

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Uso de *Saccharomyces cerevisiae* en la alimentación de vacas productoras de leche.

Por:

**CÉSAR GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ**

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Torreón, Coahuila, México

Enero 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Uso de *Saccharomyces cerevisiae* en la alimentación de vacas productoras de leche.

Por:

**CÉSAR GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ**

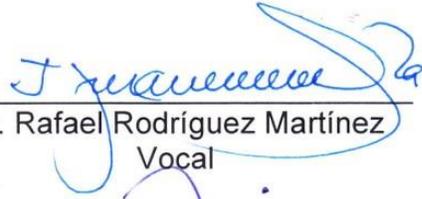
MONOGRAFÍA

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

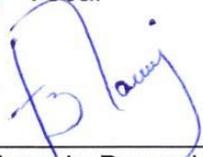
**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Aprobada por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Pedro Antonio Robles Trillo  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Rafael Rodríguez Martínez  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ramón Alfredo Delgado González  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
IZ. Jorge Horacio Borunda Ramos  
Vocal Suplente

  
\_\_\_\_\_  
MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ  
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

  
Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México  
Enero 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Uso de *Saccharomyces cerevisiae* en la alimentación de vacas productoras de leche.

Por:

**CÉSAR GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ**

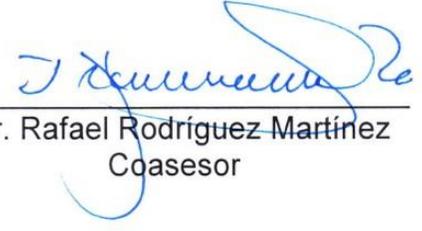
MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Pedro Antonio Robles Trillo  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Rafael Rodríguez Martínez  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ramón Alfredo Delgado González  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ  
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

  
Coordinación de la División  
Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México  
Enero 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi Alma Terra Mater** por haberme permitido entrar en sus instalaciones y dejar que me formara en sus aulas, dándome la oportunidad de realizar mis estudios profesionales, brindándome las herramientas necesarias para poder desempeñarme en mi vida profesional y como persona. Por qué dentro de mi Universidad tuve grandes experiencias de la vida, siempre estaré orgulloso y agradecido de ser egresado de la U.A.A.A.N. U.L. Orgullosamente “Buitre”.

**A mis asesores** por su gran ayuda para llevar acabo la redacción de la presente revisión de literatura, que de no ser asi no habría sido posible, además de la paciencia que tuvieron durante este largo tiempo.

**A mi maestros** por compartir sus conocimientos y experiencias durante mi carrera profesional, por su dedicación, amistad y paciencia, por enseñarme, aconsejarme e instruirme en el camino del buen estudio y ser parte importante de mi formación academica y ejemplo a seguir para mi vida profesional.

**A todos mis amigos y compañeros** que han formado parte importante de mi vida, por el apoyo que me han dado durante este largo trayecto, por todos los momentos compartidos a su lado, por su sincera amistad, sus buenos deseos y sus grandes consejos que me han permitido ser mejor en la vida.

## DEDICATORIA

La presente monografía esta dedicada a todas las personas que han formado parte importante de mi vida y que además creyeron en mi durante este largo trayecto de mi carrera profesional.

**A mis padres** por haberme apoyado tanto desde pequeño, por estar siempre conmigo cuando más lo necesitaba, por sus consejos y llamados de atención que me sirvieron para que cada día mas siga adelante y poder desempeñarme como una persona responsable, respetuosa, perseverante, decidida y trabajadora.

**A mis hermanos** por creer firmemente en mi, por toda la ayuda que me brindaron durante mi carrera y durante mi vida, y por su gran apoyo para superar momentos difíciles de la vida por los que pasamos.

**A mi abuela** que creyo todo el tiempo en mi, por transmitirme sus sabios consejos, y a pesar que ya no este presente sigue estando muy dentro de mi.

## RESUMEN

Las vacas lecheras requieren en su dieta diaria el aporte balanceado de nutrientes principalmente carbohidratos estructurales (fibra) y no estructurales (almidón) obtenidos de diferentes fuentes como forrajes y concentrados respectivamente, para mantener un equilibrio favorable en su microbiota ruminal y a su vez una buena producción de leche. No obstante, en muchas ocasiones el ganado lechero es alimentado con elevadas cantidades de concentrado, provocando un desbalance en la proporción de carbohidratos de la dieta, esto predispone a las vacas a presentar problemas digestivos principalmente acidosis ruminal y en consecuencia provoca disminución en la producción de leche, resultando en grandes pérdidas económicas en los sistemas de producción lecheros. Una alternativa que se ha estudiado por años para mejorar el rendimiento productivo de leche del ganado es recurrir a la suplementación con aditivos microbianos como las levaduras (cepas de *Saccharomyces cerevisiae*) directamente en la dieta debido a que tiene efectos beneficios sobre la fermentación ruminal al promover el crecimiento de diferentes poblaciones microbianas principalmente bacterias fibrolíticas, utilizadoras de ácido láctico y utilizadoras de nitrógeno amoniacal y con ello tener una mejor digestibilidad y aprovechamiento de nutrientes del alimento consumido para así aumentar la producción de leche en las vacas, además de prevenir el efecto negativo de dietas con altas cantidades de concentrado.

**Palabras clave:** *Saccharomyces cerevisiae*, Levaduras, Suplementación, Microorganismos ruminales, Vacas lecheras, Producción y calidad de leche.

## ABSTRACT

Dairy cows require in their daily diet the balanced supply of nutrients mainly structural carbohydrates (fiber) and non-structural (starch) obtained from different sources such as forages and concentrates respectively, to maintain a favorable balance in their ruminal microbiota and at the same time a good milk production. However, in many cases dairy cattle are fed high amounts of concentrate, causing an imbalance in the proportion of carbohydrates in the diet, predisposing cows to digestive problems mainly ruminal acidosis and consequently this causes a decrease in the production of milk, resulting in large economic losses in dairy production systems. An alternative that has been studied for years to improve the productive performance of cattle milk is to resort to supplementation with microbial additives such as yeast (strains of *Saccharomyces cerevisiae*) directly in the diet because it has beneficial effects on ruminal fermentation by promoting the growth of different microbial populations, mainly fibrolytic bacteria, lactic acid users and users of ammoniacal nitrogen and with this, having a better digestibility and utilization of nutrients of the food consumed in order to increase the milk production in the cows, besides preventing the negative effect of diets with high amounts of concentrate.

**Key words:** *Saccharomyces cerevisiae*, yeast, Supplementation, Ruminal microorganisms, Dairy cows, milk Production and quality.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	i
DEDICATORIA .....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
INDICE DE FIGURAS .....	vi
INDICE DE CUADROS .....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Medio ambiente ruminal.....	3
Uso de probióticos en la alimentación de rumiantes.....	7
<b>Levaduras y su mecanismo de acción.....</b>	<b>8</b>
<b>Crecimiento de bacterias celulolíticas y digestibilidad de fibra.....</b>	<b>10</b>
<b>Digestión de carbohidratos de rápida fermentación ruminal.....</b>	<b>11</b>
<b>Metabolismo de nitrógeno y síntesis de proteínas microbianas.....</b>	<b>15</b>
<b>Participación en la respuesta inmune.....</b>	<b>17</b>
Efectos de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> sobre el rendimiento productivo .....	18
<b>Factores que afectan la respuesta de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....</b>	<b>28</b>
CONCLUSIONES.....	30
LITERATURA CITADA.....	31

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Bacterias ruminales adheridas a partículas solidas de alimento .....	4
<b>Figura 2:</b> Síntesis de ácidos grasos volátiles dentro del rumen .....	12
<b>Figura 3:</b> Efecto de la suplementación con diferentes dosis de levadura ( $8 \times 10^9$ ufc de SC/g) sobre la concentración de AGV en el rumen. ....	13
<b>Figura 4:</b> Concentración de AGV en el fluido ruminal de vacas suplementadas con levadura activa seca ( $> 10^8$ ufc de SC/g) en la dieta .....	13
<b>Figura 5:</b> Representación esquemática de la degradación de proteínas y el destino de los productos finales en el rumen.....	16
<b>Figura 6:</b> Células de levadura con microorganismos patógenos adheridos a su superficial. ....	18
<b>Figura 7:</b> Efecto de la suplementación con cultivo de levadura sobre el consumo de materia seca (CMS) en vacas preparto y postparto .....	20
<b>Figura 8:</b> Efecto de la suplementación con cultivo de <i>S. cerevisiae</i> sobre la producción de leche de vacas Holstein postparto .....	20
<b>Figura 9:</b> Efecto sobre la producción de leche al suplementar CL + HEL a vacas Holstein en periodo de transición durante 42 días postparto .....	21
<b>Figura 10:</b> Rendimiento semanal promedio de leche cuando se suplementa en la dieta con cultivo de levadura (CL) solo o en combinación con hidrolizado enzimático de levadura (LH) .....	22
<b>Figura 11:</b> Efecto de la LV sobre el CMS y % de grasa en leche .....	24
<b>Figura 12:</b> % de grasa en la leche durante las semanas de estudio en las vacas suplementadas con SC y vacas control .....	25
<b>Figura 13:</b> Producción de leche en vacas con estrés calórico durante los meses de verano calurosos .....	26

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b> Especies bacterianas del rumen según el tipo de sustrato que fermentan ....	5
<b>Cuadro 2:</b> Protozoarios presentes en el medio ambiente ruminal .....	6
<b>Cuadro 3:</b> Comparación de la eficiencia de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> sobre el rendimiento productivo en vacas lecheras lactantes .....	27

## INTRODUCCIÓN

Las vacas lecheras de elevada productividad requieren en su dieta el aporte balanceado de carbohidratos tanto estructurales y no estructurales obtenidos principalmente de materiales fibrosos como los forrajes y de alimentos concentrados respectivamente, de no ser así pueden originarse trastornos metabólicos que comprometen el estado de salud, la producción y calidad de la leche (NRC, 2001; Church *et al.*, 2004; Febres y Vergara-López, 2007), por esos motivos son sometidas a la suplementación de muchos aditivos en su alimentación para incrementar la eficiencia en la utilización de los nutrientes presentes en el alimento hacia una mayor producción de leche y el mantenimiento de la salud (Troncoso, 2015).

Muchos aditivos han desaparecido debido a diversos factores como el costo, residuos tisuales, toxicidad o, mas comúnmente, por la falta de respuesta benéfica en los animales (Church *et al.*, 2004). Una alternativa para aumentar el rendimiento productivo es recurrir a la suplementación de agentes microbianos o probióticos (incluidas las levaduras) en la ración de las vacas lecheras, ya que, se ha demostrado que son muy eficaces, y se ha incrementado y practicado de manera considerable por décadas (Valarezo *et al.*, 1999; Rivas *et al.*, 2008; Allen y Ying, 2012).

En los últimos años con la creciente demanda y preocupación de los consumidores por la seguridad y la calidad en los productos de origen animal el uso actual de estos aditivos “naturales” no solo aumenta la productividad sino que también reduce el uso de antibióticos de forma subterapéutica en la alimentación, previniendo el desarrollo de patógenos resistentes a antimicrobianos que son potencialmente peligrosos para el humano. Como resultado ha aumentado el interés en los efectos de

las levaduras en la salud y el rendimiento productivo de los animales (Chaucheyras-Durand *et al.*, 2008; Nocek *et al.*, 2011; Finck *et al.*, 2014).

Las investigaciones sobre el uso de levaduras en vacas lecheras están mas enfocadas en determinar si existe una respuesta benefica sobre la digestión y disponibilidad de nutrientes (Allen y Ying, 2012; Vyas *et al.*, 2014), principalmente la fibra (White *et al.*, 2008), contrarrestar los efectos negativos de la alimentación con dietas con altos contenidos de carbohidratos de rápida fermentación ruminal (AlZahal *et al.*, 2014<sup>a</sup>; Li *et al.*, 2016; Malekkhahi *et al.*, 2016) y aumentar el rendimiento productivo de leche y sus componentes quimicos (Ramsing *et al.*, 2009; Zaworski *et al.*, 2014; Yuan *et al.*, 2015), a través de la modificación de poblaciones microbinas y su fermentación dentro del rumen (Miller-Webster *et al.*, 2002; Dolezal *et al.*, 2005; Uyeno *et al.*, 2017). Los nutriólogos, veterinarios y productores necesitan conocer la eficacia de estos productos sobre las medidas de producción de leche para tomar decisiones apropiadas sobre su uso en cada sistema de producción (Poppy *et al.*, 2012).

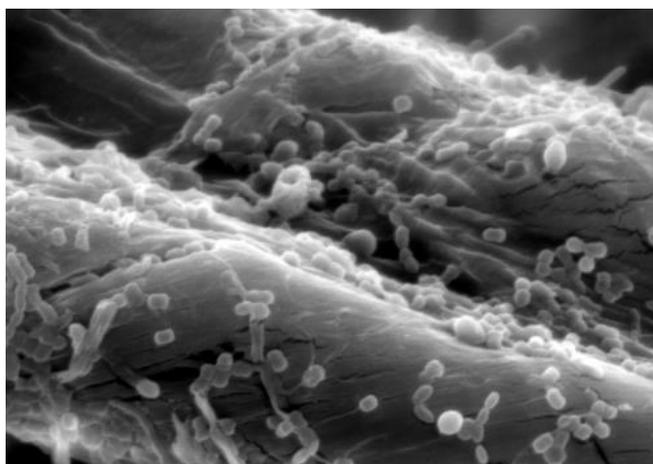
## REVISIÓN DE LITERATURA

### Medio ambiente ruminal

El rumen es una cámara de fermentación anaerobia, debido a que la mayoría de los microorganismos son anaerobios obligados siendo muy sensibles a la presencia de oxígeno (Shimada, 2009), sin embargo, este puede entrar diariamente durante la ingesta de alimento, agua, la rumia y la salivación (Chaucheyras-Durand *et al.*, 2008; AlZahal *et al.*, 2014<sup>a</sup>). Esta cámara de fermentación tiene un pH variable entre poco ácido (5.8) y alcalino (7.2) de acuerdo con el tipo y cantidad de la dieta suministrada, aunque los rumiantes poseen un sistema altamente desarrollado para mantener el pH dentro de los límites fisiológicos. El consumo de forrajes con carbohidratos lentamente digeribles estimula la secreción de elevadas cantidades de saliva a través de la rumia, la cual, tiene un pH de 8.2 por su alto contenido de sodio, potasio, bicarbonato y fosfatos permitiéndole su acción búffer en el líquido ruminal, mientras que el consumo de granos con carbohidratos de rápida fermentación genera una elevada concentración de ácidos orgánicos principalmente ácidos grasos volátiles (AGV) y ácido láctico resultando en una disminución del pH ruminal (García *et al.*, 1995; Shimada, 2009).

Para condiciones normales de fermentación, la temperatura ruminal debe estar entre 39 a 40 °C, pero puede tener rangos más amplios que van de 38 – 42 °C, producto de la misma fermentación microbiana y del metabolismo corporal (Febre y Vergara-López, 2007; Shimada, 2009), y debe tener una osmolaridad entre 260 y 340 mOsm, normalmente alrededor de 280 a 300, pudiendo aumentar hasta 350 a 400 mOsm después de consumir concentrados, atribuido a la presencia de átomos ionizados o moléculas presentes en el líquido ruminal (García *et al.*, 1995).

La población microbiana ruminal es compleja y diversa, cuantitativamente puede haber valores aproximados de  $10^{10}$  a  $10^{11}$  bacterias/ml,  $10^5$  a  $10^6$  protozoarios ciliados/ml,  $10^3$  a  $10^4$  protozoarios flagelados/ml,  $10^3$  a  $10^4$  hongos o levaduras/ml,  $10^7$  a  $10^9$  archaeas/ml y  $10^8$  a  $10^9$  bacteriófagos/ml en el contenido ruminal (Church, 1993; Kamra, 2005). Está bien establecido que existen 3 tipos diferentes de poblaciones microbianas con respecto a su localización: 1) flotando en la parte líquida de la ingesta, 2) asociadas con partículas sólidas de alimento y 3) adheridas al epitelio ruminal (AlZahal *et al.*, 2017). Se estima que entre el 70 a 90% se encuentran en las fracciones sólidas del alimento (figura 1), pero existen muchos factores que influyen en la proporción de microorganismos asociados a partículas (Mullins *et al.*, 2013).



**Figura 1:** Bacterias ruminales adheridas a partículas sólidas de alimento

Dentro de los sistemas de clasificación existentes para microorganismos, los más aceptados en microbiología ruminal son los que se basan en el tipo de sustrato sobre el que actúan y en los diferentes productos finales de fermentación (cuadro 1) (Church, 1993; Shimada, 2009).

**Cuadro 1: Especies bacterianas del rumen según el tipo de sustrato que fermentan**

<p><b>Especies celulolíticas.</b>  <i>Fibrobacter (Bacteroides) succinogenes.</i>  <i>Ruminococcus flavefaciens.</i>  <i>Ruminococcus albus.</i>  <i>Butyrivibrio fibrisolvens.</i>  <i>Clostridium cellobioparum.</i>  <i>Clostridium longisporum.</i>  <i>Clostridium lochheadii.</i>  <i>Eubacterium cellulosolvens.</i></p> <p><b>Especies hemicelulolíticas.</b>  <i>Butyrivibrio fibrisolvens.</i>  <i>Prevotella (Bacteroides) ruminicola.</i>  <i>Ruminococcus spp.</i>  <i>Eubacterium xylanophilum.</i>  <i>Eubacterium uniformis.</i></p> <p><b>Especies pectinolíticas.</b>  <i>Butyrivibrio fibrisolvens.</i>  <i>Prevotella ruminicola.</i>  <i>Lachnospira multiparus.</i>  <i>Succinivibrio dextrinosolvens.</i>  <i>Treponema bryantii.</i>  <i>Streptococcus bovis.</i></p> <p><b>Especies amilolíticas.</b>  <i>Ruminobacter (Bacteroides) amylophilus.</i>  <i>Streptococcus bovis.</i>  <i>Succinimonas amyolytica.</i>  <i>Prevotella ruminicola.</i></p> <p><b>Especies ureolíticas.</b>  <i>Succinivibrio dextrinosolvens.</i>  <i>Selenomonas spp.</i>  <i>Prevotella ruminicola.</i>  <i>Ruminococcus bromii.</i>  <i>Butyrivibrio spp.</i>  <i>Treponema spp.</i></p>	<p><b>Especies archaeae productoras de metano.</b>  <i>Methanobrevibacter ruminantium.</i>  <i>Methanobacterium formicicum.</i>  <i>Methanomicrobium mobile.</i>  <i>Methanomicrobium barkeri.</i></p> <p><b>Especies que utilizan azúcares.</b>  <i>Treponema bryantii.</i>  <i>Lactobacillus vitulinus.</i>  <i>Lactobacillus ruminis.</i>  <i>Lactobacillus acidophilus.</i>  <i>Bifidobacterium spp.</i>  <i>Succinivibrio dextrinosolvens.</i>  <i>Succinivibrio amyolytica.</i>  <i>Selenomonas ruminantium.</i></p> <p><b>Especies que utilizan ácidos orgánicos.</b>  <i>Megasphaera elsdenii.</i>  <i>Selenomonas ruminantium.</i>  <i>Propionibacterium freudenreichii</i></p> <p><b>Especies proteolíticas.</b>  <i>Ruminobacter amylophilus.</i>  <i>Prevotella ruminicola.</i>  <i>Butyrivibrio fibrisolvens.</i>  <i>Streptococcus bovis.</i></p> <p><b>Especies productoras de amoníaco.</b>  <i>Prevotella ruminicola.</i>  <i>Megasphaera elsdenii.</i>  <i>Selenomonas ruminantium.</i></p> <p><b>Especies que utilizan lípidos.</b>  <i>Anaerovibrio lipolytica.</i>  <i>Butyrivibrio fibrisolvens.</i>  <i>Treponema bryantii.</i>  <i>Eubacterium spp.</i>  <i>Fusocillus spp.</i>  <i>Micrococcus spp.</i></p>
--	--

Tomado de Church. 1993. El Rumiante: Fisiología digestiva y nutrición.

Sin embargo, las bacterias ruminales también se clasifican por su morfología pleomorfica en cocos, bacilos, vibrios, espiroquetas y espirilos; su tamaño es de 0.3 a 4  $\mu\text{m}$  y representan alrededor del 50% de la biomasa microbiana total, de acuerdo con el sustrato que desdoblan la gran mayoría son gramnegativas (forrajes) o grampositivas (granos). Los protozoarios miden de 20 a 200  $\mu\text{m}$ , por lo que su biomasa microbiana

total comprende en un 40% aproximadamente, pero puede llegar a ser igual o incluso mayor que la correspondiente a las bacterias (Church, 1993; Kamra, 2005). Existen dos grandes grupos de protozoarios ciliados dentro del rumen denominados como *Holotricha* y *Entodiniomorfos* (cuadro 2). Los hongos representan el 8% de la biomasa microbiana total y las principales especies que se encuentran dentro del rumen son *Neocallimastix frontali*, *Sphaeromonas communis*, *Orpinomyces bovis* y *Anaeromyces mucronatus* (García *et al.*, 1995; Kamra, 2005).

**Cuadro 2: Protozoarios presentes en el medio ambiente ruminal**

<b><i>Holotricha</i></b>	<b><i>Entodiniomorfos</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Isotricha prostoma</i></li> <li>• <i>Isotricha intestinalis</i></li> <li>• <i>Dasytricha ruminantium</i></li> <li>• <i>Oligoisotricha bubali</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Entodinium bovis</i></li> <li>• <i>Diplodinium dendatum</i></li> <li>• <i>Ostracodinium trivesiculatum</i></li> <li>• <i>Eudiplodinium maggii</i></li> <li>• <i>Epidinium caudatum</i></li> <li>• <i>Ophryoscolex caudatus</i></li> <li>• <i>Polyplastro multivesiculatum</i></li> </ul>

Adaptado de Kamra. 2005. Rumen microbial ecosystem.

Es indispensable la presencia de microorganismos dentro del rumen, ya que confiere a los rumiantes sus características digestivas diferenciales con respecto a otros mamíferos domésticos, debido a que pueden producir una amplia gama de enzimas con funciones esenciales como el desdoblamiento de glúcidos estructurales (celulosa, hemicelulosa) y no estructurales (almidón, azúcares), aprovechamiento de nitrógeno no proteico (urea, amoniaco, amonio) para su conversión en aminoácidos y proteínas microbianas, síntesis de vitaminas hidrosolubles, producción y utilización de ácidos orgánicos como fuente de energía metabólica (Febres y Vergara-López, 2007; McCann *et al.*, 2017). Estos microorganismos mantienen una verdadera relación simbiótica con el hospedador debido a que el rumen proporciona las condiciones

ambientales y fisiológicas que son necesarias para su actividad y supervivencia y, al mismo tiempo, el rumiante utiliza los productos finales de la fermentación microbiana para cubrir sus requerimientos nutricionales (Pinloche *et al.*, 2013).

El ecosistema microbiano del rumen es un factor crítico y de mucha importancia que vincula a las dietas con la fisiología y la productividad de los bovinos (Mullins *et al.*, 2013), por lo tanto, la producción eficiente del ganado lechero se basa en la cantidad y calidad de los productos finales de la fermentación, que a su vez depende de la cantidad y calidad del alimento ingerido, y del tipo de los microorganismos presentes en el rumen (AlZahal *et al.*, 2017). El sinergismo y antagonismo entre los diferentes grupos e incluso entre diferentes géneros del mismo grupo es tan diverso y complicado que es difícil cuantificar la función que desempeñan cualquier grupo particular de microorganismos presentes en el rumen (Kamra, 2005).

### **Uso de probióticos en la alimentación de rumiantes.**

Los probióticos se definen como suplementos alimenticios de origen microbiano vivo no nutritivo que tienen la capacidad de regular el equilibrio y la actividad de la microbiota ruminal e intestinal, mostrando efectos positivos en varios procesos de digestión, por lo tanto, se consideran beneficiosos en el animal hospedero y se han utilizado como alimentos funcionales (Vyas *et al.*, 2014; Uyeno *et al.*, 2015), ya que no proveen nutrientes específicos, sino que facilitan el uso más eficiente de los nutrientes presentes en la dieta (Troncoso, 2015). Sin embargo, en 1989 la F.D.A de U.S.A estableció que no era adecuado el nombre de probióticos, y se ha empleado con más frecuencia el término de aditivo microbiano de alimentación directa para describir

cultivos microbianos viables, extractos de cultivos, enzimas o una mezcla de ambos, los cuales, son principalmente de bacterias, hongos y levaduras (Krehbiel *et al.*, 2003).

Los aditivos microbianos de alimentación directa presentan varias características importantes: 1) No son patógenos, ni tóxicos, 2) no se absorben en el tracto digestivo, 3) no dejan residuos en los tejidos animales, 4) se utilizan en pequeñas cantidades, 5) proliferan *in vivo* e *in vitro*, 6) promueven el crecimiento de bacterias benéficas, 7) son estables a temperaturas elevadas y 8) no son mutagénicos (Casas, 2018).

Los tipos de alimentación microbiana utilizados en rumiantes incluyen derivados de las bacterias ruminales que utilizan el ácido láctico (*Megasphaera elsdenii* y *Selenomonas ruminantium*), o que pueden convertir el almidón en productos finales distintos del ácido láctico (*Prevotella bryantii*), bacterias productoras de ácido láctico de origen intestinal (*Bifidobacterias*, *Lactobacilos*, *Enterococos* y *Streptococcus*) y levadura viva (*Saccharomyces cerevisiae*) (Alzahal *et al.*, 2014<sup>b</sup>). Los más utilizados para modificar la fermentación ruminal se basan en cepas de *S. cerevisiae* (Zaworski *et al.*, 2014; Uyeno *et al.*, 2015).

### **Levaduras y su mecanismo de acción.**

La levadura es un nombre genérico que agrupa a microorganismos unicelulares que pertenecen a la familia de los hongos, incluyen especies patógenas y especies no solamente inocuas sino de gran utilidad (Poppy *et al.*, 2012). *Saccharomyces cerevisiae* es un hongo levaduriforme que constituye el grupo de microorganismos más íntimamente asociado al proceso y bienestar de la humanidad, su nombre deriva del vocablo *Saccharo* (azúcar), *myces* (hongo) y *cerevisiae* (cerveza) (Casas, 2018). Para la alimentación de rumiantes se clasifican en diferentes grupos:

- Productos de levadura viva (LV) que se caracterizan por una alta concentración de células viables y pueden variar de 5 a 10 billones de células vivas/g (Poppy *et al.*, 2012; Malekxahi *et al.*, 2016).
- Cultivos de levadura que son células de levadura residuales, metabolitos o productos de fermentación mezclados con el medio de crecimiento en donde se desarrollan y que preserva la capacidad fermentativa (Allen y Ying, 2012).
- Levadura activa seca (LAS) representa tanto la levadura viva como el cultivo, contienen un número de células vivas de  $>1.5 \times 10^{10}$  ufc/g aproximadamente, sin embargo, no siempre contienen el nivel de células vivas garantizado sino más bien subproductos de fermentación de las mismas (AlZahal *et al.*, 2014<sup>a</sup>).

Las levaduras pueden vivir en medios con alto contenido de azúcar, su pared celular posee gran capacidad de absorción y puede actuar como reservorio de nutrientes. Su composición química es de aproximadamente 50% de proteína, 40% de carbohidratos, 2% de grasa y 8% de minerales y vitaminas (Valarezo *et al.*, 1999).

Con respecto a las diferencias que tienen las distintas cepas de *S. cerevisiae* como suplemento alimenticio se ha demostrado que todas tienen efectos similares sobre la fermentación ruminal, actúan no solo modificando favorablemente el medio ambiente ruminal promoviendo el crecimiento de varios tipos de bacterias y protozoarios en los rumiantes sino también mejorando su actividad metabólica (Desnoyers *et al.*, 2009; Pinloche *et al.*, 2013; Meller *et al.*, 2014).

Los productos de fermentación o cultivos de *S. cerevisiae* proveen metabolitos productos de su fermentación incluidos aminoácidos, ácidos orgánicos, vitaminas del complejo B y micronutrientes, sirviendo como factores de crecimiento solubles que

estimulan la proliferación de cultivos puros de bacterias ruminales. Los principales mecanismos de acción de las levaduras incluyen el estimular el crecimiento de bacterias celulolíticas causando un incremento en la digestibilidad de fibra, estimula el crecimiento de bacterias utilizadoras del ácido láctico disminuyendo su acumulación dentro del rumen (Callaway y Martin, 1997; Lynch y Martin, 2002; Desnoyers *et al.*, 2009; Pinloche *et al.*, 2013), y aumenta la síntesis y salida de proteínas microbianas del rumen de forma indirecta (Hristov *et al.*, 2010; DeVries y Chevaux, 2014).

### ***Crecimiento de bacterias celulolíticas y digestibilidad de fibra.***

La celulosa y hemicelulosa representa la parte fibrosa de los forrajes y su contenido es de 28 al 30 % en la mayoría de las dietas para rumiantes (NRC, 2001). Estos polímeros de la pared de células vegetales son insolubles, estructuralmente complejos y no totalmente accesibles, lo que explica porque su degradación es limitada, debido a que las enzimas digestivas propias de los rumiantes no pueden hidrolizar este tipo de moléculas (Chaucheyras-Durand *et al.*, 2008). Las enzimas que pueden degradar la fibra son producidas por bacterias fibrolíticas, se encuentran principalmente la endo- $\beta$ -1,4-glucanasa, exo- $\beta$ -1,4-glucanasa y  $\beta$ -glucosidasa correspondientes a celulasas y endo- $\beta$ -1,4-xilanasas,  $\beta$ -1,4-xilosidasas,  $\alpha$ -glucuronidasas y endo- $\beta$ -1,4-manasas correspondientes a hemicelulasas (AlZahal *et al.*, 2017).

Las levaduras se utilizan para mejorar el valor nutritivo y la eficiencia en la utilización de forrajes de baja calidad, por medio del crecimiento de bacterias fibrolíticas. Uno de los factores principales de las levaduras en el efecto benéfico sobre las bacterias que degradan fibra es debido a su metabolismo aeróbico, teniendo la capacidad de utilizar y eliminar el oxígeno que se encuentra disuelto dentro del rumen,

reduciendo su efecto tóxico sobre la población de bacterias celulolíticas estrictamente anaerobias, aumentando así su crecimiento y viabilidad, ya que son las responsables de mejorar la digestibilidad de celulosa y hemicelulosa (Desnoyers *et al.*, 2009; Hristov *et al.*, 2010; AlZahal *et al.*, 2014<sup>b</sup>; Yuan *et al.*, 2015).

La eficacia de algunas cepas de levaduras para estimular el crecimiento y/o actividad de bacterias celulolíticas se ha demostrado en estudios *in vitro* (Callaway y Martin, 1997; Lynch y Martin, 2002) e *in vivo* (White *et al.*, 2008; AlZahal *et al.*, 2017), cepas de *S. cerevisiae* estimulan el crecimiento de *Fibrobacter succinogenes*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* y *Anaerovibrio lipolytica* (Pinloche *et al.*, 2013; Jiang *et al.*, 2017), no obstante, los cambios en las poblaciones microbianas *in vitro* no siempre se han traducido en cambios *in vivo* en la microbiota ruminal de las vacas lecheras (Mullins *et al.*, 2013).

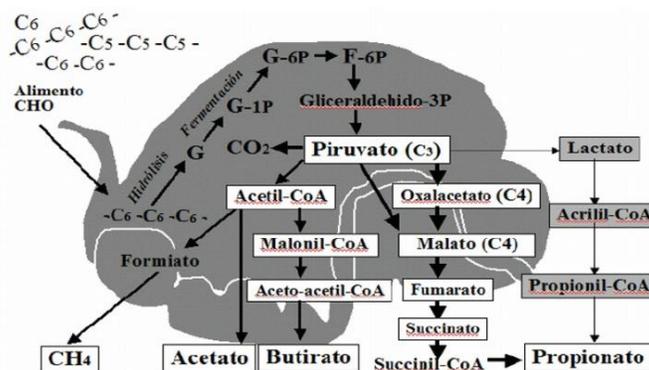
AlZahal *et al.*, (2014<sup>a</sup>) observaron que al suplementar *S. cerevisiae* activa seca a vacas lecheras con una dieta alta en concentrado (51%) y con cambios repentinos de la misma se obtuvieron aumentos de 2, 1.3 y 6 veces mayor en recuentos de *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus albus* y *Anaerovibrio lipolytica*, respectivamente, en comparación de un grupo control, demostrando el efecto beneficioso que tiene sobre la población de bacterias celulolíticas incluso al alimentar con dietas altas en concentrado y al realizar cambios bruscos en la alimentación.

### ***Digestión de carbohidratos de rápida fermentación ruminal.***

Los carbohidratos no estructurales, principalmente el almidón, representan la mayor fuente de energía para el ganado lechero de alta producción y son de más fácil digestibilidad en comparación con los carbohidratos estructurales. Su concentración

optima en la dieta no esta del todo definida, sin embargo, se sugiere que esta no sea mayor del 30% para prevenir problemas en la salud del ganado lechero (NRC, 2001).

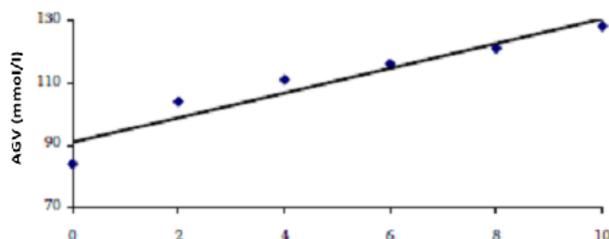
El proceso de fermentación microbiana de carbohidratos dentro del rumen produce AGV principalmente ácido acético, propionico y butírico (figura 2). Los AGV son el principal sustrato energético aportando hasta el 80% de los requerimientos energéticos de los rumiantes, se absorben rápidamente a través del epitelio ruminal, y son precursores de moléculas esenciales como glucosa (ácido propionico) y lípidos (ácido acético y butírico) (McCann *et al.*, 2017). Los niveles fisiológicos totales de AGV son de 80 a 120 mmol/L en el contenido ruminal, dependiendo de la composición tanto cuantitativa como cualitativa de la dieta (Dolezal *et al.*, 2005). El almidón es fermentado por los protozoarios a un ritmo más lento que las bacterias amilolíticas, y los productos finales de fermentación son los AGV (principalmente propionico y acético) en lugar del ácido láctico (AlZahal *et al.*, 2014<sup>a</sup>).



**Figura 2:** Síntesis de ácidos grasos volátiles dentro del rumen

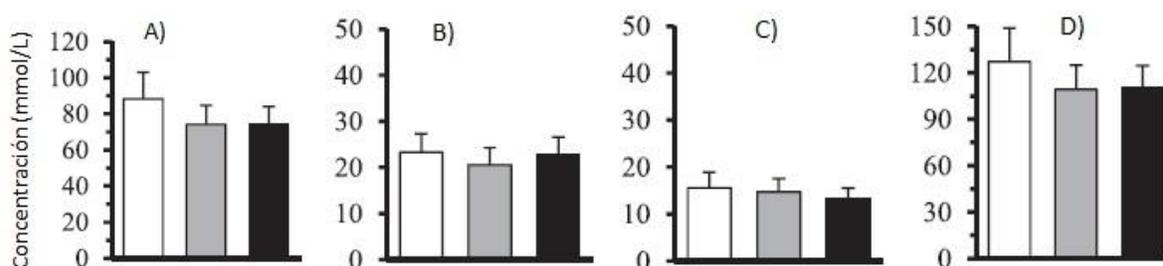
Se ha reportado que la suplementación con cultivo de *S. cerevisiae* incrementa la concentración total de AGV, sin embargo, la concentración de ácido acético se reduce y, por el contrario, el ácido propionico aumenta (Miller-Webster *et al.*, 2002;

Erasmus *et al.*, 2005). Dolezal *et al.*, (2005) observaron que la concentración de AGV incrementa al mismo tiempo que incrementa la dosis de levadura en la ración (figura 3).



**Figura 3:** Efecto de la suplementación con diferentes dosis de levadura ( $8 \times 10^9$  ufc de SC/g) sobre la concentración de AGV en el rumen (0 = 84 mmol/l, 2 = 104.2 mmol/l, 4 = 111 mmol/l, 6 = 115.8 mmol/l, 8 = 121 mmol/l y 10 = 127.6 mmol/l) (Dolezal *et al.*, 2005).

Hristov *et al.*, (2010) observaron que estos productos de fermentación de *S. cerevisiae* incrementa la concentración de amilasas dentro del rumen, sin embargo, esto no significó un aumento en la degradación de almidón y en un aumento en la síntesis de AGV totales o individuales, ya que, sus concentraciones no mostraron diferencias significativas en un grupo tratado y en otro control. Por otra parte, Uyeno *et al.*, (2017) también observaron que no hay diferencias significativas en la concentración de AGV con varias dosis de levadura en comparación de un grupo control (figura 4).



**Figura 4:** Concentración de AGV en el fluido ruminal de vacas suplementadas con levadura activa seca ( $> 10^8$  ufc de SC/g) en la dieta (□ = Control, ▒ = 5 g/vaca, ■ = 10 g/vaca). A) ácido acético, B) propionico, C) butírico y D) AGV totales (Uyeno *et al.*, 2017).

Cuando las vacas lecheras altas productoras consumen dietas elevadas en granos con carbohidratos de rápida fermentación para satisfacer sus necesidades energéticas, la velocidad a la que se producen los ácidos orgánicos por la fermentación

microbiana puede exceder la velocidad en que estos ácidos se absorben a través del epitelio ruminal, acumulándose y disminuyendo así el pH ruminal, predisponiendo a problemas de acidosis ruminal subaguda (Malekxahi *et al.*, 2016).

La acidosis ruminal subaguda (SARA) es un trastorno digestivo en los rumiantes generado por el alto consumo de carbohidratos de rápida fermentación causando una disminución en el pH ruminal a  $\geq 5.6$  por un periodo mínimo de 5 horas/día, debido a la acumulación de AGV y ácido láctico dentro del rumen. En estas condiciones se disminuye el consumo de alimento, resultando en una mala condición corporal, disminución en la producción láctea y predispone a una depresión de grasa en la leche (AlZahal *et al.*, 2014<sup>a</sup>; Li *et al.*, 2016; Malekxahi *et al.*, 2016), y aumenta la presencia de casos de laminitis en el hato lechero ocasionando grandes pérdidas económicas debido a una baja respuesta general en la eficiencia productiva de leche y un incremento en la tasa de desecho de animales (Li *et al.*, 2016).

En condiciones de acidosis las bacterias productoras de ácido láctico como *Streptococcus bovis* puede superar en número a las especies que utilizan el ácido láctico como *Megasphaera elsdenii*, *Selenomonas ruminantium* y *Propionibacterium freudenreichii*, conduciendo a su acumulación dentro del rumen. Cuando el pH ruminal es bajo, la diversidad microbiana se reduce, ya que el número de protozoarios puede disminuir drásticamente y la población bacteriana se altera, por ejemplo, se ha demostrado que especies bacterianas fibrolíticas como *F. succinogenes*, *R. albus* y *R. flavifaciens* son sensibles a pH bajos (Chaucheyras-Durand *et al.*, 2008).

El uso de levadura es particularmente útil en la alimentación de rumiantes de alta producción cuyo equilibrio microbiano ruminal se puede alterar mediante el aporte alto

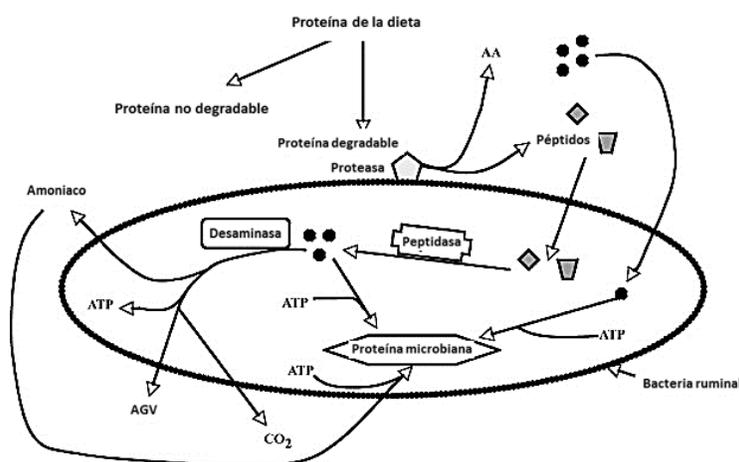
de energía en la dieta (Vyas *et al.*, 2014). Se ha demostrado que *S. cerevisiae* estimula el crecimiento de bacterias que utilizan el ácido láctico como *S. ruminantium*, *M. elsdenii* y *P. freudenreichii* (Pinloche *et al.*, 2013; AlZahal *et al.*, 2014<sup>a</sup>) y mejora la capacidad de *S. ruminantium* y *P. freudenreichii* de convertir el ácido láctico en ácido propiónico, reduciendo su acumulación dentro del rumen (Callaway y Martin, 1997; AlZahal *et al.*, 2014<sup>b</sup>), creando condiciones óptimas para el crecimiento de las bacterias fibrolíticas (DeVries y Chevaux, 2014; Uyeno *et al.*, 2017).

Es posible que las mejoras en el rendimiento productivo de las vacas lecheras con la suplementación de *S. cerevisiae* en dietas con grandes cantidades de carbohidratos de rápida fermentación pueda deberse a una reducción en la concentración de ácido láctico, ya que, su utilización es de gran importancia en la estabilización del pH ruminal (Vyas *et al.*, 2014), sugiriendo una capacidad de amortiguación mejorada y su conversión a AGV mejora el estado energético (Meller *et al.*, 2014), conduciendo a una mayor eficiencia en la alimentación (DeVries y Chevaux, 2014). Por otro lado, se asume que los efectos estabilizadores de las levaduras son benéficos desde el punto de vista clínico, ya que reduce y previene la incidencia de acidosis ruminal subaguda y laminitis, que son enfermedades muy comunes y costosas en los sistemas lecheros de alto rendimiento (Li *et al.*, 2016).

### ***Metabolismo de nitrógeno y síntesis de proteínas microbianas.***

El metabolismo de las proteínas en el rumen es el resulta de la actividad metabólica de los microorganismos por las proteasas microbianas (Bach *et al.*, 2005), esto proporciona entre el 50 a 80% del total de las proteínas absorbibles en el intestino delgado (Pinloche *et al.*, 2013). La proteína dentro del rumen se degrada a péptidos y

aminoácidos, y finalmente se desaminan en N amoniacal o se incorpora a proteínas microbianas, sin embargo, la conversión microbiana de péptidos y aminoácidos a amoníaco es desfavorable en el rumiante, porque se requiere gasto de energía para la síntesis de proteínas microbianas y no todo el N se incorpora a las proteínas (figura 5), en consecuencia, si se producen altos niveles de amoníaco en el rumen, una gran cantidad de N se absorbe, se metaboliza a urea en el hígado y se excreta en la orina (Bach *et al.*, 2005).



**Figura 5:** Representación esquemática de la degradación de proteínas y el destino de los productos finales en el rumen (Bach *et al.*, 2005).

Las pérdidas de N pueden reducirse al disminuir la degradación de proteínas en el rumen y/o al aumentar el uso del N por los microorganismos ruminales (Bach *et al.*, 2005). Las investigaciones del efecto de levadura sobre el metabolismo de N microbiano en el rumen son escasas, el principal parámetro a evaluar relacionado con el N ruminal es la concentración de amoníaco, que es muy variable dependiendo de factores abióticos como la composición de la dieta y factores bióticos como el hospedero y los microorganismos presentes (Chaucheyras-Durand *et al.*, 2008).

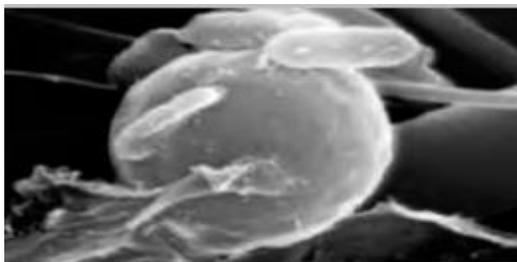
Se ha demostrado que las bacterias fibrolíticas tienen una alta preferencia por el amoníaco como fuente de N, por lo tanto, si el crecimiento de bacterias que degradan fibra se ve incrementado con la suplementación con levadura, debería esperarse un aumento en la utilización general del amoníaco ruminal para la síntesis de proteínas microbianas dentro del rumen (Hristov *et al.*, 2010). Hristov *et al.*, (2010) observaron que la suplementación con cultivo de *S. cerevisiae* en vacas lecheras reduce la concentración de amoníaco en el rumen un 9% en comparación con un grupo control, y al mismo tiempo este efecto incrementa la síntesis y eficiencia de proteínas microbiana, aumentando el aporte de aminoácidos (Li *et al.*, 2016), sin embargo, en otros estudios no se observó ningún efecto sobre la utilización de amoníaco (Erasmus *et al.*, 2005) e incluso resultaron en un aumento de la concentración de amoníaco ruminal (Poppy *et al.*, 2012).

#### ***Participación en la respuesta inmune.***

Los componentes que se encuentran presente en la pared celular de *S. cerevisiae* tales como los oligosacáridos  $\beta$ -glucanos y mananos tienen la capacidad de estimular el sistema inmune influyendo en la interacción hospedero-patógeno en el tracto digestivo, refiriéndose a ellos como “inmunonutrientes” (Magalhaes *et al.*, 2008). Los  $\beta$ -glucanos tienen un importante patrón molecular asociado a patógenos (PAMP), lo que genera una mayor proliferación y actividad de neutrófilos, macrófagos y células T, mejorando la función en la defensa contra patógenos (Finck *et al.*, 2014).

Se ha informado que modifica el equilibrio de la microbiota intestinal, ya que se adhieren a la mucosa y previenen la adherencia y/o activación de patógenos (Krehbiel *et al.*, 2003), también pueden actuar como un ligando de alta afinidad competitiva a

sitios de unión para las bacterias patógenas principalmente gramnegativas (*Salmonella* y *Escherichia coli*) que poseen fimbrias tipo 1 específicas de manosa, en la cual estas bacterias se adhieren selectivamente a la superficie de las levaduras (figura 6), los beneficios inmediatos están asociados con la eliminación de patógenos evitan su unión y colonización por todo el sistema digestivo, esto provoca respuestas antigénicas importantes, mejorando así la inmunidad humoral contra patógenos específicos a través de la presentación de antígenos atenuados a las células T que se encuentran en el tracto digestivo (Nocek *et al.*, 2011), reduciendo el riesgo en la incidencia de enfermedades digestivas como diarreas infecciosas (Magalhaes *et al.*, 2008).



**Figura 6:** Células de levadura con microorganismos patógenos adheridos a su superficie.

En otras palabras, el sistema inmune del animal hospedero es capaz de tener una mejor respuesta inmune tanto inespecífica (innata) como específica (adaptativa) contra una gran variedad de patógenos (Krehbiel *et al.*, 2003).

### **Efectos de *Saccharomyces cerevisiae* sobre el rendimiento productivo**

*S. cerevisiae* se suplementa de forma directa en la dieta a fin de mejorar el rendimiento de las vacas lecheras en cuanto a producción y composición química de la leche (Rivas *et al.*, 2008; Dias *et al.*, 2018), estas mejoras pueden tener beneficios en la rentabilidad del hato, incluso cuando los cambios en la producción sean muy leves (Shingoethe *et al.*, 2004). Se ha reportado efectos positivos en la producción láctea

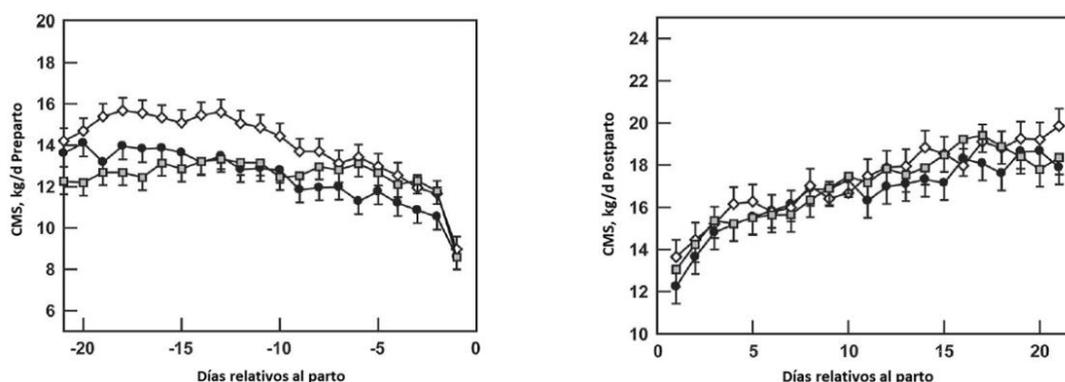
cuando se suministra *S. cerevisiae* en el agua de bebida, sin embargo, no se han realizado muchas investigaciones sobre este último aspecto (Rossow *et al.*, 2014).

El efecto positivo en el rendimiento y en el contenido de los componentes de la leche es el resultado del aumento de la ingesta diaria de alimento, mayor digestibilidad de los nutrientes (Desnoyers *et al.*, 2009) y a una mayor disponibilidad de energía metabolizable (Meller *et al.*, 2014). Una hipótesis de esto se debe a que el aumento en la digestibilidad de la fibra típicamente asociados con la suplementación de *S. cerevisiae* puede ayudar a acelerar el paso de alimento dentro del rumen y, por lo tanto, aumenta el apetito y la ingesta de alimento (DeVries y Chevaux, 2014). Se ha reportado que la suplementación con levadura activa seca puede incrementar el consumo de materia seca (CMS) en vacas al inicio de lactancia (AlZahal *et al.*, 2014<sup>a</sup>), mientras que lo disminuye durante la lactancia tardía (Poppy *et al.*, 2012).

El incremento de la producción ruminal de AGV influenciados por *S. cerevisiae* resulta en un aumento de la producción, así como un aumento en el porcentaje de grasa en la leche, mejorando el rendimiento productivo (Desnoyers *et al.*, 2009). Los aumentos en la tasa de digestión de la fibra que se han observado en los rumiantes alimentados con *S. cerevisiae* pueden mejorar la producción de grasa de la leche debido a una mayor producción de ácido acético (Erasmus *et al.*, 2005), sin embargo, White *et al.*, (2008) reportaron que el porcentaje de grasa y proteína no se ve afectado con la suplementación con cultivo de levadura en vacas lecheras con 96 días en leche, incluso cuando hubo un incremento en la digestibilidad de fibra.

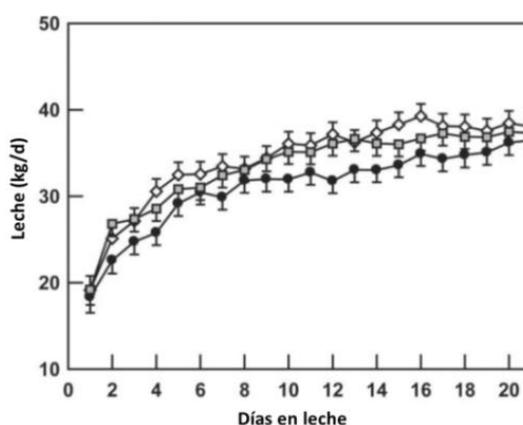
Ramsing *et al.*, (2009) evaluaron el efecto que tiene la suplementación con diferentes dosis (0, 57, 227 g/vaca) de cultivo de *S. cerevisiae* sobre el CMS y la

producción de leche en vacas Holstein multíparas y primíparas durante el periodo de transición (21 días preparto y postparto). Observaron que el CMS incrementaba con la suplementación de cultivo de *S. cerevisiae* en el preparto y en el postparto no se obtuvieron diferencias significativas en los tratamientos (figura 7).



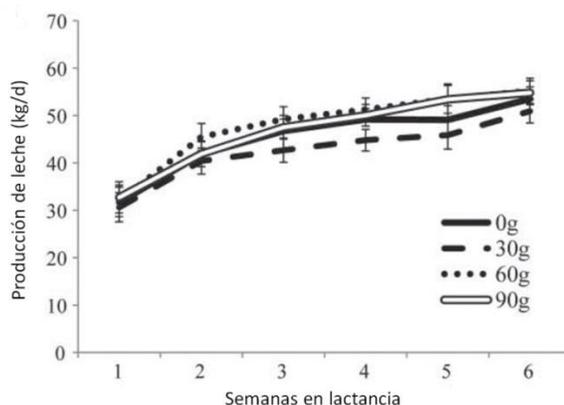
**Figura 7:** Efecto de la suplementación con cultivo de levadura sobre el CMS en vacas preparto y postparto. (●) grupo control, (◇) 57 g/vaca al día (□) 227 g/vaca al día (Ramsing *et al.*, 2009).

La producción de leche tendió a aumentar en un 10% más en vacas suplementadas con cultivo de *S. cerevisiae* en comparación con las vacas no suplementadas, sin embargo, no se observaron diferencias significativas en ambos tratamientos con cultivo de levadura (figura 8).



**Figura 8:** Efecto de la suplementación con cultivo de *S. cerevisiae* sobre la producción de leche de vacas Holstein postparto. (●) grupo control, (◇) 57 g/vaca al día (□) 227 g/vaca al día (Ramsing *et al.*, 2009).

Zaworski *et al.*, (2014) evaluaron el efecto que tienen varias dosis (0, 56 y 112 g/día) de producto de fermentación de *S. cerevisiae* (PFSC) al ser suplementadas en la ración en las vacas Holstein durante la etapa de transición (28 días preparto y postparto) sobre la producción de leche y observaron un incremento en la producción de  $5.2 \pm 2.3$  kg más de leche con la suplementación con PFSC en comparación con las vacas control, sin embargo, esta respuesta en el incremento en la producción de leche no dependió de las dosis suplementada, ya que en ambos tratamientos con 56 y 112 g no se obtuvieron efectos significativos sobre la producción de leche. Sin embargo, Yuan *et al.*, (2015) observaron que al suplementar con diferentes dosis de cultivo de levadura más hidrolizado enzimático de levadura (CL + HEL) en vacas lecheras durante 42 días después del parto, los rendimientos en leche no se vieron afectados (45.3, 42.6, 47.8 Y 46.7 kg/día para 0, 30, 60 y 90 g/día, respectivamente) (figura 9).

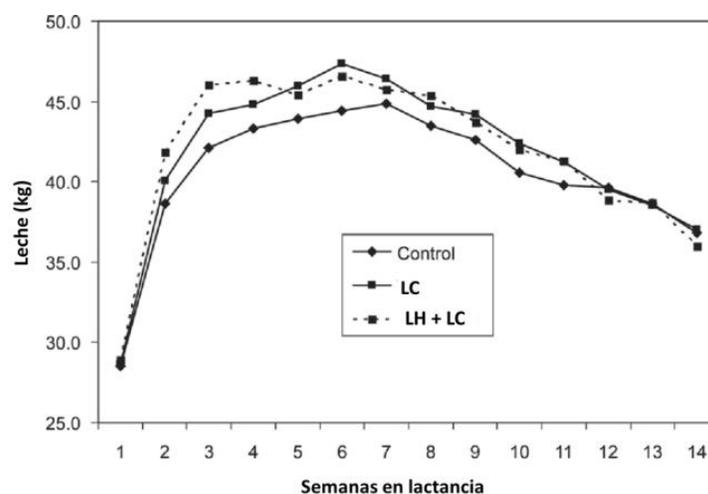


**Figura 9:** Efecto sobre la producción de leche al suplementar CL + HEL a vacas Holstein en periodo de transición durante 42 días postparto (Yuan *et al.*, 2015).

Por otra parte, Jiang *et al.*, (2017) evaluaron el efecto de la suplementación de diferentes dosis de cepa de *S. cerevisiae* sobre el rendimiento lácteo en vacas en lactancia tardía (284 días en leche). Los tratamientos consistían en sin levadura viva (control), dosis baja ( $5.7 \times 10^7$  ufc/día), dosis alta ( $6 \times 10^8$  ufc/día) y dosis alta de

levadura muerta ( $6 \times 10^8$  ufc/día) durante 21 días, y al concluir observaron que con dosis baja de SC aumentaba la producción de leche en comparación con el control (31.7 vs 29.6 Kg/día) sin haber aumentos en el CMS, sin embargo, con dosis altas de SC viva y muerta no se observaron diferencias significativas en comparación con el control, demostrando que la suplementación con dosis bajas de *S. cerevisiae* es incluso mas eficiente sobre el rendimiento productivo de leche en comparación de dosis altas.

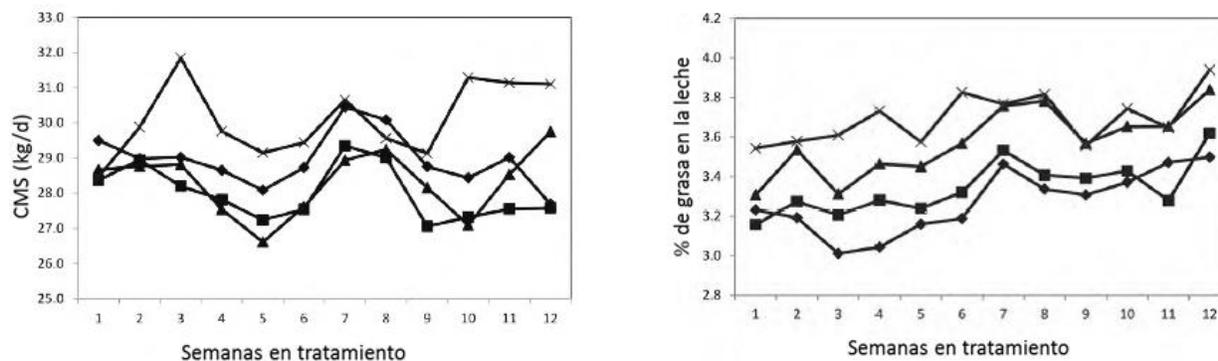
Nocek *et al.*, (2011) evaluaron en efecto del cultivo de levadura (CL) e hidrolizado de levadura (HL) sobre el rendimiento productivo usando 150 vacas distribuidas en 3 tx diferentes, (1) suplementadas con 56 g/día por cabeza de CL, (2) con 28 g/día de LC + LH y (3) control, durante 14 semanas después del parto y observaron que las vacas suplementadas con CL y CL + HL produjeron 1.4 y 1.8 kg más de leche/día, respectivamente, en comparación con las vacas control (figura 10). Estos resultados demostraron que la suplementación con cultivo de levadura y levadura hidrolizada en la dieta aumenta el rendimiento de leche en vacas en inicio de lactancia.



**Figura 10:** Rendimiento semanal promedio de leche cuando se suplementa en la dieta con cultivo de levadura (CL) solo o en combinación con hidrolizado enzimático de levadura (LH) (Nocek *et al.*, 2011).

Rivas *et al.*, (2008) evaluaron el efecto que tiene el cultivo de *S. cerevisiae* suministrado en una dieta con una relación de 30:70 de forraje-concentrado al inicio de lactancia sobre la producción de leche en vacas Holstein y observaron que las vacas que recibieron 10 g de cultivo de SC/d por cabeza incrementaba 165 kg más la producción de leche a los 105 días postparto (equivale a 1.57 kg de leche/día por vaca) en comparación con vacas control y se obtuvo un efecto positivo en la producción de grasa láctea a las 3 semanas de lactancia, debido ha que las vacas tratadas produjeron más grasa (18.2 kg) que las vacas control (16.7 kg), manteniéndose esta respuesta hasta las 6 semanas de lactancia cuando produjeron 35.8 vs 31 kg respectivamente, lo que significa en un incremento de 4.8 kg de grasa a las 6 semanas de lactancia, mostrando un efecto positivo sobre la producción de leche aun cuando se consumia una dieta con un alto contenido de concentrado. Tal respuesta la atribuyen a que SC optimiza el metabolismo ruminal y permite una mejor digestión de fibra de la dieta.

Ferraretto *et al.*, (2012) evaluaron el efecto que tiene la suplementación con 2 dosis de levadura viva (LV;  $15 \times 10^9$  ufc/g de *S. cerevisiae*) en la dieta sobre el rendimiento lácteo de vacas Holstein con  $114 \pm 37$  días en leche. Asignaron 64 vacas en 4 tratamientos dietéticos diferentes que consistían en: (Tx1) 30% de almidón + 4 g de LV, (Tx2) 30% de almidon + 2 g de LV, (Tx3) 30% de almidon y (Tx4) 20% de almidon, durante un periodo de 12 semanas. Observaron que el CMS fue mayor en vacas con el Tx4, el rendimiento en leche no se vio afectado por los Tx y el % de grasa en la leche tendio a ser mayor en vacas con el Tx4 en comparacion con todos los tratamientos con el 30% de almidón, sin embargo, se obtuvo mayor % de grasa en el Tx1 en comparación con los Tx2 y Tx3 (figura 11).



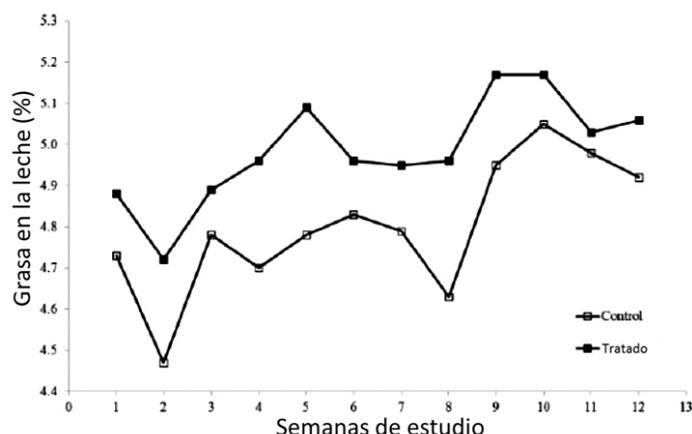
**Figura 11:** Efecto de la LV sobre el CMS y % de grasa en leche. (Δ) 30% almidón + 4 g de LV, (◻) 30% almidón + 2 g, (◊) 30% almidón y (x) 20% almidón. El CMS fue mayor en vacas con dietas que contenía 20% de almidón y sin levadura reflejándose más en 3, 10, 11 y 12° semana (Ferraretto *et al.*, 2012).

Li *et al.*, (2016) observaron que al suplementar 14 g de SCPF/día por vaca con SARA, el % de grasa en la leche aumento (2.92%) en comparación con un grupo control (2.71%). Sin embargo, Malekxahi *et al.*, (2016) observaron que no hubo efecto significativo del uso levadura activa seca sobre el rendimiento productivo de la leche (control: 30.2 vs Tx: 29 Kg/cabeza al día) cuando las vacas presentaban SARA inducida por el consumo de dietas elevadas en grano, sugiriendo que podría no ser una herramienta potencial para mejorar la producción de leche durante este trastorno.

DeVries y Chevaux, (2014) observaron que al suplementar en la ración con  $10^{10}$  ufc/cabeza al día de *S. cerevisiae* viva a vacas Holstein a los 90 días en leche durante 35 días, se obtuvo una mayor producción (1.7 vs 1.63 kg/día) y % de grasa en la leche (3.71 vs 3.55%) en comparación con vacas que no recibieron el suplemento, mostrando el efecto positivo que tiene sobre la producción y calidad de la leche.

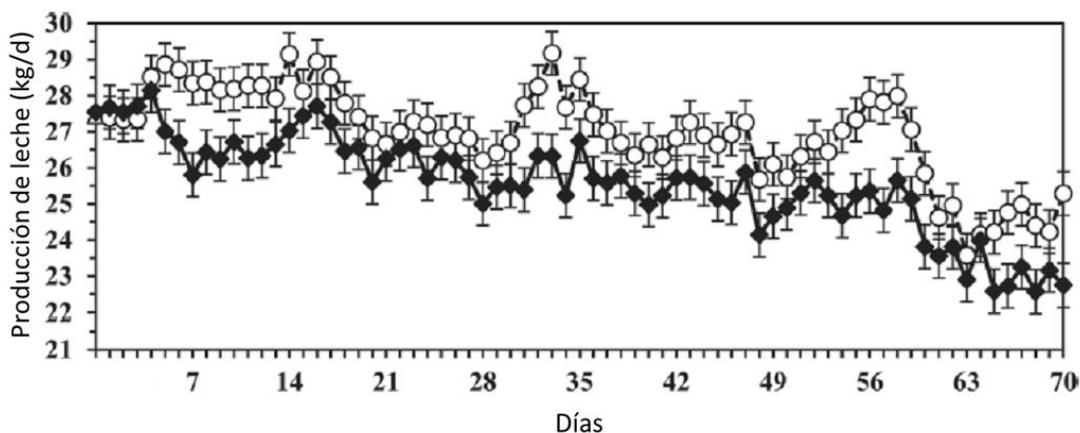
Meller *et al.*, (2014) evaluaron la eficacia de la levadura viva de *S. cerevisiae* sobre la producción de grasa en la leche en vacas Jersey alimentadas con un RTM durante 12 semanas. Observaron que al suplementar con 50 g de levadura ( $1.94 \times 10^8$  a

4.35 x 10<sup>10</sup> ufc de SC/por vaca al día) el % de grasa en la leche aumenta en vacas suplementadas en comparación con vacas no suplementadas durante todas las semanas (figura 12).



**Figura 12:** % de grasa en la leche durante las semanas de estudio en las vacas suplementadas con SC y vacas control (Meller *et al.*, 2014)

Schingoethe *et al.*, (2004) observaron que al suplementar en la dieta para vacas lecheras con 105 días en producción con 60 g de un cultivo de levadura/día durante el verano (28 a 39 °C), la producción de leche y el % de grasa aumento en un grupo tratado en comparación con un control, y el % proteína fue muy similar en ambos tratamientos. Resultados similares fueron reportados por Salvati *et al.*, (2015) al observar que suplementar por 70 días con 10 g de levadura viva ( $25 \times 10^{10}$  ufc de *S. cerevisiae*)/día en vacas lecheras con 207 días en leche durante los meses caluroso la producción de leche aumento en comparación con vacas que no fueron suplementadas (26.7 vs 25.4 kg/día), sin embargo, el % de grasa y proteína no se obtuvieron diferencias significativas en ambos tratamientos (figura 13). Esto demuestra que la levadura puede mejorar levemente la producción de láctea aun cuando las vacas se encuentran propensas a estrés calórico.



**Figura 13:** Producción de leche en vacas con estrés calórico durante los meses de verano calurosos. (◇) grupo control y (○) grupo con levadura viva (Salvati *et al.*, 2015).

Dias *et al.*, (2018) observaron un aumento en la producción de leche (29 vs 26.3 Kg/día), % grasa (3.69 vs 3.59) y % proteína (3.22 vs 3.27) en la leche, en comparación con vacas control, cuando se suplementaba 15 g de cultivo de *S. cerevisiae* en dietas con diferentes nivel de almidón (23 y 29%), sin mostrarse diferencias en el CMS (22.9 vs 22.6). Estas mejoras en el rendimiento productivo lo atribuyen a una mayor digestibilidad total de fibra, aumento en la síntesis de proteínas microbianas contribuida por la reducción en la concentración de N amoniacal dentro del rumen y un aumento en el pH ruminal debido a una disminución de ácido láctico para la utilización de AGV como ya se ha reportado en experimentos pasados.

Rossow *et al.*, (2018) evaluaron el efecto que tiene la LV sobre el rendimiento y los componentes de la leche, utilizando 1903 vacas Holstein lactantes de un rancho lechero comercial, distribuidas en 22 corrales de acuerdo a su etapa: vacas frescas, de media lactancia, primera lactancia y vacas preñadas, siendo movidas de corrales de manera rutinaria durante el experimento. Se suplementaron 3 g de LV (60 billones de ufc de *S. cerevisiae*)/vaca al día en la dieta y los tratamientos consistían en un diseño alternado de 5 periodos de 45 días cada uno, sin suplementación (n=3) y con

suplementación (n=2). El rendimiento de leche diario fue mayor en los periodos con LV en comparación con los periodos sin LV, sin embargo, el % de grasa y proteína no fue afectado durante todo el experimento, demostrando que el uso de LV en las dietas de vacas lecheras tiene efectos beneficios en un sistema de explotación convencional.

**Cuadro 3:** Comparación de la eficiencia de *Saccharomyces cerevisiae* sobre el rendimiento productivo en vacas lecheras lactantes\*

Referencia	Control vs Tratado, respectivamente.									
	CMS (kg/d)		PL (kg/d)		CA		% grasa		% proteína	
Schingoethe <i>et al.</i> , 2004 **	23.1	22.1	34.9	35.4	1.51	1.6	3.34	3.41	2.85	2.87
Erasmus <i>et al.</i> , 2005	22.2	21.7	36.6	37.9	1.65	1.75	3.74	3.8	3.03	3.02
White <i>et al.</i> , 2008	26.2	26.4	41.9	42	1.6	1.59	3.61	3.69	3.21	3.19
Ramsing <i>et al.</i> , 2009	16.6	17.26	31.1	34.2	1.87	1.98	4.57	4.77	3.55	3.6
Hristov <i>et al.</i> , 2010	27.4	27.6	46.5	46.4	1.70	1.68	3.48	3.27	2.94	2.93
Allen y Ying, 2012	24.6	25.5	36.1	36.5	1.47	1.43	3.49	3.59	3.14	3.16
Ferraretto <i>et al.</i> , 2012	28.9	28.3	45.1	44.8	1.58	1.56	3.27	3.57	3.23	3.28
AlZahal <i>et al.</i> , 2014 <sup>a</sup>										
Dieta de adaptación	20	21	28.7	28.5	1.44	1.36	3.68	3.69	3.05	3
SARA***	21.5	23	32.2	33.4	1.5	1,45	2.82	3.05	3.29	3.29
De Vris y Chevaux, 2014	28	28.5	45.8	45.7	1.64	1.60	3.55	3.71	2.91	2.89
Meller <i>et al.</i> , 2014	18.6	19.3	24	24.3	1.29	1.26	4.8	4.99	3.78	3.87
Salvati <i>et al.</i> , 2015**	19	19.5	25.4	26.7	1.34	1.37	3.06	3.17	3.21	3.17
Li <i>et al.</i> , 2016										
Dieta de adaptación	21.8	21.9	33.3	33.8	1.53	1.54	3.25	3.24	3.25	3.21
SARA***	20	20.1	32,2	31.5	1.61	1.57	2.71	2.92	3.34	3.29
Malekkhahi <i>et al.</i> , 2016										
Dieta de adaptación	20.1	19.6	30.2	30.5	1.5	1.56	4.03	4.2	3.13	3.22
SARA***	18.5	18.3	30.2	29	1.63	1.58	3.73	4.25	3.32	3.15
Uyeno <i>et al.</i> , 2017	23.3	23.3	33.9	32.9	1.45	1.41	3.75	3.74	3.38	3.45
Rossow <i>et al.</i> , 2018	24.4	24.3	32.3	33	1.32	1.35	3.68	3.61	3.25	3.31

\*Los datos fueron obtenidos de diversos estudios donde se alimenta con y sin levadura.

\*\* El periodo del experimento fue en épocas de estrés calórico en las vacas lecheras.

\*\*\* Alimentación con dietas que predisponen a presentar acidosis ruminal subaguda (SARA).

CMS: Consumo de materia seca, PL: Producción de leche, CA: Conversión alimenticia.

### **Factores que afectan la respuesta de *Saccharomyces cerevisiae***

La comparación en la respuesta productiva de las vacas lecheras a la suplementación de levaduras a través de los diferentes estudios se complica debido a que sus efectos pueden variar dependiendo de factores bióticos y abióticos (Desnoyers *et al.*, 2009; Rossow *et al.*, 2014).

Los factores bióticos son principalmente la cepa de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), el tipo y proceso de fabricación del producto que se utiliza (levadura viva altamente concentrada, activa seca y cultivo), su viabilidad, modo de uso y dosis recomendada para influir en la fermentación ruminal (Hristov *et al.*, 2010). Por otra parte, entre los factores abióticos están el medio ambiente, diferencias en el manejo y sistema de producción, el estado fisiológico de las vacas lecheras (edad, etapa de lactancia, número de lactancias, condición corporal y estado de salud, etc) y la dieta proporcionada (Poppy *et al.*, 2012; AlZahal *et al.*, 2014<sup>a</sup>; Uyeno *et al.*, 2017).

La mayoría de los sistemas de producción suplementan las levaduras para todas las vacas lactantes, no solamente en transición, las mantienen en grandes corrales y tienen variabilidad en el suministro y disponibilidad de alimento por animal. La variabilidad en la alimentación (la cantidad, frecuencia y tiempo), el movimiento de vacas entre los corrales para su manejo, las diferencias en su comportamiento social en determinados grupos y el estrés al que son sometidas pueden afectar su comportamiento alimenticio de forma individual, dificultando la detección del efecto de las levaduras sobre su rendimiento productivo (Rossow *et al.*, 2018).

En muchos de los casos la dieta es el principal factor que influye sobre la respuesta de las levaduras debido a sus diferentes características como su estructura

física, composición cuantitativa y cualitativa, el tipo y calidad de forraje, la relación forraje-concentrado (Hristov *et al.*, 2010; Poppy *et al.*, 2012; AlZahal *et al.*, 2014<sup>a</sup>; Uyeno *et al.*, 2017) y la administración de otros aditivos (Rossow *et al.*, 2018).

Las investigaciones que se han realizado sobre el uso de levaduras en vacas lecheras concluyen en que las respuestas de su suplementación en la dieta producen resultados inconsistentes (Desnoyers *et al.*, 2009; Rossow *et al.*, 2014) y aún no se ha propuesto un resumen final sobre su beneficio en la alimentación (Uyeno *et al.*, 2017).

Se requiere realizar más investigaciones adicionales con diseños experimentales más sofisticados y con mayores periodos de adaptación en los tratamientos (DeVries y Chevaux, 2014; Rossow *et al.*, 2018), debido a que la variabilidad en el rendimiento productivo de vacas lecheras lactantes es generalmente mayor en sistemas de producción que en estudios más pequeños y bien controlados. Para determinar si existe un verdadero efecto benéfico de la suplementación con los productos de levaduras en las dietas, los resultados de diversas investigaciones pequeñas y bien controladas deben confirmarse con estudios en sistemas de producción convencionales (Rossow *et al.*, 2018).

## CONCLUSIONES

De acuerdo a las investigaciones que se han realizado en los últimos años se concluye que el uso de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* ya sea viva, cultivo o activa seca como aditivos en la alimentación de vacas productoras de leche tiene efectos beneficios sobre la fermentación ruminal, debido a que promueven el crecimiento de microorganismos que son de gran importancia para la digestión de nutrientes presentes en la dieta como la fibra, almidón y proteínas y, a su vez, utilizan compuestos orgánicos como los AGV producto de la misma fermentación con fuente de energía, todo ello, para lograr una mayor producción y calidad de la leche de las vacas. Sin embargo, al existir muchos factores tanto ambientales, de manejo, en la dieta y de los mismos animales que influyen sobre su respuesta, es difícil observar con exactitud su efecto beneficioso sobre la producción, aunque ya este ha sido probado científicamente en estudios muy bien controlados. Una forma correcta para el uso de levaduras en la alimentación es usar dosis recomendadas y tener un estricto control sobre el manejo zootécnico y alimentación del ganado, corrigiendo cualquier error de uno o ambos puntos, ya que de no ser así es poco probable tener resultados positivos en la producción y calidad de la leche en los sistemas de explotación, debido a que la suplementación con *S. cerevisiae* no corrige errores en el manejo y en la alimentación de las vacas lecheras. Con todo lo descrito anteriormente sobre este tema aun se requieren hacer más investigaciones para llegar a un resultado definitivo.

## LITERATURA CITADA

- Allen, M. S. y Ying, Y. (2012). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on ruminal starch digestion are dependent upon dry matter intake for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 95(11), 6591 - 6605.
- AlZahal, O., Dionissopoulos, L., Laarman, A. H., Walker, N. y McBride, B. W. (2014<sup>a</sup>). Active dry *Saccharomyces cerevisiae* can alleviate the effect of subacute ruminal acidosis in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(12), 7751 - 7763.
- AlZahal, O., McGill, H., Kleinberg, A., Holliday, J. I., Hindrichsen, I. K., Duffield, T. F. y McBride, B. W. (2014<sup>b</sup>). Use of a direct-fed microbial product as a supplement during the transition period in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 97(11), 7102 - 7114.
- AlZahal, O., Li, F., Walker, N. D. y McBride, B. W. (2017). Factors influencing ruminal bacterial community diversity and composition and microbial fibrolytic enzyme abundance in lactating dairy cows with a focus on the role of active dry yeast. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 4377 - 4393.
- Bach, A., Calsamiglia, S. y Stern, M. D. (2005). Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 88, 9 - 21.
- Callaway, E. S. y Martin, S. A. (1997). Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* culture on ruminal bacteria that utilize lactate and digest cellulose. *Journal of Dairy Science*, 80(9), 2035 - 2044.
- Casas, R. S. (2018). *Saccharomyces cerevisiae* y *Aspergillus oryzae*: estimuladores y modificadores de la fermentación y crecimiento microbiano ruminal. Artículo de revisión. *Revista de Producción Animal*, 30(2), 1 - 8.
- Chaucheyras-Durand, F., Walker, N. D. y Bach, A. (2008). Effects of active dry yeasts on the rumen microbial ecosystem: Past, present and future. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4), 5 - 26.
- Church, D. C. (1993). El Rumiante: Fisiología digestiva y nutrición. 1<sup>o</sup> ed, *Acriba, Zaragoza España*, 137 – 156.
- Church, D. C., Pond, W. G. y Pond, K. R. (2004). Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. 2<sup>o</sup> ed, *Limusa, México*, 47 – 49.

- Desnoyers, M., Giger-Reverdin, S., Bertin, G., Duvaux-Ponter, C. y 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.
- DeVries, T. J. y Chevaux, E. (2014). Modification of the feeding behavior of dairy cows through live yeast supplementation. *Journal of Dairy Science*, 97(10), 6499 - 6510.
- Dias, A. L. G., Freitas, J. A., Micai, B., Azevedo, R. A., Greco, L. F. y Santos, J. E. P. (2018). Effect of supplemental yeast culture and dietary starch content on rumen fermentation and digestion in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 201 - 221.
- Dolezal, P., Dolezal, J. y Trinacty, J. (2005). The effect of *Saccharomyces cerevisiae* on ruminal fermentation in dairy cows. *Journal of Animal Science*, 50(11), 503 - 510.
- Erasmus, L. J., Robinson, P. H., Ahmadi, A., Hinders, R. y Garrett, J. E. (2005). Influence of prepartum and postpartum supplementation of a yeast culture and monensin, or both, on ruminal fermentation and performance of multiparous dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 122(3), 219 - 239.
- Febres, O. A. y Vergara-López, J. (2007). Propiedades físicas y químicas del rumen. *Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal*, 15(1), 133 - 140.
- Ferraretto, L. F., Shaver, R. D. y Bertics, S. J. (2012). Effect of dietary supplementation with live-cell yeast at two dosages on lactation performance, ruminal fermentation, and total-tract nutrient digestibility in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(7), 4017 - 4028.
- Finck, D. N., Ribeiro, F. R. B., Burdick, N. C., Parr, S. L., Carroll, J. A., Young, T. R., Bernhard, B. C., Corley, J. R., Estefan, A. G., Rathmann, R. J. y Johnson, B. J. (2014). Yeast supplementation alters the performance and health status of receiving cattle. *The Professional Animal Scientist*, 30(3), 333 - 341.
- García, S. A., Castejón, M. F., De la Cruz, L. F., Murillo, M. D y Salido, R. (1995). Fisiología Veterinaria. *McGraw - Hill Interamericana*, 1 ° ed, Madrid España, 611 - 614.

- Hristov, A. N., Varga, G., Cassidy, T., Long, M., Heyler, K., Karnati, S. K., Corl, B., Hovde, C. J. y Yoon, I. (2010). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on ruminal fermentation and nutrient utilization in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(2), 682 - 692.
- Jiang, Y., Ogunade, I. M., Arriola, K. G., Qi, M., Vyas, D., Staples, C. R. y Adesogan, A. T. (2017). Effects of the dose and viability of *Saccharomyces cerevisiae*. 2. Ruminal fermentation, performance of lactating dairy cows, and correlations between ruminal bacteria abundance and performance measures. *Journal of Dairy Science*, 100(10), 8102 - 8118.
- Kamra, D. N. (2005). Rumen microbial ecosystem. *Current Science*, 89(1), 124 - 135.
- Krehbiel, C. R., Rust, S. R., Zhang, G. y Gilliland, S. E. (2003). Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets: Performance response and mode of action. *Journal of Animal Science*, 81(14), 120 - 132.
- Li, S., Yoon, I., Scott, M., Khafipour, E. y Plaizier, J. C. (2016). Impact of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product and subacute ruminal acidosis on production, inflammation, and fermentation in the rumen and hindgut of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 211, 50 - 60.
- Lynch, H. A. y Martin, S. A. (2002). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* culture and *Saccharomyces cerevisiae* live cells on in vitro mixed ruminal microorganism fermentation. *Journal of Dairy Science*, 85(10), 2603 - 2608.
- Magalhaes, V. J. A., Susca, F., Lima, F. S., Branco, A. F., Yoon, I. y Santos, J. E. P. (2008). Effect of feeding yeast culture on performance, health, and immunocompetence of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 91(4), 1497 - 1509.
- Malekkhahi, M., Tahmasbi, A. M., Naserian, A. A., Danesh-Mesgaran, M., Kleen, J. L., AlZahal, O. y Ghaffari, M. H. (2016). Effects of supplementation of active dried yeast and malate during sub-acute ruminal acidosis on rumen fermentation, microbial population, selected blood metabolites, and milk production in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 213, 29 - 43.

- McCann, J. C., Elolimy, A. A. y Loor, J. J. (2017). Rumen microbiome, probiotics, and fermentation additives. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 33(3), 539 - 553.
- Meller, R. A., Firkins, J. L. y Gehman, A. M. (2014). Efficacy of live yeast in lactating dairy cattle. *The Professional Animal Scientist*, 30(4), 413 - 417.
- Miller-Webster, T., Hoover, W. H., Holt, M. y Nocek, J. E. (2002). Influence of yeast culture on ruminal microbial metabolism in continuous culture. *Journal of Dairy Science*, 85(8), 2009 - 2014.
- Mullins, C. R., Mamedova, L. K., Carpenter, A. J., Ying, Y., Allen, M. S., Yoon, I. y Bradford, B. J. (2013). Analysis of rumen microbial populations in lactating dairy cattle fed diets varying in carbohydrate profiles and *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product. *Journal of Dairy Science*, 96(9), 5872 - 5881.
- Nocek, J. E., Holt, M. G. y 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.
- National Research Council. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7° ed, Washington, D. C., National Academy of Sciences.
- Pinloche, E., McEwan, N., Marden, J. P., Bayourthe, C., Auclair, E. y Newbold, C. J. (2013). The effects of a probiotic yeast on the bacterial diversity and population structure in the rumen of cattle. *Plos One*, 8(7), 1 - 10.
- Poppy, G. D., Rabiee, A. R., Lean, I. J., Sanchez, W. K., Dorton, K. L. y Morley, P. S. (2012). A meta-analysis of the effects of feeding yeast culture produced by anaerobic fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* on milk production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(10), 6027 - 6041.
- Ramsing, E. M., Davidson, J. A., French, P. D., Yoon, I., Keller, M. y Peters-Fleckenstein, H. (2009). Effects of yeast culture on peripartum intake and milk production of primiparous and multiparous Holstein cows. *The Professional Animal Scientist*, 25(4), 487 - 495.
- Rivas, J., Díaz, T., Hahn, M. y Bastidas, P. (2008). Efecto de la suplementación con *Saccharomyces cerevisiae* sobre la producción de leche al inicio de la lactancia en vacas lecheras. *Zootecnia Tropical*, 26(4), 421 - 428.

- Rossow, H. A., DeGroff, D. y Parsons, M. (2014). Performance of dairy cows administered probiotic in water troughs. *The Professional Animal Scientist*, 30(5), 527 - 533.
- Rossow, H. A., Riordan, T. y Riordan, A. (2018). Effects of addition of a live yeast product on dairy cattle performance. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 159 - 163.
- Salvati, G. G. S., Júnior, N. M., Melo, A. C. S., Vilela, R. R., Cardoso, F. F., Aronovich, M., Pereira, R. A. N. y Pereira, M. N. (2015). Response of lactating cows to live yeast supplementation during summer. *Journal of Dairy Science*, 98(6), 4062 - 4073.
- Schingoethe, D. J., Linke, K. N., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R., Rennich, D. R. y Yoon, I. (2004). Feed efficiency of mid-lactation dairy cows fed yeast culture during summer. *Journal of Dairy Science*, 87(12), 4178 - 4181.
- Shimada, M. A. (2009). Nutrición animal. 2° ed, Trillas, México. 101 - 105.
- Troncoso, A. (2015). El uso de aditivos en la alimentación de bovinos, [http://www.produccionanimal.com.ar/informacion\\_tecnica/invernada\\_promotores\\_crecimiento/74-Uso\\_Aditivos.pdf](http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_promotores_crecimiento/74-Uso_Aditivos.pdf).
- Uyeno, Y., Shigemori, S. y Shimosato, T. (2015). Effect of probiotics/prebiotics on cattle health and productivity. *Microbes and environments*, 30(2), 126 - 132.
- Uyeno, Y., Akiyama, K., Hasunuma, T., Yamamoto, H., Yokokawa, H., Yamaguchi, T., Kawashima, K., Itoh, M., Kushibiki, S. y Hirako, M. (2017). Effects of supplementing an active dry yeast product on rumen microbial community composition and on subsequent rumen fermentation of lactating cows in the mid-to-late lactation period. *Animal Science Journal*, 88(1), 119 - 124.
- Valarezo, J., Vélez, M., De Flores, G., Matamoros, I. y Santillán, R. (1999). Efecto de la adición de levadura *Saccharomyces cerevisiae* a dietas de vacas lecheras suplementadas con tres niveles de concentrado. *Revista Ceiba*, 40(2), 273 - 278.
- Vyas, D., Uwizeye, A., Mohammed, R., Yang, W. Z., Walker, N. D. y Beauchemin, K. A. (2014). The effects of active dried and killed dried yeast on subacute ruminal

- acidosis, ruminal fermentation, and nutrient digestibility in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 92(2), 724 - 732.
- White, R. A., Harrison, J. H., Yoon, I., Sanchez, W. K. y Nicholson, N. (2008). Effect of yeast culture on efficiency of nutrient utilization for milk production and impact on fiber digestibility and fecal particle size. *The Professional Animal Scientist*, 24(2), 114 - 119.
- Yuan, K., Liang, T., Muckey, M. B., Mendonca, L. G. D., Hulbert, L. E., Elrod, C. C. y Bradford, B. J. (2015). Yeast product supplementation modulated feeding behavior and metabolism in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 532 - 540.
- Zaworski, E. M., Shriver-Munsch, C. M., Fadden, N. A., Sanchez, W. K., Yoon, I. y Bobe, G. (2014). Effects of feeding various dosages of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(5), 3081 – 3098.