

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**CARACTERIZACIÓN DE LOS CARBOHIDRATOS SOLUBLES EN AGUA DE
DIVERSOS ALIMENTOS UTILIZADOS EN DIETAS DE VACAS LECHERAS**

POR

GABRIEL ALEJANDRO JARA ALBORNOZ

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA.**

**CONCEPCIÓN-CHILE
2023**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS CARBOHIDRATOS SOLUBLES EN AGUA DE
DIVERSOS ALIMENTOS UTILIZADOS EN DIETAS DE VACAS LECHERAS**

POR

GABRIEL ALEJANDRO JARA ALBORNOZ

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA.**

**CONCEPCIÓN-CHILE
2023**

Aprobada por:

Profesor Asociado, Pamela Williams S.
Ing. Agrónomo, Dr. Ciencias Agraria

Guía

Profesor Asociado, Jorge Ávila S.
Med. Veterinario, PhD. Animal Science

Asesor

Profesor Asociado, Valeria Velasco P.
Ing. Agrónomo, Dr. Cs. Agropecuarias

Asesor

Profesor Asistente, Erick Zagal V.
Ing. Agrónomo, PhD. Soil Fertility and Plant Nutrition

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Decano

RECONOCIMIENTOS

Esta tesis fue financiada con recursos del Departamento de Producción Animal de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción. Aportes de alimentos de la estación experimental Marcelo Tima Péndola “Fundo el Alazán”, y de distintos productores desde la Región de Ñuble XVI hasta la Región de Los Lagos X.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Resumen.....	1
Summary.....	1
Introducción.....	2
Materiales y Métodos.....	5
Resultados y Discusión.....	9
Conclusiones.....	22
Referencias.....	22

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1	Categoría de alimentos para el estudio..... 10
Tabla 2	Composición nutricional de alimentos seleccionados para análisis de CSA..... 11
Tabla 3	Contenido de los CSA (mg g^{-1}) de los alimentos estudiados..... 15
Tabla 4	Comparación de los CSA obtenidos con diferentes estándares de alimentos para vacas lecheras obtenidos en la zona centro y sur evaluados por espectrofotometría a una longitud de onda de 490 nm..... 19
Tabla 5	Comparación de los CSA obtenidos con distintos estándares por categoría de alimentos evaluados por espectrofotometría a una longitud de onda de 490nm..... 19
Tabla 6	Coeficiente de correlación entre estándares evaluados para todos los alimentos estudiados..... 20
Tabla 7	Modelo de regresión lineal obtenido por categorías de alimentos entre el estándar GI:Xi y GI por sí sola 21

CARACTERIZACIÓN DE LOS CARBOHIDRATOS SOLUBLES EN AGUA DE DIVERSOS ALIMENTOS UTILIZADOS EN DIETAS DE VACAS LECHERAS

CHARACTERIZATION OF WATER-SOLUBLE CARBOHYDRATES OF DIFFERENT FOODS USED IN DAIRY COW DIETS

Palabras índice adicionales: carbohidratos no estructurales, nutrición animal, forrajes, concentrado proteico, concentrado energético.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue comparar los distintos estándares para la cuantificación de carbohidratos solubles en agua, en diversos alimentos que se utilizan frecuentemente en lecherías del centro y sur de Chile, “identificando el tipo de estándar que permita predecir de mejor manera el contenido de CSA”. Se seleccionaron 34 alimentos, que se utilizan en dietas de vacas lecheras, y se analizaron químicamente. Se determinó el contenido de los CSA utilizando el estándar tradicional Glucosa (Gl), y los estándares propuestos: Xilosa (Xi) y Fructosa (Fr), por separadas y en mezclas: Gl:Xi; Fr:Xi; y Gl:Fr:Xi. El diseño fue completamente al azar con 6 tratamientos, 34 alimentos, 3 repeticiones por muestra y 2 lecturas. Al comparar las técnicas no se encontraron diferencias entre los estándares, a pesar de que se observó un aumento de CSA en la mezcla de Fr:Xi y de Gl:Xi, respecto de Gl. Por lo que se determinó una regresión lineal, (variable dependiente Gl:Xi y la Gl como variable regresora), obteniéndose un modelo matemático para cada categoría de alimentos. Sugiriendo utilizar este modelo en la predicción de los CSA de los alimentos cuando son estudiados usando el estándar Gl por sí sola, para considerar la cuantificación de pentosas en la determinación de CSA totales.

SUMMARY

The objective of this study was to compare the different standards of water soluble carbohydrates (WSC), in various feedstuff frequently used in dairy farms in central

and southern Chile, “identifying the type of standard that allows to better predict the WSC content”. 34 feeds used in the diets of dairy cows, were chemically analyzed. The CSA content was determined using the traditional Glucose (Gl) standard by PSA method, and the proposed standards: Xylose (Xi) and Fructose (Fr), separately and in mixtures: Gl:Xi; Fr:Xi; and Gl:Fr:Xi. The design was completely randomized with 6 treatments, 34 foods, 3 repetitions per sample, and 2 readings. When comparing the techniques, no differences were found between the standards, despite the fact that an increase in WSC was observed in the Fr:Xi and Gl:Xi mixtures, compared to Gl. Therefore, a linear regression was determined (dependent variable Gl:Xi and Gl as the regressor variable), obtaining a mathematical model for each food category. It was suggested the use of this model in the prediction of the CSA of foods using the Gl standard by itself, to consider the quantification of pentoses in the determination of total CSA.

INTRODUCCIÓN

El ecosistema ruminal se encuentra densamente poblado por una gran variedad de microorganismos como bacterias, hongos anaeróbicos, protozoos, arqueas y virus (Hernández, 2021). Estos son responsables de fermentar los nutrientes de los alimentos, estableciéndose una relación de simbiosis entre el animal y los microorganismos ruminales. Mientras el rumiante aporta alimentos y las condiciones medioambientales adecuadas (temperatura, anaerobiosis, ambiente reductor y un pH que oscila entre 5,5 a 6,9), los microorganismos degradan parcialmente los alimentos permitiendo hacer útiles los forrajes para los rumiantes y, además, aportan los productos de la fermentación ruminal (Contreras y Noro, 2010).

Los productos de la fermentación ruminal consisten en ácidos grasos volátiles (AGV; ácido acético, propiónico, butírico, valérico e isovalérico entre otros), metano (CH₄), nitrógeno amoniacal (NH₃-N) y nitratos (Rotger, 2005). Siendo los AGV absorbidos a través de la pared ruminal (Santini, 2014), sirviendo como principal fuente de energía para el animal hospedero (Ramírez *et al.*, 2014).

Los rumiantes demandan una gran cantidad de alimentos, por lo que la eficiencia de su uso es lo que debiese ser el foco para alcanzar la máxima productividad, sin comprometer la calidad del producto, y reduciendo los costos en

términos económicos y ambientales (Morgavi *et al.*, 2010). Para alcanzar una mayor eficiencia de producción, debe ocurrir una sincronía degradativa de nutrientes en el rumen, específicamente, de energía y proteína, la que debe ser optimizada (Keim y Anrique, 2011). En la nutrición de rumiantes, la sincronía en la degradación de nutrientes se refiere a la provisión simultánea de fuentes de Nitrógeno (N) y de energía para los microorganismos del rumen. Esto implica un aumento en la producción de proteína microbiana y de AGV, elevando el aporte de nutrientes para el animal, y potencialmente mejorando el rendimiento productivo (Hall y Huntington, 2008).

Es probable lograr la sincronía ruminal incluyendo fuentes de carbohidratos y N, con distinta tasa o tiempo de degradabilidad, por ejemplo, manejando los patrones de alimentación (tiempo de suplementación, frecuencia) (Keim y Anrique, 2011).

Aunque, no es la única opción, también podría darse a través del manejo de ingredientes en la dieta y más aún de nutrientes contenidos en éstos, como los carbohidratos.

Los carbohidratos son la principal fuente de energía para los rumiantes, alcanzando hasta 70% de la materia seca en la dieta de vacas lecheras (Oba, 2010). Se dividen en dos grandes grupos: los carbohidratos fibrosos (CF) y los no fibrosos (CNF). El contenido de CF en el material vegetal consiste en celulosa, hemicelulosa y son parte de la fibra detergente neutra (FDN), mientras que los CNF se componen de azúcares, almidones y pectinas (Campos, 2008). Los CNF pueden determinarse por el contenido de almidón (Dubois *et al.*, 1956) y el resto, que se agrupa como carbohidratos solubles en agua (CSA), que son principalmente azúcares de bajo peso molecular ($5 - 137 \text{ g kg}^{-1} \text{CS kg}^{-1} \text{MS}$), y son la fuente de energía más fácil de obtener para los rumiantes (Russell *et al.*, 1992).

Las dietas de los bovinos contienen entre un 5 y 10% de azúcares en base a MS, entre los cuales se incluyen: monosacáridos, fundamentalmente Gl y Fr, disacáridos como lactosa y sacarosa, y en menor medida oligosacáridos como rafinosa y maltotriosa. La adición de azúcares solubles en la dieta tiene un efecto positivo sobre la fermentación ruminal, favoreciendo la sincronización entre la utilización de la energía y el N rápidamente degradable, y un perfil de AGV favorable

para la síntesis de grasa láctea (Fondevila, 2015). En las dietas de los bovinos los azúcares son los hidratos de carbono simples, que están formados por monosacáridos: hexosas (Gl y Fr) y pentosas [Xilosa (Xi)], y disacáridos: sacarosa, lactosa y maltosa. Algunos autores han evaluado los patrones de degradación y fermentación en algunos carbohidratos puros, como la Gl, sacarosa, inulina (Hall, 2014) indicando que su degradación completa ocurre durante las primeras 2 h post ingesta (Pinder *et al.*, 2012). Desde el punto de vista nutricional la relevancia de determinar el contenido de hexosas y pentosas radica en que se ha observado que la concentración de las hexosas solubles en el rumen disminuye inmediatamente después de la ingesta, y comienza a aumentar a partir de las 3 horas después del consumo del alimento. En este período la concentración del amoníaco aumenta, mientras que la concentración de pentosas post ingesta, permanece constante (Pinder *et al.*, 2012) estando este último disponible como fuente de energía por más tiempo.

De los estudios encontrados sobre el uso de dietas que contienen CSA, se observa un estudio realizado en Chile, el cual indica que el consumo de alimentos con un mayor contenido de CSA incrementa el consumo de materia seca, producción de leche y proteína de la leche (Keim y Anrique, 2011).

Últimamente ha aumentado el interés en conocer el contenido de los CSA de las dietas de rumiantes. Tradicionalmente se evalúan usando cromatografía líquida de alta precisión (HPLC), técnica de alto costo de implementación para análisis rutinario de alimentos para animales. Por otro lado, otra técnica usada para conocerlos CSA es la espectrofotometría utilizando distintos métodos de hidrólisis, que tienen como línea base las técnicas usadas para la determinación de almidones (Hall, 2014). Sin embargo, la información sobre la cuantificación de los CSA presenta imprecisiones analíticas usando instrumentos menos sofisticados como la espectrofotometría, por lo que sería necesario implementar una técnica de determinación de CSA que aplique esta herramienta, y adaptarla para estudiar el contenido de hexosas y pentosas, presentes en los alimentos y dietas para animales.

Hall (2013), realizó un estudio sobre la eficacia de los ensayos para el análisis

de CSA en alimentos, en dónde utilizó el ácido fenol-sulfúrico (PSA), usando el método de DuBois *et al.* (1956) con muestras agitadas después de cada adición de líquido excepto la primera; prepararon soluciones estándares por separado de sacarosa y GI con ácido benzoico al 0,2% como conservante. Luego, estos 2 estándares los utilizaron para generar curvas estándar separadas basadas en GI (PSA-GI) o sacarosa (PSA-sac) con las que interpretaron los valores de la absorbancia de la muestra. El análisis de PSA-sacarosa en el estándar GI a 490 nm sobreestimó la recuperación de la GI y difería de todos los demás métodos, por lo que el análisis con mayor predicción de los CSA según la autora en el ensayo PSA es el estándar GI a 490nm.

El objetivo general de este estudio fue comparar los distintos estándares para la cuantificación de carbohidratos solubles en agua, utilizando diversos alimentos que se incluyen frecuentemente en dietas de lecherías del centro y sur de Chile, identificando el tipo de estándar que permita predecir de mejor manera el contenido de CSA.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Producción Animal de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Campus Chillán; Provincia de Diguillín, Región de Ñuble, Chile. Se seleccionaron alimentos utilizados en sistemas lecheros de la zona centro sur y sur de Chile (forrajes, concentrados proteicos y energéticos), disponibles en el Laboratorio de Nutrición Animal, alimentos de la Estación Experimental Pecuaria Marcelo Tima Péndola (Fundo el Alazán) ubicada a 25 Km al nororiente de la ciudad de Chillán en el sector de Quinquihua, ambos pertenecientes a la Universidad de Concepción. Y, alimentos provenientes de lecherías de la zona centro sur y sur de Chile. Esto generó un pool de 34 alimentos obtenidos desde la región de Ñuble hasta la región de los Lagos.

Selección de ingredientes dietarios

Se seleccionaron 34 ingredientes representativos de los grupos de alimentos según su categoría: forrajes (henos y pajas, ensilajes, henilaje, praderas), concentrados

proteicos y concentrados energéticos, representando una amplia gama de alimentos que están presentes en las dietas de vacas lecheras de la zona centro y sur de Chile. Además, se consideraron hemicelulosas obtenidas de paja de trigo experimentalmente (Berg, 2013) que originaron la patente N°52410 “Alimento concentrado para animales rumiantes”, de la Universidad de Concepción. La colección de las muestras se realizó en base al protocolo de muestreo del Laboratorio de Nutrición Animal, de la Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, sede Chillán (Bateman, 1970). Este indica que las muestras deben ser de un peso de 3 kg para pradera verde, 1 kg para heno, 2 kg para ensilajes, 1 kg para concentrados, todos ellos muestreados de distintos sacos, lotes o partes de la estructura de la cual se colectan.

Análisis de composición química nutricional de los alimentos

A cada alimento seleccionado se le realizó un análisis de composición química nutricional, en la cual se determinó la materia seca (MS) parcial por liofilización a 72 h (Christ®, alpha 1-4 LD plus) de las muestras previamente congeladas a -65°C por al menos 24 h (para las melazas, la raíz de remolacha y ensilajes). Para el caso de praderas y concentrados se determinó en una estufa a 60°C por 72 h. Luego, antes de realizar los análisis las muestras secas fueron molidas a 1 mm (Thomas Scientific 3383-L40, EE.UU). La MS total se determinó según el método gravimétrico (Pearson, 1999), las cenizas totales (CT) por calcinación (AOAC, 923.03; 1997), proteína cruda (PC), siguiendo el método Kjeldahl (AOAC, 991.29; 1997); proteína soluble (PS) (Licitra *et al.*, 1996); extracto etéreo (EE) (AOAC, 920.39; 1997); la fibra cruda (FC) (AOAC, 926.09; 1997), FDN (Mertens *et al.*, 2012) y Fibra detergente ácida (FDA) (AOAC, 973,18; 1997). La energía metabolizable (EM) se determinó con distintas ecuaciones y fórmulas: para los forrajes se calculó con la fórmula de Marble *et al.* (1984), para los alimentos energéticos la ecuación Iva: $EM \text{ (Mcal/kg MS)} = 3.32 - 0.055 \times \%FDA$ (Pennsylvania State); para los concentrados la ecuación IVb: $EM \text{ (Mcal/Kg MS)} = 3,50 - 0,035 \times \%FDA$ (Menke and Steingass, 1988).

Ajuste de la técnica para determinar carbohidratos solubles en agua por espectrofotometría

El ajuste de la técnica se realizó siguiendo el procedimiento colorimétrico de ácido fenol sulfúrico (PSA) descrita por DuBois *et al* (1956) para azúcares, usada por Hall (2013; 2014), aplicando un estándar GI en solución con 0,2% de ácido benzoico y se evaluaron Fr y Xi cada uno por separados y, además, la propuesta incluyó la mezcla de los estándares, los cuales fueron: GI:Xi, Fr:Xi y GI:Fr:Xi. Para la preparación de las curvas de calibración de cada estándar se utilizó una solución madre, con la cual se realizó una dilución y se obtuvo una solución de trabajo.

Para la solución madre, se pesó 1 g del sustrato puro, y se aforó a 500 mL con solución de ácido benzoico 0,2 %, obteniendo una concentración de $2.000 \mu\text{g mL}^{-1}$. Para la solución de trabajo, se tomó una alícuota de 2,5 mL de la solución madre y se aforó a 25 mL con agua destilada, obteniéndose una concentración de la solución de trabajo de $100 \mu\text{g mL}^{-1}$.

Con la solución de trabajo, se prepararon las curvas de calibración del espectrofotómetro para cada uno de los distintos estándares antes señalados. Para la mezcla de estándares en la curva Fr:Xi se tomaron 12,5 mL de la solución de Fr $100 \mu\text{g mL}^{-1}$, y 12,5 mL de la solución de Xi $100 \mu\text{g mL}^{-1}$ y se obtuvo un volumen final de 50 mL (quedando en una proporción 50:50). Para la curva de GI:Xi se realizó el mismo procedimiento. Para el caso de la mezcla de los 3 estándares, GI:Fr:Xi se utilizaron 8,333 mL de cada estándar de la solución de trabajo (quedando en una proporción 33,3% cada uno).

Finalmente, luego de obtener la solución de trabajo de los estándares y las mezclas de estos, se procedió a realizar la dilución para la reacción de los estándares y poder determinar las distintas curvas de calibración. Se tomó una alícuota de 1 mL de cada estándar diluido, se llevó a una cubeta de vidrio de 16 mm de paso óptico, agregando 1 mL de solución de fenol al 5%. Las soluciones se dejaron en reposo durante 10 min, seguidos de una agitación durante 30 s, para luego agregar a cada tubo 5 mL de solución de ácido sulfúrico concentrado al 98% p/p (grado reactivo). Los tubos se mantuvieron en baño de agua a temperatura ambiente por 20 min. La absorbancia se midió en el espectrofotómetro UV (Pharo 300 Spectroquant UV, (Alemania), longitud de onda de 190 a 1100 nm). Para la técnica se utilizó una longitud de onda de 490 nm a un paso óptico de 16 mm (Hall,

2013).

Extracción de los Carbohidratos solubles en agua de las muestras de alimentos

Para obtener el extracto, las muestras secas fueron molidas a 1 mm (Thomas Scientific 3383-L40, EE. UU), se pesaron en triplicado 0,2 g, luego se vertieron en un tubo Falcon de 50 mL y se agregaron 35 mL de agua destilada. Luego, se llevaron a baño maría (Sudelab, DSB1000D), por 1 h a 40°C, y con una agitación cada 15 min (manualmente).

Después de finalizada la incubación a baño maría, los tubos se centrifugaron a 1681,47 G (fuerza centrífuga relativa) por 30 min (Eppendorf, 5702R), con la finalidad de aclarar la solución del extracto (Dubois *et al.*, 1956). Finalmente, de la solución clarificada se tomó una alícuota de 0,5 mL y se agregó a un tubo Falcon de 50 mL, el cual contenía 9,5 mL de agua destilada, quedando una dilución de 1:20.

Determinación del contenido de carbohidratos solubles en agua de los alimentos a una longitud de onda de 490 nm

La determinación de los CSA se realizó en una alícuota de 1 mL del extracto clarificado, llevado a una dilución de 1:1 (1 mL de extracto con 1 mL de agua destilada) en una cubeta de vidrio. Luego, se agregó 1 mL de solución de fenol al 5% como indicador, dejándose reposar por 10 min, para luego agitar por 30 s. Luego se llevaron los tubos a un recipiente con agua a temperatura ambiente. Posteriormente, se agregaron 5 mL de ácido sulfúrico concentrado al 98% p/p (grado reactivo), directo a la muestra (nunca por las paredes). Finalmente, los tubos se mantuvieron en baño de agua a temperatura ambiente por 20 min, para luego leer directamente en el espectrofotómetro de igual manera como se leyó en la curva de estándares. Para cada muestra de alimentos se realizó una lectura en duplicado.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de la composición química de los alimentos evaluados en duplicado. Se utilizaron 34 ingredientes dietarios ($n = 34$) de las categorías forrajes (henos y pajas, ensilajes, henilaje, praderas), concentrados proteicos y energéticos.

Para el análisis del contenido de CSA se realizó un diseño completamente al

azar. Con los resultados obtenidos a través de la técnica de Hall (2014) tradicional y modificada según los diferentes estándares propuestos se procedió a comprobar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas usando el software estadístico Infostat (versión 2020), dando como resultado que los datos obtenidos no cumplen los supuestos de la varianza (normalidad y homogeneidad). Por lo tanto, los datos se transformaron utilizando 2 métodos de transformación, raíz cuadrada y arco seno, encontrándose que ninguna de estas dos permitía verificar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, por lo que se procedió a realizar un análisis estadístico no paramétrico. El análisis estadístico utilizado fue Kruskal Wallis, con un nivel de significancia de $P \leq 0,05$. Primero se analizaron los datos para cada alimento por separado con los 6 tratamientos. Luego, se analizaron los datos de los 34 alimentos en conjunto con los 6 tratamientos. Finalmente, se analizaron por categoría de alimentos con los 6 tratamientos utilizados.

Se determinó un coeficiente de correlación entre el estándar tradicional (GI) y los propuestos (Fr, Xi, GI:Xi, Fr:Xi y GI:Fr:Xi), para todos los alimentos en conjunto y para cada categoría por separada.

También se realizó una regresión lineal entre el estándar en mezcla de GI:Xi y la GI por sí sola, para cada tipo de categoría de alimentos, con el fin de sugerir un modelo que incluya la Xi en estudios de alimentos que solo contengan el estándar GI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de ingredientes dietarios

Los 34 alimentos seleccionados se clasificaron en 3 categorías: forrajes, concentrados energéticos y concentrados proteicos. En la Tabla 1 se observa el porcentaje de participación de cada categoría de alimentos, en el cual los forrajes representan la mayor participación en este estudio con el 44,1 %, seguido de los concentrados energéticos y con la menor participación los concentrados proteicos.

Los forrajes estudiados se encuentran compuestos por 4 grupos: henos y pajas, ensilajes, henilaje y praderas. De estos las praderas son los que tienen una mayor participación representando un 53,3%, seguido de los ensilajes con un 26,7%, luego

los henos y pajas con un 13,3% y por último el henilaje con un 6,7% (n=1). Las praderas tienen la mayor participación dentro de los forrajes, debido a que la producción de leche en estas regiones templadas es mayoritariamente en base a pastoreo (Merino, *et al.*, 2019). Además del pastoreo en este sistema de producción se utilizan ingredientes suplementarios, como son los subproductos de cultivos, granos y el forraje conservado como heno, ensilaje y henilaje (Quijada, 2011).

Tabla 1: Categoría de alimentos para el estudio.

Categoría de alimentos	Participación
Forrajes	44,1%
Concentrado energético	35,3%
Concentrado proteico	20,6%

Los concentrados energéticos son utilizados en los períodos de baja calidad de las praderas, y como suplemento para los animales de alta producción. Este grupo ocupa el segundo lugar de importancia dentro de los alimentos estudiados, con un 35,3% del total de los alimentos. Estos alimentos son necesarios en la dieta, porque tienen bajo contenido de fibra y alto contenido de energía, que permite suplir las deficiencias energéticas del forraje (Anrique, 2014).

En el último lugar de los alimentos analizados, se encuentran los concentrados proteicos con un 20,6 % de participación. Es un grupo muy relevante dentro de la dieta, ya que son los alimentos que aportan la mayor concentración de proteínas, con un contenido sobre el 20 %, y presentaron un amplio rango de contenido de proteína cruda.

Análisis de composición química nutricional de los alimentos

En la Tabla 2 se puede observar la composición nutricional de los alimentos evaluados. Los forrajes se caracterizan por ser la principal fuente de fibra en la dieta, y por poseer más del 18% de FC, y menos de 2,5 Mcal kg⁻¹ de EM. La EM de este

Tabla 2: Composición nutricional de alimentos seleccionados para análisis de CSA.

Alimentos	Cat	MST %	CT %	PC %	EE %	FC %	ENN %	FDN %	FDA %	EM Mcal Kg ⁻¹	PS %
Pradera Natural	F	96,82	5,18	4,52	2,19	33,52	54,59	70,17	43,40	1,91	1,20
Pradera ballica híbrida	F	96,74	7,77	6,97	2,09	26,30	56,87	53,81	29,66	2,29	2,43
Pradera ballica- trébol blanco	F	96,64	11,73	24,03	3,08	22,80	38,36	58,90	29,17	2,3	5,72
Pradera ballica- trébol blanco	F	96,35	10,78	22,11	3,12	22,82	41,17	55,64	26,53	2,37	7,92
Remolacha (follaje)	F	95,39	22,31	22,13	2,95	9,16	43,45	20,64	12,69	2,75	10,15
Pradera trébol blanco- ballica	F	91,40	9,10	18,60	-	-	-	37,50	23,70	2,45	0,00
Pradera alfalfa fresca	F	90,93	9,80	20,30	1,84	25,70	42,40	40,10	31,50	2,24	7,58
Pradera ballica verde	F	92,20	10,30	14,70	-	-	-	42,00	18,80	2,62	4,95
Heno alfalfa	F	89,79	7,20	16,57	1,57	31,07	43,59	50,57	35,11	2,14	11,07
Heno ballica	F	91,99	8,28	5,84	1,07	32,58	52,23	68,58	35,15	2,14	0,60
Ensilaje maíz	F	96,10	5,33	7,15	5,45	26,58	55,49	55,52	32,17	2,22	3,48

Cat= categoría; F= Forrajes; E= Concentrados energéticos; P= Concentrados proteicos; MST= materia seca total; CT= cenizas totales; PC= proteína cruda; PS= proteína soluble; EE= extracto etéreo; FC= fibra cruda; ENN= extracto no nitrogenado; FDN= fibra detergente neutra; FDA= fibra detergente ácida; EM= energía metabolizable; - = sin datos.

Tabla 2: Composición nutricional de alimentos seleccionados para análisis de CSA.

Alimentos	Cat	MST %	CT %	PC %	EE %	FC %	ENN %	FDN %	FDA %	EM Mcal Kg⁻¹	PS %
Ensilaje alfalfa	F	87,70	10,60	21,20	-	-	-	36,80	33,10	2,25	13,00
Heno ballica	F	91,99	8,28	5,84	1,07	32,58	52,23	68,58	35,15	2,14	0,60
Henilaje ballica-trébol B.	F	95,55	13,55	20,86	3,44	24,63	37,52	47,87	27,16	2,36	11,50
Ensilaje ballica Híbrida	F	96,72	7,23	9,95	2,14	30,72	49,96	59,97	34,52	2,15	3,21
Ensilaje maíz	F	91,14	4,96	6,80	-	-	-	84,70	34,00	2,31	4,01
Concentrado comercial	E	89,96	10,98	10,14	2,39	5,85	70,64	26,35	10,47	2,81	3,15
Afrechillo de trigo	E	89,70	3,97	14,21	23,51	9,96	48,35	46,30	13,61	2,73	5,29
Maíz grano chancado	E	88,03	1,48	8,09	4,12	1,93	84,38	18,01	3,56	3,00	2,32
Maíz roleado	E	97,40	2,40	9,47	-	-	-	11,00	05,45	3,02	0,51
Coseta	E	94,90	7,15	10,10	-	-	-	42,00	31,00	2,25	2,52
Afrechillo de trigo	E	98,90	4,21	16,80	-	-	-	35,90	12,10	2,65	6,21
Grano húmedo maíz	E	76,80	1,56	6,81	-	-	-	14,30	7,04	3,26	1,57
Grano maíz	E	85,60	1,21	8,44	-	1,72	85,20	11,00	4,47	3,09	0,89
Cáscara de avena	E	91,93	3,61	9,65	5,45	16,96	64,33	39,67	23,80	2,45	2,66

Cat= categoría; F= Forrajes; E= Concentrados energéticos; P= Concentrados proteicos; MST= materia seca total; CT= cenizas totales; PC= proteína cruda; PS= proteína soluble; EE= extracto etéreo; FC= fibra cruda; ENN= extracto no nitrogenado; FDN= fibra detergente neutra; FDA= fibra detergente ácida; EM= energía metabolizable; - = sin datos.

Tabla 2: Composición nutricional de alimentos seleccionados para análisis de CSA.

Alimentos	Cat	MST %	CT %	PC %	EE %	FC %	ENN %	FDN %	FDA %	EM Mcal Kg⁻¹	PS %
Remolacha var. Brigadier	E	95,50	8,14	13,74	0,48	6,32	71,32	11,99	6,98	2,91	10,24
Melaza paja de trigo	E	80,20	7,34	3,10	-	-	89,60	-	-	2,62	2,14
Melaza de remolacha	E	95,90	13,30	11,60	0	0	75,10	-	-	3,05	11,50
Afrecho de raps	P	90,45	6,77	41,02	1,35	8,47	42,39	22,00	20,49	2,54	14,36
Afrecho de soya	P	90,19	7,43	50,12	2,87	3,58	36,00	9,18	15,24	2,68	11,85
Gluten de maíz	P	93,90	2,19	74,09	1,00	2,56	20,16	11,60	03,25	3,01	68,81
Harina de pescado	P	93,11	24,37	63,58	8,19	0,32	3,54	14,69	0,20	3,09	18,53
Pepa de algodón	P	93,48	4,71	24,06	29,38	15,37	26,48	29,23	21,39	3,22	8,51
Torta de raps	P	92,90	5,70	34,50	-	-	-	-	18,60	3,22	14,50
Harina de carne	P	94,90	16,40	70,20	10,90	0,87	1,70	-	-	2,68	11,50

Cat= categoría; F= Forrajes; E= Concentrados energéticos; P= Concentrados proteicos; MST= materia seca total; CT= cenizas totales; PC= proteína cruda; PS= proteína soluble; EE= extracto etéreo; FC= fibra cruda; ENN= extracto no nitrogenado; FDN= fibra detergente neutra; FDA= fibra detergente ácida; EM= energía metabolizable; - = sin datos.

grupo osciló entre 1,9 a 2,8 Mcal kg⁻¹ de MS.

Los concentrados energéticos se caracterizan por contener una EM superior a 2,5 Mcal kg⁻¹, un contenido menor a 18% de FC y bajo un 20% de PC. La composición de los alimentos energéticos (Tabla 2), refleja que los alimentos con mayor contenido de EM están relacionados con el maíz, y, además, presentaron el menor porcentaje de CT. Esto confirma lo planteado por Beauchemin y Ginn (2006), que la energía de un alimento está relacionada inversamente a su contenido de cenizas. El maíz tiene un alto contenido de almidón y una baja proporción de pared celular, lo que se ve reflejado en un bajo contenido de FDN y FDA.

El alimento con mayor PC presentado en la Tabla 2, es el gluten de maíz con un 74,09%, del cual el 68,81% corresponde a proteína soluble (PS), lo que permite una rápida disponibilidad de proteína en el rumen.

Evaluación de los CSA por cada alimento

Para la caracterización de CSA, se analizaron los resultados obtenidos con el estándar GI. De los alimentos considerados forrajes (Tabla 3) el ensilaje de maíz fue el que presentó un menor contenido de CSA. Esto se podría deber al proceso de ensilado, que en su elaboración consume los carbohidratos solubles provocando que los ensilajes disminuyan su contenido. En cambio, el forraje con mayor contenido de CSA fue la pradera de ballica Híbrida, que por la cantidad de CSA que presenta se deduce que puede corresponder a una ballica alta en azúcar. Rivero *et al.* (2020), realizaron un estudio en primavera dónde las praderas correspondieron a *Lolium perenne* L. altas en azúcares presentando un contenido de 34,3% de CSA y bajas en azúcar con un 29,3% de CSA. En este estudio es una ballica híbrida con un 39,13% de CSA, por lo que se infiere que dicha ballica híbrida debe corresponder a una variedad alta en azúcar. El heno de ballica contiene un 14,86% de CSA y Hall (2014) en un ensayo donde evaluó PSA-sac utilizando el estándar GI, obtuvo en el mismo alimento un valor similar (15,4% de CSA). En el heno de alfalfa se obtuvo un 7,76% de CSA y en un estudio el autor obtuvo un 5,7%, siendo valores levemente inferiores a este estudio (Hall, 2014). Por otro lado, los Ensilajes en este estudio presentaron 3,1% de CSA para alfalfa y 0,85% para ensilaje de maíz. Hall (2014), encontró valores menores para ensilaje de alfalfa 2,2% y valores superiores a los encontrados en este estudio para el maíz (1,2%), pudiendo atribuirse el resultado al

Tabla 3: Contenido de los CSA (mg g⁻¹) de los alimentos estudiados, a una longitud de onda de 490 nm.

Alimentos	Cat	Glucosa mg g⁻¹	Fructosa mg g⁻¹	Xilosa mg g⁻¹	Gl:Xi mg g⁻¹	Fr:Xi mg g⁻¹	Gl:Fr:Xi mg g⁻¹
Pradera trébol blanco-ballica	F	14,07 abc	10,08 d	12,11 cd	15,56 ab	16,56 a	12,79 bcd
Pradera alfafa fresca	F	7,49 abc	5,22 d	6,39 cd	8,40 ab	8,77 a	7,05 bcd
Pradera ballica verde	F	17,83 ab	12,93 c	15,42 bc	19,61 ab	21,05 a	15,95 bc
Pradera natural	F	19,37 ab	14,07 c	16,76 bc	21,29 ab	22,87 a	17,31 bc
Pradera ballica híbrido	F	39,13 ab	28,79 c	34,02 bc	42,74 ab	46,33 a	34,37 bc
Pradera ballica – trébol blanco	F	8,05 ab	5,63 c	6,87 bc	9,00 a	9,43 a	7,53 abc
Pradera ballica – trébol blanco	F	11,12 abc	7,92 d	9,56 cd	12,34 ab	13,08 a	10,19 bcd
Remolacha (follaje)	F	16,01 ab	11,56 c	13,82 bc	17,64 ab	18,88 a	14,40 bc
Heno alfafa	F	7,76 abc	5,42 d	6,62 cd	8,68 ab	9,08 a	7,28 bcd
Heno ballica	F	14,86 abc	10,70 d	12,82 cd	16,39 ab	17,51 a	13,41 bcd
Ensilaje maíz	F	0,85 bcd	0,27 d	0,58 cd	1,18 ab	0,88 abc	1,31 a

F: forrajes. E: Concentrados energéticos. P: Concentrados proteicos. Letras distintas en una misma fila, indican diferencias significativas entre estándares para cada alimento según prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$).

Tabla 3: Contenido de los CSA (mg g⁻¹) de los alimentos estudiados, a una longitud de onda de 490 nm.

Alimentos	Cat	Glucosa mg g⁻¹	Fructosa mg g⁻¹	Xilosa mg g⁻¹	Gl:Xi mg g⁻¹	Fr:Xi mg g⁻¹	Gl:Fr:Xi mg g⁻¹
Henilaje ballica – trébol blanco	F	1,69 abc	0,90 c	1,32 bc	2,10 a	1,88 ab	2,04 a
Ensilaje alfalfa	F	3,10 ab	1,95 b	2,55 b	3,61 a	3,55 a	3,23 ab
Ensilaje ballica híbrida	F	22,01 abc	16,04 d	19,07 cd	24,16 ab	26,01 a	19,59 bcd
Ensilaje maíz	F	0,36 abc	0,00 d	0,16 cd	0,65 ab	0,30 bcd	0,89 a
Coseta	E	19,04 ab	13,82 c	16,47 bc	20,93 ab	22,48 a	17,02 bc
Afrecho de trigo	E	14,67 abc	10,57 d	12,65 cd	16,18 ab	17,29 a	13,24 bcd
Maíz roleado	E	4,18 ab	2,76 b	3,50 b	4,78 a	4,84 a	4,16 ab
Maíz grano húmedo	E	0,72 ab	0,17 b	0,47 b	1,04 a	0,73 ab	1,20 a
Grano maíz	E	2,56 abc	1,57 c	2,09 bc	3,01 a	2,92 a	2,74 ab
Melaza de paja de trigo	E	17,83 ab	12,93 c	15,42 bc	19,61 ab	21,05 a	15,95 bc
Concentrado comercial	E	6,51 ab	4,48 b	5,52 b	7,32 a	7,60 a	6,20 ab
Afrechillo trigo	E	16,96 abc	12,27 d	14,66 cd	18,68 ab	20,02 a	15,23 bcd
Cáscara avena	E	3,75 ab	2,43 b	3,12 b	4,33 a	4,33 a	3,82 ab

F: forrajes. E: Concentrados energéticos. P: Concentrados proteicos. Letras distintas en una misma fila, indican diferencias significativas entre estándares para cada alimento según prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$).

Tabla 3: Contenido de los CSA (mg g⁻¹) de los alimentos estudiados, a una longitud de onda de 490 nm.

Alimentos	Cat	Glucosa mg g⁻¹	Fructosa mg g⁻¹	Xilosa mg g⁻¹	Gl:Xi mg g⁻¹	Fr:Xi mg g⁻¹	Gl:Fr:Xi mg g⁻¹
Maíz grano Chancado	E	5,64 ab	3,84 b	4,77 b	6,39 a	6,57 a	5,45 ab
Raiz remolacha	E	74,33 ab	55,02 c	64,77 bc	80,96 ab	88,13 a	64,77 bc
Melaza de remolacha	E	85,67 ab	63,47 c	74,68 bc	93,27 ab	101,60 a	74,55 bc
Torta de raps	P	14,16 abc	10,19 d	12,21 cd	15,62 ab	16,68 a	12,79 bcd
Harina de carne	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Afrecho de raps	P	13,32 abc	9,56 d	11,48 cd	14,73 ab	15,69 a	12,09 bcd
Afrecho de soya	P	15,94 abc	11,51 d	13,76 cd	17,56 ab	18,80 a	14,34 bcd
Gluten de maíz	P	0,29 abc	0,00 d	0,10 cd	0,58 ab	0,22 bcd	0,83 a
Harina de pesco	P	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,20 ab	0,00 b	0,53 a
Pepa de algodón	P	8,13 abc	5,69 d	6,94 cd	9,09 ab	9,53 a	7,60 bcd

F: forrajes. E: Concentrados energéticos. P: Concentrados proteicos. Letras distintas en una misma fila, indican diferencias significativas entre estándares para cada alimento según prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$)

proceso de obtención del ensilaje y la concentración de CSA del material fresco.

Entre los alimentos energéticos (Tabla 3), el maíz grano húmedo es el alimento con menor contenido de CSA, esto puede deberse a que se encuentra en la forma de almidón. Por otro lado, el que obtuvo el mayor contenido de CSA fue la melaza de remolacha, ya que la melaza es un subproducto de la fabricación del azúcar, y se obtiene de aproximadamente un 5% del peso de la raíz de remolacha (Tituaña, 2011). Hall (2014) obtuvo un contenido de CSA para el maíz grano seco de 3,8% y para el maíz grano húmedo un 2,1%. En este estudio los valores encontrados, fueron menores (2,56% para el grano seco y un 0,72% para el grano húmedo).

Por otro lado, en los alimentos proteicos se puede observar (Tabla 3) que la harina de carne y la harina de pescado representan el menor valor de CSA, llegando a un rango de 0 a 1 mg g⁻¹ de CSA según el tipo de estándar. La carne en general no almacena azúcares (Jenkins, 2014), al igual que el pescado. Por lo tanto, los resultados son esperados. Por el contrario, el alimento con mayor CSA fue el afrecho de soya, esto se podría explicar al ser un subproducto de la industria aceitera del poroto de soya, ya que esta leguminosa contiene 6,29 gramos de azúcar por cada 100 gramos de grano (Morán, *et al.*, 2019).

La cantidad de CSA observada en los alimentos al utilizar distintos estándares en la determinación, se aprecian en la Tabla 3. Se encontraron diferencias ($p \leq 0,05$) en el contenido de CSA al comparar los distintos estándares en un mismo alimento. En el estudio realizado se encontró una alta variación de los CSA en cada alimento y categoría de alimentos, considerando el origen de cada uno de los alimentos evaluados.

Los resultados de la comparación del contenido de CSA usando estándar tradicional GI a 490 nm (Hall, 2013), con los 5 estándares propuestos se muestran en la Tabla 4. En dicha tabla se puede observar que al comparar los estándares utilizando los 34 alimentos evaluados se obtuvieron diferencias significativas, ($P=0,0031$) entre estos. Los estándares Fr:Xi; GI:Xi; son iguales estadísticamente con GI; GI:Fr:Xi, y son distintas con la Fr y la Xi por separado. El estándar GI es distinto significativamente a la Fr, y es igual a los demás estándares. La Xi es igual significativamente a la Fr, GI y GI:Fr:Xi, pero es distinta a la GI:Xi y Fr:Xi. Y

finalmente la Fr es igual que el estándar Xi, y diferente significativamente con el resto de los estándares.

Tabla 4: Comparación de los CSA obtenidos con diferentes estándares de alimentos para vacas lecheras obtenidos en la zona centro y sur evaluados por espectrofotometría a una longitud de onda de 490 nm.

Alim.	Gl mg g ⁻¹	Fr mg g ⁻¹	Xi mg g ⁻¹	Gl:Xi mg g ⁻¹	Fr:Xi mg g ⁻¹	Gl:Fr:Xi mg g ⁻¹	P
n= 34	14,33 ab	10,35 c	12,37 bc	15,81 a	16,90 a	12,94 ab	0,0031

Alim= alimentos, letras distintas en una misma fila, indican diferencias significativas entre estándares para cada alimento según prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$).

En la Tabla 5 se aprecia la comparación del contenido de CSA obtenidos con los distintos tratamientos agrupadas en las 3 categorías de alimentos. Al evaluar los alimentos energéticos en conjunto al igual que los alimentos proteicos no se obtuvieron diferencias ($P > 0,05$) entre los tratamientos. Para los forrajes sí se encontraron diferencias entre los tratamientos, los estándares Fr:Xi; Gl:Xi; Gl; Gl:Fr:Xi y Xi son iguales significativamente, y son distintas con la Fr. Los estándares Gl; Gl:Fr:Xi; y Xi son iguales significativamente con todos los tratamientos. Es posible inferir que, para el estudio de los CSA de forrajes, sería necesario utilizar mezclas de estándares que incluyan 5 C, con la finalidad de considerar este tipo de carbohidratos como parte de los CSA del forraje.

Tabla 5: Comparación de los CSA obtenidos con distintos estándares por categoría de alimentos evaluados por espectrofotometría a una longitud de onda de 490nm.

Cat Alim	Gl mg g ⁻¹	Fr mg g ⁻¹	Xi mg g ⁻¹	Gl:Xi mg g ⁻¹	Fr:Xi mg g ⁻¹	Gl:Fr:Xi mg g ⁻¹	P	EE
F	12,3 ab	08,8 b	10,5 ab	13,6 a	14,4 a	11,2 ab	0,0489	03,48
CE	21,0	15,3	18,2	23,0	24,8	18,7	0,1033	10,00
CP	7,4	5,3	6,4	8,3	8,7	6,9	0,2098	03,51

Cat Alim= categoría de alimentos; F= forraje; CE= concentrado energético; CP= concentrado proteico, letras distintas en una misma fila, indican diferencias significativas entre estándares para cada alimento según prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$).

La diferencia entre los CSA predichos con distintos estándares evaluados en los forrajes probablemente se debe al conjunto muy diverso de grupos de alimentos en esta categoría: praderas, henos y ensilajes. Al tener tipos de plantas y productos fermentados es poco probable que la composición de CSA fuera similar entre estos alimentos, por lo que los métodos de detección de CSA también los mediría de forma diferente (Hall, 2014). Esto se refleja al observar la similitud en el estándar GI entre las praderas y henos que corresponden a valores sobre 7 mg g^{-1} de CSA, y el henilaje junto con los ensilajes alcanza valores en un rango de 0 a 3 mg g^{-1} de CSA a excepción del ensilaje de ballica Híbrida que contiene 22 mg g^{-1} de CSA. Como se indicó anteriormente esta ballica híbrida debe corresponder a una ballica alta en azúcar (Tabla 3).

Se realizó un análisis de correlación entre los 6 estándares utilizados en el estudio. En la Tabla 6 se observa que los valores sobre la diagonal (1) son iguales a 0, por lo que los estándares son iguales significativamente, y, se observaron valores bajo la diagonal iguales a 1, es decir, existe una alta correlación entre los estándares y que es indistinto cual estándar se use para analizar un conjunto de alimentos, las correlaciones son perfectas y lineales.

Tabla 6: Coeficiente de correlación entre estándares para todos los alimentos estudiados.

Estándar	Glucosa	Fructosa	Xilosa	GI:Xi	Fr:Xi	Fr:Xi:GI
Glucosa	1	0	0	0	0	0
Fructosa	1	1	0	0	0	0
Xilosa	1	1	1	0	0	0
GI:Xi	1	1	1	1	0	0
Fr:Xi	1	1	1	1	1	0

Fr:Xi:Gl	1	1	1	1	1	1
----------	---	---	---	---	---	---

Se realizaron análisis de correlaciones para cada categoría de alimentos (3), de las cuales los forrajes y los alimentos energéticos tienen valores de 1 en todos los estándares, y los alimentos proteicos presentaron una predicción mayor a 0,96, por lo que se puede verificar que cualquier estándar puede usarse para analizar los CSA en este tipo de ingredientes.

Según lo analizado no hay diferencias entre los tratamientos, a pesar de que en los estándares Fr:Xi y Gl:Xi se observa un mayor contenido de los CSA al compararlo con el estándar tradicional Gl, al evaluar todos los alimentos en conjunto. Por lo que se podría inferir que, al usar el estándar Xi en mezcla, podría mejorarse la cuantificación de los CSA totales. Según lo anteriormente dicho se propuso realizar una regresión lineal entre la mezcla de Gl:Xi como variable dependiente y la Gl como variable regresora. Al realizarse la regresión se obtuvo un modelo matemático ($Y=m(X)+b$), en donde; $Y= Gl:Xi$; y $X= Gl$. Se realizó un modelo para cada categoría de alimentos (Tabla 7), con el fin de considerar este modelo en la evaluación de CSA en alimentos, donde la determinación se realice usando el estándar Gl a 490 nm por sí sola (logrando disminuir el gasto económico al incluir una mezcla de Gl con la Xi), y así considerar la cuantificación de pentosas en la determinación de CSA totales.

Tabla 7: Modelo de regresión lineal obtenido por categorías de alimentos entre el estándar Gl:Xi y Gl por sí sola.

Categorías de alimentos	Modelo	R ²	P
Forrajes	$Y= 1,09(x)+0,26$	1	<0,0001
Concentrados Energéticos	$Y= 1,09(x)+0,25$	1	<0,0001
Concentrados Proteicos	$Y= 1,09(x)+0,16$	1	<0,0001

Modelo= regresión lineal. R²= coeficiente de determinación.

El objetivo general del estudio fue comparar los distintos estándares de CSA en una amplia gama de alimentos (34), con el fin de determinar qué método (estándar), es

el que estima de mejor manera el contenido de CSA. Al comparar el estándar tradicional (GI 490 nm), recomendado y utilizado por Hall (2013, 2014), con los estándares propuestos (5), no hubo diferencias entre los estándares. Sin embargo, se sugiere considerar el modelo obtenido para cada categoría de alimentos cuando son sólo estudiados en el estándar GI en estudios posteriores, considerando aumentar la predicción del contenido de CSA en los alimentos.

CONCLUSIONES

- 1- No se encontraron diferencias en la predicción de CSA entre los estándares propuestos y el estándar GI.
- 2- Se sugiere utilizar el modelo de regresión lineal obtenido para cada categoría de alimentos en estudios que solo consideren el estándar GI, de forma que se incluyan Hexosas y Pentosas en la cuantificación de los CSA, logrando aumentar la predicción de los CSA que se encuentren en los alimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Anrique, R., X. Molina, M. Alfaro y R. Saldaña. 2014. Composición de alimentos para el ganado bovino. (4a. ed.). Valdivia, Chile.
2. Beauchemin, K.A. and S.M. McGinn. 2006. Enteric methane emissions from growing beef cattle as affected by diet and level of intake. *J. Anim. Sci.* 86(3): 401-408.
3. Berg, A.K. 2013. Desarrollo de productos comerciales a partir de paja de trigo. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
4. Bateman, J.V. 1970. Manual de métodos analíticos. Centro Regional de Ayuda Técnica. México.
5. Campos, J.H. 2008. Fisiología de la acidosis ruminal y sus implicaciones en la producción animal. Universidad de la Salle. Facultad de Zootecnia. Bogotá, Colombia.
6. Contreras, P.A. y M. Noro. 2010. Rumen: Morfofisiología, trastornos y modulación de la actividad fermentativa. (3a. ed.). América. Valdivia, Chile.
7. DuBois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28(3): 350-356.

8. Fondevila, M. 2015. La importancia de los azúcares en la alimentación de los rumiantes. Universidad de Zaragoza. Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Madrid, España.
9. Hall, M.B. and G.B. Huntington. 2008. Nutrient synchrony: sound in theory, elusive in practice. *J. Anim. Sci.* 86(Suppl.): 287–292.
10. Hall, M.B. 2013. Efficacy of reducing sugar and phenol–sulfuric acid assays for analysis of soluble carbohydrates in feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 185: 94-100.
11. Hall, M.B. 2014. Selection of an empirical detection method for determination of water-soluble carbohydrates in feedstuffs for application in ruminant nutrition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 198: 28–37.
12. Hernández, R.D. 2021. Estudio de la diversidad microbiana del rumen en ganado colombiano con énfasis en virus y bacterias. Tesis de grado, Doctor en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
13. Jenkins, T. 2014. Subproductos reciclados de origen animal en la nutrición de rumiantes. Universidad de Clemson, Departamento de Ciencias Animales y Veterinarias. Clemson, USA.
14. Keim, J.P. and R. Anrique. 2011. Nutritional strategies to improve nitrogen use efficiency by grazing dairy cows. *Chilean J. Agric. Res.* 71(4): 623-633.
15. Merino, V., O.A. Balocchi and M.J. Rivero. 2019. Milk production, milk quality, and behaviour of dairy cows grazing on swards with low and high water-soluble carbohydrates content in cutumn: a pilot trial. *Animals* 9. doi: 10.3390/ani9121012 [en línea].
16. Morán, I.A., A. Mejía y F. Beltrán. 2019. Industrialización del cultivo de soya [en línea]. Observatorio de la Economía Latinoamericana, España. <<https://www.eumed.net/rev/oel/2019/11/industrializacion-cultivo-soya.html>>. [Consulta: 03 octubre 2022].
17. Morgavi, D.P., E. Forano, C. Martin and C.J. Newbold. 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal* 4(7): 1024–1036.
18. Oba, M. 2010. Review: Effects of feeding sugars on productivity of lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.* 91(1): 37-46.
19. Pinder, R.S., J.A. Patterson, C.A. O'Bryan, P.G. Crandall and S.C. Ricke. 2012. Dietary fiber content influences soluble carbohydrate levels in ruminal fluids. *J. Environ. Sci. Health B* 47(7): 710–717.
20. Quijada, R.P. 2011. Alimentación de jabalíes (*Sus scrofa* L.) en crecimiento en sistema de producción semi-extensivos. Tesis doctoral. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Chile.

21. Ramírez, M., J.P. Keim, I.F. López and O.A. Balocchi. 2014. Vegetational dynamics of sown pastures with native and naturalized species with and without fertilizer application. *Agro Sur* 42(1): 3-14.
22. Rivero, M.J., J.P. Keim, O.A. Balocchi and M.RF. Lee. 2020. In vitro fermentation patterns and methane output of perennial ryegrass differing in water-soluble carbohydrate and nitrogen concentrations. *Animals* 10. doi: 10.3390 / ani10061076 [en línea].
23. Rotger, A. 2005. Fermentación ruminal, degradación proteica y sincronización energía-proteína en terneras en cebo intensivo. Tesis doctoral. Doctor en el Programa de Producción Animal. Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Veterinaria. Barcelona, España.
24. Russell, J.B., J.D. O'Connor, D.G. Fox, P.J. Van Soest and C.J. Sniffen. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *J. Anim. Sci.* 70(11): 3551-3561.
25. Santini, F.J. 2014. Conceptos básicos de la nutrición de rumiantes. pp: 4-23. En: *Nutrición animal aplicada*. INTA EEA Balcarce. Balcarce, Argentina.
26. Tituaña, M.E. 2011. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de remolacha azucarera forrajera (*Beta vulgaris* var. *altissima*) en el cantón Quito, Provincia de Pichincha. Proyecto de grado, Ingeniero en Agroempresas. Universidad san Francisco de Quito, Colegio de Agricultura Alimentos y Nutrición. Quito, Ecuador.