



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE VETERINARIA



Facultad de Veterinaria  
Universidad de la República  
Uruguay

**EFFECTO DE MONENSINA, ANAVRIN® O AMBOS SOBRE EL  
DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE NOVILLOS EN TERMINACIÓN A CORRAL**

**Por**

**DIEZ SAYAS, Matias  
HERNÁNDEZ RAMIREZ, Dermidio  
LONGUEIRA CORREA, Emanuel**

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

**MODALIDAD:** Ensayo experimental

**LIBERTAD - SAN JOSE  
URUGUAY  
2023**

## 1. PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por:

Presidente:



---

Gonzalo Fernández Turren

Segundo miembro:



---

Francisco Diéguez

Tercer miembro:



---

Alvaro Santana

Cuarto miembro:



---

Eliana Ciancio

Fecha de aprobación:

8 de junio de 2023

Autores:



---

Diez Sayas Matias



---

Hernández Ramirez Dermidio



---

Longueira Correa Emanuel

## **2. AGRADECIMIENTOS:**

Quienes realizamos esta tesis de grado, queremos agradecer especialmente a nuestro tutor Dr. Álvaro Santana, y co-tutores Dra. Eliana Ciancio y Dr. José Luis Repetto por permitirnos ser parte de este estudio.

Por su parte, agradecer a los Br. y compañeros del ensayo Alexander Brochini, Juan Pablo Capucho, Guillermo Castro, Luis Casariego, Juan Diego Fiandra, Gonzalo Fitipaldi, Laura Gonzalez, María Jose Ricci y Soledad de Souza por su ayuda brindada en la realización práctica del trabajo experimental.

También agradecer a Juan Dayuto y Jenifer Madera, funcionarios en el Instituto de Producción Animal Veterinaria (IPAV) del campo experimental N°2 de la Facultad de Veterinaria, por su trabajo, colaboración y dedicación durante el ensayo experimental.

Por último y no menos importante, queremos agradecer a familiares y amigos por el apoyo durante todos estos años de carrera, para llegar a ser parte de esta hermosa profesión.

### **3. TABLA DE CONTENIDO**

<b>1. PÁGINA DE APROBACIÓN</b>	2
<b>2. AGRADECIMIENTOS:</b>	3
<b>3. TABLA DE CONTENIDO</b>	4
<b>4. LISTA DE CUADROS Y FIGURAS</b>	5
<b>5. RESUMEN</b>	6
<b>6. SUMMARY</b>	7
<b>7. INTRODUCCIÓN</b>	8
<b>8. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	9
8.1. <i>Relevancia del engorde a corral y regulación del uso de aditivos alimentarios</i>	9
8.2. <i>Uso de Monensina</i>	10
8.3. <i>Eficiencia de conversión alimenticia</i>	11
8.4. <i>Aditivos fitogénicos</i>	12
8.5. <i>Aceites esenciales</i>	13
8.6. <i>Taninos</i>	13
8.7. <i>Flavonoides</i>	14
8.9. <i>Efectos asociativos y antecedentes previos del uso de Anavrin®</i>	14
<b>9. HIPOTESIS</b>	16
<b>10. OBJETIVOS</b>	16
10.1. <i>Objetivo general</i>	16
10.2. <i>Objetivos específicos</i>	16
<b>11. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	17
11.1. <i>Diseño experimental y tratamientos</i>	17
11.2. <i>Manejo de los animales y la alimentación</i>	17
11.3. <i>Toma de muestras, análisis, determinaciones y cálculos</i>	18
11.4. <i>Análisis estadístico</i>	19
<b>12. RESULTADOS</b>	20
<b>13. DISCUSIÓN</b>	23
<b>14. CONCLUSIONES</b>	24
<b>15. BIBLIOGRAFÍA</b>	25

#### 4. LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Composición química de la ración totalmente mezclada (RTM), ingredientes utilizados para formularla y la proporción de cada ingrediente en la RTM, valores expresados como % de la materia seca (MS) salvo que se indique otra cosa (DE entre paréntesis).....	18
Cuadro 2. Peso vivo (PV), ganancia media diaria (GMD), consumo de MS (CMS) y eficiencia de conversión (EC) de novillos alimentados con una dieta de terminación adicionada con Anavrin®, Monensina o ambos.....	21
Figura 1. Relación entre la GMD, el consumo de alimento y la eficiencia. Tomado de (Di Marco Oscar., 2006).....	12
Figura 2. Evolución del peso vivo (PV) de novillos alimentados con una dieta de terminación adicionada con Anavrin®, Monensina o ambos.....	22
Figura 3. Evolución de la ganancia media diaria (GMD) de novillos alimentados con una dieta de terminación adicionada con Anavrin®, Monensina o ambos.....	22

## 5. RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue comparar el desempeño productivo de novillos en terminación, consumiendo una ración totalmente mezclada (RTM) adicionada con Monensina, Anavrin® (una mezcla de flavonoides, taninos y aceites esenciales) o ambos aditivos combinados a igual dosis que utilizados individualmente. Para esto, 30 novillos de raza carnífera británica bloqueados según su peso vivo (PV) y edad, se distribuyeron al azar en tres tratamientos alimenticios (N = 10 novillos por tratamiento). En los tres tratamientos la RTM se ofreció individualmente a cada novillo y la asignación diaria en materia seca (MS) fue equivalente al 2.8% de su PV. Los tratamientos fueron: 1) RTM adicionada con 0,033 g de Monensina por cada kg de MS “**RTM+Monensina**”; 2) RTM adicionada con 0,35 g de Anavrin® por cada 100 kg de PV “**RTM+ANAVRIN**”; o 3) RTM adicionada con ANAVRIN® y Monensina a igual dosis que en los tratamientos anteriores “**RTM+ANAVRIN+Monensina**”. La duración total del experimento fue de 60 d, comprendiendo 19 d de adaptación, más tres periodos de mediciones (de 6 d cada uno) con una separación de 9 d entre periodos, enviándose los animales a faena 5 d después de la última medición. El consumo de materia seca (CMS) se determinó durante 5 d en cada período de medición, por diferencia de peso entre la cantidad de RTM ofrecida y rechazada, en forma individual. Los novillos se pesaron individualmente cada 12 d. Se calculó para cada novillo la ganancia media diaria (GMD) como la diferencia de PV entre dos registros, dividido la cantidad de días transcurridos entre ambos registros. La eficiencia de conversión (EC) alimenticia se calculó como el cociente de dividir el CMS sobre la GMD. Los tratamientos no afectaron ninguna de las variables estudiadas. El CMS y la GMD aumentaron con el transcurso del tiempo, pero no se detectó interacción entre el tratamiento y el momento de medición para ninguna variable. En promedio los novillos ganaron 1,4 kg de PV/d y consumieron 8,7 kg de MS/kg de PV ganado. Sustituir la Monensina por Anavrin® se comportó de forma similar en el CMS, la GMD y la EC de novillos en terminación. La adición simultánea de Anavrin® y Monensina modificó de igual forma la respuesta obtenida con su adición en forma individual. A pesar de no haber estudiado los efectos de Anavrin® sobre la biota ruminal, el metabolismo intermediario y las emisiones de metano, los resultados productivos son alentadores, considerando que no se observaron diferencias con la monensina.

## 6. SUMMARY

The objective of this thesis was to compare the productive performance of finishing steers consuming a totally mixed ration (TMR) supplemented with Monensin, Anavrin® (a mixture of flavonoids, tannins and essential oils) or both additives combined at the same dose as used individually. For this, 30 British beef steers, blocked according to live weight (BW) and age, were randomly distributed into three feeding treatments (N = 10 steers per treatment). In all three treatments, RTM was offered individually to each steer and the daily dry matter (DM) allowance was equivalent to 2.8% of their BW. The treatments were: 1) RTM added with 0.033 g of Monensin per kg DM "**RTM+Monensin**"; 2) RTM added with 0.35 g of Anavrin® per 100 kg of BW "**RTM+ANAVRIN**"; or 3) RTM added with ANAVRIN® and Monensin at the same dose as in the previous treatments "**RTM+ANAVRIN+Monensin**". The total duration of the experiment was 60 d, comprising 19 d of adaptation, plus three periods of measurements (6 d each) with a separation of 9 d between periods, and the animals were sent to slaughter 5 d after the last measurement. Dry matter intake (DMI) was determined for 5 d in each measurement period, by weight difference between the amount of RTM offered and rejected, on an individual basis. Steers were weighed individually every 12 d. The average daily gain (ADG) was calculated for each steer as the difference in BW between two records, divided by the number of days between the two records. Feed conversion efficiency (FE) was calculated as the quotient of dividing the CMS over the GMD. Treatments did not affect any of the variables studied. CMS and GMD increased over time, but no interaction between treatment and time of measurement was detected for any variable. On average, steers gained 1.4 kg BW/d and consumed 8.7 kg DM/kg BW gained. Replacing Monensin with Anavrin® behaved similarly on CMS, GMD and EC of finishing steers. The simultaneous addition of Anavrin® and Monensin equally modified the response obtained with their individual addition. Despite not having studied the effects of Anavrin® on rumen biota, intermediary metabolism and methane emissions, the productive results are encouraging, considering that no differences were observed with monensin.

## 7. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo los sistemas de producción de alimentos de origen animal, enfrentan el desafío de incrementar la productividad y disminuir la cantidad de insumos utilizados para obtener una unidad de producto, o en otras palabras continuar mejorando la eficiencia de producción. Los beneficios de utilizar sustancias que permitan una mayor eficiencia de conversión (**EC**) alimenticia, son importantes para la sustentabilidad y el resultado económico de los sistemas intensivos de producción de carne. Históricamente los antibióticos promotores del crecimiento (**APC**) como la Monensina, son adicionados a dosis sub terapéuticas en la dieta de los animales para mejorar la performance productiva. El uso de Monensina como modulador de la fermentación ruminal, contribuye a lograr mayores tasas de crecimiento, aumentar la ganancia de peso vivo (**PV**) y mejorar la EC (Steiner y Syed, 2014). La acción de la monensina favorece la performance productiva ya que las bacterias Gram positivas generalmente son las que producen acetato, butirato, hidrógeno, amoníaco y lactato mientras que las bacterias Gram negativas resistentes producen propionato y succinato (Olumeyan, Nagaraja, Miller, Frey y Boyer, 1986). Los ionóforos son inhibidores de las bacterias Gram positivas como *Eubacterium*, *Lactobacillus* y *Streptococcus*; Por lo contrario, las bacterias Gram negativas, como *Anaerovibrio*, *Fibrobacter*, *Megasphaera*, *Prevotella*, *Ruminobacter*, *Selenomonas*, *Succinimonas* y algunas especies de *Succinivibrio* y *Veillonella* son resistentes a los ionóforos (Nagaraja, 1995).

Las tendencias de consumo enfocadas en la inocuidad alimentaria, el cuidado de la salud animal, disminuir el riesgo de resistencia a los antibióticos, la protección del ambiente, así como el aumento del costo de los alimentos, son las principales razones que impulsan a nivel global el uso de aditivos fitógenos o fitogénicos como una de las alternativas más importantes para reducir el uso de APC en la nutrición animal. Los aditivos fitogénicos incluyen aceites esenciales (**AE**), especias, hierbas o extractos de plantas, combinan ingredientes bioactivos (saponinas, antioxidantes y flavonoides) y sustancias aromatizantes. Los aditivos fitogénicos pueden mejorar la tasa de crecimiento, la digestibilidad de los nutrientes y la salud intestinal en los animales y por lo tanto los proyectan como una alternativa posible a los APC en la producción animal (Kholif, Anele, Patra, y Varadyova, 2021). Estas sustancias tienen la ventaja de que no dejan residuos en la carne o leche, contribuyendo a garantizar la inocuidad del producto para el consumidor. Pudiendo además contribuir a la sustentabilidad ambiental, al reducir las emisiones de amoníaco y metano (**CH<sub>4</sub>**) del ganado (Kholif et al., 2021). Los AE presentan extensos beneficios en la salud, tanto humana como animal, por su actividad antioxidante e inactivación de los radicales libres (Calsamiglia, Busquet, Cardozo, Castillejos y Ferret, 2007). Estos compuestos pueden inhibir el proceso de peroxidación en la membrana lipídica y acelera las actividades enzimáticas y antisépticas (Calsamiglia et al., 2007). Algunos efectos benéficos que tienen los AE en la producción animal son debido a sus propiedades antimicrobianas y a su potencial para la mitigación del CH<sub>4</sub> entérico. Adicionalmente, se ha observado una mejora en la conversión alimenticia y en el sabor de los alimentos (Botsoglou et al., 2003; Betancourt et al., 2012).

Cuando se lo comparó con una dieta sin aditivos, el suministro de Anavrin<sup>®</sup> a novillos en terminación aumentó la ganancia media diaria (**GMD**) y la EC (Grossi, Trevisan, Compiani y Rossi, 2021), y en vacas lecheras incremento el consumo de materia seca (**CMS**), la producción y la conversión de alimento. Suministrado en la dieta de ovejas lecheras redujo la producción de CH<sub>4</sub>, sin afectar la digestibilidad aparente de la

materia seca (**MS**) respecto a una dieta control sin aditivos (Atzori et al., 2022) y fue efectivo también en estudios *in vitro* para disminuir la producción de CH<sub>4</sub> (Grossi et al., 2021). En esta tesis se comparó el desarrollo productivo de novillos en terminación a corral, consumiendo una dieta adicionada con Monensina, Anavrin<sup>®</sup>, (elaborado en base a AE, taninos y flavonoides) o ambos.

## 8. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 8.1. *Relevancia del engorde a corral y regulación del uso de aditivos alimentarios*

La ganadería ya utilizaba en 2011 una cuarta parte de la superficie terrestre mundial como tierra de pastoreo, y reclama una tercera parte de las tierras de cultivo mundiales para la producción de cereales forrajeros (Robinson et al., 2011). Se prevé que la producción de carne de vacuno aumentará 5.8% (75 Mt) para 2030 comparado al periodo 2018- 2020, a través de un aumento en la eficiencia de producción más que por un mayor número de animales sacrificados (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos OECD, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, 2021). Los sistemas de terminación o engorde a corral se caracterizan por el confinamiento de los animales, el suministro de dietas con alta concentración energética y elevada digestibilidad. Los objetivos del engorde a corral son obtener una alta ganancia de PV, lograr un adecuado nivel de infiltración grasa (marmoleado) y una alta EC del alimento en producto (kg de MS de alimento consumidos / kg de aumento de PV) (Aguerre, 2013). Además de lo anterior, los sistemas tipo feedlot permiten destinar superficie a otras actividades, aumentar el ritmo de ganancia de peso, promover tipos de carcasas diferenciales, a través del manejo de las cantidades y el tipo de energía que consumen los animales (Cajarville, 2011).

La producción de carne bovina en confinamiento o estabulada es común en Norteamérica, Europa del Este y la Comunidad de Estados Independientes, esta representaba en 2016 aproximadamente el 12 % de la producción mundial de carne vacuna (Seré y Steinfeld, 1996). En Uruguay el stock bovino es de aproximadamente 11.8 millones de cabezas y en 2021 se faenaron un total de 2.638.601 cabezas (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, 2021). La faena de bovinos ha aumentado de forma sostenida en la última década y alcanzando su máximo histórico en 2021. A nivel nacional, del total de bovinos faenados la proporción de animales terminados a corral se ha incrementado del 7% en 2013 al 14% en 2021 (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, MGAP, 2013 y 2022). La intensificación y la búsqueda de una mayor eficiencia en los sistemas ganaderos, ha incrementado el uso de herramientas farmacológicas para incrementar la productividad. En ese contexto, el uso de APC ha generado una mejora sustancial de la eficiencia productiva en los sistemas de engorde a corral, masificándose su uso a nivel mundial. Un APC es la Monensina, utilizado desde hace más de tres décadas como modulador de la fermentación ruminal (Bernerri, Miranda, Frances, y Mastrantonio, 2016).

Debido a que los consumidores de carne bovina exigirán cada vez en mayor medida, no utilizar antimicrobianos en los alimentos, junto con otros aspectos vinculados a la inocuidad del alimento (OECD-FAO, 2021). Conjuntamente con las recomendaciones de la OMS de regular y disminuir el uso de APC en la alimentación animal, para evitar la aparición de resistencia antimicrobiana a los antibióticos. La Unión Europea prohibió el uso de Monensina (entre otras sustancias), definiendo un periodo de tiempo durante

el cual continúa autorizada, mientras se desarrollan productos alternativos para sustituirla (Unión Europea, 2003). En Uruguay está prohibido el uso de antibióticos en la alimentación animal por el Decreto N° 98/011 de 2011, sin embargo, la Monensina (y otros ionóforos) están habilitados transitoriamente como coccidiostáticos (MGAP, 2014). Es por esto, que la búsqueda de sustancias alternativas a los APC que mejoren la ganancia de peso y la transformación del alimento en producto animal se ha intensificado a nivel mundial (Daning, Yusiati, Hanim y Widyobroto, 2021).

## 8.2. Uso de Monensina

La Monensina pertenece al grupo de los fármacos ionóforos poliésteres carboxílicos, junto a lasalocida, maduramicina, narsarina, semduramicina y salinomicina. Es un compuesto natural producido por *Streptomyces cinnamonensis*, es una mezcla de cuatro análogos: A, B, C y D, que se producen durante la fermentación, siendo la Monensina A, el componente principal (98%). Dependiendo del método de purificación, la Monensina puede existir en formas micelares, cristalinas o recristalizadas. Posee actividad antiprotozoaria, fundamentalmente contra *Eimeria* spp., antibacteriana frente a Gram positivas abarcando a los géneros *Micrococcus*, *Bacillus*, *Staphylococcus* y *Streptococcus* (Callaway et al., 2003). Los ionóforos modifican la permeabilidad de la membrana citoplasmática de las bacterias del rumen, produciendo una mejor utilización de las moléculas de NADHH<sup>+</sup> por las bacterias propiogénicas, alterando el nivel ruminal y la proporción de ácidos grasos volátiles, por lo que hay una reducción en la proporción acetato-propionato. (Acevedo, 1993). En bovinos, la Monensina se ha utilizado desde la década de 1970 para aumentar la GMD y EC en la producción de carne (Duffield, Merrill, y Bagg, 2012) y la eficiencia alimenticia en producción de leche (Duffield, Rabiee, y Lean, 2008). El principal efecto de la Monensina en la fermentación ruminal es la modificación de la proporción molar de ácidos grasos volátiles (**AGVs**), en general aumenta la proporción molar de propionato y reduce las proporciones molares de butirato y acetato, como consecuencia del efecto sobre las bacterias ruminales, favoreciendo un uso más eficiente de la energía (Polizel et al., 2021). Paralelamente en vacas lecheras se ha reportado que cuando se administra Monensina en dosis de 24 y 32 mg / kg de MS disminuye las emisiones de CH<sub>4</sub> en un 20 %, mejorando la eficiencia de uso de la energía (Odongo et al., 2007).

El efecto de suministrar Monensina en dietas de engorde sobre la performance productiva depende del tipo de dieta, las características del animal, la dosis de Monensina utilizada y el tiempo durante el cual es suministrada. El aumento de la GMD y la reducción del CMS se incrementan con el aumento de la dosis suministrada. En un metanálisis de 64 artículos con 169 tratamientos conteniendo Monensina, se reportó que la concentración promedio de Monensina utilizada en el alimento fue de 28,1 mg / kg de MS (rango, 3 a 98 mg / kg de MS), obteniéndose un aumento del 6.4% en la EC, al disminuir 3% en el CMS y aumentar 2,5% la GMD (Duffield et al., 2012). Sin embargo, la mejora de la EC obedeció a diferentes respuestas según el tipo de dieta. En general, cuando se suministraron dietas con alto contenido de concentrado, el CMS disminuyó y no se modificó la GMD. En contraste, cuando se suministraron dietas con mayor proporción de forraje, el CMS no se vio afectado, pero se incrementó la GMD. El efecto de la Monensina sobre la fermentación ruminal y los parámetros productivos pueden disminuir con el tiempo, debido a efectos de adaptación y recomposición de las poblaciones de microorganismos ruminales. Por último, la fuente

de Monensina utilizada es un factor que modifica la respuesta productiva. En una dieta de terminación (alta en concentrados) para toros Nellore ( $363.2 \pm 40.9$  kg de PV inicial) donde se probaron dos fuentes diferentes de Monensina a una dosis de 28 mg de Monensina / kg de MS, en los primeros 28 d independientemente de la fuente de Monensina utilizada aumentó la GMD y disminuyó el CMS, comparado con una dieta sin Monensina. Pero durante los posteriores 85 d solo una de las fuentes mejoró la EC respecto a la dieta sin Monensina y mantuvo una mayor concentración molar de propionato en el rumen respecto a la otra fuente de Monensina (Teixeira et al., 2020).

### 8.3. *Eficiencia de conversión alimenticia*

La EC del alimento se refiere a la cantidad de alimento necesario para aumentar una unidad de ganancia de peso. Generalmente la EC se expresa como los kg de MS de alimentos consumidos para aumentar 1 kg de PV, o también como los g de PV ganado por kg de CMS, requiriendo por lo tanto medir el consumo individual de los animales y el nivel de producción alcanzado (Pravia, Lema, Navajas y Aguilar, 2014). La EC es el resultado integrado del consumo de alimentos, su digestión, la absorción de nutrientes y la eficiencia de su uso en el metabolismo intermediario (metabolización), entre otros procesos (Kenny, Fitzsimons, Waters y McGee, 2018). Sin desconocer la complejidad y multiplicidad de factores interrelacionados que intervienen en la EC, se ha propuesto que el metabolismo energético es un factor determinante de la variación en la EC entre individuos y durante el ciclo productivo en un mismo individuo (Cantalapiedra-Hijar et al., 2018). La proporción de energía metabolizable (**EM**) destinada al mantenimiento y al aumento de PV varía en función de la cantidad de energía consumida, los requerimientos para las funciones de mantenimiento y la energía retenida en cada kg de PV ganado. Los requerimientos de mantenimiento están determinados fundamentalmente por tres aspectos de gasto energético, que son: las actividades voluntarias, el metabolismo basal y la termorregulación (Cuartas, Naranjo, Tarazon y Barahona, 2013). Mientras que la energía retenida en cada kg de PV ganado (o costo energético por kg) depende de la composición tisular en el kg de PV ganado (Pordomingo, 2013). Por lo tanto, la EC es afectada por la categoría (sexo y edad), la raza, el frame, el peso y el nivel de engrasamiento de los animales, debido a los cambios en la proporción de tejido magro y adiposo. La mayor proporción de tejido muscular frente al tejido adiposo resulta generalmente en un mejor EC, ósea menos cantidad de alimento requerido por cada kg de PV ganado (Pordomingo, 2013). Para un tipo definido de animal (similar raza, categoría y peso) con el aumento del CMS luego de cubrir los requerimientos de mantenimiento, la GMD aumenta, con incrementos decrecientes, hasta un punto a partir del cual no hay aumentos (Figura 1). Debido a esto generalmente las mejores EC se logran con GMD bajas y con el aumento de la GMD la EC disminuye (Di Marco Oscar, 2006).

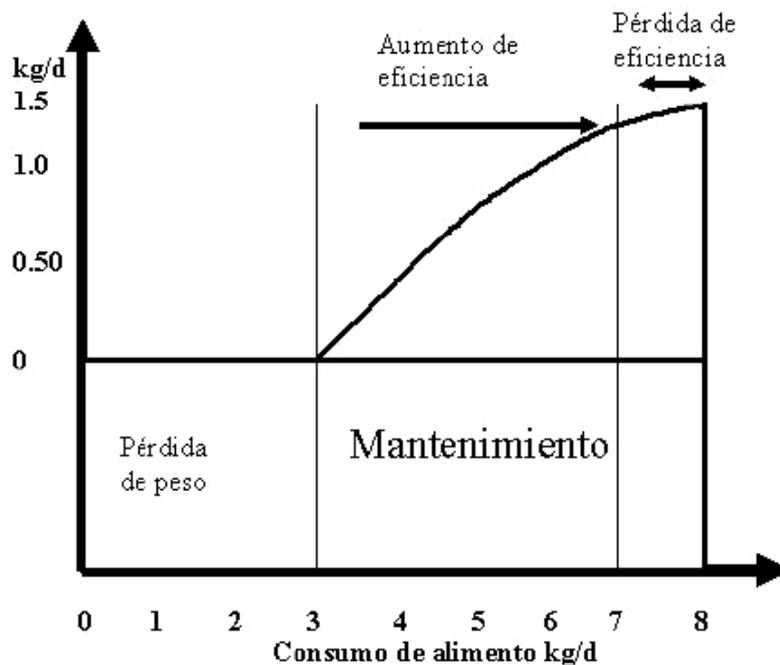


Figura 1: Relación entre la GMD, el consumo de alimento y la eficiencia. Tomado de (Di Marco Oscar, 2006).

#### 8.4. Aditivos fitogénicos

Actualmente el concepto de “aditivos fitogénicos para alimentos” engloba a los fitoquímicos, fitobióticos y compuestos vegetales secundarios, refiere a los extractos (alcohólicos, oleosos, etc.) naturales de plantas y sus productos. La mayoría de los fitoquímicos de interés nutricional y farmacológico se clasifican típicamente como flavonoides (i.e. polifenoles como los taninos hidrolizables y condensados), terpenoides (i.e. saponinas y los aceites esenciales) y alcaloides (Tedeschi et al., 2021). Los aditivos fitogénicos presentan la capacidad de modificar el bioma ruminal y la digestión de nutrientes, reducir la producción de CH<sub>4</sub>, así como mejorar la salud y el metabolismo del huésped, lo que resulta en una mejora de la eficiencia del uso del alimento por los rumiantes (Singh y Gaikwad, 2020). En general el efecto de los fitoquímicos es dosis dependiente, considerándose que existe una dosis óptima de cada fitoquímico en condiciones específicas, y el efecto de las mezclas depende de la variedad y la sinergia de los compuestos bioactivos presentes en la combinación (Singh y Gaikwad, 2020). Recientemente Kholif y Olafadehan, (2021) revisaron la naturaleza de los compuestos fitogénicos y sus efectos sobre la fermentación ruminal, la microbiota del rumen, la digestión de nutrientes y el desempeño productivo en rumiantes. En resumen, la investigación demostró la capacidad de aditivos alimentarios fitogénicos para modificar la digestión de nutrientes y microbios ruminales, así como mejorar la salud y el metabolismo del huésped dando como resultado un mejor rendimiento de los rumiantes y una disminución de producción de CH<sub>4</sub>. El efecto de los fitoquímicos depende de la dosis revelando la importancia de definir la dosis óptima de cada fitoquímicos en condiciones específicas.

### 8.5. Aceites esenciales

Los AE son “producto obtenido a partir de materia prima vegetal, ya sea por destilación con agua o vapor, mediante un proceso mecánico, o por destilación seca” (International Organization for Standardization, 2021). Cada AE presenta gran cantidad (más de 100) compuestos químicos diferentes, clasificados como aldehídos, fenoles, óxidos, ésteres, cetonas, alcoholes y terpenos, pudiendo haber muchos compuestos aún no identificados. Sin embargo, los compuestos activos más importantes se incluyen en 2 grupos químicos: terpenoides (monoterpenoides y sesquiterpenoides) y fenilpropanoides (Calsamiglia et al., 2007).

Los múltiples principios activos justifican la diversidad de los efectos y mecanismos de acción descritos en la bibliografía. Por ejemplo, su efecto antimicrobiano, se ha atribuido a diferentes mecanismos de acción. Algunos AE a bajas concentraciones alteran la autoinducción (o quorum sensing) bacteriana, que es la regulación de la expresión génica en respuesta a las fluctuaciones en la densidad de población celular y permite que toda la colonia actúe como un grupo (Nealson, Platt, Hastings, 1970). Al inhibir la autoinducción se altera la capacidad de las colonias bacterianas para formar biofilms, su virulencia, la secreción de toxinas y la capacidad para penetrar la barrera intestinal (Miller y Bassler, 2001). A altas concentraciones, algunos AE tienen actividad bactericida mediante toxicidad en la pared celular, alteración de la síntesis de proteínas, reducción de los niveles intracelulares de trifosfato de adenosina, reducción del pH intracelular o la coagulación del material proteico en el citoplasma bacteriano (Pombo et al., 2016). Particularmente el eugenol, cinamaldehído y carvacrol, principios activos mayoritarios en AE de clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) y presente en el AE de semilla de cilantro (*Coriandrum sativum*) son capaces de inhibir las enzimas que producen ATP, lo que altera el metabolismo bacteriano (Pombo et al., 2016).

Cuando se usan combinaciones de AE, el efecto puede ser aditivo, sinérgicos o antagónicos (Calsamiglia et al., 2007). Se han reportado efectos aditivos y sinérgicos entre compuestos fenólicos y alcohólicos. Por otro lado, los AE pueden interactuar con las células microbianas e inhibir el crecimiento de algunas bacterias. Como resultado de tal inhibición, la adición de algunos extractos de plantas al rumen resulta en una inhibición de la desanimación y la metanogénesis, lo que resulta en una menor concentración de nitrógeno amoniacal (**N-NH<sub>3</sub>**), CH<sub>4</sub> y acetato, y una mayor concentración de propionato y butirato en el rumen (Calsamiglia et al., 2007).

### 8.6. Taninos

Los taninos son compuestos polifenólicos de origen vegetal. Estos compuestos poseen uno o más de un anillo aromático y grupos carboxilos y oxidrilos libres, con los que reaccionan entre ellos y con otros compuestos químicos como por ejemplo las proteínas (Makkar, 2003). Los grupos hidroxilo de los anillos fenólicos de taninos hidrolizables (como los de *Castanea sativa*), interaccionan mediante enlaces (hidrógeno – oxígenos) con las proteínas (Molino, Casanova, Rufian Henares y Fernandez Miyakawa, 2019). Además, se producen interacciones hidrofóbicas entre los anillos aromáticos de los compuestos fenólicos y las regiones hidrofóbicas de las proteínas (Frutos, Hervás, Giráldez y Mantecón, 2004). Se ha reportado que el suministro de taninos en la dieta de rumiantes contribuye a disminuir la degradabilidad ruminal de las proteínas, reduce la concentración de N-NH<sub>3</sub> en el rumen y las pérdidas urinarias de nitrógeno (Scharenberg et al., 2007).

### 8.7. Flavonoides

Los flavonoides son compuestos de bajo peso molecular que comparten un esqueleto común de difenilpiranos (C6-C3-C6), compuesto por dos anillos de fenilos ligados a través de un anillo de pirano (heterocíclico). La actividad de los flavonoides como antioxidantes depende de las propiedades redox de sus grupos hidroxifenólicos y de la relación estructural entre las diferentes partes de su estructura química (Martínez-Flores, González Gallego, Culebras y Tuñón, 2002). Estos son metabolitos secundarios de las plantas, que se encuentran naturalmente presentes en los forrajes y otros alimentos de los rumiantes, siendo los más comunes las flavonas, flavonoles, antocianidinas, flavanonas e isoflavonoides (Galicia Jiménez, Sandoval Castro, Rojas Herrera y Magaña Sevilla, 2011).

Los flavonoides presentan una baja biodisponibilidad tras su ingesta oral, y llegan al intestino sin sufrir degradación. Se ha reportado que su adición en la dieta tiene efectos antioxidantes, propiedades antiinflamatorias, modula la microbiota intestinal y modifican favorablemente la composición de los ácidos grasos de la carne (North, Zotte, Hoffman, 2019). Posen excelentes propiedades de quelación del hierro y otros metales de transición, lo que les confiere una gran capacidad antioxidante y por ello, desempeñan un papel esencial en la protección frente a los fenómenos de daño oxidativo, e interactúan en la regulación transcripcional y la expresión de genes endógenos (Galicia Jiménez et al., 2011).

### 8.8. Combinación de AE, taninos y flavonoides. (Anavrin®)

Anavrin® (Vetos Europe Sagl, Cadenazzo TI – Svizzera) es una combinación de AE, taninos y bioflavonoides, naturales seleccionados para modular la fermentación ruminal. Los AE tienen un rol fundamental en la cinética del crecimiento de bacterias específicas y propiedades antimicrobianas del producto. Los taninos intervienen en el metabolismo de las proteínas, son agentes antiinflamatorios y modifican el uso de N a nivel del rumen. Los bioflavonoides actúan como antioxidantes, que contribuyen a la estabilidad del ambiente ruminal a través de la inhibición del crecimiento de algunos géneros bacterianos.

### 8.9. Efectos asociativos y antecedentes previos del uso de Anavrin®

Debido a que los aditivos fitogénicos presentan diferentes mecanismos de acción sobre los microorganismos del rumen, y además tiene múltiples efectos sobre el sistema digestivo y la digestibilidad de nutrientes (i.e. interacción con proteínas, potencial redox), existen efectos asociativos cuando se combinan o al usarlos conjuntamente con APC. (Chaturvedi, Dutta, Singh, Sharma, 2015). Se ha reportado en novillos (141 ± 6,6 kg PV inicial) alimentados durante 84 d con un aditivo fitogénico (mezcla de cinamaldehído y eugenol de *capsicum*), presentaron una menor concentración de N-NH<sub>3</sub> en el rumen y similar CMS y GMD respecto a novillos alimentados con Monensina, atribuyendo los autores esta diferencia a que el modo de acción de estos aditivos es diferente (Geraci, Garciarena, Gagliostroa, Beauchemin y Colombato, 2012). Los terpenoides y fenilterpenoides realizan su acción contra bacterias Gram positivas, se acumulan en la doble capa lipídica de la bacteria y ocupan espacios entre las cadenas de los ácidos grasos, cambian la morfología estructural de la membrana y como resultado causan fluidificación y expansión del

microorganismo (Griffin, Wyllie, Markham y Leach1999). La pérdida de la permeabilidad de la membrana causa pérdidas de iones, lo que causa un decreciente gradiente iónico transmembrana, y aunque la bacteria puede contrarrestar estos efectos, el costo energético es elevado provocando su muerte o un crecimiento lento (Griffin *et al.*, 1999).

En un trabajo previo utilizando Anavrin® (5 g/animal/d) adicionado en una dieta para novillos en terminación, se reportó un aumento de 80 g/d en la GMD y una mejora en la EC, respecto a un tratamiento control sin aditivos (Grossi et al., 2021). En vacas lecheras dosificadas con 10 g/animal/d del producto, aumentó el CMS, 3,8 % la producción de leche y la eficiencia de conversión del alimento a leche mejoró un 7.2 % comparado a un control sin aditivos (Grossi et al., 2021). Suministrado en la dieta de ovejas lecheras estos efectos *in vivo* sobre la producción, el CMS y la eficiencia alimenticia, se han relacionado con el aumento *in vitro* de la concentración de ácido propiónico, la disminución de ácido acético, y la reducción de la producción de CH<sub>4</sub> entre 9 % y 22 % (según la concentración del producto utilizada) con este aditivo comparado a un control sin aditivo (Grossi et al., 2021). Suministrando 1 g de Anavrin/d en la dieta de ovejas lecheras durante 8 semanas, redujo 13% la producción de CH<sub>4</sub>(22.4 vs. 25.5 g de CH<sub>4</sub>/kg de CMS; P < 0.05), sin afectar la digestibilidad aparente de la MS o la fibra detergente neutro (**FDN**) respecto a una dieta control sin aditivos (Atzori et al., 2022).

Aún no están claros los efectos de Anavrin® sobre el desempeño productivo de ganado en engorde a corral, hay pocos trabajos *in vivo* que aporten información relevante en este sentido. Por eso esta tesis resulta importante ya que es de los primeros trabajos *in vivo* con uso de Anavrin® en dietas para terminación en Uruguay.

## **9. HIPOTESIS**

La adición en forma individual de Monensina o Anavrin® se comportará de forma similar en la GMD, la EC y debido a un efecto sinérgico entre los aditivos, su adición simultánea mejora la EC de novillos en terminación alimentados con una ración totalmente mezclada.

## **10.OBJETIVOS**

### *10.1. Objetivo general*

Comparar el desempeño productivo de novillos en terminación al incluir, Monensina, Anavrin® o ambos en una RTM.

### *10.2. Objetivos específicos*

Evaluar el efecto de incluir, Monensina, Anavrin® o ambos en una RTM para novillos en terminación sobre el CMS, la GMD y la EC.

## 11. MATERIALES Y MÉTODOS

### 11.1. Diseño experimental y tratamientos

El trabajo de campo se realizó en el Instituto de Producción Animal Veterinaria (IPAV) en el Campo Experimental N° 2 de la Facultad de Veterinaria, San José, Uruguay. Los procedimientos y el manejo de los animales se realizaron de acuerdo con las normas que rigen el uso de animales en experimentación, educación e investigación establecidas por la Comisión Honoraria de Experimentación Animal de la Universidad de la República (Protocolo: 1198 / 2021).

Treinta novillos de razas carniceras británicas (Hereford, Angus y cruza), con  $34 \pm 7$  meses de edad y  $441 \pm 33$  kg PV. Previamente bloqueados por peso y edad, fueron asignados al azar dentro de cada bloque a uno de tres tratamientos alimenticios (N = 10 novillos por tratamiento). Los tratamientos fueron: 1) RTM adicionada con 0,033g de Monensina por cada kg de MS "**RTM+Monensina**"; 2) RTM adicionada con 0,35 g de Anavrin® por cada 100 kg de PV "**RTM+ANAVRIN**"; o 3) RTM adicionada con Anavrin® y Monensina a igual dosis que los tratamientos anteriores "**RTM+ANAVRIN+Monensina**". No se utilizó un tratamiento control sin aditivos ya que se busca comparar el desarrollo productivo de Monensina y Anavrin®, por lo que no era relevante en este ensayo sus resultados contra un control. En todos los tratamientos la asignación diaria de RTM a cada novillo fue equivalente en MS al 2.8% de su PV. Se utilizó Monensina sódica (Rumensin™ 100, Elanco Animal Health, São Paulo, SP, Brazil) y Anavrin® (Vetos Europe Sagl, Cadenazzo TI – Svizzera) compuesto por una mezcla de taninos de castañas (*Castanea sativa*), 3 tipos de AE y bioflavonoides de aceitunas (*Olea europaea*). Los AE presentes en Anavrin® son de clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) cuyos principales principios activos son eugenol, b-caryophyllene, a-humulene, d-cadinene, calamenene, AE de semilla de cilantro (*Coriandrum sativum*) conteniendo linalol como principal principio activo y AE de Geranio (*Pelargonium cucullatum*) con geraniol y tronelol como principales principios activos. La dosis de Monensina y Anavrin® utilizada fue la recomendada por los fabricantes.

La duración total del experimento fue de 60 d, comprendiendo 19 d de adaptación y sumado a esto, tres periodos para la realización de mediciones y la toma de muestras (de 6 d cada uno) con una separación de 9 d entre periodos, los animales fueron enviados a faena 5 d después de la última medición.

### 11.2. Manejo de los animales y la alimentación

Los animales se alojaron al azar en 30 corrales individuales de 15 m<sup>2</sup> cada uno y provistos con bebedero y comedero individual. Previo a comenzar el experimento los animales fueron acostumbrados a las rutinas básicas de alimentación, adaptados a los procedimientos de pesaje, fueron desparasitados y vacunados contra enfermedades respiratorias y clostridiales.

La RTM se formuló para obtener GMD de 1,4 kg/d, se utilizó el software Taurus versión 2014 de la Universidad de California y el Beef Cattle Nutrient Requirements Model 2016, versión 1.0.37.15. La composición química de la RTM, los insumos utilizados y la proporción de cada insumo en la RTM se presentan en el Cuadro 1. La RTM se

preparó diariamente entre 08:00 h y 10:00 h utilizando para mezclar los ingredientes un Mixer (Mixer vertical M8 Mary S.R.L Santa Catalina- Uruguay), luego era pesada en balanza (EL-5 Marvic Ltda, Montevideo - Uruguay) y embolsada individualmente para cada novillo. La asignación diaria de RTM a cada novillo fue equivalente en MS al 2.8% del PV y fue distribuida en dos veces por d (11:00 h y 16:00 h) en partes iguales. Los aditivos se suministraron diariamente (11:00h) con la RTM, individualmente a cada novillo según el tratamiento, asegurándose el consumo total de la dosis diaria. La asignación de RTM, la dosis de Anavrin® y Monensina se ajustó de manera individual cada 12 d luego de determinar el PV de los animales.

Cuadro 1. Composición química de la ración totalmente mezclada (RTM), ingredientes utilizados para formularla y la proporción de cada ingrediente en la RTM, valores expresados como % de la MS salvo que se indique otra cosa (DE entre paréntesis).

	MS, % en fresco	MO	FND	FAD	PC	Ingrediente en la RTM, % en MS
RTM	65.0 (1.4)	96.4 (0.4)	23.0 (2.8)	11.0 (0.8)	12.8 (1.5)	-
Maíz molido	86.7 (0.4)	98.6 (0.01)	8.0 (0.4)	2.4 (0.1)	9.0	71.7
Harina de soja	91.3 (0.2)	93.0 (0.01)	10.7 (0.4)	7.8 (0.9)	38.6 (3.2)	10.1
Heno	86.6 (1.0)	92.4 (0.007)	59.4 (1.0)	37.9 (0.6)	6.3 (0.1)	17
Núcleo <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	1.2
Agua (% en fresco)	-	-	-	-	-	27.1

<sup>1</sup>Núcleo vitamínico mineral (Agrifirm S.A., Uruguay): vitamina A, 53000 UI; vitamina D, 10600 UI; vitamina E, 200 UI; Co, 2.6mg/kg; I, 18.4mg/kg; Se inorg., 4.4mg/kg; Zn inorg., 1200mg/kg; Cu inorg., 421mg/kg; Na, 6.3 g/kg; Mg, 1.5g/kg; Ca, 22.0 g/kg.

### 11.3. Toma de muestras, análisis, determinaciones y cálculos

El CMS se determinó durante 5 d en cada período de medición, por diferencia de peso entre la cantidad de RTM ofrecida y rechazada en veinticuatro horas [Consumo (kg) = (kg ofrecidos - kg rechazados)]. Diariamente a las 11:00 h se tomó directamente de cada comedero una muestra de la RTM ofrecida, y se conformó una muestra compuesta (500g aprox.). A las 10:30 h del día siguiente se pesó la RTM en cada comedero considerándose como “rechazo” y se tomó una muestra individual de cada comedero. Se tomaron muestras de los ingredientes de la RTM el primer y último día de cada período de medición. Todas las muestras fueron identificadas y congeladas a -20°C hasta su posterior análisis de composición química en laboratorio. En el laboratorio todas las muestras fueron secadas en estufa de aire forzado a 60 °C y luego fueron molidas con una malla de 1 mm en un Molino Wiley (Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, EEUU). En las muestras se analizó el contenido de MS y cenizas (AOAC, 1990; Método ID 942.05; ID 934.01 respectivamente). El contenido de materia

orgánica (**MO**) fue estimado como la diferencia entre el contenido de MS y cenizas. La concentración de nitrógeno (**N**) total se determinó con el método Kjeldahl (Método ID 984.13; AOAC, 1990) y el contenido de proteína bruta (**PB**) fue estimado como  $N \times 6,25$ . Las concentraciones de FDN con  $\alpha$ -amilasa termoestable y sulfito de sodio; Fibra Detergente Ácido (**FDA**) según (Van Soest et al., 1991) y los valores presentados no incluyen cenizas residuales.

El PV de los novillos se midió cada 12 d, obteniéndose 5 registros de PV por novillo durante todo el experimento. Para cada registro los animales se pesaron individualmente 2 d consecutivos y se computó el promedio de ambas pesadas, cuando el coeficiente de variación entre ambas pesadas fue mayor al 5%, se realizó una tercera pesada. Todas las pesadas se realizaron entre 08:00 h y 10:00 h previo a suministrar la RTM, utilizando una balanza (Terko, Tk3515c, Montevideo- Uruguay).

La GMD se calculó individualmente para cada novillo como el cociente de la diferencia de PV entre dos registros de peso y la cantidad de días transcurridos entre ambos registros, utilizando la siguiente formula:  $GMD, \text{kg/d} = (\text{PV final, kg} - \text{PV inicial, kg}) / \text{número de d transcurridos}$ . La EC alimenticia se calculó como el cociente de dividir el CMS sobre la GMD de PV, promedio durante todo el experimento, utilizando la siguiente formula:  $EC = \text{CMS, kg} / GMD, \text{kg}$ .

#### 11.4. Análisis estadístico

Todos los datos se analizaron utilizando el software SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc.). Inicialmente, los datos se analizaron en busca de valores atípicos y la normalidad de los residuos se verificó utilizando procedimientos univariados (PROC UNIVARIATE). Los datos de CMS, PV, GMD y EC se analizaron utilizando el procedimiento PROC MIXED con el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + T_j + M_k + A_l + T_j \times M_k + e_{ijkl}$$

Siendo:  $Y_{ijkl}$  = la variable dependiente,  $\mu$  es la media general,  $B_i$  el efecto aleatorio del bloque ( $i = 1$  a 3),  $T_j$  el efecto fijo del tratamiento ( $j = \text{RTM+Monensina, RTM+Anavrin o RTM+Anavrin+Monensina}$ ),  $M_k$  el efecto aleatorio del momento de medición ( $k = 1$  a 3 para CMS, 1 a 4 para GMD y 1 a 5 para PV),  $A_l$  es el efecto aleatorio del animal ( $l = 1$  a 30),  $T_j \times M_k$  es el efecto fijo de la interacción entre el tratamiento y el momento de medición y  $e_{ijkl}$  es el error residual. La interacción entre el animal y el momento de medición fue analizada como medidas repetidas, la estructura de covarianza utilizada fue auto regresiva (AR 1) (Littell et al., 1998). Las medias se separaron con el test de Tukey, declarándose significancias con  $P < 0,05$ .

## **12.RESULTADOS**

El PV de los animales al iniciar y finalizar el experimento y los valores medios durante todo el experimento de la GMD, el CMS y la EC en cada tratamiento se presentan en el Cuadro 2. No hubo efecto de los tratamientos para ninguna de las variables. Existió un efecto del momento de medición para el CMS y la GMD, pero no se detectó interacción entre el tratamiento y el momento de medición para estas variables. La evolución del PV y la GMD para cada tratamiento se muestran en las Figuras 2 y 3 respectivamente.

Cuadro 2. Peso vivo (PV), ganancia media diaria (GMD), consumo de MS (CMS) y eficiencia de conversión (EC) de novillos alimentados con una dieta de terminación adicionada con Anavrin®, Monensina o ambos.

Item	Tratamientos <sup>1</sup>			EEM <sup>2</sup>	Valor de p		
	RTM+ Monensina	RTM+ Anavrin	RTM+ Anavrin + Monensina		Tratamiento	Medición	Tratamiento x Medición
PV inicial (kg)	440,9	447,1	435,9	11,50	0,619	-	-
PV final (Kg)	519,8	534,7	516,3	15,26	0,332	-	-
GMD <sub>60</sub> (kg/d) <sup>3</sup>	1,3	1,5	1,4	0,10	0,396	0,026	0,564
CMS (Kg)	11.8	12.3	11.3	0,50	0,130	0,038	0,502
EC <sub>60</sub> <sup>4</sup>	9,1	8,7	8,5	0,61	0,790	-	-

<sup>1</sup>Tratamientos = RTM asignada en MS al 2.8% del PV adicionada con: 0,033 g de Monensina por cada kg de MS; “RTM+Monensina” 0,35 g de Anavrin® por cada 100 kg de PV “RTM+ANAVRIN”; o con ambos a igual dosis que los tratamientos anteriores “RTM+ANAVRIN+Monensina”.

<sup>2</sup>EEM = error estándar de la media

<sup>3</sup>GMD<sub>60</sub> = GMD, kg/d = (PV final, kg – PV inicial, kg) / 60 d

<sup>4</sup>EC<sub>60</sub> = CMS, kg / GMD, kg

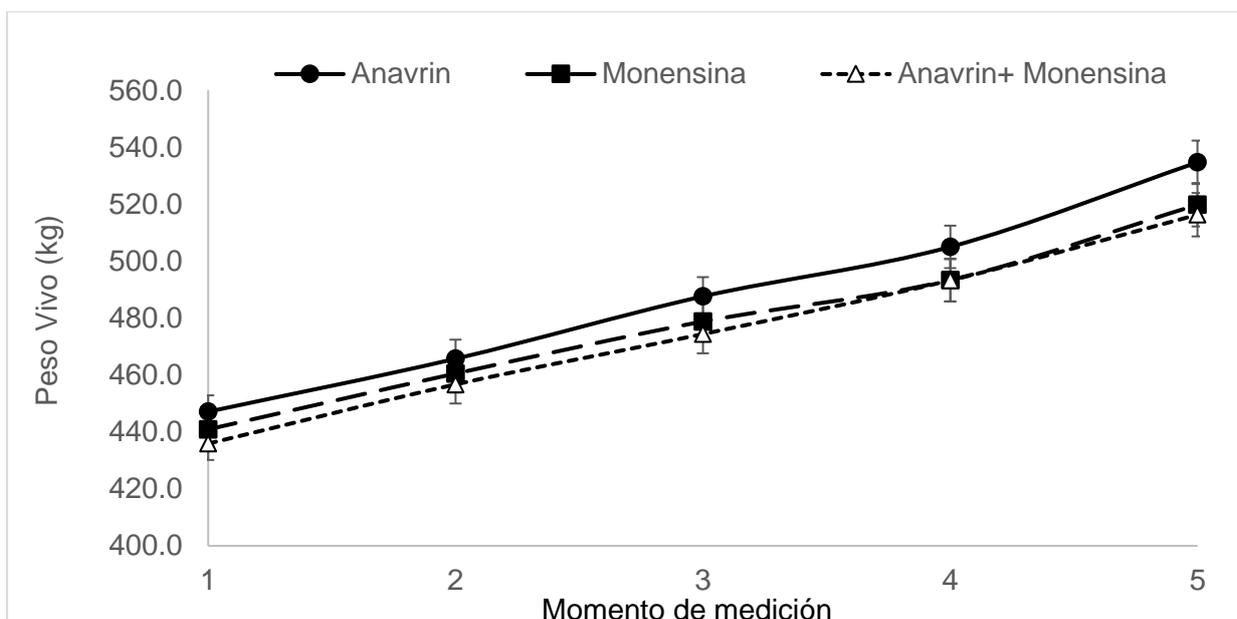


Figura 2. Evolución del peso vivo (PV) de novillos alimentados con una dieta de terminación adicionada con Anavrin®, Monensina o ambos.

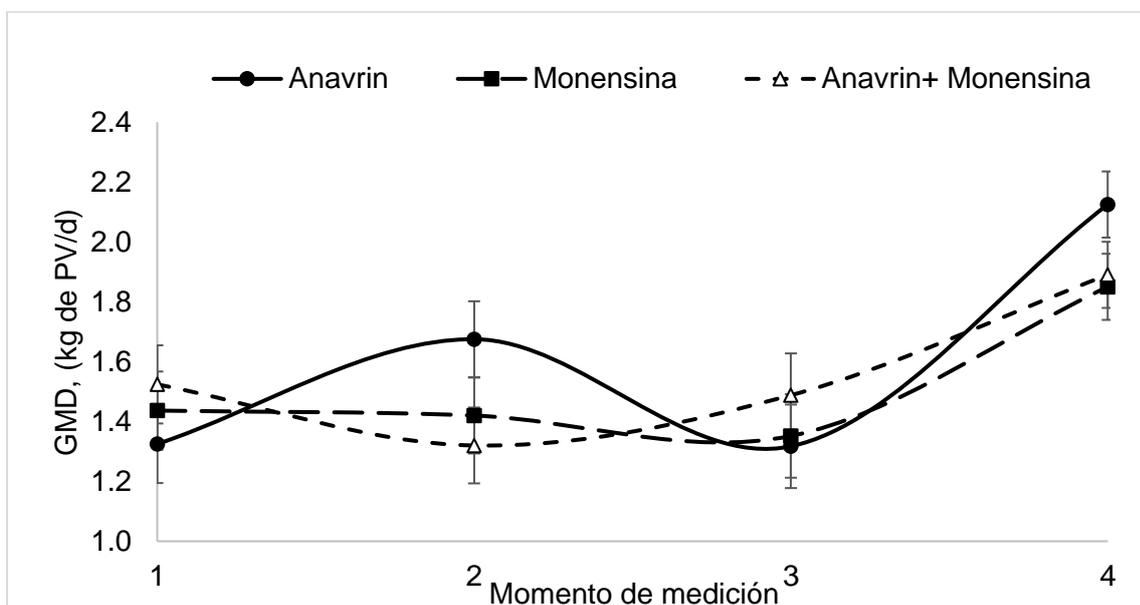


Figura 3. Evolución de la ganancia media diaria (GMD) de novillos alimentados con una dieta de terminación adicionada con Anavrin®, Monensina o ambos.

### 13. DISCUSIÓN

La utilización generalizada de Monensina en dietas de terminación, con efectos comprobados sobre el CMS, la GMD y la EC de los animales, justifican su uso como tratamiento control en este experimento. El efecto más consistente al suministrar Monensina sobre la performance productiva de novillos en terminación es la reducción del CMS, a la dosis utilizada en este experimento (0,033 g/kg de MS) se ha reportado una reducción del 10 % en el CMS respecto a un control sin aditivos (National Research Council, NRC, 2016). En nuestro experimento el CMS fue similar para los tres tratamientos, con valores de 24,6, 25,1 y 23,7 g de CMS/kg de PV para RTM+Monensina, RTM+ANAVRIN, y RTM+ANAVRIN+Monensina, respectivamente. Estos valores concuerdan con el CMS promedio ( $27,4 \pm 9,2$  g de MS/kg de PV) presentado por Nozière, Glasser y Sauvant, (2010) para bovinos alimentados con dietas altas en concentrados ( $47,0 \pm 22,7$  de concentrado en %MS). Debido al diseño, el PV inicial fue similar para los tres tratamientos y como estos no afectaron la GMD<sub>60</sub> promedio para los 60 d, lógicamente el PV final tampoco difirió entre los tratamientos (Cuadro 2). Las GMD<sub>60</sub> halladas para los tres tratamientos estuvieron acorde a la buscada con la formulación de la RTM suministrada, y concuerdan con el valor de 1,4 kg de GMD reportado por Pinto y Millen, (2018) para novillos en terminación alimentados con dietas conteniendo 20% de forraje en MS (variando entre el 6 % y el 38 %) y 2,1 Mcal de EM/kg MS, en sistemas comerciales.

Como se mencionó en el capítulo de revisión bibliográfica, a dosis similares a la utilizada en este experimento, la Monensina aumento 6.4% la EC y 2,5% la GMD comparado con los animales consumiendo una dieta control sin aditivos (Duffield et al., 2012). Que en nuestro experimento los tratamientos no hayan afectado la GMD y la EC es consistente con el similar CMS, y que no modificaran la concentración total de AGVs, ni el perfil de fermentación ruminal de los animales (datos presentados como parte de otra Tesis, Casariego, Castro y Fitipaldi, 2022). Para los tres tratamientos las mayores GMD se observaron en el cuarto registro (Figura 3), posiblemente asociado a un aumento del CMS y la cantidad de RTM ofrecida, ya que era proporcional al PV de los novillos. Aunque no se detectó una interacción entre el tratamiento y el momento de medición para la GMD, la evolución de la GMD parecería haber sido diferente para el tratamiento RTM+Anavrin, disminuyendo en el tercer registro y asemejándose a una función cubica (polinómica de tercer grado), mientras que para los otros dos tratamientos se asemeja a una parábola ascendente (polinómica de segundo grado) (Figura 3).

Nuestros resultados concuerdan con los reportados por Geraci et al., (2012), quienes no encontraron diferencias en la GMD o la EC al comparar la adición de un fitogénico (cinamaldehído, eugenol y oleoresina de pimentón [*capsicum annum*]) o de Monensina, en una RTM (20% de forraje, 10% FDA y 14% PC) para novillos Angus ( $141 \pm 6,6$  kg de PV inicial). El tratamiento RTM+ANAVRIN presento valores de GMD menores y de EC mayores que los reportados por Grossi et al., (2021) adicionando Anavrin® a la dieta de novillos Charolais ( $416 \pm 36$  kg de PV inicial y  $720 \pm 41$  kg de PV final) durante 182 d, quienes informaron una GMD de 1,67 kg/d y una EC de 6,37 Kg de CMS/kg de PV ganado, promedio para todo el período. Probablemente debido al mayor potencial de crecimiento de los novillos Charolais lograron mayores GMD que las razas británicas utilizadas en nuestro experimento. La mejor EC de los novillos Charolais puede relacionarse con una menor proporción de tejido adiposo en los kg

de PV ganados, en animales fisiológicamente más jóvenes al iniciar el período de engorde y de mayor PV final.

El número de animales utilizados por tratamiento y la heterogeneidad (de peso, edad e historia previa) puede haber influido en que no se detectaran diferencias para la GMD y la EC. En cuanto a los pesos teníamos 2 novillos de 250 a 300 kg, 13 de 300 a 350 kg, 13 de 350 a 400 kg y 2 de 400 a 450 kg, el rango de edad oscilaba entre los 18 a 34 meses. Debido a que ambos parámetros presentan una importante variabilidad intrínseca, es posible que aumentando el número de animales por tratamientos mejore la probabilidad de detectar diferencias. Igualmente, considerando las medias y el error estándar de la media reportados en el Cuadro 1, utilizando la sentencia “power test” del paquete estadístico de SAS, el N de 10 novillos por tratamiento, es un número de repeticiones adecuado para detectar la diferencia de 0,2 kg de GMD observada entre los tratamientos. Por otro lado, para los 30 novillos el promedio y desvío estándar de edad ( $34 \pm 7$  meses) y PV ( $441 \pm 33$  kg) implicó diferencias en la madurez fisiológica y la composición tisular de la ganancia de peso. Si bien el bloqueo distribuyó esta variabilidad de forma equitativa entre los tratamientos, posiblemente un lote de animales más homogéneos podría mejorar la probabilidad de detectar diferencias entre los tratamientos. Por último un factor no cuantificado de variación es la historia previa nutricional de cada animal, por provenir de más de un origen. En este sentido, se ha reportado que la alimentación durante la cría y recría de los animales influye en la GMD y la EC obtenida durante la fase de terminación (Baldi, Banchemo, La Manna, Fernández y Pérez, 2010; Aguerre, 2013).

#### **14. CONCLUSIONES**

Sustituir la Monensina por Anavrin® no afectó el CMS, la GMD, ni la EC de novillos en terminación alimentados con una RTM asignada al 2,8% del PV. La adición simultánea de Anavrin® y Monensina fue similar a la respuesta obtenida con su adición en forma individual. Utilizar estos tratamientos combinados podría ser el paso previo como acostumbramiento a los animales antes de quitar totalmente la Monensina y utilizar aditivos fitogénicos como por ejemplo Anavrin®.

Es relevante destacar que en este experimento se trabajó y se obtuvieron datos in vivo de resultados de aditivos alternativos a la monensina, ya que la mayoría de los datos que existen fueron obtenidos de experimentos que se realizaron in vitro.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, MR (1993). Efecto de promotores de crecimiento en el engorde de toretes. Tesis de Ingeniería Agronómica. Tegucigalpa, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Aguerre Antía, M. (2013). Manejo nutricional para el éxito de la salud animal en los corrales de engorde. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornada Uruguay Buiatría* (Vol. XLI, pp. 12-18). Paysandú: CMVP.
- Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Official Methods of Analysis* (15<sup>a</sup> ed.). Arlington: AOAC.
- Atzori, A.S., Porcu, M.A., Fulghesu, F., Ledda, A., Losa, R., Landoni P., y Correddu, F. (2022). *Reduction of enteric methane emissions in sheep with premix supplementation of natural bioactive compounds (Anavrin) tested in vivo with ventilated hoods*. Catania: FAO-CIHEAM 2022. Recuperado de [4](#)
- Baldi, F., Banchemo, G., La Manna, A., Fernández, E., y Pérez, E. (2010). Efecto del manejo nutricional post-destete y durante el período de terminación sobre las características de crecimiento y eficiencia de conversión en sistemas de recría y engorde intensivo. Producción de Carne desde una Invernada de Precisión. *INIA. Serie Actividades de Difusión*, (609), 1-13.
- Bernerri, M.J., Miranda, A.O., Frances, O., y Mastrantonio, G.E. (2016) Detección espectrofotométrica de sobredosis de monensina en piensos para bovinos. *Revista veterinaria*, 27(1), 32-35.
- Betancourt, L.L., Ariza, N.C., Díaz, G.G., Afanador, T.G. 2012. Efecto de diferentes niveles de aceites esenciales de *Lippia origanoides kunth* en pollos de engorde. *MVZ Córdoba*. 17:3033-3040. DOI: 10.21897/rmvz.238.
- Botsoglou, N.A., Gringoropoulou, S.H., Botsoglou, E., Govaris, A.G., Papageorgiou, G. 2003. The effects of dietary oregano essential oil and atocopheryl acetate on lipid oxidation in raw and cooked turkey during refrigerated storage. *Meat Science*. 65:1193-1200. DOI: 10.1016/S0309-1740(03)00029-9.
- Cajarville, Cecilia (2011). La nutrición en los sistemas intensivos de producción de carne bovina. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed). *Jornadas Uruguayas de Buiatría*. (Vol. XXXIX, pp. 62-67). Paysandú: Centro Médico Veterinario de Paysandú.
- Cantalapiedra-Hijar, G. M., Abo-Ismael, G. E., Carstens, L. L., Guan, R., Hegarty, D. A., Kenny, M. ... Ortigues-Marty, I. (2018). Review: Biological determinants of between-animal variation in feed efficiency of growing beef cattle. *Animal*, 12(S2), s321-s335. doi:10.1017/S1751731118001489

- Callaway, T.R., Edrington, T.S., Rychlik, J.L., Genovese, K.J., Poole, T.L., Jung, Y.S., y Nisbet, D. J. (2003). Ionophores: their use as ruminant growth promotants and impact on food safety. *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 4, 43-51.
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P.W., Castillejos, L., y Ferret, A. (2007). Invited review: Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2580-2595. doi: 10.3168/jds.2006-644
- Casariego, L., Castro, G., y Fitipaldi, G. (2022). Efecto de Anavrin®, Monensina o ambos sobre la fermentación ruminal y la ganancia media diaria de novillos en terminación a corral. (Protocolo de tesis). Facultad de Veterinaria, UDELAR, Montevideo.
- Chaturvedi, I., Dutta, T.K., Singh, P.K., y Sharma, A. (2015). Effect of combined herbal feed additives on methane, total gas production and rumen fermentation. *Bioinformation*, 11(5), 261-266. doi: 10.6026/97320630011261
- Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Tarazona, A. M., y Barahona, R. (2013). Uso de la energía en bovinos pastoreando sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* y su relación con el desempeño animal. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 8, 70-81.
- Daning, D. R. A., Yusiati, L. M., Hanim, C., y Widyobroto, P. B. (2021). Meta-analysis of the effect of essential oil usage towards the production and milk composition of dairy cow. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733, 012105. doi:10.1088/1755-1315/733/1/012105
- Di Marco, O.N., (2006). Eficiencia de utilización del alimento en vacunos. *Revista Visión Rural*, 13, 61.
- Duffield, T.F., Merrill, J.K., y Bagg, R.N. (2012). Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. *Journal of Animal of Science*, (90), 4583-4592. doi:10.2527/jas2011-5018
- Duffield, T.F., Rabiee, A.R., y Lean, I.J. (2008). Meta-analysis of the impact of monensin in lactating dairy cattle. Part 1. Metabolic effects. *Journal of Dairy Science*, 91(4), 1334-1346. doi: 10.3168/jds.2007-0607
- Frutos, P., Hervás, G., Giráldez, F.J., y Mantecón, A.R. (2004). Tannins and ruminant nutrition. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(2), 191-202. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/239602801>
- Galicia-Jiménez, M.M., Sandoval-Castro, C., Rojas-Herrera, R., y Magaña-Sevilla, H. (2011). Quimiotaxis bacteriana y flavonoides: perspectivas para el uso de probióticos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), 891-900. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000300002&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000300002&lng=es)

- Geraci, J.I., Garcarena, A.D., Gagliostro, G.A., Beauchemin, K.A., y Colombato, D. (2012). Plant extracts containing cinnamaldehyde, eugenol and capsicum oleoresin added to feedlot cattle diets: Ruminal environment, short term intake pattern and animal performance. *Animal Feed Science and Technology*, 176, 123-130. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840112002489>
- Griffin, S.G., Wyllie, S.G, Markham, J.L., Leach, D.N. 1999. The role of structure and molecular properties of terpenoids in determining their antimicrobial activity. *Flavour and Fragrance Journal*. 14:322-332. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1026(199909/10)14:5%3C322::AID-FFJ837%3E3.0.CO;2-4.
- Grossi, S., Trevisan, M., Compiani, R., y Sgoifo Rossi, C.A. (2021). Nuovi orientamenti nella gestione nutrizionale, Meno metano aiutando il lavoro del rumine. *Informatore Zootecnico*, (2), 44-47.
- International Organization for Standardization. (2021). Aromatic natural raw materials – Vacabulary, Matières premières aromatiques naturelles – vocabulaire (ISO 9235:2021). Recuperado de <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/d010fc13-3298-4de5-8dec-82712d07ab9a/en-iso-9235-2021>
- Kenny, D.A., Fitzsimons, S., Waters, S., y McGee, M. (2018). The Animal Consortium. “Invited review: Improving feed efficiency of beef cattle – the current state of the art and future challenges. *Animal*, 12(9), 1815-1826. doi:10.1017/S1751731118000976
- Kholif, A. E., Anele, U., Patra, A. K., y Varadyova, Z. (Eds.). (2021). *Frontiers in veterinary science. The use of phytogetic feed additives to enhance productivity and health in ruminants*. Lausanne: Frontiers Media SA. doi: 10.3389/978-2-88966-971-4
- Kholif, K.E., y Olafadehan, O.A. (2021). Essential oils and phytogetic feed additives in ruminant diet: chemistry, ruminal microbiota and fermentation, feed utilization and productive performance. *Phytochemistry Reviews*, 20, 1087-1108. doi: 10.1007/s11101-021-09739-3
- Littell, R.C., Henry, P.R., y Ammerman, C.B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, 76(4), 1216-1231. doi: 10.2527/1998.7641216x
- Makkar, H. (2003). Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effect of feeding tannin-rich feeds. *Small Ruminant Research*, 49(3), 241-256. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/228920130>
- Martínez-Flórez, S., González-gallego, J., Culebras, J.M., y Tuñón, M.J. (2002) Revisión: Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*, 17(6), 271-278.

- Miller, M. B., y Bassler, B. L. (2001). Quorum Sensing in Bacteria. *Annual Review of Microbiology*, 55(1), 165-199. doi: 10.1146/annurev.micro.55.1.165
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2013). *Anuario OPYPA 2013*. Montevideo: Opypa. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2013>
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. (2014). Resolución S/N/014. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/institucional/normativa/resolucion-sn014-del-mgap>
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2021). *Cuota 481*. Montevideo: DIEA. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2021>
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (2022). *Anuario OPYPA 2022*. Montevideo: Opypa. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2022/anuario-opypa-2022>
- Molino, S., Casanova, N.A., Rufian Henares, J.A., y Fernandez Miyakawa, M.E. (2019). Natural Tannin Wood Extracts as a Potential Food Ingredient in the Food Industry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2836-2848. doi: 10.1021/acs.jafc.9b00590
- Nagaraja, T.G., 1995. Biotechnology in animal feeds and animal feeding. VCH Publishers Inc., N.Y., USA.
- National Research Council. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition*. Washington: The National Academies Press. doi: 10.17226/19014
- Nealson, K.H., Platt, T., y Hastings, J.W. (1970). Cellular control of the synthesis and activity of the bacterial luminescent system. *Journal of Bacteriology*, 104(1), 313-322. doi: 10.1128/jb.104.1.313-322.1970
- North, M.K, Zotte, A.D., y Hoffman, L.C. (2019). The use of dietary flavonoids in meat production: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 257, 114-291. 10.1016/j.anifeedsci.2019.114291
- Nozière, P., Glasser, F., y Sauvant, D. (2011). In vivo production and molar percentages of volatile fatty acids in the rumen: a quantitative review by an empirical approach. *Animal*, 5 (3), 403-414. doi:10.1017/S1751731110002016
- Odongo, N. E., Bagg, R., Vessie, G., Dick, P., Or-Rashid, M. M., Hook, S. E., ... McBride, B. W. (2007). Long-term effects of feeding monensin on methane

- production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90(4), 1781-1788. doi:10.3168/jds.2006-708
- Olumeyan, D.B., Nagaraja, T.G., Miller, G.W., Frey, R.A. and Boyer, J.E., 1986. Rumen microbial changes in cattle fed diets with or without salinomycin. *App. Environ. Microbiol.*, Feb. 1986:340-345
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Carne. En *Perspectivas Agrícolas 2021-2030*. París: OECD.
- Pinto, A.C.J., y Millen, D.D. (2018). Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: the 2016 Brazilian survey. *Canadian Journal of Animal Science*, 99, 392-407. doi: 10.1139/cjas-2018-0031
- Pombo Ospina, L.M., Matulevich Peláez, J.A., Borrego Muñoz, P., Castrillón Cardona W.F., y Barajas Villamizar, L. (2016). Composición química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de *Pelargonium odoratissimum* (L) L'Hér (Geraniaceae). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(1), 74-83. doi: <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1856>
- Polizel, D.M., Storti Martins, A., Arantes Miszura, A., De Castro Ferraz Júnior M.V., Vasques Bertoloni, A., Bagio Oliveira, G., ... Vaz Pires A. (2020). Low doses of monensin for lambs fed diets containing high level of ground flint corn. *Scientia Agricola*, 78(4), e20190263. doi: 10.1590/1678-992X-2019-0263
- Pordomingo, A. J. (2013). *Feedlot: alimentación, diseño y manejo*. Balcarce: Universidad Nacional de La Pampa. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_feedlot\\_2013.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_feedlot_2013.pdf).
- Pravia, M. I., Lema, M., Navajas, E. A., y Aguilar, I. (2014). Mejoramiento genético en eficiencia de conversión de alimento y características de canal: oportunidades a través del uso de la genómica. En *V Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal* (p. 3). Montevideo: AUPA.
- Robinson, T.P., Thornton P.K., Franceschini, G., Kruska, R.L., Chiozza, F., Notenbaert, A., ... See, L. (2011). *Global livestock production systems*. Roma: FAO-ILRI. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10568/10537>
- Scharenberg, A., Arrigo, Y., Gutzwiller, A., Wyss, U., Hess, H.D., Kreuzer, M., y Dohme, F. (2007). Effect of feeding dehydrated and ensiled tanniniferous sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on nitrogen and mineral digestion and metabolism of lambs. *Archives of Animal Nutrition*, 61(5), 390-405. doi: 10.1080/17450390701565081
- Seré, C., y Steinfeld, H. (1996). *World Livestock Production System*. Roma: FAO.
- Singh, J., y Gaikwad, D.S. (2020). Phytogetic Feed Additives in Animal Nutrition. En J. Singh, y A. Yadav (Eds.), *Natural bioactive products in sustainable agriculture* (pp. 273-289). Singapur: Springer. doi: 10.1007/978-981-15-3024-1\_13

- Steiner, T., y Syed, B. (2014). Phytogetic feed additives in animal nutrition. En A. Máthe (Ed.), *Medicinal and aromatic plants of the world* (pp. 403-423). Dordrecht: Springer. DOI 10.1007/978-94-017-9810-5\_20
- Tedeschi, L.O., Muir, J.P., Naumann, H.D., Norris, A.B., Ramírez-Restrepo, C.A., y Mertens-Talcott, S.U. (2021). Nutritional Aspects of ecologically relevant phytochemicals in ruminant production. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 628445. doi: 10.3389/fvets.2021.628445.
- Teixeira, D.A., Cappellozza, B.I., Fernandes, J.R., Nascimento, K.S., Bonfim, L.E.L.M., Lopes, C.N., ... Richardson L.F. (2020). Effects of monensin source on in vitro rumen fermentation characteristics and performance of Bos indicus beef bulls offered a high-concentrate diet. *Translational Animal Science*, 4, 84-94. doi: 10.1093/tas/txz158
- Unión Europea. (2003, setiembre 22). Reglamento (CE) No 1831/2003: Sobre los aditivos en la alimentación animal. *Diario Oficial de la Unión Europea*. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2003/268/L00029-00043.pdf>
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., y Lewis B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597. doi: 10.3168/jds. S0022-0302(91)78551-2