

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DEL USO DE EXTRACTO DE LEVADURAS O
ACEITES ESENCIALES EN SUSTITUCIÓN DE LA
MONENSINA EN DIETAS DE NOVILLOS EN ENGORDE
SOBRE LA PERFORMANCE A CORRAL Y A LA
FAENA**

por

**Lucas FERRES LAGORIO
Francisco PELUFO DE CASTRO
Miguel Maria URIARTE RODRIGUEZ**

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Virginia Beretta

Álvaro Simeone

Tribunal:

Virginia Beretta

Stefania Pancini

Álvaro Simeone

Fecha: 14/09/2023

Estudiantes:

Lucas Ferres Lagorio

Francisco Pelufo de Castro

Miguel Uriarte Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

A nuestros tutores Virginia Beretta y Álvaro Simeone, por su vocación y su constante dedicación para guiarnos en este trabajo. La experiencia vivida al realizar este trabajo sin lugar a duda no fue únicamente académica, sino que también contribuyó al crecimiento personal de cada uno de nosotros.

A Natalia Zabalveytia y Victoria Burjel por el acompañamiento constante durante el desarrollo del trabajo práctico.

A nuestros compañeros que, como nosotros, realizaron su trabajo final en la UPIC durante el invierno de 2022, que siempre nos brindaron su apoyo. Y que gracias a ellos y su compañía fue una experiencia única.

A los funcionarios de la EEMAC por su ayuda en el día a día.

Finalmente, un cálido agradecimiento a nuestros familiares y amigos que nos acompañaron y apoyaron de forma incondicional a lo largo de estos años de carrera.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. IMPORTANCIA DE LOS FEEDLOTS.....	11
2.2. EL USO DE ADITIVOS EN LAS DIETAS	11
2.3. MONENSINA.....	13
2.4. LEVADURAS.....	15
2.5. ACEITES ESENCIALES	20
2.6 ANTECEDENTES EN CONJUNTO.....	24
2.7 HIPÓTESIS.....	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1. LOCALIZACIÓN Y PERIODO EXPERIMENTAL.....	25
3.2. CLIMA.....	25
3.3. INFRAESTRUCTURA	25
3.4. ALIMENTOS.....	25
3.5. ANIMALES Y TRATAMIENTOS	27
3.6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	27
3.7. MANEJO SANITARIO.....	28
3.8. REGISTROS Y MEDICIONES.....	28
3.9. VARIABLES CALCULADAS.....	31
3.10. ANALISIS QUIMICOS.....	31
3.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS	34
4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA DIETA	35
4.3. PESO VIVO Y GANANCIA DIARIA	35
4.4. CONSUMO Y EFICIENCIA DE CONVERSIÓN.....	38
4.5. PATRON DE CONSUMO DE MATERIA SECA.....	41
4.6. COMPORTAMIENTO ANIMAL	42
4.7. DIGESTIBILIDAD APARENTE IN VIVO DEL ALIMENTO	43

4.8. CALIDAD DE LA CANAL Y CARNE.....	44
4.9. DISCUSIÓN GENERAL.....	46
5. CONCLUSIONES.....	48
6. BIBLIOGRAFÍA.....	49

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No.

Tabla 1. <i>Extractos de plantas utilizados en experimentos, componentes activos y microorganismos susceptibles a estos.</i>	22
Tabla 2. <i>Composición de ingredientes de la ración en base fresca.</i>	26
Tabla 3. <i>Composición de ingredientes de los núcleos utilizados.</i>	26
Tabla 4. <i>Composición química de la ración y núcleos.</i>	27
Tabla 5. <i>Efecto tipo de aditivo utilizado en raciones suministradas a novillos en terminación alimentados a corral sobre variables de crecimiento.</i>	36
Tabla 6. <i>Efecto del tipo de aditivos utilizado en la ración sobre las variables consumo de materia seca (CMS) y eficiencia de conversión (EC) en novillos en terminación.</i>	39
Tabla 7. <i>Distribución del consumo en kg en los diferentes horarios del día cada 2 horas, en novillos en terminación alimentados a corral suplementados con diferentes aditivos.</i>	42
Tabla 8. <i>Efecto de la sustitución de monensina por levadura o aceites esenciales sobre actividades de comportamiento animal (variables medidas en semana 5 y 9), de novillos en engorde alimentados a corral.</i>	42
Tabla 9. <i>Efectos de los aditivos en las variables digestibilidad de la materia seca (DMS), digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y en el consumo de materia seca digestible (CMSD).</i>	43
Tabla 10. <i>Efecto de los aditivos en las variables de la calidad de la canal y la carne.</i>	44

Figura No.

Figura 1 <i>Efecto de la monensina (MON) en el flujo de iones en Streptococcus bovis</i>	14
Figura 2 <i>Productos de hidrólisis de la pared celular de levadura y sus efectos a nivel ruminal.</i>	16
Figura 3 <i>Temperatura promedio, máxima y mínima, y precipitaciones registradas durante el periodo experimental en la EEMAC y la serie histórica 1991-2020 en Paysandú</i>	34
Figura 4 <i>Efecto de la sustitución de monensina (MON) por levaduras (LEV) o aceites esenciales (AE) sobre la evolución de peso vivo de novillos en terminación alimentados a corral con dietas concentradas.</i>	37
Figura 5 <i>Evolución del consumo de materia seca promedio semanal (%PV) por tratamiento a lo largo del experimento</i>	40

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del uso de levaduras y aceites esenciales como sustitutos de la monensina sódica en dietas de terminación sobre la performance, las características de la carcasa y calidad de carne de vacunos en engorde a corral. Se utilizaron 48 novillos, de la raza Hereford, con un peso promedio de 401 ± 25 kg al inicio del experimento.

Los animales fueron asignados al azar a 12 grupos y estos fueron sorteados a uno de los tres tratamientos. 1) Testigo (MON): alimentados *ad libitum* con una ración totalmente mezclada (RTM) + 1,5 gramos de monensina sódica al 20%; 2) Levadura (LEV): alimentados *ad libitum* con la misma RTM + 3,0 gramos de CELMANAX (compañía que lo produce), un producto comercial que combina cultivo de levadura, extracto de levadura y levadura hidrolizada; 3) Aceites esenciales (AE): alimentados *ad libitum* con igual RTM + 0,3 gramos de una fuente de AE, denominada XTRACT Ruminant (compañía); una mezcla de 9,4% eugenol (extracto de clavo de olor), 5,4% cinamaldehído (extracto de canela) y 3,5% de aceite de capsicum (extracto de ají). Cada tratamiento quedó integrado por 4 repeticiones, cada repetición integrada por 4 novillos alimentados en un mismo corral.

Las variables estudiadas durante el periodo de engorde fueron el consumo de materia seca (CMS), eficiencia de conversión (EC), ganancia media diaria (GMD) y actividad comportamental. Luego en la faena se estudiaron las variables de características de carcasa y carne. En ninguna de las variables de performance animal, como lo fue el CMS (MON: 14,09, LEV: 14,43, AE: 14,93, $P > 0,05$), EC (MON: 6,20, LEV: 6,48; AE: 6,45; $P > 0,05$), GMD (MON: 2,50, LEV: 2,24; AE: 2,41, $P > 0,05$), se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Dentro de las variables comportamentales, se observaron diferencias en la actividad de consumo (MON: 0,11; LEV: 0,14, AE: 0,16, $P < 0,05$) y rumia (MON: 0,04, LEV: 0,10, AE: 0,07, $P < 0,05$). Por último, dentro de las variables características de carcasa se obtuvieron diferencias en el espesor de grasa dorsal (MON: 15,25, LEV: 12,00, AE: 11,25, $P < 0,05$) y la luminosidad en el color del musculo (MON: 38,88, LEV: 39,03, AE: 41,15, $P < 0,05$). No se detectaron diferencias en *marbling* (MON: 203,5, LEV: 187,5, AE: 175,0, $P > 0,05$) y pH (MON: 5,51, LEV: 5,48, AE: 5,48, $P > 0,05$). Estos resultados estarían indicando que tanto las levaduras como los aceites esenciales tienen potencial para sustituir la monensina sódica como aditivo nutricional en las raciones de terminación sin afectar tanto la productividad como la calidad de la canal y carne de los animales.

Palabras Clave: vacunos, terminación, dietas concentradas, aditivos, corrales de engorde

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of using yeast or essential oils as substitutes for sodium monensin in finishing diets on the performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot cattle.

Forty-eight Hereford steers, (401 ± 25 kg) were randomly assigned to 12 groups, which were then allocated to one of the three experimental diets. 1) Control (MON): fed completely mixed ration (RTM) *ad libitum* + 1.5 grams of sodium monensin at 20%; 2) Yeast (LEV): fed with the same RTM *ad libitum* + 3.0 grams of CELMANAX (company), a commercial product combining yeast culture, yeast extract, and hydrolyzed yeast; 3) Essential Oils (AE): fed with the same RTM *ad libitum* + 0.3 grams of a source of essential oils, XTRACT Ruminant (company); composed by a mixture of 9.4% eugenol (clove extract), 5.4% cinnamaldehyde (cinnamon extract), and 3.5% capsicum oil (chili extract). Each treatment consisted of 4 repetitions, with each repetition comprising 4 steers fed in the same pen.

The variables studied during the feeding period included dry matter intake (DMI), feed conversion efficiency (FCR), average daily gain (ADG), and behavioral activity. Subsequently, variables on carcass and meat characteristic were studied after slaughter. No statistically significant differences were found among the treatment groups in any of the animal performance variables, such as DMI (MON: 14.09, LEV: 14.43, AE: 14.93, $P>0.05$), FCR (MON: 6.20, LEV: 6.48, AE: 6.45, $P>0.05$), or ADG (MON: 2.50, LEV: 2.24, AE: 2.41, $P>0.05$). Regarding behavioral variables, differences were observed in feeding activity (MON: 0.11, LEV: 0.14, AE: 0.16, $P<0.05$) and rumination (MON: 0.04, LEV: 0.10, AE: 0.07, $P<0.05$). Differences were found in backfat thickness (MON: 15.25, LEV: 12.00, AE: 11.25, $P<0.05$) and muscle color luminosity (MON: 38.88, LEV: 39.03, AE: 41.15, $P<0.05$). Nonetheless, no differences were detected in marbling (MON: 203.5, LEV: 187.5, AE: 175.0, $P>0.05$) and pH (MON: 5.51, LEV: 5.48, AE: 5.48, $P>0.05$). These results suggests that both yeast and essential oils have the potential to replace sodium monensin as a nutritional additive in finishing diets without affecting the productivity, carcass, and meat quality.

Keywords: cattle, finishing, concentrated diets, additives, feedlots

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería uruguaya en los últimos años ha sido sometida a una fuerte intensificación. Conjuntamente la producción de carne de feedlot ha ido creciendo en el país y también a nivel mundial. Su impacto sobre la cadena cárnica cada vez es más relevante. El principal destino de esta carne es para mercado externo por lo que la calidad e inocuidad del producto juegan un papel clave.

Los sistemas de producción a corral se basan en la alimentación con alimentos concentrados, que permite mejorar la eficiencia de conversión y por lo tanto el resultado económico. Esto significa que el animal desarrolla una ganancia de peso mayor por cada unidad de alimento ingerido (Di Marco, 2006). Las dietas concentradas en base a granos almidonosos tienen como contrapartida que podrían afectar el ambiente ruminal bajando el pH, disminuyendo la digestibilidad de la fibra, hasta alcanzar un cuadro acidótico.

Los aditivos son un grupo de sustancias que se adicionan al alimento con el fin de promover la calidad de los alimentos o promover el rendimiento de los animales y su salud. (Troncoso, 2015).

Uno de los aditivos más estudiados y utilizado como promotor de crecimiento es el ionóforo monensina, que tienen como objetivo la modulación de la fermentación ruminal. Estos afectan negativamente las bacterias productoras de ácido láctico, mejoran la producción de propionato (precursor de la glucosa), disminuye riesgo de acidosis, mejora la eficiencia de conversión, reduce la producción de metano, tiene un efecto inhibitorio principalmente a las bacterias gram-positivas debido a que la estructura de su pared celular es más simple que las gram-negativas (Bergen & Bates, 1984). A su vez tiene un efecto en el consumo, esto puede estar explicado ya que, la monensina tiene un efecto hipofágico asociado con un aumento de propionato ruminal (Guan et al., 2006; Ogunade et al., 2018). Este aumento de propionato en sangre a concentraciones elevadas, conducen a una mayor actividad glucogénica en el hígado, lo que reduce la actividad de consumo (Allen, 2020).

Existe la posibilidad de un problema en la comercialización de carne producida con el uso de monensina, especialmente en los mercados más exigentes. En el caso de la Unión Europea, se ha prohibido por precaución el uso de estos ionóforos en la suplementación de animales. Este hecho puede tener como consecuencia, una menor aceptación social hacia la carne producida con la utilización de este antibiótico. Esto a nivel productivo, más el costo extra de producir sin el uso de ionoforos en la dieta, ha motivado a investigar el uso de fuentes alternativas de aditivos, como lo son los aceites esenciales y las levaduras.

Resultados publicados en la literatura demuestran que estos aditivos alternativos podrían tener efectos similares a nivel ruminal que los generados por la monensina. A su vez, las levaduras y los aceites esenciales son clasificados como seguros para el consumo humano por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de EE. UU. Se ha encontrado que algunos extractos de plantas modifican la fermentación del rumen reduciendo la producción de metano y amoníaco en el rumen (Busquet et al., 2005). Las levaduras, por su parte, mejoran

la digestibilidad de la materia orgánica aumentando el pH ruminal por un equilibrio en los ácidos grasos y disminuyendo el ácido láctico (Desnoyers et al., 2009).

El hecho de que un mercado importante para Uruguay como lo es la Unión europea haya prohibido el uso de antibióticos como la monensina en la alimentación animal, sumado al escaso uso de fuentes alternativas a la monensina a nivel nacional, sugiere la necesidad de continuar investigando el uso de aditivos naturales, disponibles a nivel nacional, como sustituto de la monensina

A nivel nacional, se reportan antecedentes evaluando la viabilidad de sustituir a la monensina por aceites esenciales o productos derivados de las levaduras en dietas concentradas para terneros de destete precoz a corral, y terneros en sistema ADT, con resultados muy auspiciosos ya que no se reportan diferencias significativas entre los tratamientos, evidenciando que es factible para estas categorías sustituir la monensina por aceites esenciales o productos de levadura.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del uso de levaduras o aceites esenciales como sustitutos de la monensina sódica en dietas de terminación a corral sobre la performance y las características de la carcasa y la carne de vacunos alimentados a corral.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. IMPORTANCIA DE LOS FEEDLOTS

La intensificación del rubro ganadero en el Uruguay es principalmente consecuencia de una pérdida de competitividad de este rubro por el factor tierra y un aumento de la demanda de carne a nivel nacional y mundial. Con el avance de la agricultura en el país, el sector pecuario ha desarrollado estrategias para lograr mejores resultados productivos y económicos.

Como principal estrategia surgen los sistemas de engorde a corral que son aquellos establecimientos “que mantienen sus animales confinados en espacios reducidos, no teniendo acceso a pastoreo directo y voluntario, y utilizan una alimentación exclusivamente en base a productos formulados (balanceados, granos, núcleos minerales u otros productos), para su terminación con destino directo a faena”, según el artículo 2 del Decreto n° 178/010 (2010, p. 1146).

En general, el uso de la alimentación en base a dietas concentradas permite mejorar la eficiencia de conversión y por lo tanto el resultado económico. Esto significa que el animal desarrolla una ganancia de peso mayor por cada unidad de alimento ingerido (Di Marco, 2006).

Es importante señalar que la industria ganadera ha adoptado ciertas prácticas y programas de nutrición para reducir los efectos negativos de las dietas concentradas, como la inclusión de prebióticos y probióticos en las dietas, así como el uso de ingredientes de bajo índice glicémico.

2.2. EL USO DE ADITIVOS EN LAS DIETAS

El rumen de los animales funciona como una cámara de fermentación porque es el principal órgano encargado de fermentar y degradar el alimento ingerido. Es un ecosistema donde existen variadas relaciones bióticas y se establecen equilibrios metabólicos entre grupos de microorganismos con el huésped. Como producto de entrada tiene el alimento ingerido y como salida genera ácidos grasos volátiles (AGV), amoníaco (NH_3), metano (CH_4), nitrógeno proteico, entre otros (Hungate, 1966).

El hecho de que el rumen mantenga ciertas condiciones de anaerobiosis, temperatura y humedad hacen que sea una excelente cámara de fermentación (Russell & Hespel, 1981). Este tiene un tampón de saliva que mantiene el pH neutro y ayuda en el equilibrio de los AGV y NH_3 excedentes (Van Soest, 1994). La producción de amonio, ácido láctico, dióxido de carbono y metano durante la fermentación ruminal genera pérdidas de nitrógeno y energía evitando una acumulación de estos compuestos. Esto ha llevado a que los productores utilicen prácticas para incrementar esta fermentación, pero no siempre funciona así ya que afecta el equilibrio de la microbiota del rumen. Los desequilibrios de estos microorganismos pueden llegar a tener el efecto contrario de lo que buscaba el productor y disminuir la productividad (Weimer, 1998).

Osborne y Dehority (1989) sugirieron que es posible modificar estos equilibrios de la microbiota en el sentido que se desee a partir de ciertas estrategias

que la llaman “modulación” de la fermentación. La estrategia más conocida es el uso de aditivos con el objetivo de favorecer cierto grupo microbiano, incrementar la producción de un metabolito, estimular el consumo de alguna sustancia, mejorar la eficiencia de conversión, entre otras.

El principal desafío de los nutricionistas en los feedlots es maximizar la productividad animal utilizando dietas balanceadas y concentradas sin generar desequilibrios a nivel ruminal. La acidosis es el problema más común causado por una caída del pH ruminal, se debe a que hubo una acumulación de AGV y un desbalance en sus proporciones. Aumenta la proporción de ácido propiónico e incrementa la producción de AGV, precursores del ácido láctico. De esta manera, la población de microorganismo productores de ácido láctico sobrepasa a los microorganismos que lo utilizan. El consumo de grandes cantidades de alimentos ricos en carbohidratos altamente fermentables (azúcares y almidón) como los concentrados es el principal agente etiológico de la acidosis ruminal en los bovinos. Este puede ser por consumo accidental de dietas ricas en concentrados o durante la fase de adaptación a dietas ricas en concentrados (Nocek, 1997).

En base a esta problemática se han realizado numerosos experimentos e investigaciones con el objetivo de encontrar alternativas para la modulación de la fermentación ruminal.

Los aditivos que más se desarrollaron y se difundieron por el mundo fueron los antibióticos, especialmente la monensina. El uso de estos tuvo una respuesta positiva en la alimentación con dietas concentradas y se utilizó durante mucho tiempo (Russell & Strobel, 1989). En las últimas décadas se ha ido limitando el uso de antibióticos, especialmente los ionóforos, ya que fue muy cuestionado por generar una posible resistencia bacteriana en medicina humana y por haber sido encontrado residuos en la carne y en la leche. Esto llevó a que la Unión Europea, uno de los principales destinos de la carne uruguaya, prohibiera en el 2006 el uso de antibióticos promotores del crecimiento como la monensina (Cepero, 2005).

Como consecuencia, se han probado numerosos aditivos de origen natural con el fin de suplir el uso de los antibióticos promotores del crecimiento. Los compuestos que surgen como posibles alternativas son los probióticos, prebióticos y sin-bióticos. Los probióticos son microorganismos vivos (bacterias, hongos y levaduras) que afectan beneficiosamente al animal huésped al mejorar su balance microbiano dentro del rumen (Fuller, 1989). Un prebiótico es un ingrediente alimenticio no digerible (antibióticos, tampones ruminales, ácidos dicarboxílicos y extractos vegetales) que ayuda al huésped por una estimulación selectiva del crecimiento y de la actividad de una o varias bacterias. Por último, los sin-bióticos son combinaciones de probióticos y prebióticos (Collins & Gibson, 1999).

Existen variadas investigaciones sobre probióticos como levaduras que pueden sustituir el uso de la monensina, como también existen trabajos sobre los aceites esenciales. En la mayoría de los casos, se evaluaron individualmente y muchos usaron como testigo dietas sin monensina, por lo que no se pueden evaluar su sustitución.

2.3. MONENSINA

La monensina es el ionóforo más usado en la producción bovina, este ionóforo deriva de la fermentación de *Streptomyces cinnamomensis* (Yang et al., 2007). Su uso en la alimentación animal es recurrente a nivel mundial principalmente por lograr una mayor eficiencia en la producción. La monensina inhibe principalmente a las bacterias gram-positivas debido a que la estructura de su pared celular es más simple que las gram-negativas (Bergen & Bates, 1984). Esta sustancia lipofílica altera el funcionamiento de la bomba de sodio-potasio de la membrana plasmática ya que captura iones de sodio facilitando su difusión a través de la membrana (Santini & Di Marco, 1983, como se cita en Leites et al., 2022).

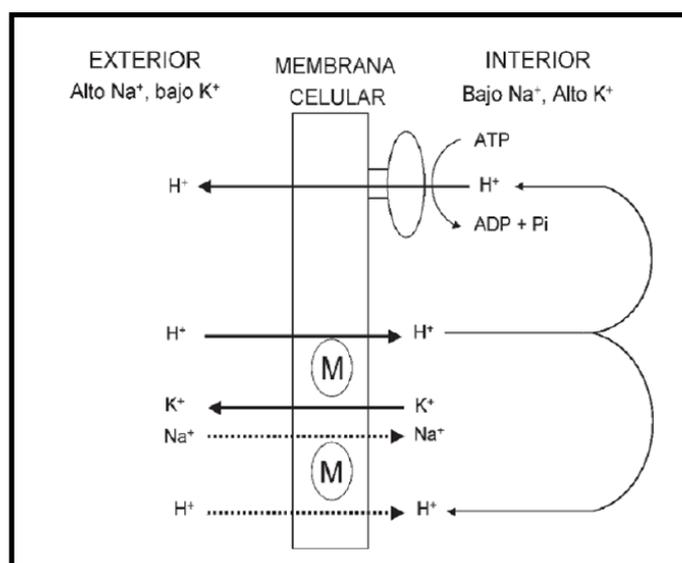
Generalmente la monensina se encuentra incluida como un aditivo en las raciones totalmente mezcladas, pero también se puede adquirir de forma individual para ser incorporada en el alimento de los animales personalmente (Alessio, 2014). La dosis recomendada varía entre 1 a 3,5 mg/kg PV como producto puro, y el nivel de toxicidad de 30 mg/kg PV (Miranda et al., 2013).

2.3.1 Mecanismo de acción

Los ionóforos son compuestos lipofílicos capaces de transportar y captar iones y cationes a través de la membrana de las bacterias gram-positivas. Como se puede observar en la figura 1, la monensina se une preferentemente a cationes monovalentes como H^+ , Na^+ y K^+ facilitando el intercambio de estos dentro y fuera de la membrana. Uno de los procesos que genera es la acumulación de H^+ y la disminución del pH. La monensina causa el ingreso de Na^+ y acidificación del medio interno lo que fuerza a remover el exceso de Na y H . La bacteria gasta energía (ATP) para lograr expulsar el exceso de hidrogeniones del interior de la célula, utilizando la energía disponible para el metabolismo y crecimiento, el cual se reduce notoriamente. De esta forma la presencia de bacterias gram positivas en relación con las gram negativas disminuye en el rumen (Russell, 1987). También reduce protozoarios y hongos.

Figura 1

Efecto de la monensina (MON) en el flujo de iones en Streptococcus bovis



Nota: Tomado de Russell (1987).

Este cambio en el ecosistema ruminal, en el cual las bacterias gram-negativas son favorecidas, ya que gracias a su membrana no son afectadas por los ionóforos, tiene efecto sobre los productos finales de la digestión en el rumen, afectando la proporción de los diferentes ácidos grasos volátiles (AGV). Específicamente se genera un aumento en la producción de propionato y una reducción en la producción de acetato y de gases como el metano (Graminha et al., s.f.). Según una revisión realizada por Ellis et al. (2012) el perfil de los AGV puede depender de la dosis de monensina, con un aumento de las proporciones de propionato y disminuciones de acetato y butirato. La dosis media de monensina en la base de datos de la literatura fue de $30,9 \pm 3,70$ mg/kg MS y osciló entre 0,0 y 88,0 mg/kg MS. Los resultados produjeron las siguientes ecuaciones: cambio proporcional en acetato (mol/100 mol) = $-0,0634 (\pm 0,0323) \times \text{monensina (mg/kg MS)}/100$ ($P = 0,068$), cambio proporcional en propionato (mol/100 mol) = $0,260 (\pm 0,0735) \times \text{monensina (mg/kg MS)}/100$ ($P = 0,003$), y cambio proporcional en butirato (mol/100 mol) = $-0,335 (\pm 0,0916) \times \text{monensina (mg/kg MS)}/100$ ($PAG = 0,002$). El cambio en los AGV totales no se relacionó significativamente con la dosis de monensina ($P = 0,93$). Los resultados presentados aquí indican que el cambio en el perfil de AGV puede depender de la dosis, con un aumento de propionato y una disminución de las proporciones de acetato y butirato (mol/100 mol). Los ionóforos pueden disminuir las pérdidas por metano en un 30% así como también las de dióxido de carbono, beneficiando al metabolismo microbiano por una menor pérdida de energía en forma de calor.

Estos cambios generados a nivel de todo el tracto digestivo se traducen en una mayor performance animal. En dietas altas en grano reduce el consumo, pero aumenta la ganancia animal, traduciéndose en una mayor eficiencia de conversión del alimento. También tiene un efecto regulador del pH ruminal. Genera un

aumento del mismo asociado a una disminución en las concentraciones de los diferentes AGV y del ácido láctico, ayudando a prevenir la acidosis (Fierros, 2019). También tiene otros efectos adicionales como la prevención del meteorismo y como coccidiostático (Riveiro et al., 2019).

2.3.2. Resultados obtenidos con la monensina como aditivo en rumiantes

Según Bergen y Bates (1984), la mejora en los resultados productivos por el uso de monensina está dada principalmente por 3 factores.

1. El incremento de la eficiencia en el uso de la energía en el metabolismo ruminal y/o animal.
2. La mejora en el metabolismo del nitrógeno a nivel ruminal y/o animal.
3. La disminución de los desórdenes metabólicos generados por el consumo de alimento concentrado, especialmente la acidosis y el meteorismo.

Desde la década de los 70 cuando la monensina fue aprobada para utilizarse como promotor del crecimiento, se han realizado una extensa cantidad de investigaciones sobre sus efectos. En una revisión realizada por Goodrich et al. (1984) para animales en confinamiento con dietas adicionadas con monensina, en 228 experimentos hubo un aumento en la ganancia media diaria (GMD) de un 1,6%, una reducción del consumo de materia seca (CMS) del 6,4% y consecuentemente un aumento en la eficiencia de conversión del alimento de 7,5%.

Recientemente Duffield et al. (2015) realizaron un análisis de 64 artículos con 169 ensayos con resultados de bovinos en terminación y crecimiento con el agregado de monensina en dieta. En este trabajo los resultados obtenidos evidenciaron una disminución significativa del CMS, y un aumento tanto de la GMD como de la eficiencia de conversión. Específicamente muestran que con una concentración promedio de monensina de 28,1 mg/kg MS los resultados fueron de un aumento del 6,4% en la eficiencia de conversión del alimento, 3% de disminución en el consumo de materia seca, y un 2,5% de aumento en la ganancia media diaria. Sin embargo, la composición de la dieta tuvo un efecto en los resultados obtenidos; cuando se incluyó silo de maíz como fuente de fibra disminuyó el consumo de materia seca y por ende mejoró la eficiencia de conversión en comparación con dietas sin ensilaje de maíz como fuente de fibra. Por otro lado, evaluando el efecto de la dosis de inclusión de monensina (rango de dosis de 3 a 98 mg/kg MS) en los distintos tratamientos, se observó una relación lineal y positiva al aumento de la dosis y la mejora en la eficiencia de conversión.

2.4. LEVADURAS

Dentro de las alternativas al uso de antibióticos como promotores del crecimiento se encuentran los aditivos naturales, como los ácidos orgánicos, enzimas, aceites esenciales, probióticos y prebióticos. Las levaduras son una de las alternativas utilizadas como probióticos en la nutrición animal, siendo *Saccharomyces cerevisiae* la más estudiada y utilizada en las dietas de rumiantes. La incorporación de estos microorganismos vivos en la dieta beneficia a los animales mejorando el equilibrio microbiano dentro del tracto digestivo (McDonald et al., 2006).

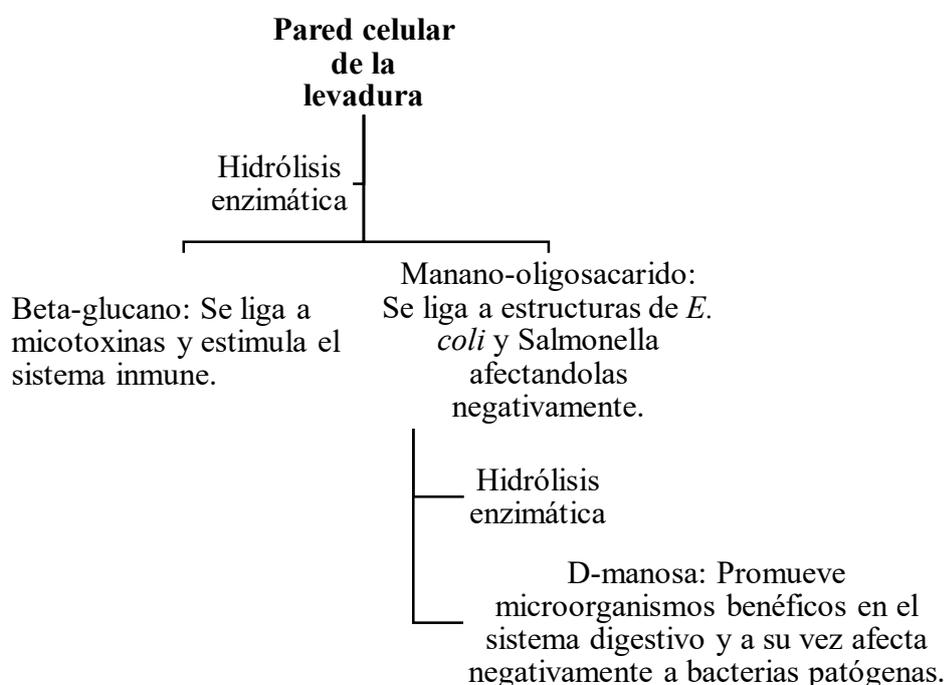
Las levaduras vivas son un subproducto de la producción de alcohol que a su vez constituye una valiosa fuente de proteínas y vitaminas para la alimentación animal (Suárez-Machín & Guevara-Rodríguez, 2017).

Existen tres maneras de comercializar las levaduras: levadura viva desecada, levadura activada e hidrolizada y levadura inactivada. Comenzando por la levadura viva desecada, en esta se busca una concentración de células vivas lo más elevada posible, estos cultivos de levaduras aportan enzimas y otros metabolitos que son responsables de los efectos positivos en el animal (Suárez-Machín & Guevara-Rodríguez, 2017). Este tipo de levaduras actúan dentro del rumen del animal transformando los carbohidratos allí presentes en azúcares simples, como la glucosa, las cuales se usan en varios procesos biológicos, que tienen como resultado la producción de dióxido de carbono, alcoholes, ácidos orgánicos, péptidos y aminoácidos, los cuales posteriormente son absorbidos por el animal mejorando la performance animal (Arm and Hammer Animal and Food Production, 2016).

Por otro lado, las levaduras en forma activada e hidrolizadas enzimáticamente, pasan por un proceso que busca dejar disponibles determinados compuestos de la pared celular, los cuales naturalmente estarían poco disponibles en el rumen, debido a la baja concentración de enzimas en el tracto digestivo que son necesarias para extraerlos (Figura 2).

Figura 2

Productos de hidrólisis de la pared celular de levadura y sus efectos a nivel ruminal



Nota. Adaptado de Arm and Hammer Animal and Food Production (2016).

Por último, el otro método de utilizar las levaduras en la dieta es de forma inactivada. Esto se realiza con la aplicación de calor. Este producto es fuente de vitaminas, ácidos orgánicos y proteínas. Esta forma de inclusión cuenta con una baja cantidad de células vivas por gramo de levadura y su potencial es menor, presenta otros objetivos como puede ser una mejora en la palatabilidad del alimento (García, 2004).

Un producto disponible en el mercado que utiliza una mezcla de cultivo de levadura, extracto de levadura y levadura hidrolizada, es el CelmanaxTM (Arm and Hammer Animal and Food Production, 2016). Celmanax consiste en el medio líquido utilizado para cultivar cepas de *S. cerevisiae*; por lo tanto, compuesto de paredes de células muertas, el medio de cultivo y un número indeterminado de células de levadura vivas. La pared celular de *S. cerevisiae* es hidrolizada enzimáticamente y sus metabolitos, incluidos los manano-oligosacáridos y los componentes de β -glucano, se agregan al medio líquido, que luego se seca en una máquina secadora de granos (mediante procesos patentados; Church & Dwight Co., Inc.).

2.4.1. Mecanismos de acción

Se ha estudiado en experimentos *in vitro*, que, al agregar levadura viva, *Saccharomyces cerevisiae*, al líquido ruminal, la presencia de oxígeno se ve disminuida entre 46 y 89%. Esto causa cambios a nivel de los microorganismos del rumen estimulando a que *Selenomonas ruminantium* aumenten alrededor de 30%, lo cual conduce a una mejor utilización de los alimentos, aumentando la producción de proteína microbiana y energía (Newbold et al., 1998).

A su vez, con la utilización de *S. cerevisiae*, se registraron efectos sobre las poblaciones de bacterias consumidoras de lactato, como *Megaspharera elsedenii* y *Selenomonas ruminantium*. Estas se ven estimuladas de forma selectiva, reduciendo la concentración de ácido láctico, por lo tanto, genera un incremento del pH ruminal que favorece el crecimiento de las bacterias fibrolíticas, y resulta en un incremento en la digestión de la fibra y en la producción de AGV, previniendo los descensos bruscos del pH (Carro et al., 1992; Chaucheyras-Durand & Fonty, 2001; Dawson et al., 1990; Doreau & Jouany, 1998; Lila et al., 2004). En el caso del Celmanax son compuestos que contienen ácido málico que favorece el crecimiento de *Selenomonas ruminantium*, la cual es capaz de metabolizar en el rumen el lactato hasta propionato, generando estabilidad en el pH ruminal, produciendo nutrientes que estimulan el crecimiento de la microflora ruminal (Carro & Ranilla, 2002), lo que aumenta el flujo de proteína microbiana hacia el intestino (Van Vuuren & Rochet, 2003).

Yoon y Stern (1995) plantearon un mecanismo de acción para los hongos y las levaduras mediante el cual el aumento del pH ruminal y/o la disminución de la concentración de oxígeno estimulan el aumento del crecimiento de las bacterias celulolíticas. Como consecuencia, aumenta la degradabilidad de la fibra, disminuye el llenado ruminal, y aumenta la ingestión de materia seca y la producción, sin que mejore necesariamente la eficiencia en la utilización de nutrientes.

Machado (1997) como se cita en Suárez-Machín y Guevara-Rodríguez (2017), indican que el mecanismo por el cual las levaduras vivas logran seleccionar poblaciones bacterianas es mediante un fenómeno llamado exclusión competitiva, donde bacterias patógenas se adhieren a la superficie de las levaduras, eliminando estas últimas a los microorganismos patógenos. En el caso del Celmanax este incluye Carbohidratos Funcionales Refinados TM (RFCsTM), que pueden ayudar a preparar el sistema inmunológico antes de un desafío, para que los animales puedan responder más rápidamente cuando ocurren estreses. Otros beneficios adicionales de alimentar con Celmanax incluyen la reducción de la presencia de *Escherichia coli* patógena y la prevalencia de *E. coli* productora de toxina Shiga (STEC). También se estudió el impacto en la presencia de estos patógenos (Arm and Hammer Animal and Food Production, 2016)

2.4.2. Principales resultados de la utilización de levaduras como aditivo nutricional en rumiantes.

La investigación y el estudio de las levaduras, como aditivo nutricional, se basa en como estas afectan la performance animal, por ejemplo, el consumo de materia seca, la ganancia media diaria, la concentración de ácidos grasos volátiles en rumen, la incidencia de enfermedades respiratorias y los niveles de cortisol.

Comenzando con el estudio del consumo de materia seca y la ganancia media diaria, ciertos estudios como el de Schubach et al. (2017), comparando una dieta concentrada a base de maíz más el agregado de un producto derivado de levaduras (Celmanax) a razón de 14 g/d, contra un tratamiento control sin el agregado de este aditivo, en novillos, no observaron diferencias entre tratamientos.

Ponce et al. (2012), en un experimento donde se evaluó una dieta 65% concentrado, en vaquillonas, demostraron un aumento (8,7%) en la ganancia media diaria cuando se utilizó un producto derivado de levaduras (Celmanax) a razón de 1,8 g/d como aditivo. Dicho resultado se atribuyó a un aumento en el consumo de materia seca sin afectarse la eficiencia de conversión respecto a el control. Similares resultados reportan Salinas-Chavira et al. (2017) en novillos en terminación; una mejora en la ganancia media diaria en los animales consumiendo una dieta basada en *steam flake* de maíz que contenía producto derivado de levaduras (Celmanax) como aditivo, asociado a un aumento en el consumo de materia seca no observándose variaciones en la eficiencia de conversión por la inclusión de este aditivo.

En base a lo mencionado anteriormente tanto en novillos como en vaquillonas, Arm & Hammer (2019), estudiaron la inclusión de productos de levaduras (Celmanax) como aditivo en una dieta a base de maíz con humedad alta (28%) y *steam flake* de maíz, y no encontraron diferencias en el consumo de materia seca, pero sí hubo diferencias en la ganancia media diaria; dicho aumento resultó en una mejor eficiencia de conversión por parte de los animales alimentados con la inclusión de Celmanax en la dieta.

El uso de dietas con alta proporción de concentrados los cuales generalmente son altamente fermentables genera una disminución del pH ruminal.

Esto se debe a la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) acompañado de un desequilibrio en sus proporciones, aumenta la producción de ácido propiónico y disminuye la relación acetato:propionato (Rearte, 1992 como se cita en Malvasio et al., 2013) y además a la acumulación de ácido láctico (Nocek, 1997).

Molina y Paz (2011) registraron efectos de las levaduras inactivas sobre el pH ruminal. Realizaron estudios *in vitro* donde se sometían a ambientes de acidosis y se les agregaban levaduras inactivadas en diferentes dosis, 3, 9, y 15% de la materia seca respecto al sustrato total (alimento más aditivo = 500 mg). Los resultados fueron positivos ya que demostraron que las levaduras mantenían el pH estable hasta 12 horas luego de comenzar la fermentación *in vitro*. A su vez, según Aldrovandi (2015), el aditivo de levaduras (*S. cerevisiae*) inactivadas mostró cambios moderadores sobre el pH.

Una manera por la cual las levaduras logran moderar los cambios a nivel del pH ruminal es actuando de manera preventiva mediante la competencia por glucosa que impone a las bacterias que producen ácido láctico (*Streptococcus bovis*), y también estimulando a las bacterias consumidoras de ácido láctico (*Megasphaera elsdenii*) (Denev et al., 2007).

Otro parámetro donde las levaduras, *S. cerevisiae*, tienen una gran relevancia es en los niveles de cortisol, cuando se evaluaron dos tratamientos bajo circunstancias diferentes, 30-60 días post-destete y luego de someter animales al traslado en un camión, se observaron resultados positivos en los niveles de cortisol siendo inferiores en animales que consumían una dieta donde se encontraba el agregado de levadura como aditivo nutricional frente a animales con una dieta sin este tipo de aditivo (Arm & Hammer Animal and Food Production, 2020a).

Yuan, Liang, et al. (2015) y Yuan, Mendonca et al. (2015) hallaron que las diferentes dosis de Celmanax no tuvieron un efecto sobre la producción de leche o el comportamiento de alimentación, ni sobre la puntuación de la condición corporal (CC), pero los porcentajes de proteína y grasa de la leche aumentaron para las vacas lecheras alimentadas con 30 y 60 g/d, y linealmente.

Nocek et al. (2011) realizaron un estudio donde se comparó la producción de vacas lecheras en lactancia temprana alimentadas con cultivo de levadura, levadura hidrolizada enzimáticamente (Celmanax), o sin ningún aditivo de levadura. Las vacas alimentadas con cualquier tipo de levadura tuvieron un aumento en la EC y los rendimientos de grasa y proteína en leche durante las primeras 11 semanas de lactancia. Las vacas a las que se le suministro Celmanax aumentaron la concentración de proteínas aún más que las vacas alimentadas con cultivo de levadura y el control. El peso corporal, la CC y el nitrógeno de urea en leche no se vieron afectados por el tratamiento.

Yoon y Stern (1995) evaluaron 12 estudios de lactación en lo que se adicionaba *S. cerevisiae* a la dieta de vacas lecheras. Se concluyó que el incremento del consumo de materia seca (media de 0.32 kg) explicaba el aumento en la producción de leche corregida al 4% (media de 0.58 kg). Los resultados se

observaron más pronunciados al principio de la lactación de las vacas alimentadas con raciones ricas en concentrado.

Una manera por la cual las levaduras logran moderar los cambios a nivel del pH ruminal es actuando de manera preventiva mediante la competencia por glucosa que impone a las bacterias que producen ácido láctico (*Streptococcus bovis*), y también estimulando a las bacterias consumidoras de ácido láctico (*Megasphaera elsdenii*) (Denev et al., 2007).

A modo de síntesis final, el uso de levaduras como aditivo nutricional en las dietas incrementa la concentración de ácidos grasos volátiles, disminuye la cantidad de ácido láctico y aumenta el pH ruminal. Esto genera un ambiente ruminal más estable y eficiente, lo que conlleva a una mejora en la digestibilidad de la materia orgánica y por lo general un aumento en el consumo de materia seca (Desnoyers et al., 2009).

2.5. ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales (AE) son componentes secundarios de las plantas, generalmente de naturaleza volátil (Greathead, 2003; Simon, 1990). El término esencial deriva de la palabra “esencia”, lo cual significa que se puede oler o degustar (Burt, 2004). La concentración y tipo de AE en las plantas varía según la especie y órgano de la planta principalmente.

Los AE tienen como principal función brindar protección a las plantas contra agentes estresantes ya sean bióticos o abióticos, y en algunas circunstancias atraer a los agentes para favorecer la polinización y dispersión de semillas (Wink & Schimmer, 2018).

Los aceites esenciales son incluidos como moduladores de la cinética y fermentación ruminal en las dietas, sustituyendo el efecto antimicrobiano de los antibióticos promotores del crecimiento, por lo tanto, añadir aceites esenciales en la alimentación de los bovinos mejora la performance animal, afectando positivamente la ganancia de peso y la digestibilidad de las proteínas y nutrientes (Greathead, 2003). Además, los aceites esenciales modifican la composición del producto final sin el efecto negativo que provocan los antibióticos, ya que estos últimos dejan residuos en el producto final y generan resistencia de las bacterias causantes de patologías humanas (Page, 2006).

2.5.1. Mecanismo de acción

Los aceites esenciales contienen principios activos que se clasifican en dos grupos químicos; fenilpropanoides y terpenoides (monoterpenoides y sesquiterpenoides). Estos dos grupos se originan de diferentes precursores del metabolismo primario y son sintetizados por vías metabólicas diferentes en las plantas. De estos dos grupos el más numeroso y diversificado es el terpenoide (Gershenzon & Croteau, 1991). Los aceites esenciales actúan sobre la membrana celular, gracias a que las cadenas de carbono que lo conforman son hidrofóbicas, lo cual permite la interacción con dicha membrana, almacenados en medio de las dobles capas de la pared celular, localizándose entre las cadenas de ácidos grasos, generando cambios en la distribución en la estructura de la membrana influyendo

en su expansión y fluidificación (pérdida de expansión). La pérdida de estabilidad de la membrana ocasiona la fuga de iones a través de esta, gran parte de las veces las bacterias compensan este efecto por medio de las bombas iónicas y la célula no siempre muere, pero se consume mucha energía influyendo en el crecimiento de esta. Estos cambios en las tasas de crecimiento implican en una modificación de la fermentación ruminal (Cox et al., 2001; Griffin et al., 1999).

La mayoría de los AE al igual que la monensina son lipofílicos y no es posible que puedan atravesar a las paredes de las células Gram negativas (algunos compuestos como el carvarol y el timol por distintos mecanismos pueden penetrar), esto hace posible que puedan afectar a bacterias deseables lo que aumenta la selectividad. Es posible inhibir la actividad enzimática de *Enterobacter aerogenes* (a pesar de esta ser una bacteria Gram negativo) con aceites de canela y clavo de olor (Cox et al., 2001).

Los AE han demostrado que dentro del rumen el efecto sobre la población microbiana es que modifican las proporciones de los grupos bacterianos, no el total de dicha población (Calsamiglia et al., 2007). En la Tabla 1 se detallan los componentes activos y microorganismos susceptibles a estos, para los aceites esenciales más utilizados en investigaciones de rumiantes. Estos aceites se utilizaron en varios experimentos tanto *in vivo* como *in vitro*, con resultados variables. Fueron medidos como respuesta la ganancia media diaria, el pH ruminal, el consumo de materia seca, el nivel de producción de ácidos grasos volátiles además de la producción de metano, la cual afecta la eficiencia energética de conversión de alimento. A su vez, fue evaluada la eficiencia en la utilización del nitrógeno midiendo la producción de nitrógeno amoniacal.

Tabla 1

Extractos de plantas utilizados en experimentos, componentes activos y microorganismos susceptibles a estos

Aceite esencial de	Componente activo	Microorganismos susceptibles
<i>Capsicum annum</i> (Ají)	Capsaicina	Bacterias Gram positivo y Gram negativo
<i>Cinnamomum sp.</i> (Canela)	Cinnamaldehído	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella enteritidis</i>
<i>Sizugium aromaticum</i> (Clavo de olor)	Eugenol	<i>E. coli</i> , <i>Staph. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> <i>S. enteritidis</i> , <i>C. jejuni</i>
<i>Allium sativum</i> (Ajo)	Alicina	Bacterias enteropatógenas.
<i>Anethum graveolens</i> (Eneldo)	Limoneno	Bacterias gram negativas y gram positivas.
<i>Juniperus oxycedrus</i> (Enebro)	Cadineno y pineno	<i>Aeromonas sobria</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Estafilococo aureus</i> .
<i>Maleluca alternifolia</i> (Árbol de té)	Terpeno	<i>Estafilococo aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , bacterias gram negativas y gram positivas.
<i>Origanum vulgare</i> (Orégano)	Carvarol y timol	Bacterias gram negativas y gram positivas.
<i>Pimpinella anisum</i> (Anís)	Anetol	<i>Brochothrics thermosphacta</i> .

Nota. Adaptado de Calsamiglia et al. (2007).

En un estudio en sistema de cultivo continuo, 300 mg/L de aceite de ajo redujeron las proporciones de acetato y AGV de cadena ramificada, y aumentaron las proporciones de propionato y butirato (Busquet et al., 2005). Estos cambios en el perfil de fermentación son consistentes con los observados con inhibidores de metano (Martin & Macy, 1985) y tienen el potencial de modificar beneficiosamente la fermentación microbiana del rumen. Sin embargo, el aceite de ajo es una mezcla compleja de muchos productos vegetales secundarios que incluyen alicina

(C₆H₁₀S₂O), sulfuro de dialilo (C₆H₁₀S), disulfuro de dialilo (C₆H₁₀S₂) y alil mercaptano (C₃H₆S), entre otros (Lawson, 1996), lo que dificulta dilucidar el mecanismo de acción preciso sobre la fermentación microbiana del rumen y su uso como aditivo para raciones.

2.5.2. Resultados obtenidos con los aceites esenciales como aditivo en rumiantes

Meyer et al. (2009) señalaban que los resultados sobre performance animal de sustituir monensina por aceites esenciales son escasos, pero de todas maneras muestran evidencia de que es posible la sustitución, y recomiendan la inclusión de tilosina para generar efectos significativos en la eficiencia de conversión.

Torres et al. (2021) realizaron un meta-análisis donde evaluaron los efectos de los aceites esenciales como sustitutos de la monensina en alimentos para ganado de carne, sobre la performance animal, el consumo de materia seca, características de carcasa y parámetros de la fermentación ruminal. Esto abarcó el procesamiento de datos de 10 experimentos con un total de 27 tratamientos, en los cuales se suministraron dietas altas en concentrados (70% a 90%). Se concluyó que el uso de aceites esenciales como sustituto de la monensina no tuvo efecto sobre los valores del pH ruminal, las ganancias medias diarias, la producción de metano, la eficiencia de conversión ni el peso de la carcasa, por lo tanto, no hay diferencias en cuanto a la performance. A pesar de esto, los aceites esenciales no fueron eficaces como la monensina en la protección del hígado ya que, se observó un aumento en la ocurrencia de abscesos hepáticos (que podrían causarse debido al menor pH ruminal).

Geraci et al. (2012) realizaron un experimento en terneros (141 ±6,6 kg) donde compararon una mezcla de extractos de canela y clavo de olor contra monensina, suministrado en una ración totalmente mezclada, alta en concentrado durante 84 días. No se hallaron diferencias significativas en el consumo de materia seca, el patrón de consumo, la eficiencia de conversión, ni en las características de calidad de carne evaluada (área de ojo de bife y en la deposición de grasa dorsal). A su vez, no se observaron diferencias en cuanto al pH ruminal de los tratamientos, sin embargo, si se vieron pH numéricamente menores en el tratamiento con aceites esenciales (5.55 vs 6.05).

Rodríguez-Prado et al. (2012) evaluaron el efecto de agregado de extracto de ají en el consumo de agua, materia seca y la fermentación ruminal, con el agregado de 125, 250, 500 mg/d del aditivo además del testigo sin ningún agregado en la dieta, en vaquillonas Holando, alimentadas con una dieta de 10% de fibra y 90% de concentrado. Se obtuvieron resultados donde el agregado de los aceites esenciales afectó positivamente el consumo de manera lineal, entre un 9 a 14%, el cual se vio acompañado de un aumento en el consumo de agua. Es importante remarcar la importancia de adquirir conocimiento del extracto de ají sobre el consumo ya que es útil para utilizarlo en momentos donde se quiere aumentar el consumo, como es el caso del destete precoz a corral, ya que un mayor consumo lograría ayudar a desarrollar el rumen con mayor rapidez.

Fandiño et al. (2008) también realizó un estudio con extracto de ají sobre vaquillonas Holando alimentadas con una dieta alta en concentrados con una dosis de 500 mg/d y se comparó con un tratamiento con 238mg/d de monensina. El tratamiento con monensina redujo los AGV, la concentración de acetato y aumento la de propionato. A su vez, disminuyó el nitrógeno amoniacal y aumento el pH y el consumo de materia seca en 12,1%.

2.6 ANTECEDENTES EN CONJUNTO

Se puede afirmar que, de la literatura consultada, no se han encontrado trabajos comparando los tres aditivos de manera conjunta, pero si se han reportado trabajos donde se contrasta a las levaduras o los aceites esenciales con la monensina. Existen dos antecedentes recientes, a nivel nacional, donde se evaluó la posibilidad de sustituir monensina con levaduras o aceites esenciales, en terneros de destete precoz a corral (Leites et al., 2022), y en terneros en crecimiento en su primer invierno de vida, en un sistema ADT (alimentación diferencial del ternero) (Alayón et al., 2023). En ambos estudios, lo autores reportaron que no se encontraron diferencias en CMS, EC ni GMD entre levaduras o aceites y la monensina.

2.7 HIPÓTESIS

La sustitución de la monensina sódica como aditivo por una fuente de aceites esenciales (eugenol, cinamaldehido y aceite de capsicum) o un producto derivado de levaduras (Celmanax) no afecta la performance de novillos en terminación alimentados a corral, ni las características de canal y carne.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y PERIODO EXPERIMENTAL

El trabajo experimental fue realizado en la Estación Experimental “Dr. Mario Alberto Cassinoni” (EEMAC), Facultad de Agronomía, ubicada en el departamento de Paysandú; en la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC, 32°23'19.3"S 58°02'38.3"W), comenzando el 23 de junio y finalizando con la faena de los animales el 13 de septiembre de 2022.

3.2. CLIMA

El clima durante el periodo experimental se caracterizó por tener temperaturas medias en torno de 13 grados, con un promedio de temperaturas máximas de 18 °C y 7,7°C de temperaturas mínimas de . Las lluvias acumuladas en el periodo fueron de 100 mm (información tomada de la Estación Meteorológica de la EEMAC).

3.3. INFRAESTRUCTURA

El experimento se realizó en 12 corrales con capacidad para 4 animales cada uno (25 metros de largo y 6 metros de ancho), dispuestos uno al lado del otro, separados entre sí por hilo eléctrico. Cada corral contaba con su comedero y bebedero dispuesto cada uno en un extremo. Los comederos presentaban un frente de ataque de 2 metros. A su vez, el registro del peso, la altura al anca y el manejo sanitario se realizó en las instalaciones para ganado de la UPIC, adyacente a los corrales de confinamiento.

3.4. ALIMENTOS

Se utilizó una ración totalmente mezclada difiriendo en la composición del núcleo utilizado, según incluyera: monensina (MON) al 20% a una dosis de 1,5 g/a/d; levaduras (LEV), se utilizó Celmanax (compañía), un producto comercial que combina cultivo de levadura, extracto de levadura y levadura hidrolizada, a una dosis de 3,0 g/a/d; o aceites esenciales (AE), se utilizó XTRACT Rumiant (compañía), un producto comercial que aporta una mezcla de 9,4% eugenol (extracto de clavo de olor), 5,4% cinamaldehído (extracto de canela) y 3,5% de aceite de capsicum (extracto de ají), a una dosis de 0,3 g/a/d..

El núcleo fue agregado diariamente al momento de suministrar la dieta a los animales, a razón de 0.62 kg/a/d. La composición de los ingredientes de la ración en base fresca (%BF) y de los núcleos se presentan en las Tablas 2 y 3, respectivamente. La composición química de la ración y de los núcleos se presenta en la Tabla 4.

Tabla 2*Composición de ingredientes de la ración en base fresca*

Ingrediente	Porcentaje (% BF)
Cascara de arroz entera	10,53%
Expeler de girasol	10,53%
Maíz	49,47%
Melaza	2,11%
Afrechillo de Trigo	27,37%
	100,00%

Tabla 3*Composición de ingredientes de los núcleos utilizados*

Ingrediente (%)	Monensina	Levaduras	Aceites Esenciales
Fuente de monensina (20% monensina)	0,24	0	0
Celmanax ¹ (fuente de levaduras)	0	0,48	0
Aceites esenciales ²	0	0	0,05
Urea	8,05	8,05	8,05
Insalmix feedlot	1,61	1,61	1,61
Carbonato de calcio	48,27	48,03	48,46
Sal común NaCl	7,24	7,24	7,24
Afrechillo de trigo	34,59	34,59	34,59
Total	100	100	100

Nota. ¹Celmanax: cultivo de levadura, extracto de levadura y levadura hidrolizada.

²Aceites esenciales: mezcla de 9,4% eugenol (extracto de clavo de olor), 5,4% cinamaldehído (extracto de canela) y 3,5% de aceite de capsicum (extracto de aji).

Tabla 4*Composición química de la ración y núcleos*

	RTM sin núcleo	Núcleo con Monensina	Núcleo con Levadura	Núcleo con Aceites esenciales
Materia Seca %	95,48	95,71	95,05	94,53
Cenizas %	2,6	58,41	53,86	54,35
Proteína Cruda %	11,44	22,62	25,6	28,38
aFDNmo%	32,18	36,74	40,14	35,31
FDAmo %	15,92	5,82	5,4	6,3

Nota. Fibra detergente neutro (aFDNmo); Fibra detergente ácido (FDAmo)

3.5. ANIMALES Y TRATAMIENTOS

Se utilizaron 48 novillos, de la raza Hereford pertenecientes al rodeo de la EEMAC nacidos en la primavera 2020, con un peso promedio de 401 ± 25 kg al inicio del experimento.

Los animales fueron asignados al azar a 12 grupos y estos fueron sorteados a una de las tres raciones experimentales, MON, LEV o AE. Cada tratamiento quedó integrado por 4 repeticiones, cada repetición o unidad experimental integrada por 4 novillos alimentados en un mismo corral. Los animales se identificaron con caravanas de colores dependiendo del tratamiento y con diferente numeración por repetición.

3.6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El experimento fue realizado en tres etapas: la etapa de acostumbramiento a la dieta concentrada; etapa de alimentación a corral; y la última etapa de faena y mediciones post faena.

3.6.1. Etapa de acostumbramiento a la dieta concentrada

El periodo de acostumbramiento de los animales tuvo una duración de 20 días (23/06/2022 hasta 12/07/2022), el día de inicio se pesaron los animales y se les realizó un manejo sanitario preventivo.

Durante este periodo se realizó la adaptación gradual de los animales al consumo de la dieta concentrada, para la cual se comenzó suministrando 3,5 kgMS/animal de fardo silo pack picado y 0,58 kgMS/animal de ración totalmente mezclada (RTM) logrando una relación 86/14 voluminoso/concentrado. Diariamente se fue disminuyendo la cantidad de fardo y aumentando la cantidad de RTM, finalizando con la remoción total del voluminoso y un consumo de 13,3 kgMS/animal/día. El núcleo se fue aumentando desde 0,100 kg/animal hasta 0,622 kg/animal en el sexto día y se mantuvo esta cantidad por el resto del período experimental.

3.6.2. Período experimental

Esta etapa comenzó inmediatamente luego del acostumbramiento con una pesada inicial y tuvo una duración de 63 días (desde el 12/07/2022 hasta 13/09/2022). Los animales fueron alimentados *ad libitum*, ajustando la oferta de alimento en función de rechazo registrado. Cuando este fue menor al 5% del consumo por dos días consecutivos se aumentaba la dieta un 5%. El alimento fue suministrado en dos comidas diarias (8:30 h y 15:30 h). La ración y el núcleo se pesaban, se suministraban en los comederos y después se realizaba un correcto mezclado. El suministro de agua fue *ad libitum* diariamente a todos los animales, realizando una revisión para que el suministro fuera el correcto de agua fresca y limpia.

3.6.3. Faena y mediciones post faena

Los animales fueron faenados el 14/09/2022. El día anterior fueron pesados, embarcados y transportados al frigorífico (a 20 km de distancia). Previo a la faena, en el frigorífico se pesaron los animales vacíos individualmente, siendo este el peso de faena. Las mediciones post faena se realizaron el 17/09/2022. Todas las mediciones y muestreos fueron realizados en la media res izquierda de cada animal.

3.7. MANEJO SANITARIO

Al inicio del periodo preexperimental, previo a comenzar el acostumbramiento, se dosificó con fosfato de levamisol y contra clostridiosis. Veinte días después se aplicó para la prevención de enfermedades respiratorias y un antiparasitario interno (Ricobendazole 15%).

3.8. REGISTROS Y MEDICIONES

3.8.1. Altura del anca y peso vivo

La altura del anca se midió al inicio y al final del periodo experimental con una regla centimetrada. Se registró el primer peso vivo individual cuando inició el periodo experimental (12/07/2022) y se pesó posteriormente cada 14 días. Todas las pesadas fueron realizadas previo a la primera comida del día, sin ayuno ni orden predeterminado. Se utilizó una balanza electrónica con una capacidad de 2.000 kg y una precisión de 0,5 kg. Todos los animales de los distintos tratamientos fueron mezclados previo al ingreso a las instalaciones de pesaje, para evitar un orden específico en el pesaje que afecte o favorezca a algún grupo en particular. Una vez terminada la pesada, cada animal fue devuelto a su corral correspondiente.

3.8.2. Consumo de materia seca

El consumo de materia seca por animal se midió como la diferencia entre el alimento ofrecido en el día y el rechazo al día siguiente. Cada mañana, previo a comenzar con la preparación de la primera comida del día, se pesaba el alimento rechazado que había en el comedero del día anterior. Semanalmente se tomaron muestras de los ingredientes con los que se preparaban las dietas, y de los rechazos por corral, para calcular el porcentaje de materia seca de los mismos. Los

ingredientes y rechazos fueron secados en estufa de aire forzado por 48 horas a 60 °C hasta peso constante. Las muestras secas fueron molidas en un molino de martillos (Willey-Mill) a 2 mm y combinadas en una muestra compuesta para el periodo experimental, y conservadas para posterior análisis químico.

3.8.3. Digestibilidad aparente *in vivo*

Durante las semanas 4 y 8 se tomaron muestras de heces de cada animal y del alimento ofrecido y de rechazo por cinco días consecutivos, con el fin de estimar la digestibilidad aparente *in vivo* de la MS, utilizando como marcador interno, la concentración de cenizas insolubles en ácido (Van Keulen & Young, 1977). Previo al suministro de alimento de cada mañana de esos cinco días, los animales fueron trasladados a las mangas para la extracción de las muestras de heces directamente del recto, de 0,5 a 1 kg por animal. Luego estas fueron congeladas a -18°C para conservarlas hasta su posterior procesamiento y análisis. Las heces fueron secadas en estufa de aire forzado a 60°C durante 7 días, luego molida en molino de martillos (Willey-Mill) a 2mm, y combinadas en una muestra compuesta por animal. Las muestras de alimento fueron secados en estufa de aire forzado por 48 horas a 60 °C, molidas en un molino de martillos (Willey-Mill) a 2 mm y combinadas en una muestra compuesta por corral, para cada semana.

3.8.4. Comportamiento animal y patrón de consumo

El comportamiento animal fue caracterizado a partir de la observación visual directa de los animales identificando si estaban consumiendo alimento, consumiendo agua, rumiando o descansando. El registro fue realizado sobre todos los novillos durante dos días en las semanas 5 y 9 del periodo experimental. Se tomaron registros con intervalos de 10 minutos desde las 8:00 hasta las 18:00 horas.

En las mismas semanas los dos días anteriores al comportamiento, se midió el patrón de consumo de materia seca en todas las repeticiones, registrando el alimento presente en cada comedero al momento de suministrarlo y en intervalos de 2 horas, comenzando a las 8:30 horas y finalizando alrededor de las 18:30 horas.

3.8.6. Aporte de Fibra efectiva de la dieta

El aporte de fibra efectiva de la dieta fue estimado utilizando el separador de partículas Penn State (Heinrichs & Kononoff, 2002), sobre muestras de las 3 dietas RTM, con 3 repeticiones/ dieta, tomadas el 24/10/2022.

Se procedió colocando la muestra de la RTM sobre el Penn State, luego se agito de manera homogénea, 3 veces para cada lado del cubo. Para obtener los componentes de la RTM, en las distintas bandejas con sus respectivos separadores. Una vez obtenida las partículas en cada bandeja, se pesaron, para calcular la FDNfe (Fibra detergente neutra efectiva).

Luego se calculó el factor de efectividad (fef), es la sumatoria total de partículas con un tamaño mayor a 1,18mm (Heinrichs & Kononoff, 2002), que se utilizara para calcular la FDNfe.

Ración MON:

$$(256,41/507,22) * 100 = 51\% \text{ fef}$$

$$(0,51 * 0,32) * 100 = 16\% \text{ FDNfe}$$

Ración LEV:

$$(240,28/506,18) * 100 = 47\% \text{ fef}$$

$$(0,47/0,32) * 100 = 15\% \text{ FDNfe}$$

Ración AE:

$$(232,24/509,65) * 100 = 46\% \text{ fef}$$

$$(0,46/0,32) * 100 = 15\% \text{ FDNfe}$$

3.8.7. Mediciones en faena y posta faena

3.8.7.1 Peso de la canal

Subsiguiente al proceso de degüello, desangrado y eviscerado, la res fue cortada en dos medias reses, las cuales fueron pesadas en cuarta balanza, luego del *dressing* de la misma. Este valor fue el valor tomado para estimar el peso de la canal.

3.8.7.2 Espesor de grasa subcutánea y marmoleo

El espesor de grasa subcutánea se midió a nivel de la décima costilla con una regla milimétrica. El marmoleo o *marbling* se estimó visualmente utilizando la escala de USDA (Hale et al., 2010) corroborando con las imágenes de cada uno de los grados de marmoleo. Ambas medidas fueron tomadas individualmente para cada animal.

3.8.7.3 Color del músculo

El color del músculo fue determinado mediante un colorímetro portátil Minolta CR300, a nivel del *Longissimus dorsi*. Una vez que el musculo fuera expuesto entre 30 a 40 minutos al oxígeno se tomaron tres medidas en el musculo aleatoriamente las cuales fueron promediadas, para tres parámetros. El primer parámetro "L" (Luminosidad) hace referencia al brillo el cual es proporcional a la refracción de la luz, donde los valores varían de 0 (negro) a 100 (blanco). El segundo parámetro es la "a", corresponde a tonalidades de rojo, donde los valores positivos indican color rojo y los valores negativos el color verde. El ultimo parámetro es el "b", indica el grado de amarillamiento, siendo amarillo con valor positivo, y azul con valores negativos.

3.8.7.4 Medición del pH

El pH fue medido 72 horas luego de la faena. Se midió a nivel del *L. dorsi* con un ph-metro HANNA con electrodo de penetración de carne.

3.9. VARIABLES CALCULADAS

3.9.1. Ganancia media diaria

La ganancia media diaria se calculó realizando la regresión de los pesos vivos de los animales a lo largo del tiempo (días) durante todo el periodo experimental.

3.9.2 Eficiencia de conversión

Para estimar la eficiencia de conversión se realizó el cociente entre el consumo de materia seca y la ganancia media diaria durante todo el periodo experimental.

3.9.3 Rendimiento

Se obtuvo de la relación entre el peso de canal caliente y el peso vivo a la faena, este se expresa como porcentaje.

3.10. ANALISIS QUIMICOS

Se realizó el análisis químico para la ración totalmente mezclada (RTM) y para cada uno de los núcleos. Sobre las muestras compuestas de la RTM y de los núcleos ofrecidos se determinó el contenido de cenizas, proteína cruda (Thiex et al., 2012) fibra detergente neutro con amilasa y corregida por cenizas (aFDNmo) y fibra detergente ácido corregida por cenizas (FDNmo) (Van Soest et al., 1991).

Sobre las muestras de alimento y heces tomadas durante las semanas 4 y 8 se determinó la concentración de cenizas y cenizas insolubles en ácido (Cottyn & Boucque, 1968).

3.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

El experimento fue analizado según un diseño de parcelas al azar, considerando como unidad experimental al grupo de animales por corral. Se utilizó el paquete SAS, difiriendo en el procedimiento según el tipo de variable analizada. A continuación se describen los modelos analizados.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta(X_{ij} - \bar{X}..) + \epsilon_{ij}$$

Donde,

Y_{ij} = variable de respuesta (peso vivo, eficiencia de conversión, altura al anca y variables de calidad de canal y carne).

μ = media.

α_i = efecto del i-ésimo tratamiento ($t = 3$).

β_{1x1} = coeficiente de regresión asociado a la covariable peso o altura de inicio.

ϵ_{ij} = error experimental.

La ganancia diaria de peso vivo se estudió utilizando el procedimiento MIXED, según un modelo lineal mixto de heterogeneidad de pendientes de peso

vivo en función del tiempo, teniendo en cuenta la autocorrelación entre las medias repetidas de peso vivo.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta(X_{ij} - \bar{X}..) + \epsilon_{ij} + M_k + (\alpha M)_{ik} + \delta_{ijk}$$

Donde,

Y_{ijk} : ganancia de peso (kg/día).

μ : media poblacional (ganancia promedio).

α_i : efecto relativo del i-ésimo tratamiento (t=3).

β : coeficiente de regresión para PV inicial.

X_{ij} : valor de covariable (PV inicial) en i-ésimo tratamiento y j-ésima repetición.

$\bar{X}..$: media de la covariable (PV inicial).

ϵ_{ij} : error experimental del i-ésimo tratamiento y j-ésima repetición.

M_k : efecto relativo del k-ésimo momento de medición.

$(\alpha M)_{ik}$: efecto relativo de la interacción entre los efectos del i-ésimo tratamiento y k-ésimo momento de medición.

δ_{ijk} : error experimental del i-ésimo tratamiento, j-ésima repetición y k-ésimo momento de medición.

Las variables de respuesta que están asociadas al consumo de alimento se analizaron utilizando el procedimiento MIXED en base al modelo general:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} + M_k + (\alpha M)_{ik} + \delta_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijkl} : consumo de materia seca y rechazo.

μ : media general.

α_i : efecto del i-ésimo tratamiento.

M_k : efecto de la k-ésima semana de medición (k= 1,...).

ϵ_{ij} : error experimental.

σ_{ijk} : es el error de la medida repetida en el tiempo.

Las variables de comportamiento animal fueron analizadas utilizando el procedimiento GLIMMIX de acuerdo con el siguiente modelo estadístico:

$$\ln(P/(1-P)) = \mu + \alpha_i + S_j + D_k + (\alpha S)_{ij} + (\alpha D)_{ik}$$

Donde,

P: probabilidad de ocurrencia de la actividad.

μ : media poblacional.

α_i : efecto relativo del i-ésimo tratamiento (t=3).

S_j : efecto relativo de la semana en que se realizó la medición ($j=5; j=9$).

D_k : efecto relativo del día en que se realizó la medición.

$(\alpha S)_{ij}$: efecto relativo de la interacción entre el i -ésimo tratamiento y la j -ésima semana de medición.

$(\alpha D)_{ik}$: efecto relativo de la interacción entre el i -ésimo tratamiento y el k -ésimo día de medición.

Las medias fueron comparadas mediante Tukey. Se consideraron diferencias significativas cuando P -valor fue menor a 0,05, y tendencia cuando P -valor se ubicó entre 0,05 y 0,1.

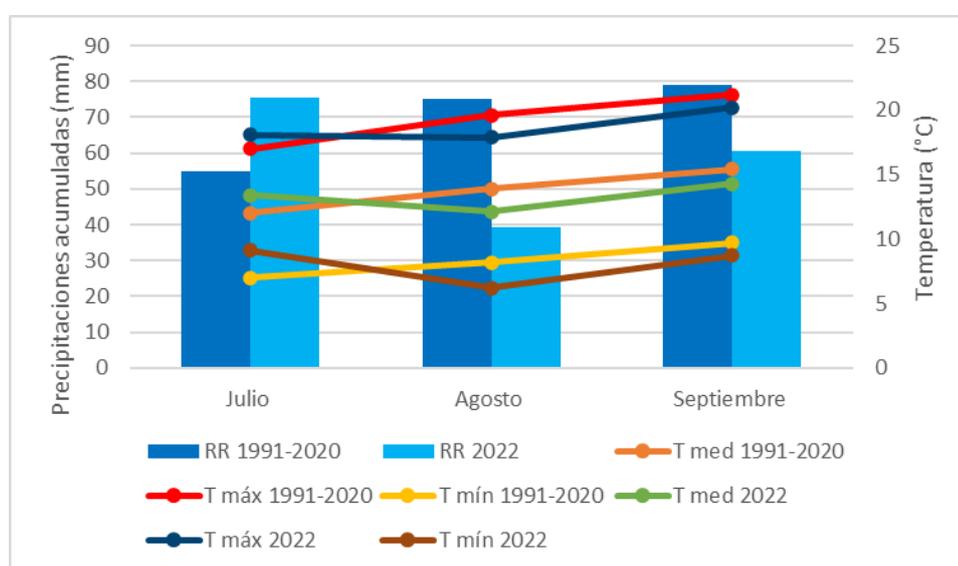
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS

En la figura 3 se presentan las precipitaciones (RR) y temperaturas medias (T med), máximas (T máx) y mínimas (T mín) a lo largo del periodo experimental en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (EEMAC) y la serie histórica 1991-2020 en la Localidad de Paysandú (Instituto Uruguayo de Meteorología [INUMET], s.f.).

Figura 3

Temperatura promedio, máxima y mínima, y precipitaciones registradas durante el periodo experimental en la EEMAC y la serie histórica 1991-2020 en Paysandú



Nota. Elaborado a partir de INUMET (s.f.) y EEMAC (2022).

Se observa que no existieron grandes variaciones entre el periodo experimental y la serie histórica 1991-2020 publicada por INUMET (s.f.), en la estación meteorológica en Paysandú. Se dio la particularidad de que el mes de agosto fue más frío y seco que julio, pero de igual modo no es relevante como para asumir que hubo efecto año.

En invierno uno de los problemas que se enfrentan los corrales de engorde son las posibles ocurrencias de excesivas precipitaciones que traen como consecuencia una acumulación de barro que puede perjudicar la performance animal. Cuando el nivel de barro supera la pezuña del animal, el consumo desciende entre un 8 y 15%, las ganancias diarias disminuyen un 14% y aumentan los requisitos de alimentación por libra de ganancia en aproximadamente un 13% (Sweeten et al., 2014). En cuanto a las precipitaciones del periodo experimental, no significaron un problema debido a que no lograron acumular suficiente cantidad de barro para afectar la performance y bienestar animal.

Según Arias et al. (2008), el ganado bovino se adapta muy bien a las temperaturas frías y no afecta sus requerimientos mientras que se mantenga por encima de -4°C por lo que se puede concluir que durante el invierno del periodo experimental los animales no sufrieron estrés térmico.

4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA DIETA

La dieta de los animales se compuso por una ración totalmente mezclada con alto porcentaje de carbohidratos y cáscara de arroz como fuente fibra efectiva corta, difiriendo en la composición del núcleo según tratamiento (Tablas 2 y 3). Analizando los componentes de la dieta, se puede observar el gran porcentaje de inclusión de grano de maíz que representa la fuente de energía, expeler de girasol como una fuente de proteína, afrechillo de trigo como una fuente de proteína y energía. Por otro lado, a la RTM, se le agrega un núcleo, que tiene urea como fuente de nitrógeno no proteico, para balancear la dieta.

Una de las características que debe cumplir una dieta para terminación a corral de animales es contener un alto porcentaje de carbohidratos para así lograr un engorde, con altas ganancias de peso y buena eficiencia de conversión (Guthrie et al., 1992; Mabuku et al., 2000; Secrist et al., 1996). Con respecto al contenido de FDN, no debe ser tan elevado (42% o más) para no detener el consumo, y el FDA de 15,92% se asocia a una alta digestibilidad esperada. La digestibilidad esperada en función del contenido de FDA, $\%DIVMS = 88.9 - (15.92 \times 0.779)$, $\%DIVMS = 76.5\%$ (Di Marco, 2011).

El alto porcentaje de concentrado genera una dieta altamente degradable. Esta degradabilidad depende de las características de cada alimento (según el contenido en hidratos de carbono no fibrosos (HCNF) y su velocidad de degradación). Los HCNF son el componente que contribuyen en mayor medida a los cambios de pH ruminal por su aporte cuantitativo y rápida degradación ruminal. El riesgo de acidosis es mayor a medida que aumenta la cantidad y la velocidad de degradación de los HCNF. El potencial de ácido génico varía entre especies vegetales, y puede modificarse física (molido, copos, gelatinización por calor) o químicamente (hidrólisis enzimática o ácida). Por ejemplo, la velocidad de degradación y la degradabilidad efectiva real de los almidones de distintos cereales es, de mayor a menor: avena > trigo > cebada > maíz > sorgo (Sniffen et al., 1992). Lo que predispone a niveles bajos de pH ruminal (Courderc, 2007), lo que ocasiona un ambiente favorable para que los aditivos expresen su rol regulador en dichos casos.

4.3. PESO VIVO Y GANANCIA DIARIA

En la tabla 5 puede observarse que, tal como se buscaba al momento de asignar los animales a los distintos tratamientos, no hubo diferencia en el peso

inicial ($P=0,655$). Tampoco se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos en el peso final ($P=0,681$) o altura al anca final ($P=0,780$).

Tabla 5

Efecto tipo de aditivo utilizado en raciones suministradas a novillos en terminación alimentados a corral sobre variables de crecimiento

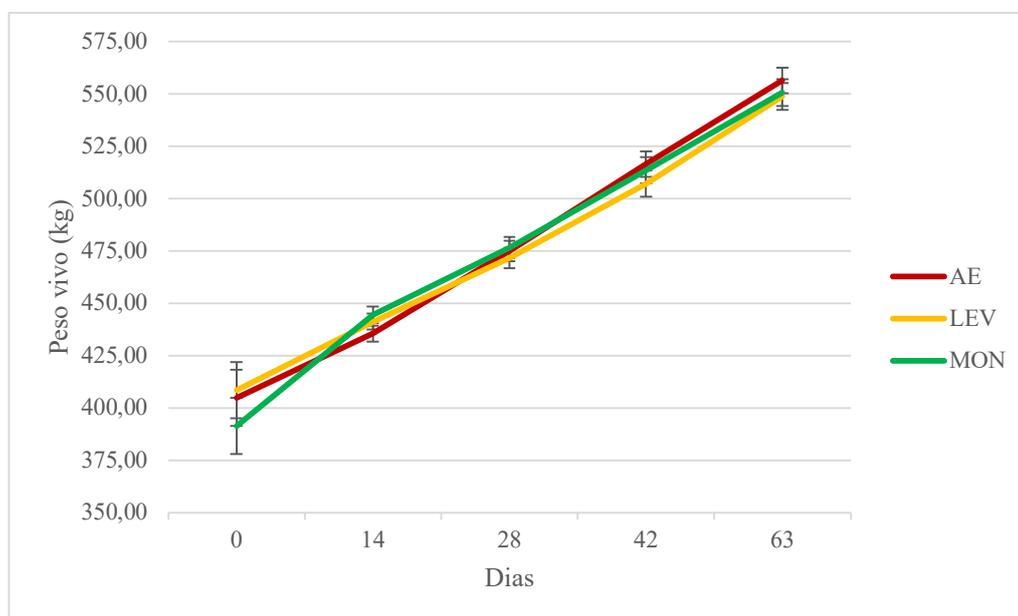
Variable	Tratamientos			P-valor
	MON	LEV	AE	
Peso vivo (kg)				
Inicial	391,4 ($\pm 13,54$)	408,53 ($\pm 13,54$)	404,83 ($\pm 13,54$)	ns
Final	550,79 ($\pm 6,43$)	548,90 ($\pm 6,32$)	556,50 ($\pm 6,25$)	ns
Altura al anca (cm)				
Inicial	131,78 ($\pm 0,82$)	132,60 ($\pm 0,82$)	131,65 ($\pm 0,82$)	ns
Final	133,89 ($\pm 0,41$)	133,61 ($\pm 0,46$)	134,10 ($\pm 0,45$)	ns
GMD (kg/día)	2,50 ($\pm 0,16$)	2,24 ($\pm 0,16$)	2,41 ($\pm 0,16$)	ns

Nota. ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; ns $P > 0,05$; AE: Aceites esenciales; LEV: Levaduras; MON: Monensina. Valor entre paréntesis refiere al error estándar. Medias en la misma línea seguidas de letras diferentes expresan diferencia significativa $P < 0,05$.

En la figura 4 se presenta la evolución del peso vivo de los animales durante el experimento.

Figura 4

Efecto de la sustitución de monensina (MON) por levaduras (LEV) o aceites esenciales (AE) sobre la evolución de peso vivo de novillos en terminación alimentados a corral con dietas concentradas



El peso vivo aumentó linealmente en el tiempo, no observándose diferencias significativas en la GMD por el efecto del suministro de los diferentes aditivos ($P=0,824$; Tabla 5).

Estos resultados presentan similitudes con los presentados por Swyers et al. (2014), quienes estudiaron el efecto de la sustitución de monensina por levadura específicamente con un cultivo microbiano de *Saccharomyces cerevisiae*, con alrededor de 250 novillos cruza Angus-Hereford; la dieta utilizada presentaba un 75% de materia seca y un 14% de proteína y un 17% de FDN; no hallaron diferencias en la GMD ni en el peso final de los animales. Otros resultados con respuesta para el caso de levadura Celmanax muestran una ventaja de un 13,2% en la GMD para el tratamiento que utilizó la levadura sobre el tratamiento control. Este trabajo fue un ensayo comercial llevado a cabo en 2657 novillos cruza Angus con una de terminación basada en maíz húmedo, donde un tratamiento fue con 0,3% (de la dieta en base seca) de Celmanax y el otro sin (Arm & Hammer, 2019). Estos resultados se diferencian de los presentes, la razón podría estar que no se especifica de la inclusión de monensina en el tratamiento control. A su vez, podría haber un posible efecto dependiendo de la dosis de Celmanax.

A su vez, Meyer et al. (2009) realizaron un estudio en 468 novillos de raza británicas y cruza con razas continentales, suplementados con 1 g/a/día de una mezcla de aceites (compuesta por: timol, eugenol, vanillina, guaiacol y limonene)

donde estudiaron la sustitución de monensina por aceites esenciales, al igual que para la sustitución con levadura en este caso no se hallaron diferencias significativas en el peso vivo final y tampoco en la GMD, resultados que concuerdan con los obtenidos en el presente trabajo.

Sin embargo, otros autores reportan algunas diferencias a las obtenidas. Los resultados expuestos por Geraci et al. (2012) y Pancosma (2018) de experimentos en los cuales se compararon los aceites esenciales contra monensina. Por un lado, Geraci et al. (2012) trabajaron con novillos de raza Angus, alimentados con dietas concentradas (17:83 voluminoso/concentrado) en la cual se suministraba 400 mg/a/d de una mezcla de aceites (compuesto por cinamaldeido, eugenol y extracto de ají picante) o 46,7 mg/kg MS de monensina sódica. El periodo experimental fue dividido en dos, por un lado, en el primer periodo (0-44 días); no se observó una diferencia significativa en GMD entre los tratamientos. Sin embargo, en el segundo periodo (45-84 días), se presentó una mayor GMD para los animales alimentados con aceites esenciales.

Por otro lado, Pancosma (2018) realizaron su experimentación con novillos de raza Angus (10:90 voluminoso/concentrado) en la cual se suministraba 800 mg/a/d de una mezcla de aceites (compuesto por cinamaldeido, eugenol y extracto de ají picante) o 46 mg/kg MS de monensina sódica. Al igual que el trabajo de Geraci et al. (2012), el periodo experimental se dividió en dos, por un lado, en el primer periodo (0-64 días) no se observó una diferencia significativa en GMD entre los tratamientos. Sin embargo, en el segundo periodo (65-162 días), a diferencia de Geraci et al. (2012) que reportaron una mayor GMD para los animales alimentados con aceites esenciales, Pancosma (2018) observó una mayor GMD para los animales alimentados con monensina. Estas contradicciones pueden estar explicadas por las diferencias en tiempo de la experimentación, dosis utilizada, o también a las condiciones ambientales ya que los experimentos fueron realizados en diferentes países.

4.4. CONSUMO Y EFICIENCIA DE CONVERSIÓN

En la tabla 6 se observan las variables CMS expresada en kg/d, CMS como porcentaje de peso vivo (%PV) y EC. Por otro lado, se puede observar el análisis estadístico donde detalla el efecto tratamiento, semana y las interacciones por semana ($T \times S$) y tratamiento por día de semana ($T \times D$) de las variables estudiadas.

Tabla 6

Efecto del tipo de aditivos utilizado en la ración sobre las variables consumo de materia seca (CMS) y eficiencia de conversión (EC) en novillos en terminación

Variable	Tipo de aditivo				Efecto - P-valor			
	MON	LEV	AE	EE	T	S	T × S	T × D (S)
CMS, kg/d	14,09	14,43	14,93	0,28	ns	**	**	ns
CMS, %PV	3,05	3,12	3,23	0,05	ns	**	**	ns
EC	6,20	6,48	6,45	0.15	ns	-	-	-

Nota. AE: Aceite esencial, LEV: Levaduras, MON: Monensina T: Tratamiento. S: Semana. D(S): días dentro de la semana, (EE): error estándar. Medias en la misma línea seguidas de letras diferentes expresan diferencia significativa $P < 0,05$.

** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; ns $P > 0,05$.

Los animales fueron alimentados *ad libitum*, esto se puede confirmar dado que el promedio de rechazo de los tratamientos a lo largo del experimento fueron 9%, 8% y 7%, para Monensina (MON), Levadura (LEV) y Aceites esenciales (AE) respectivamente. El consumo de materia seca (CMS) expresado en kg/d no presentó variaciones significativas entre tratamientos a lo largo de todo el experimento ($P=0,158$; Tabla 6; Figura 5), al igual que el CMS expresado en porcentaje de peso vivo ($P=0,104$).

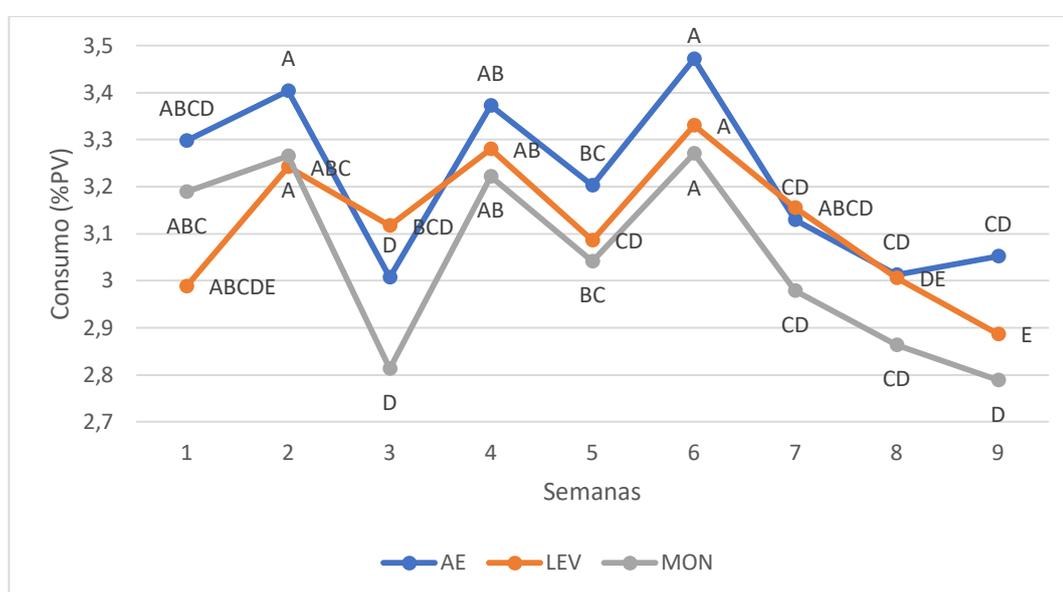
En cuanto a AE los resultados sobre su efecto en el consumo, publicados por diversas fuentes bibliográficas son variables, dependiendo de los tipos de AE utilizados y de la dosis a la cual se suministraron los mismos. Por un lado, los resultados obtenidos en el presente trabajo contrastan con los expuestos por Torres et al. (2021) en un metaanálisis, donde se analizó información de alrededor 1500 novillos, comparando dietas con monensina y aceites esenciales. Estos autores hallaron diferencias significativas en el CMS, donde la monensina presentó menores niveles de consumo. Sin embargo, otros autores no reportan diferencias en el consumo de materia seca. Geraci et al. (2012) en novillos Angus consumiendo una dieta concentrada (17:83 voluminoso/concentrado) comparando el suministro de monensina y una mezcla de aceites esenciales (compuesto por cinamaldeido, eugenol y extracto de ají picante) no detectaron diferencias significativas en el consumo de materia seca entre los tratamientos.

De igual forma cuando se comparó la monensina contra levaduras, tanto Swyers et al. (2014) como Arm & Hammer Animal and Food Production (2020b) no observaron diferencias para animales suplementados con monensina o con levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*), ratificando los resultados presentados.

La respuesta en el consumo fue dependiente de la semana de alimentación ($T \times S$; $P < 0.0001$). Este efecto se puede observar en la figura 5, el mínimo consumo ocurrió en la semana 3; esta disminución puede haber ocurrido por causa de un efecto ambiental o de manejo; el máximo consumo se dio en la semana 6 en la cual no presentaron diferencias entre los tratamientos. A continuación de esta semana el consumo disminuyó hasta el final del periodo experimental, siendo el tratamiento de AE el que terminó con el mayor consumo.

Figura 5

Evolución del consumo de materia seca promedio semanal (%PV) por tratamiento a lo largo del experimento



Por otro lado, en la tabla 6, se observa que para la eficiencia de conversión no hubo diferencias estadísticas ($P=0,461$) entre los tratamientos, lo cual fue consistente con la ausencia de diferencias significativas en el CMS y en la GMD. Estos mismos resultados coinciden y ratifican numerosos experimentos en los que se compararon los aceites esenciales contra monensina, y en los cuales no se evidenciaron diferencias significativas (Torres et al., 2021). Benchaar et al. (2006) de todas formas, encontraron respuesta a la dosis, siendo las dosis más bajas las más efectivas. A su vez, los diferentes tipos de aceites (por ejemplo, ají, canela, orégano) podrían generar diferentes efectos, dificultando la comparación.

En cuanto al tratamiento LEV se observa que no presentó diferencias significativas en la conversión del alimento frente a AE y MON. Estos resultados discrepan a los expuestos por Murillo-Ortiz et al. (2019). Dichos autores compararon animales bajo un tratamiento de levadura (10 g/a/d; *Saccharomyces cerevisiae*) y otro tratamiento con monensina (40 mg/kgMS/d), reportando una mayor eficiencia de conversión para los animales que recibieron levadura, debido a

una mayor GMD y la ausencia de diferencias en el CMS. Patterson et al. (2003) explican que *S. cerevisiae* incrementa la eficiencia microbiana y promueve una mayor producción de proteína metabolizable, lo que resulta en una mayor EC.

En termino absolutos, la eficiencia de conversión en general de los tres tratamientos se encuentra dentro de los valores esperados para el tipo de dieta y categoría animal (Simeone et al., 2017).

4.5. PATRON DE CONSUMO DE MATERIA SECA

El patrón de consumo de materia seca hace referencia a cómo se distribuyó el alimento consumido por los animales en intervalos de dos horas entre las 8:00 y las 18:00 horas, seguido del intervalo de la noche de 18 a 8 horas.

No se registró efecto de los tratamientos para el consumo diario de materia seca ($P=0,158$). Si se registró efecto de las semanas de evaluación, encontrando diferencias significativas entre la semana 5 y la 9 del experimento ($P<0,05$), esto se debe a que el consumo fue aumentando con el transcurso de la experimentación a lo largo de las semanas.

En la tabla 7 se muestra la distribución del consumo expresada en kg en las diferentes etapas del día dentro de los tratamientos. Los tres tratamientos presentaron un patrón de consumo similar, en cuanto a que en el intervalo 8-10 h y 16-18 h fueron los dos momentos de mayor consumo. En el control de las 10-12hs se muestra un gran descenso en el consumo para los tres tratamientos, pero con una diferencia ($P=0,033$) entre monensina y los otros dos tratamientos, teniendo MON un consumo menor. Luego los siguientes dos intervalos presentan un aumento leve de consumo, pero en este caso no presentando diferencias entre los tratamientos.

Tabla 7

Distribución del consumo en kg en los diferentes horarios del día cada 2 horas, en novillos en terminación alimentados a corral suplementados con diferentes aditivos

Tratamientos	Consumo de materia seca (kg/corral)					
	8-10 hs	10-12 hs	12-14 hs	14-16 hs	16-18 hs	18-8 hs
MON	9.14 (±0,97)	2.44 (±0,66)B	6.85 (±0,71)	4.22 (±0,55)	10.63 (±0,99)	26.80 (±1,46)
AE	9.10 (±0,97)	5.36 (±0,66)A	7.76 (±0,71)	4.55 (±0,55)	11.41 (±0,99)	27.64 (±1,46)
LEV	8.22 (±0,97)	4.31 (±0,66)A	6.61 (±0,71)	4.59 (±0,55)	9.65 (±0,99)	26.84 (±1,46)

Nota. AE: Aceite esencial, LEV: Levaduras, MON: Monensina *Medidas dentro de los intervalos horarios seguidas de diferente letra difieren estadísticamente ($P < 0,05$).

4.6. COMPORTAMIENTO ANIMAL

En la tabla 8 se detallan los resultados obtenidos en cuanto a variables interpretativas medidas en la semana 5 y 9 del periodo experimental, como lo es el comportamiento de los animales.

Tabla 8

Efecto de la sustitución de monensina por levadura o aceites esenciales sobre actividades de comportamiento animal (variables medidas en semana 5 y 9), de novillos en engorde alimentados a corral

Tratamientos	INICIO (Semana 5)			FINAL (Semana 9)			P-valor		
	AE	LEV	MON	AE	LEV	MON	T	S	T x S
Actividad									
Consumo	0.16 ^{AB}	0.18 ^A	0.15 ^{AB}	0.16 ^{AB}	0.14 ^{BC}	0.11 ^C	*	**	*
Rumia	0.10 ^A	0.10 ^A	0.10 ^A	0.07 ^{AB}	0.10 ^A	0.04 ^B	*	**	**
Descanso	0.70 ^{BC}	0.66 ^C	0.69 ^{BC}	0.74 ^B	0.72 ^B	0.83 ^A	**	**	**

Nota. AE: Aceites esenciales; LEV: Levaduras; MON: Monensina; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; ns $P > 0,05$; Probabilidad de encontrar un animal consumiendo, rumiando o descansando. Medias en la misma línea seguidas de diferentes letras difieren estadísticamente ($P < 0,05$).

La tabla 8 nos muestra la interacción T × S, en esta podemos observar cómo fue el comportamiento según la semana. La tabla muestra que en la semana 5 no hubo diferencias en actividad de CMS. Esto se ratifica en un experimento de Meyer

et al. (2009), en el que no se encontraron diferencias estadísticas en la actividad de consumo entre monensina y aceites esenciales. Por otro lado, en la semana 9 hay diferencias significativas en la actividad de consumo entre el tratamiento de AE y MON ($P=0.021$). Como se vio anteriormente, Meyer et al. (2009), no encontró diferencias. Sin embargo, Torres et al. (2021) encontró diferencias en la actividad de consumo entre aceites esenciales y monensina. Esto puede estar explicado ya que, la monensina tiene un efecto hipofágico asociado con un aumento de propionato ruminal (Guan et al., 2006; Ogunade et al., 2018). Este aumento de propionato en sangre a concentraciones elevadas, conducen a una mayor actividad glucogénica en el hígado, lo que reduce la actividad de consumo (Allen, 2020).

Para la semana 5 no hubo diferencia entre los tratamientos en actividad de rumia. En cambio, para la semana 9 el tiempo destinado a la rumia fue menor para MON que para el tratamiento LEV ($P<0,05$) mientras que el tratamiento AE no se diferenció de ninguno. No se puede definir que hubo selección en el comedero ya que los rechazos no fueron importantes y a la vez, no se analizó el rechazo en el Penn State. En la semana 9 el tratamiento MON mostro mayor tiempo dedicado al descanso que los demás tratamientos ($P<0,05$).

4.7. DIGESTIBILIDAD APARENTE IN VIVO DEL ALIMENTO

En la Tabla 9 se presenta los resultados sobre el efecto del tipo de aditivo sobre la DMS, DMO, CMSD.

Tabla 9

Efectos de los aditivos en las variables digestibilidad de la materia seca (DMS), digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y en el consumo de materia seca digestible (CMSD)

Variables	Tratamiento			P-valor
	AE	LEV	MON	
DMS (%)	70.33(± 1.06)	68.30(± 1.07)	69.42(± 1.09)	0,439
DMO (%)	70.33(± 1.06)	68.30(± 1.07)	69.42(± 1.09)	0,439
CMSD (kg/d)	10.65(± 0.31)	10.07(± 0.31)	9.91(± 0.32)	0,266

Nota. AE: Aceites esenciales; LEV: Levaduras; MON: Monensina;

La digestibilidad de la materia seca y de la materia orgánica no fue afectada por los diferentes aditivos utilizados. A su vez, el CMSD expresado como (kg/d) tampoco demostró diferencias estadísticas. Ratificando los resultados obtenidos por Meyer et al. (2009) quien no obtuvieron diferencias en la digestibilidad por el agregado de aceites esenciales o monensina. Benchaar et al. (2006) encontró diferencias en el consumo por la utilización de diferentes mezclas de aceites esenciales, no mostraron diferencias en la digestibilidad de esta.

Por otro lado, el uso de levaduras como aditivo nutricional mejora la digestibilidad de la materia orgánica y por lo general un aumento en el consumo de materia seca (Desnoyers et al., 2009). Los aceites esenciales son incluidos como moduladores de la cinética y fermentación ruminal en las dietas, mejora la performance animal, afectando positivamente la ganancia de peso y la digestibilidad de las proteínas y nutrientes (Greathead, 2003). Sin embargo, no se observan diferencias estadísticas en los resultados obtenidos.

Analizando dicha tabla se puede observar que no hay diferencias significativas en los resultados de digestibilidad de la materia seca, materia orgánica. Al igual que fue mencionado anteriormente por Meyer et al. (2009) y Benchaar et al. (2006).

4.8. CALIDAD DE LA CANAL Y CARNE

En la tabla 10 se presentan las principales variables de calidad de carne y la canal y sus respectivos promedios por tratamiento

Tabla 10

Efecto de los aditivos en las variables de la calidad de la canal y la carne

Variables	TRATAMIENTOS			P-valor ¹
	AE	LEV	MON	
Peso faena (kg)	521,3	523,3	518,8	ns
Peso Canal (kg)	283,8	283,0	281,8	ns
Rendimiento Canal (%)	54,5	54,0	54,5	ns
Marbling ²	175,0	187,5	203,5	ns
EGD (mm)	11,25 ^y	12,00 ^y	15,25 ^x	**
pH	5,48	5,48	5,51	ns
Color ³				
L	41,15 ^h	39,03 ⁱ	38,88 ⁱ	*
a	24,13	24,38	23,35	ns
b	10,75	10,48	9,80	ns

Nota. ¹** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; ns $P > 0,05$; EGD= espesor de grasa dorsal

x, y, z: medias seguidas de diferente letra difieren $P < 0,05$;

h, i, j: medias seguidas de diferente letra difieren $P < 0,10$ ²Escala USDA: Ligero (Select 100-199), pequeño (Choice⁻ 200-299), modesto (Choice⁰ 300-399),

moderado (Choice⁺ 400-499), ligeramente abundante (Prime⁻ 500-599),

moderadamente abundante (Prime⁰ 600-699), abundante (Prime⁺ 700-799) dorsal

³Parámetros de color: L= Luminosidad (0=negro; 100=blanco), a= índice de rojo (a<0=verde; a >0=rojo), b=índice de amarillo (b<0=azul; b>0=amarillo)

Para la mayoría de los casos no se registraron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los diferentes aditivos en las características de la calidad de la canal y la carne. Estudios previos evaluando el peso de carcasa, el rendimiento de la canal y el marbling (Araujo et al., 2019; Arm & Hammer Animal and Food Production, 2020b; Martins et al., 2018; Pancosma, 2018; Rivaroli et al., 2017; Salinas-Chavira et al., 2015; Salinas-Chavira et al., 2017; Wang et al., 2020) tampoco detectaron diferencias para esas características de la canal. En el trabajo de Salinas-Chavira et al. (2017), no existieron diferencias entre tratamientos cuando se evaluó el marbling pero si se encontraron diferencias en el peso de la canal, aunque no contrastantes ya que los tratamientos donde se evaluó la levadura también incluyeron monensina en la dieta.

Si hubo efecto significativo de los tratamientos en la variable del espesor de grasa dorsal o subcutánea ($P = 0,0028$) y en el parámetro L de color de la carne ($P = 0,0491$). El espesor de grasa dorsal (EGD), que nos da indicio del grado de terminación de los novillos, fue significativamente mayor en los novillos que recibieron monensina ($P = 0,0009$), no registrándose diferencias entre LEV y AE ($P = 0,409$). Un mayor EGD puede estar marcando un mayor grado de terminación en el tratamiento de la monensina. Esto probable que sea atribuible a una mayor fermentación propiónica por parte de la monensina. Sin embargo, según Bertucci et al. (2003) el EGD no es un parámetro que puede evaluarse aisladamente, sino que debe ir acompañado del peso de la canal. Si se desea producir más, el peso de las carcasas tiene que ser mayor, por lo que este no es el caso. La grasa externa de los cortes es considerada como desecho ya que los consumidores y las carnicerías no desean pagar grasa como carne. Excesos de grasas son despojados en el frigorífico por lo que el rendimiento de la canal disminuye. Diferencias en la deposición de grasa pueden hacer alusión a diferencias en la modulación de la fermentación ruminal, aumentado el C3 respecto al C2. Mejoras en la eficiencia de la fermentación ruminal que no se tradujeron en diferencias en GMD, pero si en la composición de la GMD.

Geraci et al. (2012) obtuvieron diferentes resultados cuando evaluaron el EGD de novillos terminados con extractos de plantas y monensina. El experimento arrojó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos. Wang et al. (2020), contrariamente a lo observado en el presente trabajo, no observaron diferencias significativas entre levaduras y la monensina, pero es importante destacar que el tratamiento de levaduras contenía monensina en la dieta.

El color L de la carne, el cual mide la luminosidad, fue afectado por el tipo de aditivo ($P = 0,037$) observándose que los aceites esenciales tendieron a presentar un valor más elevado con respecto a LEV y MON, que no difirieron entre si ($P \geq 0,10$), por lo tanto, la carne fue más luminosa en el tratamiento de AE. Estudios previos como el de Hong et al. (2012) no encontraron diferencias significativas entre aceites esenciales y antibióticos promotores del crecimiento, pero si mostró una leve tendencia de que los aceites presentan cortes más luminosos.

Según Nissen et al. (2004), los procesos oxidativos son los factores responsables del deterioro de la carne. Una posible razón para una mayor luminosidad en los cortes con aceites esenciales puede estar relacionada con las propiedades antioxidantes de los polifenoles y flavonoides que habrían limitado el nivel de oxidación de proteínas y lípidos.

4.9. DISCUSIÓN GENERAL

En términos generales, no se observó un efecto de la sustitución de monensina por una mezcla de eugenol, cinamaldehído y aceite de capsicum, o por la combinación de cultivo de levadura, extracto de levadura y levadura hidrolizada sobre la performance animal, ratificándose la hipótesis planteada en el presente trabajo.

La eficiencia de conversión (EC), principal variable estudiada para un corral de engorde no presentó diferencias entre los tratamientos (6,46; 6,48; 6,20 para AE, LEV y MON respectivamente). Esto está explicado fundamentalmente porque no se presentaron diferencias en la ganancia media diaria (GMD) y tampoco en el consumo de materia seca (CMS).

Las variables estudiadas que pueden influir o generar variaciones en el CMS o en la GMD son: condiciones climáticas, composición de la dieta, digestibilidad de la materia seca, actividades comportamentales del animal y el patrón de distribución diario del consumo. La composición de la dieta y las condiciones climáticas no jugaron un rol determinante debido a que la dieta base ofrecida fue la misma para los tres tratamientos y lo único que difirió fue el aditivo utilizado dentro del núcleo, y las condiciones ambientales fueron para todos iguales. De igual forma no se encontraron diferencias en el patrón de consumo seguido por los animales a lo largo del día. El comportamiento de los animales fue similar excepto en la semana 9. Se presentó una diferencia en la actividad de consumo, en el tratamiento de monensina, pero este mismo no generó un cambio en el CMS diario en kg/a. Estos datos muestran la coherencia de los resultados de las variables que componen la EC y contribuyen a suponer que las condiciones del ambiente ruminal fueron favorables a una buena fermentación, independientemente del tipo de aditivo utilizado.

Tal como se mencionó en la revisión bibliográfica en cuanto a la forma de actuar de estos aditivos, las levaduras actúan directamente aumentando el volumen de microorganismos del rumen. Una población más activa conlleva a un incremento en la producción de energía y de proteína microbiana. También se modifica el tipo de bacterias presentes en el rumen alterando así la fermentación. Los productos de la fermentación se ven modificados con una mayor relación propionato:acetato, lo que se traduce a una mayor eficiencia en la utilización de la energía. A su vez, se benefician las bacterias consumidoras de ácido láctico, por lo tanto, una disminución de este, generando un mayor pH ruminal que se asocia directamente

con fermentaciones ruminales más estables. Además, en el caso específico de Celmanaxresenta manano oligosacárido, compuesto que beneficia el control de bacterias patógenas como *E. Coli* y *Salmonella*. Por su parte los AE actúan sobre la membrana celular de determinadas bacterias generándoles una depresión en su crecimiento. Estos cambios en las tasas de crecimiento modifican las proporciones de los grupos bacterianos, afectando la fermentación ruminal. Del tipo de AE utilizado dependerá que grupo de bacterias se verá afectado. Con los AE utilizados en el presente trabajo se esperaría un mayor efecto sobre las bacterias gram positivas, lo que se traduce en un aumento en la relación propiónico:acético.

Evaluando ambos efectos, se deduce que tanto el método de acción de las levaduras como el de los aceites esenciales utilizados; aunque por diferentes vías; generan un aumento en la relación propiónico:acético aumentando así la eficiencia de utilización del alimento consumido. De igual forma ocurre con la monensina, ya que su uso tiene un efecto en las proporciones de AGV aumentando el propionato principalmente. Por lo tanto, se podría interpretar que, en conjunto con los efectos secundarios de cada uno de los aditivos, y el efecto principal en la modificación de los AGV, generaron un performance animal similar en los animales de cada uno de los tratamientos.

En cuanto a la calidad de carne tampoco se observaron diferencias en peso de carcasa o pH de la carne. Sin embargo, cabe mencionar el efecto observado en términos de un mayor EGD a favor de los novillos que recibieron monensina, coherente con un mayor valor absoluto de *marbling* (aunque no estadísticamente diferente), lo cual probablemente amerita continuar investigando en futuros trabajos.

Finalmente se puede mencionar la similitud de los resultados obtenidos en esta experimentación con los obtenidos por Leites et al. (2022) y Alayón et al. (2023) en terneros de destete precoz a corral y en animales alimentados a corral en su primer invierno respectivamente. En los tres trabajos no se observaron diferencias significativas entre los tres aditivos para las variables de interés (EC, GMD y CMS). Mostrando la posibilidad de sustitución de la monensina en cualquiera de las tres etapas del ciclo productivo.

5. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista productivo, en novillos Hereford en terminación y alimentados a corral con una dieta alta en concentrado ofrecida *ad libitum*, es posible sustituir a la monensina sódica por productos alternativos como una mezcla de eugenol, cinamaldehido y aceite de capsicum; o por la combinación de cultivo de levadura, extracto de levadura y levadura hidrolizada, no esperándose cambios en el consumo y digestibilidad de la materia seca, en la eficiencia de conversión, la ganancia media diaria y peso final de carcasa. Sin embargo, es posible que la sustitución de monensina por levaduras o AE, resulte en un menor EGD.

A futuro, sería relevante evaluar que efecto tienen estos aditivos específicamente en la fermentación ruminal, su efecto en el pH y en la producción de metano en ganado de carne. Por otro lado, sería interesante evaluar la incidencia de problemas en el hígado por el uso de estos moduladores de la fermentación ruminal de origen natural ya que esto puede tener efectos en la performance.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alayón, V., Quintela, S., & Uriarte, C. (2023). *Uso de levaduras o aceites esenciales en sustitución de monensina sódica como aditivo nutricional en dietas concentradas ofrecidas a terneras Hereford alimentadas a corral* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Aldrovandi, A. (2015). *Adaptación de sistemas de fermentación ruminal in vitro para evaluar el efecto modulador de cuatro potenciales prebióticos en condiciones de acidosis* [Tesis de Maestría]. Universidad de la República.
- Alessio, G. (2014, 10 de octubre). *Beneficios de la Monensina en la alimentación bovina*. Gaviglio.
https://www.gaviglio.com/sala_de_prensa/medios/beneficios-de-la-monensina-en-la-alimentacion-bovina-8#:~:text=La%20dosis%20terap%C3%A9utica%20para%20bovinos,consultar%20a%20un%20asesor%20profesional
- Allen, M. (2020). Control of feed intake by hepatic oxidation in ruminant animals: Integration of homeostasis and homeorhesis. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 14(S1), s55-s64.
<https://doi.org/10.1017/S1751731119003215>
- Araujo, R., Daley, D., Goodall, S., Jalali, S., Guimaraes, O., Budde, A., Wagner, J., & Engle, T. (2019). Effects of a microencapsulated blend of essential oils supplemented alone or in combination with monensin on performance and carcass characteristics of growing and finishing beef steers. *Applied Animal Science*, 35(2), 177-184. <http://dx.doi.org/10.15232/aas.2018-01822>
- Arias, R., Mader, T., & Escobar, P. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(1), 7-22. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002>
- Arm & Hammer. (2019). *CELMANAX supplementation helped improve growth performance and efficiency in finishing steers on a comercial feedlot*.
https://ahfoodchain.com/-/media/spd/files/product-literature/beef/celmanax/research/celmanax_b87_notes_2019.pdf
- Arm & Hammer Animal and Food Production. (2020a). *Study shows that CELMANAX increased body weight gain and decreased serum cortisol concentrations in program-fed beef heifers*. https://ahfoodchain.com/-/media/spd/files/research/celmanax_beef_heiferfeedingtrial_rnotes_web.pdf

- Arm & Hammer Animal and Food Production. (2020b). *Supplementation with CELMANAX in heat-stressed finishing feedlot cattle boosted efficiency and performance*. https://ahfoodchain.com/-/media/spd/files/product-literature/beef/celmanax/research/celmanax_beef_b84_rn_013120_web.pdf
- Arm and Hammer Animal and Food Production. (2016). *Spanish - CELMANAX: Unlocking the power of the yeast cell* [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=eT7nOqSL94w>
- Benchaar, C., Duynisveld, J., & Charmley, E. (2006). Effects of monensin and increasing dose levels of a mixture of essential oil compounds on intake, digestion and growth performance of beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 86(1), 91-96. <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/A05->
- Bergen, W., & Bates, D. (1984). Ionophores: Their effect on production efficiency and mode of action. *Journal of Animal Science*, 66(2), 513-521. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5861465x>
- Bertucci, C., Jensen, M., Di Nezio, L., & Duhalde, J. (2003). *Terminación de novillos a corral: Conformación y calidad de carne*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/56-terminacion_a_corral.pdf
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential application in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Carro, M., & Kamel, C. (2005). Effect of garlic oil and four of its compounds on rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 88(12), 4393-4404. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(05\)73126-x](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(05)73126-x)
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P., Castillejos, L., & Ferret, A. (2007). Invited review: Essential oil as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2580-2595. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-644>
- Carro, M., Lebzien, P., & Rohr, K. (1992). Influence of yeast culture on the in vitro fermentation (Rusitec) of diets containing variable portions of concentrates. *Animal Feed Science and Technology*, 37(3-4), 209-220. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(92\)90005-Q](https://doi.org/10.1016/0377-8401(92)90005-Q)

- Carro, M., & Ranilla, M. (2002). *Los aditivos antibióticos promotores de crecimiento de los animales: Situación actual y posibles alternativas*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_promotores_crecimiento/01-aditivos_antibioticos_promotores.pdf
- Cepero, R. (2005). *Retirada de los antibióticos promotores de crecimiento en la Unión Europea: Causas y consecuencias*. Asociación Española de Ciencia Avícola.
- Chaucheyras-Durand, F., & Fonty, G. (2001). Establishment of cellulolytic bacteria and development of fermentative activities in the rumen of gnotobiotically-reared lambs receiving the microbial additives *Saccharomyces cerevisiae*. *Reproduction Nutrition Development*, 41(1), 57-68. <https://doi.org/10.1051/rnd:2001112>
- Collins, M., & Gibson, G. (1999). Probiotics, prebiotics, and synbiotics: Approaches for modulating the microbial ecology of the gut. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(5), 1052S-1057S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/69.5.1052s>
- Cottyn, B., & Boucque, C. (1968). Rapid method for the gas-chromatographic determination of volatile fatty acids in the rumen fluid. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 16(1), 105-107. <https://doi.org/10.1021/jf60155a002>
- Courderc, J. (2007). *Alimentación y acidosis en el engorde a corral*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/49-acidosis.pdf
- Cox, S., Mann, S., & Markham, J. (2001). Interactions between components of essential oil of *Melaleuca alternifolia*. *Journal of Applied Microbiology*, 91(3), 492-497. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01406.x>
- Dawson, K., Newman, K., & Boling, J. (1990). Effects of microbial supplements containing yeast and lactobacilli on roughage-fed ruminal microbial activities. *Journal of Animal Science*, 68(10), 3392-3398. <https://doi.org/10.2527/1990.68103392x>
- Decreto n° 178/010. (2010). En *Registro nacional de leyes y decretos* (Vol. 2, p. 1146). IMPO.
- Denev, S., Peeva, T., Radulova, P., Stancheva, G., Staykova, G., Beev, G., Todorova, P., & Tchobanova, S. (2007). Yeast cultures in ruminant nutrition. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 13(3), 357-374. https://www.researchgate.net/publication/235955203_Yeast_Cultures_in_Ruminant_Nutrition

- Desnoyers, M., Giger-Reyerdin, S., Bertin, G., Duvaux-Ponter, C., & Sauvant, D. (2009). Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *Journal of Dairy Science*, *92*(4), 1620-1632. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1414>
- Di Marco, O. (2006). *Eficiencia de utilización del alimento en vacunos*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/89-eficiencia_utilizacion_alimento.pdf
- Di Marco, O. (2011). *Estimación de calidad de los forrajes*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/45-calidad.pdf
- Doreau, M., & Jouany, J. (1998). Effect of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on nutrient digestion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *81*(12), 3214-3221. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(98\)75885-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(98)75885-0)
- Duffield, T., Merrill, J., & Bagg, R. (2015). Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. *Journal of Animal Science*, *90*(12), 4583-4592. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-5018>
- Ellis, J., Dijkstra, J., Bannink, A., Kebreab, E., Hook, S., Archibeque, S., & France, J. (2012). Quantifying the effect of monensin dose on the rumen volatile fatty acid profile in high-grain-fed beef cattle. *Journal of Animal Science*, *90*(8), 2717-2726. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3966>
- Estación Experimental “Dr Mario A. Cassinoni”. (2022). *Annual climatological summary*. <https://ingbio.paap.cup.edu.uy/~estmet/NOAAPRYR.TXT>
- Fandiño, I., Calsamiglia, S., Ferret, A., & Blanch, E. (2008). Anise and capsicum as alternatives to monensin modifies rumen fermentation in beef heifers fed a high-concentrate diet. *Animal Feed Science and Technology*, *145*(1), 409-417. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.018>
- Fierros, J. (2019). *Efectos de la suplementación de aceites esenciales y monensina sobre el metabolismo ruminal y digestión en tracto total en novillos Holstein alimentados con una dieta de finalización* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional UABC. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/server/api/core/bitstreams/5d861498-3101-45ce-b311-0cca5342e466/content>
- Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. *The Journal of Applied Bacteriology*, *66*(5), 365-378. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2666378/>

- Garcia, R. (2004). *Las levaduras para la alimentación de los porcinos. (Saccharomyces cerevisiae)*. Interding.
http://www.interding.com.ar/en/downloads/Las_Levaduras_para_la_Alimentacion_%20de_los_porcinos.pdf
- Geraci, J., Garciarena, A., Gagliostro, G., Beauchemin, K., & Colombatto, D. (2012). Plant extract containing cinnamaldehyde, eugenol and capsicum oleoresin added to feedlot cattle diet: Ruminal environment, short term intake pattern and animal performance. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1-4), 123-130.
<http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.anifeedsci.2012.07.015>
- Gershenzon, J., & Croteau, R. (1991). Terpenoids. En G. Rosenthal & M. Berenbaum (Eds.), *Herbivores: Their interactions with secondary plant metabolites* (pp. 165-219). Elsevier.
- Goodrich, R., Garret, J., Ghasst, D., Kirch, M., Larson, D., & Meiske, J. (1984). Influence of monensin on the performance of cattle. *Journal of Animal Science*, 58(6), 1484-1498. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5861484x>
- Graminha, C., Martins, A., Faiao, C., & Baslalobre, M. (s.f.). *Aditivos na producao de bovinos confinados*. SILO.TIPS.
<https://silo.tips/download/aditivos-na-producao-de-bovinos-confinados>
- Greathead, H. (2003). Plants and plant extracts for improving animal productivity. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 62(2), 279-290.
<https://doi.org/10.1079/pns2002197>
- Griffin, S., Wyllie, S., Markham, J., & Leach, D. (1999). The role of structure and molecular properties of terpenoids in determining their antimicrobial activity. *Flavour and Fragrance Journal*, 14(5), 322-332.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1026\(199909/10\)14:5%3C322::AID-FFJ837%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1026(199909/10)14:5%3C322::AID-FFJ837%3E3.0.CO;2-4)
- Guan, H., Wittenberg, K., Ominski, K., & Krause, D. (2006). Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. *Journal of Animal Science*, 84(7), 1896-1906. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-652>
- Guthrie, M., Galyean, M., Malcom, K., Kloppenburg, J., & Wallace, J. (1992). Effect of method of corn processing and roughage source on feedlot performance and ruminal fermentation in beef steers. *Proceeding Western Section American Society for Animal Science*, 43, 19-22.
- Hale, D., Goodson, K., Lopez, A., & Savell, J. (2010, 10 de febrero). *La calidad de la carne bovina y grados de rendimiento*. Agriculture & Life Science.
<https://meat.tamu.edu/la-calidad-de-la-carne/>
- Heinrichs, J., & Kononoff, P. (2002). *Evaluating particle size of forages and TMRs using the new Penn State Forage Particle Separator*. The Pennsylvania State University.

- Hong, J., Steiner, T., Aufy, A., & Lien, T. (2012). Effects of supplemental essential oils on growth performance, lipid metabolites and immunity, intestinal characteristics, microbiota and carcass traits in broilers. *Livestock Science*, 144(3), 253-262. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.12.008>
- Hungate, R. (1966). *The rumen and its microbes*. Elsevier.
- Instituto Uruguayo de Meteorología. (s.f.). *Tablas estadísticas*. <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>
- Lawson, L. (1996). The composition and chemistry of garlic cloves and processed garlic. En H. Koch & L. Lawson (Eds.), *Garlic: The science and therapeutic application of Allium sativum L. and related species* (pp. 37-108). Williams & Wilkins.
- Leites, M., Silveira, G., & Suanes, J. (2022). *Efecto de la sustitución de monensina sódica por aceites esenciales o levaduras sobre la performance de terneros destetados precozmente y alimentados a corral con dietas concentradas* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Lila, Z., Mohammed, N., Yasui, T., Kurokawa, Y., Kanda, S., & Itabashi, H. (2004). Effects of a twin strain of *Saccharomyces cerevisiae* live cells on mixed ruminal microorganism fermentation in vitro. *Journal of Animal Science*, 82(6), 1847-1854. <https://doi.org/10.2527/2004.8261847x>
- Mabuku, O., Hatendi, P., & Medlinah, M. (2000). Effect of feeding different mixtures of whole to milled maize grain in a complete diet on feedlot performance of steers. *Zimbabwe Journal of Animal Research*, 34(2), 87-95.
- Malvasio, M., Pimentel, S., & Ponce de León, C. (2013). *Efecto de la fuente de carbohidratos en la dieta preparto sobre la producción y composición de leche de vacas Holstein al inicio de la lactancia* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibrí. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/2759/1/FV-30431.pdf>
- Martin, S., & Macy, J. (1985). Effects of monensina, pyromellitic diimide and 2-bromoethanesulfonic acid on rumen fermentation in vitro. *Journal of Animal Science*, 60(2), 544-550. <https://doi.org/10.2527/jas1985.602544x>
- Martins, L., Fernandes, J., Drouillard, J., Leite, L., & Araujo, R. (2018). A microencapsulated blend of essential oils and dead yeast culture on the performance of nellore bulls finished in feedlot. *Journal of Animal Science*, 96(3), 397-398. <https://doi.org/10.1093/jas/sky404.872>
- McDonald, P., Edwards, R., Greenhalgh, J., & Morgan, C. (2006). *Nutrición Animal* (6ª ed.). Acribia.

- Meyer, N., Erickson, G., Klopfenstein, T., Greenquist, M., Luebbe, M., Williams, P., & Engstrom, M. (2009). Effect of essential oils, tylosin, and monensin on finishing steer performance, carcass characteristics, liver abscesses, ruminal fermentation, and digestibility. *Journal of Animal Science*, 87(7), 2346-2354. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1493>
- Miranda, A., Zielinski, G., & Rossanigo, C. (2013). *Sanidad en el Feedlot*. INTA. https://www.researchgate.net/publication/264693624_Sanidad_en_el_Feedlot
- Molina, A., & Paz, S. (2011). *Efecto de cuatro potenciales prebióticos sobre el pH en un modelo in vitro de acidosis ruminal* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibrí. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/19958>
- Murillo-Ortiz, M., Pamanes-Carrasco, G., Castillo, Y., Ortiz-Robledo, F., Herrera-Torres, E. (2019). Evaluation of monensin, yeast and glucogenic precursor on growth performance, ruminal fermentation and digestive kinetics of feedlot steers. *Indian Journal of Animal Research*. Publicación anticipada en línea. <http://dx.doi.org/10.18805/ijar.B-1003>
- Newbold, C., McIntosh, F., & Wallace, R. (1998). Changes in the microbial population of a rumen simulating fermenter in response to yeast culture. *Canadian Journal of Animal Science*, 78(2), 241-244. <http://dx.doi.org/10.4141/A97-086>
- Nissen, L., Byrne, D., Bertelsen, G., & Skibsted, L. (2004). The antioxidative activity of plant in cooked pork patties as evaluated by descriptive sensory profiling and chemical analysis. *Meat Science*, 68(3), 485-495. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.05.004>
- Nocek, J. (1997). Bovine acidosis: Implication on laminitis. *Journal of Dairy Science*, 80(5), 1005-1028. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(97\)76026-0](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(97)76026-0)
- Nocek, J., Holt, M., & Oppy, J. (2011). Effects of supplementation with yeast culture and enzymatically hydrolyzed yeast on performance of early lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 94(8), 4046-4056. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4277>
- Ogunade, I., Schweickart, H., Andries, K., Lay, J., & Adeyemi, J. (2018). Monensin alters the functional and metabolomic profile of rumen microbiota in beef cattle. *Animals*, 8(11), Artículo e211. <https://doi.org/10.3390/2Fani8110211>
- Osborne, J., & Dehority, B. (1989). Synergism in degradation and utilization of intact forage cellulose, hemicellulose, and pectin by three pure cultures of ruminal bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 55(9), 2247-2250. <https://doi.org/10.1128/2Faem.55.9.2247-2250.1989>

- Page, S. (2006). Current use of antimicrobial promoters in food animals: The benefits. En D. Barug, J. de Jong, A. Kies, & M. Verstegen (Eds.), *Antimicrobial Growth promoters: Where do we go from here?* (pp. 19-51). Wageningen Academic Publishers.
- Pancosma. (2018). Replacing ionophores with XTRACT® Ruminant maintains performance and increases carcass value in feedlot cattle. *XTRACT Technical Bulletin*, (740).
- Patterson, H., Klopfenstein, T., Adams, D., & Musgrave, J. (2003). Supplementation to meet metabolizable protein requirements of primiparous beef heifers: I. Performance, forage intake and nutrient balance. *Journal of Animal Science*, 81(3), 800-811. <https://doi.org/10.2527/2003.813563x>
- Ponce, C., Schutz, J., Elrod, C., Anele, U., & Galyean, M. (2012). Effects of dietary supplementation of a yeast product on performance and morbidity of newly received beef heifers. *The Professional Animal Scientist*, 28(6), 618-622. [http://dx.doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30419-8](http://dx.doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30419-8)
- Rivaroli, D., Do Prado, R., Oranghi, M., Mottin, C., Ramos, T., Guerrero, A., & Jorge, A. (2017). Essential oils in the diet of crossbred (1/2 Angus vs. 1/2 Nellore) bulls finished in feedlot on animal performance, feed efficiency and carcass characteristics. *Journal of Agricultural Science*, 9(10), 205-212. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v9n10p205>
- Riveiro, A., Ferraz Junior, M., Polizel, D., Miszura, A., Gobato, L., Barroso, J., Susin, I., & Pires, A. (2019). Thyme essential oil for sheep: Effect on rumen fermentation, nutrient digestibility, nitrogen metabolism, and growth. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 71(6), 2065-2074. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10792>
- Rodriguez-Prado, M., Ferret, A., Zwieten, J., Gonzalez, L., Bravo, D., & Calsamiglia, S. (2012). Effects of dietary addition of capsicum extract on intake, water consumption, and rumen fermentation of fattening heifers fed a high-concentrate diet. *Journal of Animal Science*, 90(6), 1879-1884. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3191>
- Russell, J. (1987). A proposed mechanism of monensin action in inhibiting ruminal bacterial growth: Effect on ion flux and protonmotive force. *Journal of Animal Science*, 64(5), 1519-1525. <https://doi.org/10.2527/jas1987.6451519x>
- Russell, J., & Hespel, R. (1981). Microbial rumen fermentation. *Journal of Dairy Science*, 64(6), 1153-1169. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(81\)82694-x](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(81)82694-x)

- Russell, J., & Strobel, H. (1989). Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 55(1), 1-6. <https://doi.org/10.1128%2Faem.55.1.1-6.1989>
- Salinas-Chavira, J., Arzola, C., Gonzalez-Vizcarra, V., Manriquez-Nuñez, O., Montaña-Gomez, M., Navarrete-Reyes, J., Raymundo, C., & Zinn, R. (2015). Influence of feeding enzymatically hydrolyzed yeast cell wall on growth performance and digestive function of feedlot cattle during periods of elevated ambient temperature. *Asian-Australian Journal of Animal sciences*, 28(9), 1288-1295. <https://doi.org/10.5713%2Fajas.15.0061>
- Salinas-Chavira, J., Montaña, M., Torrentera, N., & Zinn, R. (2017). Influence of feeding enzymatically hydrolysed yeast cell wall + yeast culture on growth performance of calf-fed Holstein steers. *Journal of Applied Animal Research*, 46(2), 327-330. <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2017.1299742>
- Schubach, K., Cooke, R., Silva, L., Brandao, A., Lippolis, K., Marques, R., & Bohnert, D. (2017). Supplementing a yeast-derived product to enhance productive and health responses of feeder steers. *American Society of Animal Science*, 12(8), 141-146. <https://doi.org/10.1017/s1751731117003585>
- Secrist, D., Owens, F., Hill, W., & Welty, S. (1996). Rolled versus whole corn: Effects on ruminal fermentation of feedlot steers. *Animal Science Research Report*, 181188. <https://extension.okstate.edu/programs/beef-extension/research-reports/site-files/documents/1996/3-secrist.pdf>
- Simeone, A., Beretta, V., Franco, J., Casaretto, A., Mondelli, S., & Valdez, G. (2017). Uso del autoconsumo para el suministro de raciones sin fibra larga en corrales de engorde. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *19ª Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Hablan los protagonistas: Productores industriales e investigadores* (pp. 38-47). UPIC. <http://www.upic.com.uy/assets/pdf/upic-2017.pdf>
- Simon, J. (1990). Essential oils and culinary herbs. En J. Janick & J. Simon (Eds.), *Advances in new crops: Proceedings of the First National Symposium New Crops: Research, development, economics, Indianapolis, Indiana. October 23-26, 1988* (pp. 472-483). Timber Press. https://www.researchgate.net/publication/358116553_Essential_Oils_and_Culinary_Herbs
- Sniffen, C., O'Connors, J., Van Soest, P., Fox, D., & Russel, J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 70(11), 3562-3577. <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>

- Suárez-Machín, C., & Guevara-Rodríguez, C. (2017). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* en la alimentación de rumiantes: Revisión bibliográfica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 51(2), 21-30. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223154251004>
- Sweeten, J., Lubinus, L., Durland, R., & Bruce, B. (2014). *Beef cattle handbook: Feedlot mounds*. Iowa Beef Center. <https://www.iowabeefcenter.org/bch/FeedlotMounds.pdf>
- Swyers, K., Wagner, J., Dorton, K., & Archibeque, S. (2014). Evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product as an alternative to monensin on growth performance, cost of gain, and carcass characteristics of heavy-weight yearlings beef steers. *Journal of Animal Science*, 92(6), 2538-2545. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7559>
- Thiex, N., Novotny, L., & Crawford, A. (2012). Determination of ash in animal feed: AOAC official method 942.05 revisited. *Journal of AOAC International*, 95(5), 1392-1397. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.12-129>
- Torres, R., Paschoaloto, J., Ezequiel, J., Da Silva, D., & Almeida, M. (2021). Meta-analysis of the effects of essential oil as an alternative to monensin in diets for beef cattle. *The Veterinary Journal*, 272, Artículo e105659. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2021.105659>
- Troncoso, H. (2015). *El uso de aditivos en la alimentación de bovinos*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_promotores_crecimiento/74-Uso_Aditivos.pdf
- Van Keulen, J., & Young, B. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44, 282-287.
- Van Soest, P. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.
- Van Soest, P., Robertson, J., & Lewis, B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(91)78551-2)
- Van Vuuren, A., & Rochet, B. (2003). *Role of probiotics in animal nutrition and their link to the demands of European consumers*. ID-Lelystad.
- Wang, L., Mandell, I., & Boher, B. (2020). Effects of feeding essential oils and benzoic acid to replace antibiotics on finishing beef cattle growth, carcass characteristics, and sensory attributes. *Applied Animal Science*, 36(2), 145-156. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01908>

- Weimer, P. (1998). Manipulating ruminal fermentation: A microbial ecological perspective. *Journal of Animal Science*, 76(12), 3114-3122. <https://doi.org/10.2527/1998.76123114x>
- Wink, M., & Schimmer, O. (2018). Modes of action of defensive secondary metabolites. En J. A. Roberts (Ed.), *Annual plant reviews online* (pp. 18-137). Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119312994.apr0019>
- Yang, W., Benchaar, C., Ametaj, B., Chaves, A., He, M., & McAllister, T. (2007). Effects of garlic and juniper berry essential oils on ruminal fermentation and on the site and extent of digestion in lacting cows. *Journal Dairy Science*, 90(12), 5671-5681. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0369>
- Yoon, I., & Stern, M. (1995). Influence of direct-fed microbes on ruminal microbial fermentation and performance of ruminants. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 8(6), 533-555. <https://doi.org/10.5713/ajas.1995.553>
- Yuan, K., Liang, T., Muckey, M., Mendonca, L., Hulbert, L., Elrod, C., & Bradford, B. (2015). Yeast product supplementation modulated feeding behavior and metabolism in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 532-540. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8468>
- Yuan, K., Mendonça, L., Hulbert, L., Mamedova, L., Muckey, M., Shen, Y., Elrod, C. C., & Bradford, B. (2015). Yeast product supplementation modulated humoral and mucosal immunity and uterine inflammatory signals in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(5), 3236-3246. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8469>