1	Grupo	2	Pastura nativa	DDGS	28	16
Esteves et al., 2013	ROU	AAyHA	Terneros	Pastoreo	Bloques al azar	2	Grupo	2	Pastura nativa	RC y CC	51-61	9,9
Sugg, 2013-Exp 1	EE.UU	AA	Terneras	Pastoreo	Bloques al azar	1	Grupo	4	Sorgo + sudan	DDGS	29	10-40
Sugg, 2013-Exp 2	EE.UU	AA	Novillos	Pastoreo	Bloques al azar	4	Grupo	6	Sorgo + sudan	DDGS	17-43	8-32
Blanco et al., 2014	España	PM	Toros	Corral	Bloques al azar	1	Individuo	11	H.alfalfa	DTM	79	10
Algorta et al., 2015	ROU	HE	Terneros	Pastoreo	Bloques al azar	2	Grupo	2	Avena	MC	9-11	11
Henderson et al., 2015	ROU	HE	Terneras	Pastoreo	Bloques al azar	1	Grupo	2	Achic + T.Rojo	CC	24	14,5
Cánen et al., 2016	ROU	HE	Novillos	Pastoreo	Bloques al azar	1	Grupo	2	Avena	Sorgo	30	10
Reuters et al., 2017	EE.UU	AAxHE	Novillos	Pastoreo	Compl. al azar	1	Individuo	15	Past. nativa	MC	20	15-45
Williams et al., 2018	EE.UU	AAxHE	Novillos	Pastoreo	No reportado	1	Individuo	8-16	Past. nativa	MC	15	25-45
White et al., 2019_año1	EE.UU	CA	Vaquillonas	Pastoreo	Bloques al azar	1	Grupo	40	Past. nativa	Af. trigo	9	25
White et al., 2019_año2	EE.UU	CA	Vaquillonas	Pastoreo	Bloques al azar	1	Grupo	40	Past. nativa	Af. trigo	14	25
Álvarez et al., 2020	ROU	HE	Terneras	Pastoreo	Complet. al azar	2	Grupo	3	Pradera	DDGS	46	14,5-17
Souza et al., 2021	BRA	AA	Novillos	Pastoreo	Cuadrado latino	2	Grupo	3	Past. aruana	MC	6-15	8-17

<sup>1</sup> Raza: No reporta (NR), Hereford (HE), Holstein (HL), Angus por hereford (AXH), Angus y Hereford por angus (AA y HA), Angus (AA), Parda montaña (PM) y Cruza Angus (CA). <sup>2</sup> n°UE: refiere al número de unidades experimentales sobre las que se aplicó cada tratamiento. <sup>3</sup> Alimento + NaCl: dieta total mezclada (DTM), concentrado comercial (CC), mezcla de concentrados (MC), otros (OT)

**Tabla 2.**(continuación)

Estudio	Ganancia de peso	Forma medición consumo conc. <sup>1</sup>	Frecuencia de medición consumo concentrado	Det. Consumo forraje	Forma de medición consumo forraje	Det. consumo de agua	Calidad de agua	Promotores Crecimiento	Aditivos en alimento
Bailey et al., 1973	No	Ind/Man	---	No	-	No	No	-	SI
Croom et al., 1982-Exp 1	Si	Ind/Man	Diaria	No	-	Si	No	-	SI
Croom et al., 1982-Exp 2	Si	Ind/Men	Diaria	No	-	Si	No	SI	SI
Croom et al., 1985	Si	--	Diaria	No	-	No	No	SI	NO
Schauer et al., 2004-Exp 1	Si	Gru/Man	Semanal	No	No se midió		No	SI	NO
Schauer et al., 2004-Exp 2	Si	Gru/Man	Semanal	No	No se midió		No	SI	NO
Larson et al., 2012	SI	Grup/Man	Una vez	No	No se midió	No	No	NO	-
Esteves et al., 2013	Si	Gru/Man	Semanal	Si	Doble muestreo	No	No	NO	SI/NO
Sugg, 2013-Exp 1	No	Ind/Man	Diaria	No	No se midió	No	No	-	SI
Sugg, 2013-Exp 2	No	Ind/Man	Diaria	No	No se midió	No	No	-	SI
Blanco et al., 2014	Si	Ind/Aut	Diaria	No	No se midió	Si	Si	-	SI
Algorta et al., 2015	Si	Gru/Man	Semanal	Si	Doble muestreo	No	No	NO	NO
Henderson et al., 2015	Si	Gru/Man	Semanal	Si	Doble muestreo	No	No	NO	-
Cáñen et al., 2016	Si	Gru/Man	Semanal	Si	Doble muestreo	No	No	NO	-
Reuters et al., 2017	No	Ind/Aut	Diaria	No	No se midió	No	No	NO	NO
Williams et al., 2018	No	Ind/Aut	Semanal	No	No se midió	No	No	NO	NO
White et al., 2019_año1	No	Ind/Aut	Diaria	No	No se midió	No	No	-	SI
White et al., 2019_año2	No	Ind/Aut	Diaria	No	No se midió	No	No	-	SI
Álvarez et al., 2020	SI	Gru/Man	Semanal	Si	Doble muestreo	No	No	NO	-
Souza et al., 2021	Si	-----	Semanal	Si	Marcadores	No	No	-	SI

<sup>1</sup> Ind/Man: medición del consumo en forma individual y manual; Gru/Man: medición del consumo de forma grupal y manual; Ind/Aut: medición del consumo de forma grupal y automatizada.

Los estudios analizados fueron realizados en EE.UU. (n=8), España (n=1), Uruguay (n=5), Brasil (n=1) y Canadá (n=1). El mínimo de animales utilizados por tratamiento fue de 4 y el máximo de 40, con una media de 10, mientras que la cantidad mínima de repeticiones (unidades experimentales reales) fue entre 2 y 40 por tratamiento (Tabla 3). El mínimo de días que se realizó un experimento fue de 14 días, y el máximo de 224 días.

En el 70,5% de los tratamientos analizados los animales fueron alojados en forma grupal, mientras que el restante 29,5% en forma individual. El 29,4% de los tratamientos fueron realizados con animales en confinamiento, mientras que el 76,5% estuvieron en pastoreo. De los trabajos realizados en pastoreo, el 25% de los mismos fueron realizados sobre pasturas nativas<sup>2</sup>, 33,3% sobre gramíneas implantadas, 8,33% sobre leguminosas implantadas, mientras que 25% sobre mezclas de gramíneas y leguminosas (Tabla 2).

**Tabla 3.** Resumen de algunas de las variables relevante de los experimentos incluidos en la revisión sistemática y meta- análisis.

Variables	n <sup>1</sup>	Media	DE <sup>2</sup>	Mediana	Min.	Máx.
Días de experimento	32	98	55,9	84	14	224
N° de animales <sup>3</sup>	32	13	8,8	10	4	40
Unidades experimentales <sup>4</sup>	32	8	9,3	6	2	40
% NaCl en el concentrado	32	16	11,1	15	2,5	45
% de la dieta con NaCl	32	42	34,8	28	6,2	100
<b>Peso vivo</b>						
<i>Peso inicial, kg</i>	31	269	92,3	270	79	449
<i>Peso final, kg</i>	31	343	114,8	368	142	493
<i>Peso promedio, kg</i>	32	302	84,4	300	110	471
<i>Ganancia de peso, kg/d</i>	30	0,885	0,386	0,851	0,150	1,580
<b>Consumo de alimentos</b>						
<i>Concentrado, %PV</i>	32	1,4	1,37	0,7	0,2	4,1
<i>Forraje, %PV</i>	32	1,6	1,11	1,9	0,0	4,0
<i>% de concentrado</i>	32	42	34,8	28	6,2	100
<b>Composición dieta<sup>5</sup></b>						
<i>MS kg/a/d</i>	32	3,0	0,8	2,8	1,9	5,2
<i>Proteína bruta, %</i>	32	13,0	3,6	12,6	6,8	21,1
<i>FND, %</i>	32	40,7	15,5	48,0	20,0	61,7
<i>NDT, %</i>	32	61,6	8,7	59,1	48,4	73,3
<i>EM, Mcal/kg MS</i>	32	2,3	0,4	2,2	1,8	3,2

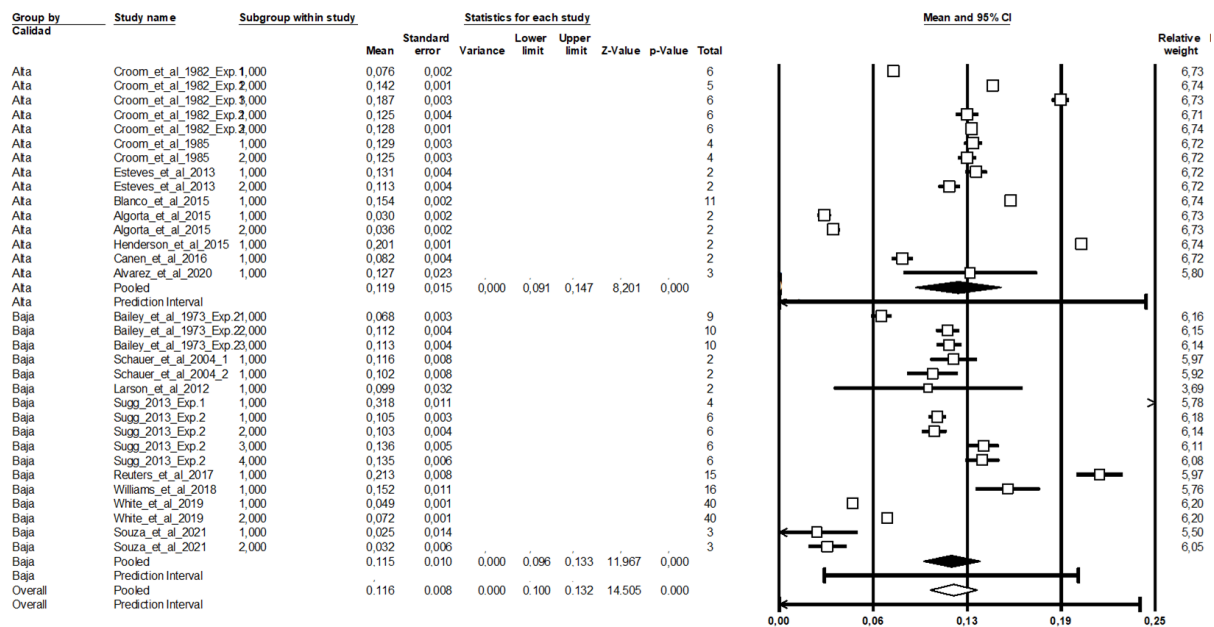
<sup>1</sup>n: número de observaciones. <sup>2</sup>DE: desvío estándar. <sup>3</sup>N° de animales: número de observaciones para cada variable. <sup>4</sup> unidades experimentales: refiere al número de unidades experimentales (repeticiones) sobre las que se aplicó cada tratamiento. <sup>5</sup> Composición de la dieta consumida: estimadas mediante NASEM, 2016.

<sup>2</sup>Pasturas nativas incluyen: campo natural de Uruguay y pasturas nativas de otros países mencionadas originalmente en inglés cómo: *blue grama*, *native tallgrass prairie* y *bluestem range pastures*.

### 8.3 Relación entre los niveles de NaCl y el consumo voluntario de suplementos o DTM realizado por los bovinos

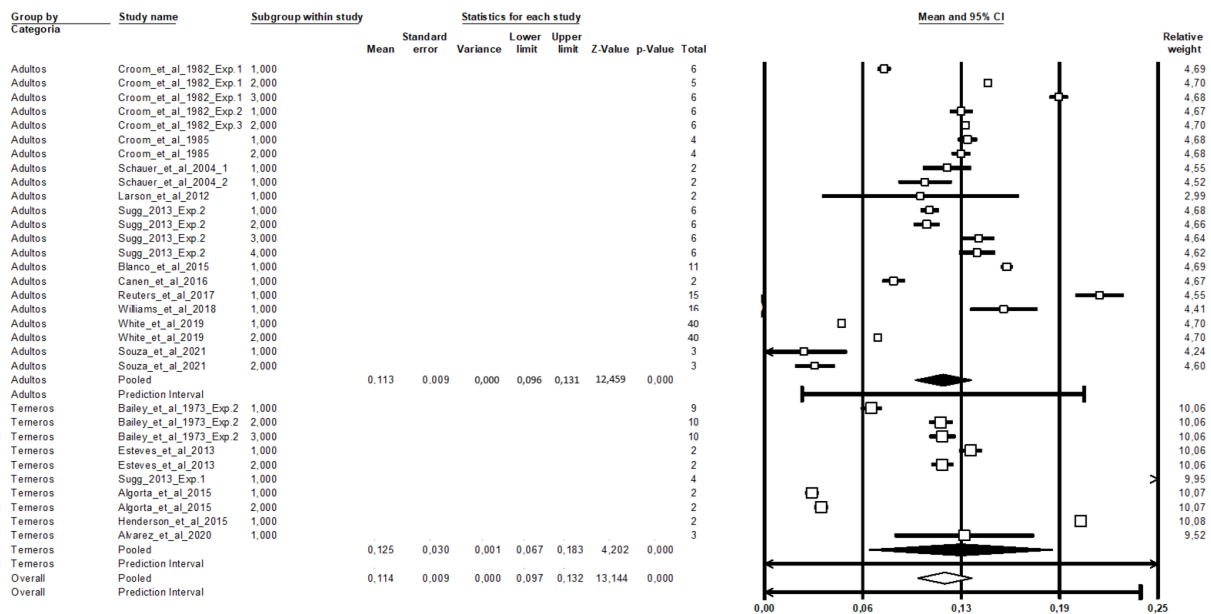
El meta-análisis de las 20 observaciones permite establecer un efecto promedio del consumo de NaCl, equivalente a 0,12% del peso vivo, con un intervalo de confianza al 95% (IC 95%) de 0,10a 0,14% del peso vivo ( $P < 0,01$ ). En la figura 2 y 3 se presentan los Forest Plot con el efecto promedio del consumo máximo voluntario de NaCl dividiendo el total de observaciones en subgrupos según la proporción de NDT en la dieta (Alta o Baja; Figura 2) y considerando si los animales eran de categorías adultas o terneros (Figura 3).

En la Figura 2, en dónde se presenta el análisis dividido en dos subgrupos de Alta (> 60%) o Baja ( $\leq 60\%$ ) concentración de NDT, se puede observar valores medios muy similares en ambos subgrupos con intervalos de confianza que se superponen.



**Figura 2.** Forest plot con efecto promedio del consumo máximo voluntario de NaCl (% del peso vivo) que realizan los bovinos cuando el alimento incluye NaCl como limitador de consumo en dietas con alta (> 60%) o baja ( $\leq 60\%$ ) concentración de nutrientes digestibles totales. Cada tratamiento incluido de cada estudio se indica por el apellido del primer autor y el año de publicación. Los cuadrados indican el tamaño del efecto del estudio individual, las líneas horizontales muestran los intervalos de confianza y el diamante ( $\diamond$ ) el efecto promedio (grafico creado con la versión de prueba de Comprehensive Metanalysis).

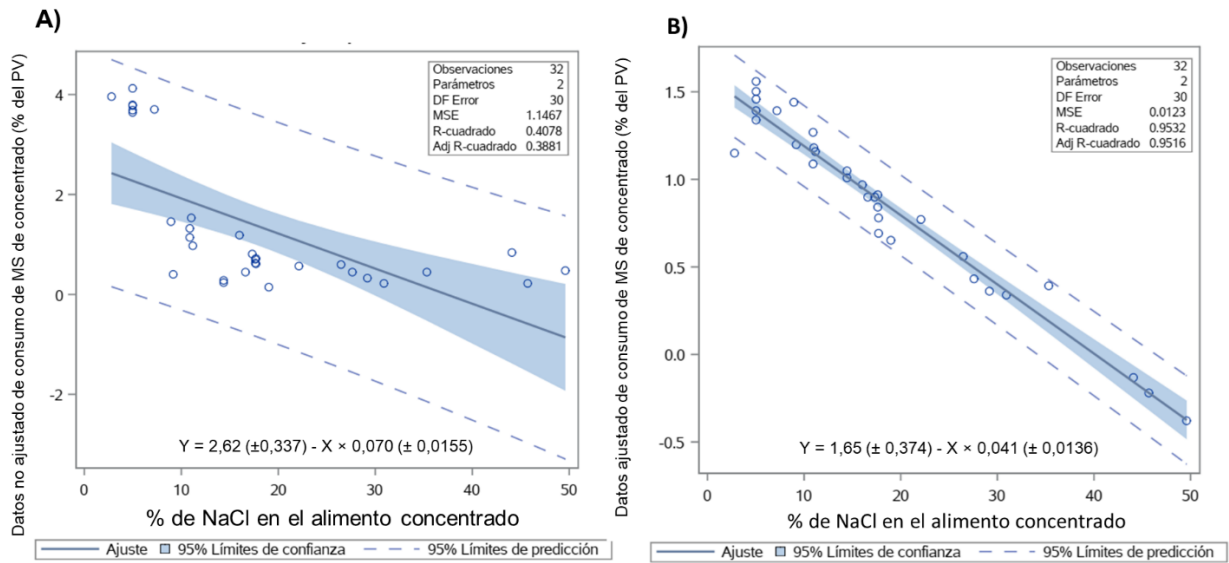
En la Figura 3, se presenta el análisis dividido en dos subgrupos según la categoría de animales. En dicho análisis se encontró valores medios similares en ambas categorías, intervalos de confianza que se superponen y un IC 95% mucho más amplio para terneros (0,067 a 0,183%) que para animales adultos (0,096 a 0,131%).



**Figura 3.** Forest plot del efecto promedio del consumo máximo voluntario de NaCl (cómo % del peso vivo) que realizan los bovinos adultos (novillos, toros y vaquillonas) y terneros (de ambo sexos) cuando el alimento incluye NaCl como limitador de consumo. Los cuadrados ( $\square$ ) indican el tamaño del efecto del estudio individual, las líneas horizontales muestran los intervalos de confianza, los diamantes negros ( $\blacklozenge$ ) el efecto promedio de cada subgrupo y el diamante blanco ( $\white diamond$ ) el efecto promedio global (gráfico creado con la versión de prueba de Comprehensive Metanalysis).

En la figura 4A y B se presenta la relación entre el % de NaCl en el concentrado (eje X) y la ingesta voluntaria de materia seca expresado cómo % del peso vivo (eje Y). En la figura 4A se presenta la relación de dichas variables no ajustadas, mientras que en 4B se presentan los datos Y-ajustados mediante un modelo mixto que consideró los efectos aleatorios intra e inter-estudios y ponderó los datos según la precisión de las mediciones. En la figura 4B se puede observar una relación inversamente proporcional entre ambas variables, es decir, que mayores porcentajes de NaCl se relacionó con menores consumos de MS del concentrado con NaCl ( $P < 0,05$ ).

El análisis de regresión a partir de los datos ajustados permite observar que tanto el intercepto ( $1,65 \pm 0,374$  % del PV) como la pendiente ( $- 0,041 \pm 0,014$  % del PV) del modelo de regresión lineal simple fueron estadísticamente significativos ( $P < 0,001$ ). Según dicho gráfico, el consumo voluntario de MS disminuye en 0,5 puntos porcentuales por cada 12,2 puntos porcentuales de aumento de NaCl en el alimento (Figura 4B), considerando el rango de inclusión (2,5-45%) incluido en los estudios analizados. El  $R^2$  del modelo fue de 0,95, lo que indica que el nivel de NaCl explica una muy alta proporción de las diferencias observadas en los consumos de MS del suplemento o de la DTM en los diferentes tratamientos de los estudios incluidos.



**Figura 4.** Relación entre los niveles de NaCl en el alimento (X) y el consumo de materia seca del concentrado expresado como % del peso vivo (Y). En el gráfico A se presentan los datos sin ajustar y en B los datos Y-ajustados mediante un modelo mixto que consideró el efecto aleatorio del experimento y la precisión de las mediciones (gráficos realizados en SAS University Edition).

## 9 DISCUSIÓN

Hasta dónde sabemos, este es el primer estudio dónde se realiza un meta-análisis para integrar la evidencia de estudios en los que se utilizó NaCl como limitador del consumo voluntario de alimentos concentrado en bovinos. Algunos estudios previos tales como Rich, Armbruster y Gill (1976), en los que se establecen recomendaciones sobre los niveles de NaCl que se deben incluir para lograr un determinado consumo voluntario de concentrados, se basan en datos recolectados a nivel de campo, pero no emplean procedimientos estadísticos para resumir la información. Otros estudios actuales han analizado a través de técnicas meta-analíticas, el efecto del Na<sup>+</sup> y otros minerales disueltos en el agua sobre el consumo de alimentos y el desempeño productivo (López et al., 2021). Sin embargo, el efecto del Na<sup>+</sup> sobre el consumo de alimentos, el desempeño productivo y su toxicidad son muy diferentes cuando el mismo se encuentra disuelto en agua en comparación a cuando se incorpora en el alimentos (López et al., 2021; NASEM, 2021).

El consumo máximo de NaCl encontrados en este análisis (0,10 a 0,14% del PV) coincide con el rango mencionado en la revisión realizada por Rovira y Velazco (2012), quienes en base a varias fuentes reportan que los bovinos pueden tener rangos de consumos voluntarios máximos de NaCl equivalentes a 0,10-0,15% del peso vivo. En nuestro estudio, los resultados de los análisis de subgrupos que consideraron la categoría animal, por un lado, o la calidad de la dieta por otro, no fueron concluyentes y no es posible afirmar que existan diferencias en el consumo máximo de NaCl en bovinos en bases a dichas características.

Continuando con lo anteriormente discutido, sería necesario profundizar el análisis de la categoría animal, dado que el National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, NASEM (2016; 2021) establecen requerimientos de Na<sup>+</sup> de acuerdo al consumo de MS (1,0 g/ kg MS consumida), a las ganancias diarias de peso vivo (1,45 g/ kg), la gestación (1,4 g/d, de 190 a 270 días de gestación) y producción de leche (0,4 g/kg de leche), lo que podría aumentar o disminuir la tolerancia de los bovinos a consumir NaCl. En este sentido, en la búsqueda realizada no se encontraron estudios, con los criterios de elegibilidad establecidos, que incluyeran animales gestantes o lactando, por lo que sería otro aspecto a considerar en futuros trabajos. Además de estos aspectos relacionados con los animales, también sería necesario considerar aspectos relacionados con las condiciones del medio ambiente. Por ejemplo, la temperatura ambiente podría aumentar las pérdidas de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> (NASEM, 2021), lo que a su vez, podría aumentar los requerimientos de dichos iones y eventualmente el consumo voluntario de NaCl.

Por otra parte, los resultados del análisis de subgrupos que consideró el % de NDT de la dieta tampoco son concluyente debido a que los IC95% de ambos subgrupos se superponen. No obstante, es preciso considerar que para algunos trabajos fue posible calcular el % de NDT de la dieta, mientras que, para otros, los mismos fueron estimados a partir de valores de tablas de referencia, lo que puede disminuir la precisión de los análisis realizados. Otro aspecto que podría considerarse en relación a las características de las dietas es el % de agua de la pastura consumida, dado que podría contribuir a diluir la concentración de Na<sup>+</sup> a nivel ruminal. Del mismo modo, la calidad de la fibra, que tiene un efecto significativo sobre el tránsito digestivo, podría generar mayor o menor eficacia del NaCl para limitar el consumo. Sin embargo, en los trabajos evaluados no hay suficiente información para generar análisis de este tipo.

El modelo de regresión desarrollado, muestra un ajuste ( $R^2$ ) muy bueno, por lo que puede ser utilizado para predecir el consumo voluntario de concentrado de manera confiable. El mismo incluye animales de diferentes categorías (terneros, vaquillonas, novillos y toros) y diferentes pesos (40-493 kg), tanto confinados como en pastoreo y con un amplio rango de % de concentrados en la dieta, lo que le otorga un amplio espectro de situaciones en donde puede ser empleada. Además, permite predecir en sistemas de pastoreo con diferentes recursos forrajeros, como por ejemplo pasturas nativas, así como praderas con diferente composición de gramíneas y leguminosas.

Sin embargo, hay que considerar algunos trabajos en los que se observa una gran variabilidad en el consumo diario individual de suplementos que realizan los animales. Es el caso de Reuter, Moffet, Horn, Zimmermany Billars (2017), los cuales suplementaron, con concentrados energéticos que incluían entre 15-45% de NaCl, a novillos pastoreando sobre pasturas nativas observaron un coeficiente de variación del consumo diario de suplemento del 95%. Algo similar reportaron White et al. (2019) cuando suplementaron vaquillonas en condiciones experimentales similares durante al estudio anterior, durante dos años diferentes, con niveles de NaCl de 25%. Dichos autores midieron el consumo individual de las vaquillonas mediante comederos automáticos y encontraron una alta variación de la ingesta entre animales. En el mismo sentido, Schauer et al. (2004) aseguran que la capacidad de los limitadores de ingesta de suplemento tiene una muy importante variación en su eficacia entre años diferentes, lo que podría estar asociado tanto a la calidad como a la cantidad de las pasturas y posiblemente a las condiciones medioambientales. Otros autores sostienen que existen varias causas asociadas a factores inherentes al animal, a las pasturas y a la disponibilidad de agua (Rovira y Velazco, 2012). Nos obstante, la mayoría de los factores no han sido claramente.

Schauer, Lardy, Slinger, Bauer y Sedivec (2004) observaron que en la medida que transcurrió la temporada los animales lograron tolerar mayores consumos de sal, dichos autores discuten que dicho efecto podría deberse a una disminución de la sensibilidad de los bovinos al NaCl. De todas formas, es necesario investigación a futuro que permita corroborar dichos hallazgos.

Rich, Armbruster y Gill (1976) plantea dos situaciones, la primera cuando los animales están acostumbrados a comer suplementación, pero no en sistemas de autoconsumo, para evitar la ingesta excesiva de suplemento se puede emplear grandes cantidades de NaCl, relación 50/50 o 50/60, de NaCl y concentrado respectivamente, para luego disminuir esta relación con el fin de llegar al consumo objetivo. Por otro lado, la siguiente situación, cuando los animales nunca recibieron suplementación, especialmente en animales jóvenes, se puede requerir un periodo de acostumbramiento, de una semana o más sin el agregado de NaCl.

Mattioli (2020) asegura que los forrajes contienen bajos niveles de Na, y esto está relacionado a los factores del suelo. Inclusive se conoce que hay especies de forrajes las cuales son natrofilicas, las cuales llegan a contener 3-4 g de  $\text{Na}^+$ / kg de MS, y natrofóbicas las cuales contienen menos de 0,5 g  $\text{Na}^+$ /Kg de MS. A su vez los granos y las proteínas de origen vegetal suelen tener concentraciones bajas de  $\text{Na}^+$ (0,01-0,06%), ciertos alimentos, especialmente los subproductos industriales como los DDGS o la melaza de caña y de remolacha, pueden aumentar la concentración de minerales como el  $\text{Na}^+$  (NASEM, 2021). Esto podría contribuir a explicar la variabilidad del efecto de NaCl como limitador de consumo.



La calidad fisicoquímica del agua, dada por sus sólidos disueltos totales, no fueron contemplados en el modelo, principalmente porque un solo artículo describe las características de la misma. Hubiera sido de gran aporte estos datos ya que debemos ajustar los niveles de NaCl en función del contenido de Na<sup>+</sup> en el agua de bebida. Petersen et al. (2015) asegura que la calidad del agua repercute en la ingesta de suplementos cuando se utiliza NaCl como limitador. En una profunda revisión y meta-análisis del impacto de los niveles de Na<sup>+</sup> y azufre en agua, López et al. (2021) obtuvieron como resultado una disminución de la ingesta de suplementos cuando los bovinos ingieren grandes cantidades de estos minerales a través del consumo de agua.

La calidad del agua tiene gran repercusión ya que los animales para poder excretar el exceso de Na<sup>+</sup> y de Cl<sup>-</sup> del organismo lo hacen mediante el incremento en el consumo de la misma. da Silva et al. (2018), evaluaron la repercusión de 5 niveles de NaCl sobre el consumo de agua, encontraron un aumento del volumen urinario de 5,1 y 12,4 litros por día. Mac Loughlin et al. (2005) asegura que aumenta en 50-70% los requerimientos de agua en suplementaciones con NaCl como limitador de consumo. Rich, Armbruster y Gill (1976), recomiendan ajustar los niveles de NaCl cuando las concentraciones de Na<sup>+</sup> en agua de bebida y los forrajes están aumentados naturalmente, para de esta forma lograr un consumo satisfactorio de alimento.

Uno de los aspectos que no fue considerado en este análisis fue el uso de agentes anabólicos con el fin de mejorar el rendimiento de los animales. Dentro de los estudios analizados un 44% de los mismos, los animales se encontraban implantados, un 26% no lo estaban y el restante 30% no reportan. Este aspecto es de gran importancia, porque se ha reportado que los implantes afectan entre 3-10% el consumo de MS (NASEM, 2016), en torno a 7% (McMurphy et al., 2011) o 20% (Sugg, 2013) las ganancias diarias de peso, lo que podría afectar en última instancia los requerimientos de Na<sup>+</sup> y su eficacia para regular el consumo.

Creemos que futuros trabajos en esta área deberían incluir el análisis de la composición química tanto del suplemento como de las pasturas en aquellos casos en los que los animales se encuentran en pastoreo. También deberían evaluarse los niveles de sólidos disueltos totales en el agua de bebida. Agregar los desvíos estándar de las mediciones tanto de peso vivo inicial, consumo de suplemento y demás. En nuestro caso varios estudios fueron descartados por tal razón.

En el modelo no fue contemplado el acceso o no a la monensina. Muller, Potter, Wray, Richardson y Grueter (1986) realizaron dos ensayos con el agregado de monensina (200 mg/animal), en el cual hallaron mejores ganancias en los animales, pero además en aquellos animales autoalimentados con NaCl como limitador de consumo, observaron una baja de 25-50% en el requerimiento de NaCl con la inclusión de la misma. Potter, Muller, Wray, Carroll y Meyer (1986) utilizando 200 mg de monensina al día, encontraron que la misma redujo el consumo de concentrado en 3,1%. Sin embargo, uno de los estudios incluidos en el presente meta-análisis, en el cual se suplementaron vaquillonas y donde se evaluaron 6 limitadores de consumo con monensina (185 mg/kg) analizó el efecto del agregado de monensina, en donde no encontraron efecto ninguno sobre el consumo de suplemento (Sugg, 2013).

Los rangos de utilización de NaCl son muy variados, desde 10% hasta 45%, y si bien no se ha podido demostrar consecuencias negativas sobre la salud y producción animal, debemos tener en cuenta que son estudios sobre períodos de tiempo relativamente cortos, no hay datos de la utilización de la misma, durante largos

periodos de tiempo sobre la salud de los animales o su impacto sobre el medio ambiente.

## **10 CONCLUSIONES**

Se concluye que el consumo máximo de NaCl de los bovinos a través del alimento se encuentra entre 0,10y 0,14% del peso vivo, existiendo una relación inversamente proporcional entre el nivel de NaCl en el concentrado y el consumo voluntario del mismo. Adicionalmente el modelo de regresión desarrollado permite estimar de forma precisa el consumo voluntario de MS del alimento a partir del nivel de inclusión de NaCl.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

- Aguerre, M., Cajarville, C., Kozloski, G. V., y Repetto, J. L. (2013). Intake and digestive responses by ruminants fed fresh temperate pasture supplemented with increased levels of sorghum grain: A comparison between cattle and sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 186(1-2), 12-19.
- Algorta, M. B., Iruleguy, G., y López, I. (2015). *Evaluación del uso de comederos de autoconsumo para la suplementación invernal de terneros en condiciones de oferta contrastante* (Tesis de grado). Facultad de Agronomía, UDELAR, Montevideo.
- Álvarez, M. A., Fernández, L. M., y Rivoir, A. (2020). *Performance animal de terneras suplementadas sobre pasturas sembradas con diferentes métodos de regulación del consumo en sistemas de autoconsumo* (Tesis de grado). Facultad de Agronomía, UDELAR, Montevideo.
- Amaral, D. M., Croom Jr., W. J., Rakes, A. H., Leonard, E. S., y Linnerud, A. C. (1985). Increased concentration of sodium chloride on milk production of cows fed low fiber diets. *Journal of Dairy Science*, 68(11), 2940-2947.
- Ankit Rohatgi. (2022). WebPlotDigitize (Versión 4.6.) [software]. Ankit Rohatgi. Recuperado de <https://automeris.io/WebPlotDigitizer/>
- Antúnez, G. (2015). *Frecuencia diaria de suplementación en bovinos; efectos sobre el aprovechamiento digestivo y metabólico de la dieta, la actividad fermentativa y el ambiente ruminal* (Tesis de Maestría). Facultad de Veterinaria, UDELAR, Montevideo.
- Bailey, C. B. (1973). Formation of siliceous urinary calculi in calves given supplements containing large amounts of sodium chloride. *Canadian Journal of Animal Science*, 53(1), 55-60.
- Baldi, F., Mieres, J., y Banchemo, G. (2008). Suplementación en Invernada Intensiva: La suplementación sigue siendo una alternativa económicamente viable. *INIA Actividades de Difusión*, 532, 39-52.
- Baldwin, R. L., Smith, N. E., Taylor, J., y Sharp, M. (1980). Manipulating metabolic parameters to improve growth rate and milk secretion. *Journal of Animal Science*, 51(6), 1416-1428.
- Bargo, F., Muller, L. D., Kolver, E. S., y Delahoy, J. E. (2003). Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 1-42.
- Beeson, W. M., Perry, T. W., y Mohler, M. (1957). Self-feeding free choice vs. self-feeding a complete mixture for fattening steers. *Journal of Animal Science*, 16(4), 787-795.
- Beretta, V., y Simeone, A. (2008). Autoconsumo en la alimentación de terneros. En *Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne. Una década de*

*investigación para una ganadería más eficiente* (Vol.10, pp.35-37). Paysandú:UPIC.

Berger, A.L., y Rasby, R.J. (2011). *Limiting feed intake with salt in beef cattle diets*. Lincoln: University of Nebraska Recuperado de <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g2046.pdf>

Berger, L. L., y Cunha, T. J. (2006). *Salt and trace minerals for livestock. Poultry and Other Animals* (8<sup>a</sup> ed.) Recuperado de [https://seaagri.com/wp-content/uploads/2012/05/salt\\_and\\_trace\\_elements\\_in\\_animal\\_nutrition.pdf](https://seaagri.com/wp-content/uploads/2012/05/salt_and_trace_elements_in_animal_nutrition.pdf)

Blanco, M., Villalba, D., Casasús, I., Sanz, A., y Álvarez-Rodríguez, J. (2014). High Salt Inclusion Reduces Concentrate Intake Without Major Effects on Renal Function in Young Bulls. *Italian Journal of Animal Science*,13(3), 3207.

Blasina, M., Piñeyrúa, A., y Renau, M. (2010). *Evaluación del sistema de autoconsumo para la suplementación invernal de terneras sobre pasturas naturales* (Tesis de grado). Facultad de Agronomía, UDELAR, Montevideo.

Bowman, J. G. P., y Sowell, B. F. (1997). Delivery method and supplement consumption by grazing ruminants: a review. *Journal of Animal Science*, 75(2), 543-550.

Britos, A., Repetto, J. L., y Cajarville, C. (2018). Does it make a difference supplementing pasture silage with starchy concentrates or soyhulls on intake, digestion and rumen environment? *Livestock Science*, 218, 85–91.

Burkhalter, D. L., Neathery, M. W., Miller, W. J., Whitlock, R. H., y Allen, J. C. (1979). Effects of low chloride intake on performance, clinical characteristics, and chloride, sodium, potassium, and nitrogen metabolism in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 62(12), 1895-1901.

Cajarville, C., Aguerre, M., Santana, A., y Repetto, J.L. (2011). La nutrición en los sistemas intensivos de producción de carne bovina. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornada Uruguaya de Buiatría* (Vol.XXXXIX, pp.1-18). Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.

Canén, A., Cooper, R. D., y Oliveira, P. A. (2016). *Evaluación del uso de comederos de autoconsumo para la suplementación invernal de novillos de engorde* (Tesis de Grado). Facultad de Agronomía, UDELAR, Montevideo.

Cangiano, C. (1997). *Producción animal en pastoreo*. Balcarce: INTA.

Cepeda, M., Scaiewicz, A., y Villagrán, J. (2005). *Manejo de la frecuencia de suplementación en la recría de terneros sobre pasturas mejoradas* (Tesis de Grado). Facultad de Agronomía, UDELAR, Montevideo.

Chicco, C. F., Shultz, T. A., Rios, J., Plasse, D., y Burguera, M. (1971). Self-feeding salt-supplement to grazing steers under tropical conditions. *Journal of Animal Science*, 33(1), 142-146.

- Clariget, J. M., Lema, O. M., La Manna, A., Perez, E., Banchemo, G., y Fernández, E. (2021). Estimated beef cattle performance under intensive grazing systems in Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 25(1), e107.
- Croom Jr., W. J., Harvey, R. W., Amaral, D. M., y Spears, J. W. (1985). Growth and metabolic parameters in steers fed high levels of sodium chloride and limestone. *Canadian Journal of Animal Science*, 65(3), 673-681.
- Croom Jr., W. J., Harvey, R. W., Froetschel, M., y Linnerud, A. C. (1982). High levels of sodium chloride in beef cattle diets. *Canadian Journal of Animal Science*, 62(1), 217-227.
- da Silva Cardoso, A., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., y Boddey, R.M. (2018). Effect of volume of urine and mass of faeces on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions of dairy cow excreta in a tropical pasture, *Animal Production Science*, 58(6), 1079-1086.
- da Silva Cardoso, A., José Neto, A., Azenha, M. V., Morgado, E. S., Brito, L. D. F., Januszkiewicz, E. R., y Ruggieri, A. C. (2019). Mineral salt intake effects on faecal-N concentration and the volume and composition of beef cattle urine. *Tropical Animal Health and Production*, 51(1), 171-177.
- de Blas, C., García-Rebollar P., Gorrachategui M., y Mateos G.G. (2019). *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos* (4ª ed). Madrid: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.
- Dijkstra, J., Oenema, O., Van Groenigen, J. W., Spek, J. W., Van Vuuren, A. M., y Bannink, A. (2013). Diet effects on urine composition of cattle and N<sub>2</sub>O emissions. *Animal*, 7(s2), 292-302.
- Demetrio, J. (1999). *Los minerales en la alimentación de vacunos para la carne en la argentina*. Recuperado de [https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion\\_mineral/60-minerales\\_en\\_la\\_alimentacion\\_vacunos.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/60-minerales_en_la_alimentacion_vacunos.pdf)
- Elizalde, J. C. (2003). Suplementación en condiciones de pastoreo. *Jornada de actualización ganadera*, 1, 17-28.
- Esteves, M. A., Laxalde, S., y Nario, M. (2013). *Utilización de nitrógeno no proteico en programas de suplementación invernal basados en autoconsumo para terneros pastoreando campo nativo* (Tesis de Grado). Facultad de Agronomía, UDELAR, Montevideo.
- FeedPedia. (s.f.). *Feedipedia: An on-line encyclopedia of animal feeds*. Recuperado de <https://www.feedipedia.org/>
- Ferrari, O. (2011). Recría; una actividad que recobra importancia. *ABC Rural*, 1-3. Recuperado de [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/invernada\\_o\\_engorde\\_en\\_general/55-Recria.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_en_general/55-Recria.pdf)

- Gómez, R. (2017). *La adopción de tecnología en sistemas ganaderos del norte*. Montevideo: INIA.
- Gómez Miller, R., y Ferreira de Mattos, G. (2013). La tecnología como factor de competitividad en sistemas de ganadería familiar extensiva. *Agrociencia*, 17(2), 150–159.
- Gómez, R., Saravia, H. (2016). Cambio técnico en sistemas criadores de sierras del este. *Revista Instituto nacional de investigación agropecuaria*, 30, 52–58. Recuperado de [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-15482016000100014](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482016000100014)
- Greene, L.W., Fontenot, J.P., y Webb, Jr, K.E. (1983). Effect of Potassium Level on Site of Absorption of Magnesium and Other Macroelements in Sheep. *Journal of Animal Science*, 56(5), 1214–1221.
- Hemsley, J. A. (1975). Effect of high intakes of sodium chloride on the utilization of a protein concentrate by sheep. I. Wool growth. *Australian Journal of Agricultural Research*, 26(4), 709-714.
- Henderson, A., Iribarne, R., y Silveira, M. B. (2015). *Evaluación del sistema de autoconsumo para la suplementación de terneros de destete precoz pastoreando praderas durante el verano* (Tesis de grado). Facultad de Agronomía, UDELAR, Montevideo.
- Horn, G. W., Beck, P. A., Andrae, J. G., y Paisley, S. I. (2005). Designing supplements for stocker cattle grazing wheat pasture. *Journal of Animal Science*, 83(13), E69-E78.
- Kunkle, W. E., Johns, J. T., Poore, M. H., y Herd, D. B. (2000). Designing supplementation programs for beef cattle fed forage-based diets. *Journal of Animal Science*, 77(1), 1-11.
- Larson, Q. P., Maddock, R. J., Steichen, P. L., Karges, K. K., y Neville, B. W. (2012). *Effects of self-limiting dried distillers grains with solubles supplementation on growth performance of grazing heifers*. Recuperado de <https://www.ag.ndsu.edu/centralgrasslandsrec/archive/cgrec-annual-reports-1/2012-annual-report/Larson1.pdf>
- Leibholz, J., Kellaway, R. C., y Hargreave, G. T. (1980). Effects of sodium chloride and sodium bicarbonate in the diet on the performance of calves. *Animal Feed Science and Technology*, 5(4), 309-314.
- López, A., Arroquy, J. I., Hernández, O., Nasca, J. A., Juárez, A. V., DiLorenzo, N., y Distel, R. A. (2021). A meta-analytical evaluation of the effects of high-salt water intake on beef cattle. *Journal of Animal Science*, 99(8), skab215.
- Mac Loughlin, R. J. (2005). *Suplementación en bovinos: variación en los consumos individuales*. Recuperado de <https://www.portalveterinaria.com/rumiantes/articulos/2804/suplementacion-en-bovinos-variacion-en-los-consumos-individuales.html>

- Maresca, S. (s.f). Limitadores del consumo de suplementos. *Instituto nacional de tecnología agropecuarias* (5). Recuperado de [https://inta.gov.ar/sites/default/files/limitadores del consumo de suplemento s.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/limitadores_del_consumo_de_suplemento_s.pdf)
- Martens, H., y Blume, I. (1987). Studies on the absorption of sodium and chloride from the rumen of sheep. *Comparative Biochemistry and physiology. A, Comparative Physiology*, 86(4), 653-656.
- Mattioli, G. (2020). Cloro y Sodio. En *Nutrición Mineral y Vitamínica de Rumiantes*. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata.
- McGuire, D. L., Bohnert, D. W., Schauer, C. S., Falck, S. J., y Cooke, R. F. (2013). Daily and alternate day supplementation of urea or soybean meal to ruminants consuming low-quality cool-season forage: Effects on efficiency of nitrogen use and nutrient digestion. *Livestock Science*, 155(2-3), 205-213.
- McMurphy, C. P., Sharman, E. D., Cox, D. A., Payton, M. E., Horn, G. W., y Lalman, D. L. (2011). Effects of implant type and protein source on growth of steers grazing summer pasture. *The Professional Animal Scientist*, 27(5), 402-409.
- Methol, M., y Gorga, L. (2021). Oferta y demanda de productos concentrados para alimentación animal por cadena productiva. En *Anuario de la Oficina de Programación y Política Agropecuaria*. Montevideo: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca.
- Meyer, J. H., Weir, W. C., Ittner, N. R., y Smith, J. D. (1955). The influence of high sodium chloride intakes by fattening sheep and cattle. *Journal of Animal Science*, 14(2), 412-418.
- Mieres, J. M. (2004). *Guía para la alimentación de rumiantes*. Montevideo: Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA- Uruguay.
- Milligan, L. P., y McBride, B. W. (1985). Energy costs of ion pumping by animal tissues. *The Journal of Nutrition*, 115(10), 1374-1382.
- Morris, J. G. (1980). Assessment of sodium requirements of grazing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 50(1), 145-152.
- Moseley, G., y Jones, D. I. H. (1974). The effect of sodium chloride supplementation of a sodium adequate hay on digestion, production and mineral nutrition in sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 83(1), 37-42.
- Muller, R. D., Potter, E. L., Wray, M. I., Richardson, L. F., y Grueter, H. P. (1986). Administration of monensin in self-fed (salt limiting) dry supplements or on an alternate-day feeding schedule. *Journal of Animal Science*, 62(3), 593-600.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). *Nutrient requirements of beef Cattle* (8ª ed., Vol 1). Washington: The National Academies Press.



- National Academies of Science, Engineering, and Medicine (2021). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition* (8<sup>a</sup> ed.). Washington: The National Academies Press.
- National Research Council (2000). *Nutrient requirements of beef cattle* (7<sup>a</sup> ed.). Washington: The National Academies Press.
- Neathery, M. W., Blackmon, D. M., Miller, W. J., Heinmiller, S., McGuire, S., Tarabula, J. M., y Allen, J. C. (1981). Chloride deficiency in Holstein calves from a low chloride diet and removal of abomasal contents. *Journal of Dairy Science*, 64(11), 2220-2233.
- Osweiler, G. D., Carr, T. F., Sanderson, T. P., Carson, T. L., y Kinker, J. A. (1995). Water deprivation-sodium ion toxicosis in cattle. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 7(4), 583-585.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*, 10(1), 1-11.
- Paisley, S. I., Ackerman, C. J., y Horn, G. W. (1997). *Effect of increasing levels of magnesium oxide on intake of a self-limited energy supplement for growing steers grazing winter wheat*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/S-Paisley2/publication/265235296\\_EFFECT\\_OF\\_INCREASING\\_LEVELS\\_OF\\_MAGNESIUM\\_OXIDE\\_ON\\_INTAKE\\_OF\\_A\\_SELF-LIMITED\\_ENERGY\\_SUPPLEMENT\\_FOR\\_GROWING\\_STEERS\\_GRAZING\\_WINTER\\_WHEAT/links/5489de4e0cf225bf669c75cd/EFFECT-OF-INCREASING-LEVELS-OF-MAGNESIUM-OXIDE-ON-INTAKE-OF-A-SELF-LIMITED-ENERGY-SUPPLEMENT-FOR-GROWING-STEERS-GRAZING-WINTER-WHEAT-Story-in-Brief.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/S-Paisley2/publication/265235296_EFFECT_OF_INCREASING_LEVELS_OF_MAGNESIUM_OXIDE_ON_INTAKE_OF_A_SELF-LIMITED_ENERGY_SUPPLEMENT_FOR_GROWING_STEERS_GRAZING_WINTER_WHEAT/links/5489de4e0cf225bf669c75cd/EFFECT-OF-INCREASING-LEVELS-OF-MAGNESIUM-OXIDE-ON-INTAKE-OF-A-SELF-LIMITED-ENERGY-SUPPLEMENT-FOR-GROWING-STEERS-GRAZING-WINTER-WHEAT-Story-in-Brief.pdf?origin=publication_detail)
- Perea, A. R., y Fanego, N. (2017). Alimentación con grano de maíz en autoconsumo para animales en terminación. *Agrobarrow*, 60, 18-19.
- Petersen, M. K., Muscha, J. M., Mulliniks, J. T., Waterman, R. C., Roberts, A. J., y Rinella, M. J. (2015). Sources of variability in livestock water quality over 5 years in the Northern Great Plains. *Journal of Animal Science*, 93(4), 1792-1801.
- Pordomingo, A. (1999). *Cuando con pasto no alcanza, suplementación sobre verdes de invierno*. Recuperado de [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/suplementacion/12-cuando\\_con\\_pasto\\_no\\_alcanza.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/12-cuando_con_pasto_no_alcanza.pdf)
- Potter, E. L., Muller, R. D., Wray, M. I., Carroll, L. H., y Meyer, R. M. (1986). Effect of monensin on the performance of cattle on pasture or fed harvested forages in confinement. *Journal of animal science*, 62(3), 583-592
- Reuter, R. R., Moffet, C. A., Horn, G. W., Zimmerman, S., y Billars, M. (2017). Technical Note: Daily variation in intake of a salt-limited supplement by grazing steers. *The Professional Animal Scientist*, 33(3), 372-377.

- Rich, T. D., Armbruster, S., y Gill, D. R. (1976). Limiting feed intake with salt. *Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension Extension*, (274), 5.
- Riggs, J. K., Colby, R. W., y Sells, L. V. (1953). The effect of self-feeding salt-cottonseed meal mixtures to beef cows. *Journal of Animal Science*, 12(2), 379-393.
- Romera, A.J., Morris, S.T., Hodgson, J., Stirling, W.D., y Woodward, S.J.R. (2005). Comparison of haymaking strategies for cow-calf systems in the Salado Region of Argentina using a simulation model. Incorporation of flexibility into the decision rules. *Grass and Forage Science*, 60(4), 409-416.
- Rovira, J. (1996). *Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo*. Montevideo: Hemisferio Sur.
- Rovira, P. (2014). Intensificando la suplementación de bovinos en pastoreo. *Revista INIA*, 36, 7-11.
- Rovira, P., y Velazco, J. (2012). *Suplementación de bovinos en pastoreo: autoconsumo*. Montevideo: Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA - Uruguay.
- Rovira, P., Velazco, J., y Quintans, G. (2007). Comportamiento productivo y conducta de terneros suplementados en comederos de autoconsumo sobre *campo natural*. En *Jornada de Divulgación de la Unidad Experimental Palo a Pique* (pp.5-14).Montevideo: INIA.
- Sauvant, D., Schmidely, P., Daudin, J. J., y St-Pierre, N. R. (2008). Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. *Animal*, 2(8), 1203–1214.
- Schauer, C. S., Lardy, G. P., Slinger, W. D., Bauer, M. L., y Sedivec, K. K. (2004). Self-limiting supplements fed to cattle grazing native mixed-grass prairie in the northern Great Plains. *Journal of Animal Science*, 82(1), 298–306.
- Sewell, H. B. (1993). *Salt to limit intake of protein and grain supplements*. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/62787882.pdf>
- Simeone, A. y Beretta, V. (2005). Pasto vs. Granos en invernada: falso dilema. Consideraciones sobre la utilización de alimentos concentrados en sistemas de recría y engorde de ganado bovino. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornada Uruguaya de Buiatría* (Vol.XXXIII, pp.42-49). Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.
- Souza, S. de S., Missio, R. L., Paris, W., Cavazzana, J. F., Severo, M. M., Poggere, J. M., y Costa, O. A. D. (2021). Self-fed Supplements of low and medium intake for beef steers finished on pasture. *Research Square*, 1-18. doi: 10.21203/rs.3.rs-548103/v1
- Spek, J. W., Bannink, A., Gort, G., Hendriks, W. H., y Dijkstra, J. (2012). Effect of sodium chloride intake on urine volume, urinary urea excretion, and milk urea concentration in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95(12), 7288-7298

- St-Pierre, N. R. (2001). Invited Review: Integrating Quantitative Findings from Multiple Studies Using Mixed Model Methodology. *Journal of Dairy Science*, 84(4), 741–755.
- Stritzler, N. P. (2004). *Suplementación de rodeos de cría e invernada en pastoreo en la región del Caldenal*. Recuperado de [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/suplementacion/21-suplementacion\\_region\\_caldenal.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/21-suplementacion_region_caldenal.pdf)
- Sugg, J. D. (2013). *Evaluation of Intake Limiting Agents in a Self-fed Dried Distillers' Supplement* (Tesis de maestría). Texas A & M University. Recuperado de <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/153206>
- Suttle, N. F. (2010). *Mineral nutrition of livestock* (4<sup>a</sup> ed.). Wallingford: CABI.
- Ustarroz, E., y De León, M. (2006). *Utilización de pasturas y suplementación con granos en invernada*. Recuperado de [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/invernada\\_o\\_engorde\\_pastoril\\_o\\_a\\_campo/77-pasturas\\_y\\_suplementacion\\_en\\_invernada.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_pastoril_o_a_campo/77-pasturas_y_suplementacion_en_invernada.pdf)
- Vittone, J. S., Munilla, M. E., Lado, M., Corne, M., Ré, A. E., Biolatto, A., y Galli, I. O. (2015). *Experiencias de recría y engorde con raciones secas en autoconsumo*. Recuperado de [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/invernada\\_o\\_engorde\\_en\\_general/128-raciones\\_secas.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_en_general/128-raciones_secas.pdf)
- Weeth, H. J., y Haverland, L. H. (1961). Tolerance of growing cattle for drinking water containing sodium chloride. *Journal of Animal Science*, 20(3), 518-521.
- Weeth, H. J., Haverland, L. H., y Cassard, D. W. (1960). Consumption of sodium chloride water by heifers. *Journal of Animal Science*, 19(3), 845-851.
- Weiss, W.P., Willett, L.B., ST-Pierre, N.R., Borger, D.C., MCKelvey, T.R., y Wyatt, D.J., (2009). Varying forage type, metabolizable protein concentration, and carbohydrate source affects manure excretion, manure ammonia, and nitrogen metabolism of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(11), 5607-5619.
- White, H. C., Van Emon, M. L., Delcurto-Wyffels, H. M., Wyffels, S. A., y Delcurto, T. (2019). Impacts of form of salt-limited supplement on supplement intake behavior and performance with yearling heifers grazing dryland pastures. *Translational Animal Science*, 3(1), 1650–1654.
- Williams, G. D., Beck, M. R., Thompson, L. R., Horn, G. W., y Reuter, R. R. (2018). Variability in supplement intake affects performance of beef steers grazing dormant tallgrass prairie. *The Professional Animal Scientist*, 34(4), 364–371.