



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**“RESPUESTA PRODUCTIVA DE VACAS LECHERAS A LA
INCLUSIÓN DE FORRAJE DE MEZCLAS DE CEREALES DE
GRANO PEQUEÑO TRATADOS CON UREA EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN EN PEQUEÑA ESCALA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MEDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

P R E S E N T A:
MÓNICA ARIAS ÁVILA

ASESORES:

Dr. CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN

Dr. FELIPE LÓPEZ GONZÁLEZ

MVZ. YESSICA GUADALUPE ZAMORA JUÁREZ

REVISORES:

M.V.Z. E.P.O. BULMARO VALDEZ RAMÍREZ

DR. JUAN EDREI SÁNCHEZ TORRES



Toluca, México, Mayo de 2023.

RESUMEN

En México existen tres principales sistemas de producción de leche: Intensivo a gran escala, lechería tropical de doble propósito y en pequeña escala, este último sistema de producción se considera como la fuente de ingresos principal para familias dependientes. Una alternativa para estos sistemas de producción es el tratamiento químico de forrajes para mejorar su calidad nutritiva con la finalidad de apoyar a estas familias que dependen principalmente de este sistema de producción.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño productivo de vacas lecheras dentro de un sistema de producción de leche en pequeña escala, a la adición de forraje de mezclas binarias (dos especies) utilizando la planta entera, en avanzado estado de madurez de cereales de grano pequeño (CGP) como centeno (*Secale cereale*), cebada (*Hordeum vulgare*) y triticale (*X. Triticosecale Wittmack*) tratados con urea. El experimento duró 42 días divididos en 3 periodos experimentales de 14 días cada uno, los cuales, 11 días fueron de adaptación a la dieta/tratamiento y 3 días para recolección de muestras de forraje y leche, utilizando 6 vacas de raza Holstein en lactación, con un peso vivo, etapa de lactación y rendimientos diarios similares de acuerdo con cada periodo. Se aplicó un diseño experimental de cuadro latino 3x3 repetido dos veces con doble aleatorización para la secuencia de los tratamientos y así mismo la distribución de las vacas por cada secuencia de tratamientos, con tres tratamientos/cultivos por los mencionados tres periodos experimentales. Se rechaza la hipótesis ya que se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) dentro de las variables de composición química de la leche animal; en la proteína, en donde se observa esta desigualdad altamente significativa entre periodos ($P < 0.001$); con valores dentro del rango aceptable en el primer periodo, para aumentar de manera significativa ($P < 0.05$) en el Periodo 2 en comparación con la caída significativa ($P < 0.05$) para el tercer periodo experimental.

PALABRAS CLAVE: Sistemas de producción de leche en pequeña escala; estrategias de alimentación de vacas lecheras, cereales de grano pequeño, forrajes tratados con urea, calidad nutritiva de forrajes.

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICAS

Cuadro 1. Grupo de vacas experimentales.....	25
Cuadro 2. Distribución de tratamientos por cuadros de producción de vaca y periodos.....	26
Figura 1. Mapa de ubicación, Aculco. (INEGI 2022)	31
Cuadro 3. Resultados composición química de los cultivos	33
Cuadro 4. Resultados de composición química de los complementos alimenticios de la dieta (pradera, pastura y concentrado)	38
Cuadro 5. Resultados de producción animal bajo el consumo de tres diferentes mezclas de CGP tratados con urea por tratamiento y periodo	40
Gráfica 1. Efecto del periodo experimental sobre el rendimiento de leche por tratamiento	41
Gráfica 2. Efecto del periodo experimental sobre el rendimiento de leche por periodo	42
Gráfica 3. Efecto del tratamiento de forraje de CGP con urea sobre el peso vivo de vacas lecheras	43
Gráfica 4. Efecto del tratamiento de forraje de CGP con urea sobre la condición corporal de vacas lecheras	44
Cuadro 6. Resultados de composición química de la leche en vacas bajo el consumo de tres diferentes mezclas de CGP tratados con urea por tratamiento y periodo	45

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAS	3
RESUMEN	4
ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICAS	5
I. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) en México	3
2.2. Importancia del desarrollo de nuevas estrategias para la alimentación en SPLPE	5
2.3 Forrajes tratados para mejorar su valor nutritivo en las estrategias de alimentación del ganado lechero	7
2.4 Cereales de grano pequeño (CGP)	9
2.4.1. Centeno (Secale Cereale)	10
2.4.2 Cebada (Hordeum vulgare)	11
2.4.3 Triticale (X. Triticosecale Wittmack)	12
2.5 Tratamiento de forraje con urea	12
2.6 Uso de los tratamientos de forraje con urea en mezclas de cereales de grano pequeño en sistemas de producción lechera en pequeña escala	14
3. JUSTIFICACIÓN	18
4. HIPÓTESIS	19
5. OBJETIVOS	20
5.1. Objetivo general	20
5.2. Objetivos específicos	20
6. MATERIALES Y MÉTODOS	21
6.1 Área de estudio	21
6.2 Diseño experimental	21

6.3 Animales	21
6.4. Organización de tratamientos/cultivos	22
6.5 Materiales	22
6.5.1 Material Biológico	22
6.5.2. Material no biológico	23
6.5.3 Material de campo	23
6.5.4. Material de laboratorio	23
7. MÉTODO	24
7.1 Diseño experimental y análisis estadístico	24
7.2 Proceso de tratamiento con urea a CGP	26
7.3. Variables evaluadas de la composición química de las praderas	27
7.4. Análisis estadístico de los datos	28
7.4.1. Producción de forraje	28
7.4.2 producción animal	28
7.5. Evaluación de variables de producción animal	29
7.5.1. Rendimiento de leche (RL)	29
7.5.2. Determinación de la composición química de la leche	29
7.5.2 Peso vivo (PV) y condición corporal (CC)	30
8. LÍMITE DE ESPACIO	31
9. LÍMITE DE TIEMPO	32
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
10.1 Composición Química del forraje tratado con urea	33
10.1.1 Materia seca (MS) y Materia orgánica (MO)	34
10.1.2 Proteína Cruda (PC)	35
10.1.3 Fibra detergente neutra (FDN)	36

10.1.4 Fibra detergente acida (FDA)	36
10.1.5 Digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO)	37
10.1.6 Energía metabolizable (EM)	37
10.2 Composición química de los complementos alimenticios de la dieta (pradera, pastura y concentrado)	38
10.2.2 Pradera (KY)	39
10.2.3 Pastura (PS)	39
10.2.4 Concentrado (CC)	39
10.3 Producción animal	40
10.3.1 Rendimiento de leche	41
10.3.2 Condición corporal y peso vivo	42
10.3.3 Composición química de la leche	44
10.3.4 Grasa	45
10.3.5 Proteína	46
10.3.6 Nitrógeno ureico en leche (NUL)	46
11. CONCLUSIONES	48
12. LITERATURA CITADA	49

I. INTRODUCCIÓN

En México existen tres principales sistemas de producción de leche: Intensivos a gran escala, lechería tropical de doble propósito, y en pequeña escala. Los sistemas en pequeña escala se consideran como la fuente de ingresos principal para familias dependientes de su sistema de producción, además de permitir un importante crecimiento económico de las familias y comunidades productoras.

Dentro de la importancia a nivel mundial de los sistemas de producción de leche en pequeña escala, la FAO (2006) estimó que del 80% al 90% de la producción lechera de los países en desarrollo se produce en sistemas de pequeña escala.

Es importante destacar; y de acuerdo con Espinoza-Ortega *et al.*, (2007) los altos costos de alimentación del ganado son uno de los principales problemas que enfrentan los sistemas de producción de leche en pequeña escala, principalmente por la compra de concentrados comerciales y forrajes externos a la unidad de producción, representando los costos de alimentación hasta el 70% de los costos totales; por lo que una estrategia importante es maximizar el uso de forrajes producidos en las mismas unidades de producción.

Una alternativa para estos sistemas es el tratamiento químico de forrajes para mejorar su calidad nutritiva. Y como opción viable a esto es el tratamiento de pajas, forrajes y rastrojos con urea que mejora la digestibilidad por el efecto del amoniaco sobre los enlaces de lignina de las paredes celulares (Silva *et al.*, 1998). Este método ha sido utilizado en la alimentación de rumiantes, ya que en algunos casos pueden reemplazar a los pastos y ensilados aumentando el consumo de materia seca (MS).

La posibilidad de mejorar la calidad de los forrajes mediante este tipo de tratamientos se considera que podría ser clave para mejorar la calidad de los forrajes disponibles en las unidades de producción, con el fin de mejorar su productividad, rentabilidad y

su sostenibilidad, factores que Makkar, (2016) identificó como necesarios en sistemas de pequeña escala en los países en desarrollo. De acuerdo con García-Martínez (2001), la urea actúa como fuente de amoníaco, un álcali para mejorar su calidad nutritiva y mejorar la alimentación del ganado lechero en sistemas en pequeña escala, mediante el incremento de la digestibilidad de sus paredes celulares, lo que resulta en un mejor aprovechamiento del forraje tratado por la microflora ruminal, así como una mayor respuesta animal a la alimentación con forrajes tratados con urea.

Los cereales de grano pequeño, entre los que se encuentran la cebada (*Hordeum vulgare*), el centeno (*Secale cereale*), el triticale (*X Triticosecale Wittmack*), además del trigo (*Triticum aestivum*), la avena común (*Avena sativa*) y la avena negra (*Avena strigosa*) han demostrado ser una fuente de forraje viable para sistemas de producción de leche en pequeña escala (Gómez-Miranda *et al.*, 2020; González-Alcántara *et al.*, 2020; Vega-García *et al.*, 2020; 2021).

Sin embargo, existe interés en evaluar mezclas multiespecie de cereales de grano pequeño ante las ventajas que estos cultivos tienen para resistir mejor la invasión de malezas y aumentar la producción de forraje (Muciño-Álvarez *et al.*, 2021). El tratamiento con urea en forraje de planta entera de mezclas de cereales de grano pequeño podría ser una opción en las estrategias de alimentación del ganado en estos sistemas.

Por lo tanto y a partir de lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar sistemas de producción en pequeña escala la respuesta productiva de vacas lecheras a la inclusión en su alimentación de forraje tratado con urea de mezclas de cereales de grano pequeño como: cebada (*Hordeum vulgare*), centeno (*Secale cereale*) y triticale (*X. Triticosecale Wittmack*).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) en México

La producción de leche de bovino en México es muy heterogénea desde el punto de vista tecnológico, agroecológico y socioeconómico, incluyendo la gran variedad de climas regionales y característica de tradiciones y costumbres de las poblaciones. Sin embargo, la industria de productos lácteos es la tercera actividad más importante dentro de la rama de la industria de alimentos en México.

De acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER antes SAGARPA) de México la producción de leche de bovino en 2020 fue de 12 mil 563 millones de litros (SIAP-SADER, 2021), mostrando un incremento anual superior a la tasa de crecimiento de la población.

La actividad productiva puede agruparse en tres sistemas principales: el intensivo de gran escala ubicado principalmente en el centro-norte del país articulado con las empresas lácteas grandes, la lechería tropical localizada en las costas y la lechería en pequeña escala primordialmente en el altiplano, aunque se encuentran en todo el país. Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) son de gran importancia, ya que estos sistemas representaron en el VII Censo Agrícola, Pecuario y Forestal más del 78 % de las unidades de producción de leche especializadas.

En México, los SPLPE se definen como unidades familiares especializadas en la producción de leche de ganado vacuno orientados a la venta, dependientes de la fuerza de trabajo familiar, con cantidades limitadas de tierra, con un tamaño de hato que varía de 3 a 35 vacas más sus reemplazos (Fadul-Pacheco *et al.*, 2013).

En los Valles Altos del centro de México se ha demostrado que los sistemas de

producción de leche en pequeña escala son una opción para el desarrollo de aquellas áreas rurales donde sea factible (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Fadul- Pacheco *et al.*, 2013), proporcionando un modo de vida e ingresos estables para las familias productoras que pueden superar la pobreza rural mediante la producción y venta de leche, obteniendo ingresos que no serían posibles con otras actividades agropecuarias dado la reducida disponibilidad de tierra de las unidades de producción (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007).

El ganado en estos sistemas se alimenta de pastos, residuos de cultivos y forrajes cultivados. En muchos de estos sistemas en el mundo no se proporciona alimentación suplementaria más que cuando resulta viable (FAO, 2018).

En los sistemas de producción de leche en pequeña escala de los Valles Altos del Centro de México, el mayor componente del costo de producción es por la alimentación (Espinoza-Ortega *et al.*, 2005); por lo que es necesario investigar fuentes de forraje de calidad disponibles para las unidades de producción sobre las cuales basar la producción de leche en todas las épocas del año (Toppo *et al.*, 1997).

Como fue mencionado, la producción de leche debe basarse en forrajes de calidad producidos al interior de las propias fincas como una forma de reducir los costos de alimentación (Prospero-Bernal *et al.*, 2017).

Sin embargo, no siempre se cuenta con forraje de calidad en las unidades de producción, por lo que a lo largo de los años se han utilizado muchos aditivos para mejorar la calidad de los forrajes, pero no todos han sido exitosos y los resultados son variables, debido a que algunos son caros y difíciles de aplicar bajo las condiciones de los productores (Llamas, 1990).

En los SPLPE, se propone mantener un equilibrio en las Unidades de Producción

(UP) entre la superficie de tierra (hectáreas), el número de vacas lecheras (unidades animales) y la producción de leche por vaca (kg/vaca/día) (Zamora-Juárez, 2018). Un objetivo fundamental de los SPLPE es la sostenibilidad económica, donde debido a la escasa dotación de recursos de tierra, limitar el número de vacas puede contribuir a optimizar los ingresos, si se maximiza la productividad a las unidades animales que la tierra puede sostener (Fadul-Pacheco *et al.*, 2013), en lo que representa la intensificación sostenible de los sistemas ganaderos en pequeña escala (Makkar, 2016).

2.2. Importancia del desarrollo de nuevas estrategias para la alimentación en SPLPE

Como afirman Hemme y Otte. (2010) y Mc Dermott *et al.*, (2010), los sistemas de producción de leche en pequeña escala desempeñan un papel muy importante en las zonas rurales, ya que son alternativas para reducir la pobreza, preservar empleos y mejorar los modos de vida.

La venta de leche proporciona ingresos para la familia, que se complementan o no con otros generados por diversas actividades dentro de la unidad de producción o fuera de ésta, lo que permite evitar la migración de los productores a las ciudades y a otros países como Estados Unidos de América (Espinoza-Ortega *et al.*, 2005).

Es importante resaltar que los altos costos de alimentación del ganado son uno de los principales problemas que enfrentan los sistemas de producción de leche en pequeña escala, principalmente por la compra de concentrados comerciales y forrajes externos a la unidad de producción, representando hasta el 70% de los costos de alimentación (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Prospero-Bernal *et al.*, 2017), por lo que la escala económica es el punto débil en la evaluación de la sostenibilidad de estos sistemas que los coloca con una sostenibilidad media (Fadul-Pacheco *et al.*, 2013; Prospero-Bernal *et al.*, 2017).

De acuerdo con Espinoza-Ortega *et al.*, (2007), además de ingresos atractivos, la producción lechera en pequeña escala brinda estabilidad a través de la venta diaria de leche, lo que permite a las familias campesinas presupuestar sus gastos.

Desde hace algún tiempo se recomienda impulsar la intensificación sostenible de los sistemas ganaderos en pequeña escala no solo en términos de incrementar su productividad sino tomando en cuenta el bienestar social y ambiental (McDermott *et al.*, 2010; Makkar, 2016). Los sistemas de producción de leche en pequeña escala tienen amplias perspectivas de lograr esta intensificación sostenible ya que tienen desempeños económicos y sociales positivos (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007), basados en la fuerza de trabajo familiar, el uso de recursos forrajeros locales y porque son competitivos en los mercados locales lo cual fortalece a las familias y comunidades productoras (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; McDermott *et al.*, 2010).

La intensificación sostenible de los sistemas de producción de leche (y otros sistemas ganaderos basados en rumiantes) en pequeña escala requiere desarrollar estrategias de alimentación basadas en forrajes de calidad que permitan incrementar la productividad animal y reducir los costos de alimentación (Makkar, 2016) al requerir menos concentrados e insumos de mayor precio que los forrajes.

Por esto, es importante desarrollar técnicas estratégicas que involucren el aprovechamiento del forraje para la alimentación de vacas lecheras, aportando así a todas aquellas familias dependientes de su unidad de producción procurando siempre el menor costo, obteniendo un buen rendimiento e ingresos que brinden estabilidad y equilibrio al sistema de producción lechera en pequeña escala, procurando el bienestar de las vacas.

Finalmente, de acuerdo con Arriaga-Jordán *et al.*, (1999), la producción de leche en pequeña escala puede ser una alternativa viable para solventar las necesidades que

tiene México en materia de alimentos de origen vacuno, además de ser una actividad tradicional de los sistemas de producción campesinos en el Altiplano Central de México, que han sobrevivido, dada su capacidad de ajustarse a los escenarios económicos difíciles y cambiantes. Sin embargo, ante el futuro altamente competitivo e incierto, representado por la apertura comercial de México a fin de representar una opción de desarrollo rural, la producción debe ser eficiente y a bajo costo.

2.3 Forrajes tratados para mejorar su valor nutritivo en las estrategias de alimentación del ganado lechero

Tomando en cuenta lo establecido por Posadas *et al.*, (2014), las estrategias de alimentación deben ser basadas en la maximización de los recursos de los SPLPE, para cubrir los costos totales de producción, principalmente los laborales y de alimentación que son los de mayor importancia, así como de mayor costo.

La estación seca de invierno y primavera en el Altiplano Central de México representa una época crítica de escasez de forraje por lo que hace necesario contar con forrajes conservados para la alimentación de los hatos. El ensilado de maíz ha probado ser un forraje de buena calidad bien adaptado a los sistemas de producción de leche en pequeña escala, además de ser un cultivo tradicional en México (Albarrán B. *et al.*, 2012).

Sin embargo, dadas las características agroecológicas de los Valles Altos de México no siempre es posible cosechar el maíz para ensilar en los momentos adecuados para asegurar una calidad óptima (Anaya-Ortega *et al.*, 2009).

Además, los posibles efectos del cambio climático, con cambios en el patrón de lluvias y posibles disminuciones en la precipitación, hacen necesario buscar alternativas forrajeras mejor adaptadas que por sus características y ciclos agrícolas de menor duración, requieran menor cantidad de agua y que sean resistentes a

condiciones adversas como heladas (Vega-García *et al.*, 2020; 2021).

Los cereales de grano pequeño, entre los que se encuentran la cebada (*Hordeum vulgare*), el centeno (*Secale cereale*) y el triticale (*X Triticosecale Wittmack*), además del trigo (*Triticum aestivum*), la avena común (*Avena sativa*) y la avena negra (*Avena strigosa*) han demostrado ser una fuente de forraje viable para sistemas de producción de leche en pequeña escala tanto como ensilado como en pastoreo (Gómez-Miranda *et al.*, 2019; González-Alcántara *et al.*, 2020; Vega-García *et al.*, 2020; 2021).

Por otro lado, diversos estudios muestran que cultivos multiespecie pueden resistir mejor la invasión de malezas y aumentar la producción de forraje (Muciño-Álvarez *et al.*, 2021), por lo que hay interés en evaluar mezclas multiespecie de cereales de grano pequeño dadas esas ventajas que tienen los cultivos multiespecie.

Sin embargo, no siempre existen las condiciones adecuadas para llevar a cabo el pastoreo o la cosecha para ensilaje de cultivos forrajeros en el momento óptimo de su crecimiento para asegurar la mejor calidad nutritiva posible. Al postergar la cosecha y aumentar la madurez de las plantas, aumenta el contenido de fibra y disminuye la digestibilidad de esos forrajes y por ende cae su calidad nutritiva.

En ese sentido, se ha investigado el uso de aditivos para mejorar la calidad de los forrajes (Llamas, 1990), las condiciones óptimas para que un aditivo resulte benéfico, es decir que mejore la calidad nutritiva de los forrajes van a variar de acuerdo con el modo de acción de cada aditivo, y ninguno puede ser efectivo bajo todas las condiciones (Leaver, y Hill, 1995; Hill, y Leaver, 1999).

El uso de los aditivos puede ser la clave para mejorar la calidad de los forrajes disponibles en las unidades de producción de leche en pequeña escala, ya que rara vez se trabaja en condiciones óptimas y en última instancia, sólo evaluando estos

aditivos es posible establecer la conveniencia de su uso (Madrid, *et al.*, 1997; Cañeque, *et al.*, 1998).

Uno de los tratamientos para mejorar la calidad nutritiva de forrajes es el tratamiento con álcalis, entre los cuales destaca el tratamiento con urea que se hidroliza en amoníaco. Sin embargo, no hay mucha información sobre la adición de tratamientos del forraje con urea como fuente de alimentación del ganado bovino productor de leche; a pesar de que los forrajes tratados pueden ser una fuente de alimentación del ganado más importante para muchas unidades de producción. En México, no hay reportes del uso de forraje de cereales de grano pequeño tratados con urea para la alimentación de bovinos lecheros.

Por esto, como afirman Camacho-Vera, *et al.*, (2017), la búsqueda de estrategias para la mejor alimentación de los rumiantes permitirá la continuidad de los SPLPE; dado que como se mencionó, la alimentación representa una gran proporción de los costos totales de producción (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007).

2.4 Cereales de grano pequeño (CGP)

Son gramíneas anuales autógamias cuyos granos se cultivan para alimentación humana y en la producción de concentrados para animales, pero también como forraje.

Los cereales de grano pequeño incluyen entre los principales el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), el trigo espelta (*T. spelta* L.), el trigo duro (*T. durum* Desf.), el trigo emmer (*T. dicoccon* Schrank), el triticale (*x Triticosecale* spp.), la cebada (*Hordeum vulgare* L.), el centeno (*Secale cereale*), la avena común (*Avena sativa* L.), y la avena negra (*A. strigosa*). Todas estas especies presentan tipos para siembra en primavera e invierno. Los tipos invernales requieren tratamientos que aceleren el proceso de maduración. La tolerancia al frío es mayor en trigo (hasta -25°C), menor

en cebada (-20°C) y más baja en avena (-15°C). (Payne, *et al.*, 2008).

En muchos países de clima templado como Argentina, el cultivo de cereales forrajeros resulta un eslabón casi ineludible para dar continuidad a la producción forrajera en la época invernal cuando decae la productividad de las praderas y pastizales (Covas, 1975).

Payne, *et al.*, (2008) señala que las principales características en condiciones óptimas recomendadas de los CGP son:

- Se recomienda la siembra preferentemente al inicio de la temporada de lluvias, debido a su gran capacidad de adaptación a esta temporada.
- Capacidad de recuperarse después de una primera defoliación, ya sea mediante el corte del forraje o del pastoreo.
- Se considera que el rebrote puede ser aprovechado para la producción de grano o nuevamente de forraje, obteniendo más de una cosecha por temporada con una posibilidad de obtener mayores rendimientos por hectárea.

2.4.1. Centeno (Secale Cereale)

Es un cereal europeo donde alrededor del 75% de la producción mundial se cultiva en Rusia, Bielorrusia, Polonia, Alemania y Ucrania. Tiene la mejor capacidad de hibernación y la mayor tolerancia a la sequía, bajas temperaturas y limitantes del suelo, como rusticidad y resistencia a enfermedades (Mellado *et al.*, 2008).

El grano de centeno se degrada rápidamente en el rumen, y esto debe tenerse en cuenta cuando se utilizan altas proporciones de este cereal en las raciones de las vacas lecheras debido al posible desarrollo de acidosis ruminal (Krieg, 2017).

Como forraje, en México ha demostrado rendimientos de MS comparables a otros cereales de grano pequeño y con una calidad similar (Celis-Álvarez *et al.*, 2017), y en pastoreo por vacas lecheras en SPLPE demostró igualmente rendimientos y composición química similar al trigo y triticale, pero en el análisis económico tuvo significativamente mayores márgenes de ganancia sobre costos de alimentación (Vega-García *et al.*, 2021).

2.4.2 Cebada (*Hordeum vulgare*)

Pertenece al grupo de cereales cultivados desde la antigüedad, con vestigios de 7.000 años a.C. (Ríos *et al.*, 2011). De acuerdo con Nikkhah, (2012), el grano de cebada se caracteriza por una capa fibrosa espesa, un alto nivel de β -glucanos y gránulos de almidón. La producción mundial de cebada es aproximadamente el 30% de la de maíz y en comparación, la cebada tiene aminoácidos deficientes en el grano de maíz como metionina, lisina, cisteína y triptófano, además de un contenido de proteína superior al grano de maíz.

Para los rumiantes, el grano de cebada es un cereal fácilmente degradable detrás de la avena y el trigo. Debido a su velocidad de fermentación del almidón más rápida en comparación con el maíz, la cebada también proporciona una liberación más sincronizada de energía y nitrógeno, lo que mejora la asimilación de nutrientes. Como resultado, la alimentación con cebada puede reducir la necesidad de alimentación con fuentes proteicas protegidas. Sin embargo, este beneficio solo se obtiene si la acidez del rumen se mantiene dentro de un rango óptimo (por ejemplo, entre 5.8 a 6.0); por debajo de este rango, aumentan los requisitos de mantenimiento microbiano (Nikkhah, 2012).

El ensilado de forraje de cebada demostró buena calidad nutricional y respuesta productiva en vacas lecheras de SPLPE (Gómez-Miranda *et al.*, 2020).

2.4.3 Triticale (X. Triticosecale Wittmack)

De acuerdo con Covas (1975), es un cereal interespecífico producto de la cruce de *Triticum L. x Secale L.* (Trigo x Centeno), con la finalidad de obtener un cereal que reuniera la calidad del trigo con la rusticidad del centeno, y así poder cubrir una mayor área con un cultivo harinero.

El grano de triticale combina el contenido proteico y de aminoácidos del trigo con las características del centeno como forrajero de pastoreo por su productividad ante la tolerancia ambiental (resistencia a la sequía, heladas y enfermedades fúngicas) (Payne *et al.*, 2008)

De acuerdo con Taher-Yalchi *et al.*, (2010), el objetivo detrás de hacer cruces de trigo/centeno es capturar las mejores características de cada especie. El rendimiento del trigo y la calidad del grano son mejores que los del centeno, pero el centeno tiene una mayor resistencia a las enfermedades y una mejor tolerancia al estrés ambiental.

El triticale se ha desarrollado para el uso potencial del grano como forrajero ya que se ha demostrado que es una buena fuente de proteínas, aminoácidos y vitamina B. Se ha mostrado como cultivo forrajero y como fuente de proteína alternativa en raciones formuladas para monogástricos, rumiantes y aves de corral. Bilgili (2009) reportó que los niveles de degradación de materia seca (MS) y proteína cruda (PC) fueron 59.0% y 58.5%, respectivamente, en forraje de triticale de la planta entera.

El ensilado de triticale ha demostrado ser un recurso forrajero útil en SPLPE cuando se utiliza en la alimentación de vacas lecheras (González-Alcántara *et al.*, 2020).

2.5 Tratamiento de forraje con urea

La urea es el compuesto rico en nitrógeno no proteico (NNP) más utilizado en las

dietas de los rumiantes (Madrid *et al.*, 1997). Se presenta físicamente en forma sólida, cristalina e incolora (Schiere e Ibrahim, 1989).

La urea es rápidamente hidrolizada a amoniaco y bióxido de carbono en presenciade ureasas microbianas que son cosmopolitas, a lo cual contribuye su solubilidad en soluciones acuosas (Sundstol, y Coxworth, 1984; N´Gambi, y Campling, 1991).

A nivel ruminal las ureasas microbianas son las enzimas de mayor actividad y como consecuencia la concentración de amoniaco en este compartimento gástrico se eleva inmediatamente después de la alimentación con urea (Bermúdez, 1986).

El amonio producido por las bacterias del rumen a partir de la urea es esencial para el crecimiento de las bacterias celulolíticas que favorecen una digestión adecuada de la fibra, y amilolíticas también (Bermúdez, 1986; Silva y Orskov, 1988; Cañeque, *et al.*, 1998).

En cuanto al tratamiento de forrajes con urea, originalmente se utilizó para mejorar digestibilidad y la calidad nutritiva de pajas y forrajes con alto contenido de paredes celulares. El tratamiento con álcalis, como el amoniaco de la urea, actúa sobre las paredes celulares, al disolver la hemicelulosa y romper los enlaces de lignina y el silicio, lo que aumenta la digestibilidad de los forrajes tratados, además de aumentar la absorción del fósforo de esos forrajes (Jackson, 1977).

El efecto principal del tratamiento con urea es la producción de amoniaco a partir de la reacción de la urea con el agua, produciéndose hidróxido de amonio por la enzima ureasa contenida en los rastrojos (Cloete y Kritzinger 1984) y se provoca el rompimiento de los enlaces entre la hemicelulosa y la lignina, aumentándose la disponibilidad de los carbohidratos de la fibra o paredes celulares (celulosa y hemicelulosa) (Horn *et al.*, 1989; Flores, 1994), se presenta un aumento en la concentración de la celulosa y se facilita la acción de las celulasas bacterianas

para destruir los puentes de hidrógeno presentes en los polímeros de celulosa (Llamas, 1990; Shen *et al.*, 1999).

En cuanto a la digestibilidad de la celulosa como afirma Jackson (1977), la celulosa se “hincha” en contacto con el álcali, estos reducen la fuerza de los enlaces de hidrógeno intermoleculares que se unen a moléculas de celulosa y por este efecto, los microorganismos y la enzima celulasa que secretan penetran más fácilmente las paredes celulares lo que explica la mayor digestibilidad de la celulosa de los forrajes tratados.

El amoníaco es uno de los tratamientos químicos más estudiados para mejorar la calidad del forraje. Mejora la digestibilidad del forraje debido a la acción hidrolítica del amoníaco sobre el enlace entre la lignina y los polisacáridos estructurales, lo que aumenta la materia orgánica (MO) potencialmente disponible para su utilización por parte del ruminal. (Taher-Yalchi *et al.*, 2010).

Finalmente, de acuerdo con Silva y Orskov, (1998) el uso de urea en el tratamiento de pajas, forrajes y rastrojos ha tenido gran importancia en la alimentación de rumiantes, ya que en algunos casos pueden reemplazar a los pastos y ensilados aumentando el consumo de materia seca (MS).

2.6 Uso de los tratamientos de forraje con urea en mezclas de cereales de grano pequeño en sistemas de producción lechera en pequeña escala

El tratamiento con urea difiere de otros métodos, básicamente por la facilidad de aplicación, cantidad de forraje tratado, concentración de urea y proporción de agua en el forraje (Leaver y Hill, 1995).

Dentro de los CGP que pueden representar una opción en las estrategias de alimentación de SPLPE, se encuentra la cebada que ha sido estudiada por Gómez-

Miranda *et al.*, (2019) con buenos resultados, mencionando como ventajas su tolerancia al frío, buen rendimiento y calidad del forraje, y su alta dominancia le dan la capacidad para resistir la invasión de vegetación secundaria.

El centeno ha mostrado buen potencial con resultados positivos en cuanto a rendimientos y calidad del forraje (Celis-Álvarez *et al.*, 2017), además de presentar resistencia al déficit hídrico y enfermedades fúngicas (Castro *et al.*, 2011; Mellado *et al.*, 2008); y Vega-García *et al.*, (2021) reportaron la viabilidad de su uso bajo pastoreo por vacas lecheras en SPLPE.

El grano del triticale y de acuerdo con (Payne *et al.*, 2008) al ser la cruce de Trigo x Centeno, da un resultado que en conjunto reúne la calidad del trigo con la rusticidad del centeno, se combina el contenido proteico y de aminoácidos del trigo con las características del centeno como forrajero de pastoreo por su productividad ante la tolerancia ambiental.

De acuerdo con lo anterior, estos tres cereales de grano pequeño se convierten en una opción viable para su incorporación dentro de las estrategias de alimentación en SPLPE, evaluados en mezclas multi-especie que pueden representar ventajas sobre los cultivos de cada especie de manera individual (Muciño-Álvarez *et al.*, 2021).

La opción del tratamiento con urea permitirá la utilización de estos cultivos en un estado de madurez avanzada que pueden incorporarse en la alimentación del ganado lechero en SPLPE como base forrajera o como complemento a otros forrajes.

Las ventajas de los tratamientos de forrajes con álcalis son (Jackson, 1977):

- Mayor consumo voluntario

- Aumenta el valor energético de los forrajes de un 10% hasta un 20%

- Aumenta la digestibilidad de la celulosa

- Aumenta la ingesta de agua

- La composición de la leche no se ve afectada

Orskov *et al.*, (1983) reportaron que la cebada de planta entera tratada con amoníaco es mejor que el grano entero o molido sin tratar, ya que además del valor nutritivo del grano, se mejora la calidad de la paja con el tratamiento con Amoníaco (NH₃). La adición de una solución de urea a forrajes en niveles de 4% a 6% en base seca mejora la digestibilidad de la fibra (Jung *et al.*, 1993; Shen *et al.*, 1998) y aumenta el consumo voluntario de paja, como subproducto derivado de cosechas agrícolas (García-Martínez, 2001). Igualmente, el tratamiento con urea aplicada al forraje en porcentajes de 4 – 6 % (40-60g/kg MS) aumenta el contenido de PC hasta tres puntos porcentuales (Cloete y Kritzing 1984; Theander y Amnan 1984; Zorrilla 1990), en la forma de nitrógeno no proteico que puede ser utilizado por los microorganismos del rumen para la síntesis de proteína microbiana.

El efecto esperado sobre la producción animal es directamente proporcional al tipo del forraje utilizado, al tipo de dieta que se incluya y los animales a los que se destina (Owen, 1978; Kernan *et al.*, 1981; Zorrilla, 1990). Dado que la principal mejora que se obtiene es en la digestibilidad (Treacher *et al.*, 1993; Madrid *et al.*, 1997), se debe buscar que el forraje se incluya en dietas consistentes de estos, y con el uso de concentrados que no sobrepasen el 40% de la ración (Orskov 1999).

Hay un acervo amplio de investigaciones sobre el tratamiento de pajas y rastrojos con urea para mejorar su valor nutricional (García-Martínez, 2001), y así mismo se ha realizado investigación sobre el tratamiento de planta entera de cereales de grano pequeño como una forma de mejorar el valor nutritivo de estos forrajes en un estado

de madurez mayor al óptimo para realizar ensilaje del forraje aprovechando un mayor contenido de almidón en los granos y como una forma de conservar forraje para la época de invierno en Europa, donde más se ha estudiado (Tetlow y Mason 1987; Hill, y Leaver, 1999). Sin embargo, no existen reportes en México sobre el tratamiento con urea de cereales de planta entera.

Los cereales de cultivos enteros (de planta entera incluyendo tallos, hojas, y espigas con grano), cosechados directamente, pueden conservarse y mejorarse eficazmente mediante el tratamiento con urea. Así en un estado de madurez avanzado, los rendimientos de los cultivos están cerca del máximo y el valor nutritivo potencial del material tratado es alto.

3. JUSTIFICACIÓN

Como afirmaron Ruitter *et al.*, (2002), los cereales de grano pequeño pueden ser utilizados con mucha flexibilidad a lo largo de todo el año, como forraje de pastoreo con altos contenidos de proteína, o como ensilado de alto valor energético, y también existen trabajos sobre el tratamiento de forraje maduro para mejorar su valor nutritivo (Orskov *et al.*, 1983).

De acuerdo con la implementación de estrategias de alimentación para reducir costos e incrementar la sostenibilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala, es necesario investigar cultivos forrajeros con características de adaptación que de la misma manera permitan a los productores afrontar mejor los escenarios a futuro. Se propone el tratamiento de mezclas de CGP con urea como fuente de nitrógeno y una opción para la mejora de la digestibilidad a partir de sus efectos en las características físicas y químicas del forraje en una etapa de madurez avanzada. No obstante, hay trabajos estudiando a los forrajes de planta entera concretamente de cereales de grano pequeño tratados con urea realizados en otros países, sobre todo en Europa, y que en México no se han evaluado, además de que existe poca información sobre la utilización del tratamiento de mezclas de CGP tratados con urea para el ganado lechero, es decir qué; no existen reportes publicados sobre trabajos en México que evalúen la utilización de forraje de planta entera de cereales de grano pequeño tratados con urea.

Tomando en cuenta los antecedentes previamente descritos, en este trabajo se pretende aportar información acerca de los tratamientos con urea a forraje de mezclas de cereales de grano pequeño en estado avanzado de madurez como fuente de amoníaco para mejorar su calidad nutritiva y mejorar la contribución en la alimentación del ganado lechero en los SPLPE, a partir del incremento de la digestibilidad de sus paredes celulares al facilitar el mejor aprovechamiento del forraje por la microflora ruminal (García-Martínez, 2001); así como la evaluación de la respuesta animal a los tratamientos con urea.

4. HIPÓTESIS

Se plantea la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas en la respuesta productiva y composición química de la leche de vacas lecheras al complemento de alimentación con tres cultivos/tratamientos de mezclas de 3 cereales de grano pequeño: centeno (*Secale cereale*), cebada (*Hordeum vulgare*) y triticale (*X. Triticosecale Wittmack*) tratados con urea como estrategia de alimentación en sistemas de producción de leche en pequeña escala.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar el desempeño productivo de vacas lecheras dentro de un sistema de producción en pequeña escala, a la adición de forraje de mezclas binarias (de dos especies) en avanzado estado de madurez de cereales de grano pequeño como centeno (*Secale cereale*), cebada (*Hordeum vulgare*) y triticale (*X. Triticosecale Wittmack*) tratados con urea.

5.2. Objetivos específicos

- Tratar con urea forrajes de planta entera de mezclas binarias de triticale-centeno (TR+CN), centeno-cebada (CN+CB), y triticale-cebada (TR+CB).
- Llevar a cabo un experimento participativo en finca con un productor de leche en pequeña escala para evaluar el desempeño productivo de vacas lecheras a la inclusión en la dieta de forraje de planta entera de mezclas de cereales de grano pequeño tratado con urea en términos de rendimiento y composición química de la leche en cuanto a contenido de grasa, proteína, y nitrógeno ureico en leche (NUL), condición corporal y peso vivo.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo mediante investigación participativa en el desarrollo de tecnología pecuaria (Conroy, 2005) en la unidad de producción (UP) de un productor de leche en pequeña escala en Aculco de Espinoza; municipio que se localiza entre las coordenadas 20° 00'– 20° 17' norte, y 99° 40'–100° 00' oeste del Estado de México.

El municipio cuenta con una superficie de 453.3 km², con una altitud mediade 2440 msnm y un clima templado sub-húmedo, con una temperatura media de 13.2°C, con precipitación pluvial promedio anual de 700 mm (INEGI, 2009); con heladas de octubre a febrero, y precipitaciones anuales superiores a 700 mm con una estación lluviosa de mayo a octubre y una estación seca de noviembre a abril (Celis-Álvarez *et al.*, 2017).

6.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de cuadro latino 3x3 repetido dos veces con doble aleatorización para la secuencia de los tratamientos y así mismo la distribución de las vacas por cada secuencia de tratamientos, con tres tratamientos/cultivos y tres periodos experimentales de 14 días cada uno.

6.3 Animales

Se utilizaron seis vacas de raza Holstein en lactación, con un peso vivo, etapa de lactación y rendimientos diarios similares de acuerdo con cada periodo experimental.

6.4. Organización de tratamientos/cultivos

Se sembraron, durante época de lluvias con una dosis de siembra de 50 kg/ha de semilla de cada una de las dos especies de cereal por cultivo, y se fertilizaron con nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) en dosis de 150 kg/ha de urea, 175 kg/ha de fosfato diamónico (DAP) y 150 kg/ha de cloruro de potasio, para tener una fórmula fertilizante de 100N-80P-90K kg/ha.

Cada mezcla de cultivos/tratamientos multi-especie se sembraron en parcelas de 1.0 ha, con los siguientes cereales de grano pequeño: triticale (*X. Triticosecale Wittmack*), centeno (*Secale cereale*) y cebada (*Hordeum vulgare*) de la siguiente forma:

TR+CN: mezcla binaria de 50 kg de triticale variedad Bicentenario + 50 kg de centeno variedad nacional/ha; CN+CB: mezcla binaria de 50 kg de centeno variedad nacional + 50 kg de cebada variedad Canela/ha; TR+CB: mezcla binaria de 50 kg de triticale variedad Bicentenario + 50 kg de cebada variedad Canela/ha.

Los cultivos se cosecharon a los 180 días después de la siembra, en un estado de madurez avanzado, incluyendo la vegetación secundaria. Los silos permanecieron cerrados durante 150 días para completar la liberación de amoníaco y la reacción con los forrajes. Al destapar los silos se dejaron orear los forrajes durante 1.0 hora antes de proporcionarlos a las vacas.

6.5 Materiales

6.5.1 Material Biológico

Se utilizaron seis vacas raza Holstein con características específicas de acuerdo con su producción de leche.

Praderas con cerco eléctrico propiedad del productor colaborador.

6.5.2. Material no biológico

Bultos de concentrado comercial, marca ALPLA (Alimentos Pecuarios Los Ángeles) con 18% de PC (30 kg c/u).

Báscula portátil electrónica Gallagher MR con capacidad para 1000 kg.

6.5.3 Material de campo

6.5.3.1 Leche

- Botes de plástico de 200 mL, 100 mL y de
- Cucharones
- Etiquetas
- Hielera
- Básculas de reloj capacidad de 20 kg
- Analizador de leche por ultrasonido Lacti-check Modelo LC-01/A.
- Probetas de 200 ml

6.5.4. Material de laboratorio

- Reactivos varios
- Baño María, platinas, balanza analítica, estufa de aire forzado,
- Etiquetas,
- Marcadores permanentes,
- Bata blanca,
- Guantes, cubrebocas.

7. MÉTODO

El trabajo se realizó en la unidad de producción de leche en pequeña escala de un productor de Aculco que colabora con el proyecto “Cereales de grano pequeño como opción forrajera para sistemas de producción de leche en pequeña escala” (Clave UAEM 4973/2020/CIB financiado por la Universidad Autónoma del Estado de México, a través del enfoque de investigación participativa rural para el desarrollo de tecnología ganadera (Conroy, 2005).

7.1 Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento tuvo una duración de 42 días divididos en tres periodos experimentales de 14 días cada uno, de los cuales, 11 días fueron de adaptación a la dieta/tratamiento y 3 días para la recolección de muestras de forraje y leche de acuerdo con trabajos previos en SPLPE (González-Alcántara *et al.*, 2020; Muciño-Álvarez *et al.*, 2021; Plata-Reyes *et al.*, 2018). El registro de datos se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Pérez *et al.*, (2012) en estudios similares.

Se seleccionaron seis vacas Holstein en ordeño, en condiciones fisiológicas (primer tercio de lactación, número de partos) y anatómicas (condición corporal) similares específicas de acuerdo a cada periodo experimental (Cuadro 1), que en el periodo pre-experimental contaban con un promedio de rendimiento en grupo de 13.6 L/día.

Los tratamientos de alimentación de vacas lecheras evaluados fueron:

Tx1: TR+CN: 9 kg MS/vaca/día de mezcla de triticale + centeno, más 5 kg MS/vaca/día de pasto cortado y seco, 4.6 kg MS de concentrado comercial con 18% de PC/vaca/día, más 8 h/d de pastoreo en praderas de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*);

Tx2: CN+CB: 9 kg MS/vaca/día de mezcla de centeno + cebada, más 5 kg MS/vaca/día de pasto cortado y seco, 4.6 kg MS de concentrado comercial con 18% de PC/vaca/día, más 8 h/d de pastoreo en praderas de pasto kikuyo;

Tx3: TR+CB: 9 kg MS/vaca/día de mezcla de triticale + cebada, más 5 kg MS/vaca/día de pasto cortado y seco, 4.6 kg MS de concentrado comercial con 18% de PC/vaca/día, más 8 h/d de pastoreo en praderas de pasto kikuyo.

El pasto cortado fue de una pradera de pasto kikuyo (KY) que no pudo ser pastoreada y que se dejó orear después del corte durante la mañana para reducir su contenido de humedad y aumentar su contenido de MS antes de ser transportado y ofrecido a las vacas. La decisión de ofrecer pasto cortado fue del productor colaborador, y una premisa de la investigación participativa mediante experimentos en finca es respetar las decisiones e inquietudes de los productores que participan en los experimentos.

Cada vaca fue asignada de manera aleatoria a las secuencias de los tres tratamientos con un arreglo de cuadro latino 3 x 3 repetido dos veces, con tres tratamientos y tres periodos experimentales de 14 días cada uno. Por medio de una doble aleatorización para la secuencia de los tratamientos y para la distribución de las vacas en cada tratamiento, fueron distribuidas como se muestra en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Grupo de vacas experimentales.

Vaca	RL	PARTOS	DEL	GESTANTE	CC	PV
3031	14.3	2	180	Si	2.7	507
6840	18.1	5	90	Si	2.0	406
Troy	15.6	1	250	No	2.7	422
6966	11.2	5	250	Si	2.0	409
3024	11.4	2	60	No	2.5	463
5941	10.8	3	90	No	2.0	450
Media	13.6	3	153.3		2.3	452

RL= Rendimiento de leche (L/vaca/día); Partos= Número de partos totales; DEL= Días en leche; Gestante= si, no; CC= Condición corporal escala 1-5; PV= Peso vivo en kg.

Cuadro 2. Distribución de tratamientos por cuadros de producción de vaca y periodos.

Cuadro 1	Periodos			Cuadro 2	Periodos			
	Vaca	I	II		III	Vaca	I	II
3031	TR+CN	TR+CB	CN+CB	6966	CN+CB	TR+CN	TR+CB	
6840	TR+CB	CN+CB	TR+CN	3024	TR+CN	TR+CB	CN+CB	
Troy	CN+CB	TR+CN	TR+CB	5941	TR+CB	CN+CB	TR+CN	

Cuadro 1= Vacas altas productoras; Cuadro 2= Vacas Bajas productoras; TR= Triticale; CB= Cebada; CN= Centeno.

7.2 Proceso de tratamiento con urea a CGP

Se cosecharon los cultivos completos de los tres tratamientos multi-especie cuando se encontró en estado de maduración avanzada para aprovechar la mayor cantidad de MS posible a una altura de 5 cm del suelo con maquinaria tipo Chopper.

Los cultivos enteros cosechados se colocaron por capas (remolques) sobre un plástico negro calibre 600 (para silos) extendido dejando una pestaña de más de 50 cm para sellar, y se acumuló en capas de 30-40 cm comprimiendo ligeramente con tractor, solo lo necesario para poder envolverlo.

A cada capa se le adicionó urea de grado fertilizante a una dosis de 50 kg/ton MS (un bulto de urea granulada por capa) y se asperjó con 450 L de agua para lograr su disolución. No se agregó urea en la última capa, se tapó el silo con otra hoja de plástico negro de las mismas características y se selló lo mejor posible con tierra para evitar que escape la producción de gas de amoníaco producida por la ureólisis.

7.3. Variables evaluadas de la composición química de las praderas

Los análisis bromatológicos de las muestras de forraje se realizaron en su totalidad en el laboratorio del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la UAEM, de acuerdo con los procedimientos establecidos, basados en los protocolos de la AOAC, (1990).

Para la obtención de las muestras de pastura, se utilizó la técnica de pastoreo simulado que consiste en recolectar muestras al azar de toda la pradera con la mano, de forma que sea semejante a los cortes que hace el ganado al pastorear, lo que permite tener un buen estimador de la calidad nutritiva del forraje consumido por las vacas. Se realizó en cada una de las tres praderas, durante los cuatro días de medición de cada período experimental, colectando una muestra compuesta. Las muestras del concentrado comercial se recolectaron el último día de cada periodo experimental.

Los componentes que se determinaron en los forrajes tratados con urea fueron:

- Materia Seca (MS), colocando las muestras en una estufa de aire forzado a 65°C durante 48 horas; posteriormente se molieron en el molino Pulvex 200 y se determinaron las cenizas o Materia Orgánica (MO) al colocar la muestra en una mufla a temperatura de 550°C, durante 3 horas (Wattiaux MA *et al.*, 2005).
- Se determinó el Nitrógeno por el método de Kjeldahl (AOAC,1990), calculando el total de Proteína Cruda (PC) al multiplicar la cantidad de nitrógeno total presente en la muestra por 6.25 (AOAC, 2007).
- Las fracciones de fibra se determinaron, según el método descrito por Van Soest *et al.*, (1991), en términos de fibra detergente neutro (FDN) y de fibra detergente ácido (FDA) mediante el método de Ankom Technology (2005) con alfa amilasa sin corrección de cenizas.
- La digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO), se determinó a través del método de incubación enzimática, descrito por Riveros y Argamentaría (1987), en el cual las muestras después de la determinación de FDN, se incubaron por 24 horas con una mezcla de celulasa (Onozuka R-10); seguido por la determinación de

cenizas después de la incubación. El cálculo empleado es: $DIVMO \cdot (1000 - \text{cenizas}) / 1000$, donde DIVMO (g/kg MO) y cenizas (g/kg MS).

7.4. Análisis estadístico de los datos

7.4.1. Producción de forraje

Los resultados se analizaron mediante un análisis de parcelas divididas siguiendo el modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + s_{di} + T_j + E_k + p_l + T_{pj} + T_{rjm} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{jkl} = Variable respuesta

μ = Media general

sd = Efecto de la subdivisión en los cultivos $i = 1 \dots 3$

T = Efecto de Tratamientos (Parcela Mayor) $i = 1 \dots 4$

E = Término residual para las Parcelas Mayores

p = Efecto de los periodos experimentales (Parcela menor) = $1 \dots 3$

Tp = Efecto de la interacción entre los tratamientos y periodo experimental

Tr = Efecto de la interacción entre los tratamientos y las repeticiones al interior de cada subdivisión en los cultivos.

e = Término residual para las Parcelas Menores

7.4.2 producción animal

Se utilizó un diseño experimental de cuadro latino 3x3, el modelo estadístico para el

análisis de evaluación para variables de producción animal fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + V_i + P_j + C_k + T_l + e_{ijkl}$$

- Donde:
- Y_{ijkl} = variable respuesta
- μ = Media general
- V_i = Efecto vacas dentro de cuadros (1, 2)
- P_j = Efecto debido al periodo experimental (1, 2)
- C_k = Efecto debido a cuadros (1, 2)
- T_l = Efecto de tratamiento (1, 2)
- E_{ijkl} = Error experimental.

El análisis de los datos se realizó con el programa estadístico Minitab V-14.

7.5. Evaluación de variables de producción animal

7.5.1. Rendimiento de leche (RL)

En cada periodo experimental, durante los últimos tres días se realizó el registro del rendimiento diario de leche de las 6 vacas, de acuerdo con las prácticas de manejo usuales del productor, el ordeño matutino (7:00 horas), y en la ordeña vespertina (17:00 horas), se pesó la leche con una báscula de reloj con capacidad para 20 kg y una cubeta. Para el análisis de resultados, se utilizaron los valores promedio individuales de cada vaca, expresando el resultado en kg de leche/vaca/día.

7.5.2. Determinación de la composición química de la leche

Se tomaron muestras de leche recolectadas inmediatamente después del ordeño de cada vaca individualmente, y se realizó una homogenización con las muestras de

ambos ordeños, una alícuota de 200 ml, respetando la proporción de cada ordeño y se analizaron en la misma unidad de producción, para determinar su composición en cuanto a grasa, proteína, lactosa y pH mediante el analizador de leche por ultrasonido Lacti-check modelo LC/01 (Page and Pedersen International, Ltd, Hopkinton, MA, USA).

Dichas muestras se mantuvieron en congelación y una vez finalizados los 3 días de medición, fueron transportadas al laboratorio de lácteos del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México, para determinar la concentración de nitrógeno ureico en leche (NUL), con el método colorimétrico enzimático (Chaney y Marbach, 1962) a través de un espectrofotómetro.

7.5.2 Peso vivo (PV) y condición corporal (CC)

El peso vivo (PV) de las vacas determinado en kg, se registró al inicio del experimento y al final de cada periodo experimental, durante dos días consecutivos después del primer ordeño (7:00 horas), con la finalidad de disminuir la variación, utilizando una báscula electrónica portátil Gallagher MR con capacidad de 1000 kg.

La condición corporal (CC) se evaluó de acuerdo con una escala de 1 a 5 con subdivisiones de 0.25; siendo la calificación más baja de 1 como un animal emaciado (delgado, de estructuras óseas prominentes y palpables); y la calificación más alta con escala de 5, un animal gordo (estructuras óseas no palpables recubiertas por grandes masas de tejido graso) de acuerdo con Plata-Reyes *et al.*, (2018).

8. LÍMITE DE ESPACIO

La unidad de producción de leche en pequeña escala donde se realizó el trabajo experimental se ubica en el Ejido La Concepción, perteneciente al municipio de Aculco, ubicado al noroeste del Estado de México, colinda al norte con el municipio de Polotitlán y el estado de Querétaro, al sur con los municipios de Acambay y Timilpan, al este con el municipio de Jilotepec y al oeste con el estado de Querétaro. Su región está considerada como una zona de clima semifrío, subhúmedo con lluvias en verano, sin estación invernal bien definida. La temperatura media anual es de 13.2 ° C teniendo las más bajas por los meses de noviembre a febrero y que llegan a ser de menos cero, ocasionando heladas. Altitud media de 2240 metros sobre el nivel del mar. La temporada de lluvias inicia a finales de marzo o principios de abril, hasta octubre o noviembre. Su precipitación pluvial promedio anual es de 699.6 milímetros (INAFED, 2017).



Figura 1. Mapa de ubicación, Aculco. (INEGI 2022)

9. LÍMITE DE TIEMPO

La fase experimental tuvo una duración de 42 días, divididos en tres períodos de 14 días cada uno, del 10 de marzo al 19 de abril de 2022. Los períodos experimentales fueron divididos como a continuación se muestra:

Período 1 (PI) 10 de marzo al 23 de marzo

Período 2 (PII) 24 de marzo al 05 de abril

Período 3 (PIII) 06 de abril al 19 de abril

La fase de laboratorio se realizó durante los meses de mayo, junio y julio de 2022.

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1 Composición Química del forraje tratado con urea

Cuadro 3. Resultados de composición química de los cultivos

Variable	Periodo	Tratamiento			Media Periodo	EEM pm	P PM	P pm	P PM*pm
		TR+CN	CN+CB	TR+CB					
MS (g/kg MS)	I	922.9	790.9	874.3	862.7				
	II	938.8	759.0	917.9	871.9	10.7			
	III	931.5	809.3	797.0	845.9				
Media Tx		931.0	786.4	863.1			0.182 ^{NS}	0.933 ^{NS}	0.892 ^{NS}
EEM PM			59.1						
EEM PM*pm			12.1						
MO (g/kg MS)	I	926.7	916.7	922.3	921.9				
	II	919.3	911.1	919.2	916.5	5.0			
	III	908.7	904.3	915.8	909.6				
Media Tx		918.2	910.7	919.1			0.732 ^{NS}	0.580 ^{NS}	0.996 ^{NS}
EEM PM			3.8						
EEM PM*pm			0.8						
PC (g/kg MS)	I	101.9	128.2	184.3	138.2				
	II	118.2	124.7	165.3	136.1	6.8			
	III	120.9	122.5	125.1	122.9				
Media Tx		113.7^{bc}	125.1^b	158.3^a			0.002*	0.213 ^{NS}	0.052 ^{NS}
EEM PM			18.9						
EEM PM*pm			5.5						
FDN (g/kg MS)	I	826.0	804.4	718.1	782.9^a				
	II	776.7	746.7	685.1	736.2^b	40.1			
	III	670.7	705.5	677.7	684.7^c				
Media Tx		757.8	752.3	693.6			0.156 ^{NS}	0.049*	0.661 ^{NS}
EEM PM			29.0						

Respuesta productiva de vacas lecheras a la inclusión de forraje de mezclas de cereales de grano pequeño tratados con urea en sistemas de producción en pequeña escala

EEM									
PM*pm									8.6
FDA	I	549.4	554.0	473.7	525.7				
(g/kg	II	567.9	536.9	450.3	518.4	23.3			
MS)	III	492.5	507.5	419.0	473.0				
Media		536.6^a	532.8^c	447.6^a					
Tx							0.014*	0.150 ^{NS}	0.931 ^{NS}
EEM									41.1
PM									
EEM									3.9
PM*pm									
DIVMS	I	479.1	531.9	625.3	545.4				
(g/kg	II	558.5	480.8	560.6	533.3	27.9			
MO)	III	650.1	541.3	601.1	597.5				
Media		562.6	518.0	595.7					
Tx							0.191 ^{NS}	0.266 ^{NS}	0.334 ^{NS}
EEM									31.8
PM									
EEM									14.9
PM*pm									
EM	I	7.0	7.4	9.1	7.8				
(MJ/kg	II	7.9	6.6	7.9	7.5	0.5			
MS)	III	9.5	7.6	8.6	8.6				
Media		8.1	7.2	8.5					
Tx							0.187 ^{NS}	0.294 ^{NS}	0.470 ^{NS}
EEM									0.6
PM									
EEM									0.2
PM*pm									

TR= Triticale; CB= Cebada; CN= Centeno; MS=Materia seca; MO=Materia orgánica; PC= Proteína cruda; FDN= Fibra Detergente Neutra; FDA= Fibra Detergente Acida; DIVMS= Digestibilidad *in vitro* de Materia Seca; EM= Energía metabolizable; MJ= Mega Joules; EEM PM= Error Estándar de la Media de Parcela Mayor; EEM pm= Error Estándar de la Media de parcela menor; EEM PM*pm= Error Estándar de la Media de la interacción entre Parcela Mayor y parcela menor; P PM= valor de P de la Parcela Mayor; P pm= valor de P de la parcela menor; P PM*pm= valor de P de la interacción entre Parcela Mayor y parcela menor; NS= P>0.05, No Significativo; * = P<0.05, Significativo,);^{abc} = literales diferentes en la misma línea indican diferencias significativas entre periodos o tratamientos.

10.1.1 Materia seca (MS) y Materia orgánica (MO)

La producción de MS entre tratamientos presenta variabilidad en los resultados con un rango de 931 a 786.4 g/kg MS (cuadro 3); sin presentar diferencias significativas (P>0.05), tanto en tratamientos, como en periodos de evaluación, así como en la

interacción de ambos factores, particularmente el Tx1: TR+CN presenta valor similar comparado con García-Martínez *et al.*, (2009) en donde se evaluó rastrojo de maíz tratado con urea, y obtuvo 927.7 g/kg MS, teniendo una diferencia mínima de 3.3 g/kg MS. Respecto con Kacper Libera *et al.*, (2021), en dónde se evaluó triticale y grano de avena tratados con urea, los resultados fueron 828 g/kg MS obteniendo así diferencia menor con el Tx3: TR+CB de 35.1 g/kg MS.

Como afirman Chamberlain AT y Wilkinson JM, (2002), la MS está conformada por MO, donde se encuentran la parte celular de los alimentos, y materia inorgánica (cenizas o minerales). La producción de leche está influenciada por el consumo de materia seca y esta a su vez por la calidad nutritiva de la dieta. A mayor consumo, mayor será la producción.

La producción de MO entre los tratamientos evaluados muestra valores similares ($P>0.05$) con un rango entre valores de 910,7 a 918.2 g/kg MS, siendo estos resultados similares a Libera *et al.*, (2021) con un promedio de 929 g/kg MS en dónde se evaluó triticale y grano de avena tratados con urea.

De igual manera Dawit Abate & Solomon Melaku (2009) reportaron resultados similares con un promedio de 901 g/kg MS, es decir que tiene una diferencia mínima de 9.7 g/kg MS respecto al Tx2: CN+CB.

10.1.2 Proteína Cruda (PC)

Respecto al contenido de proteína cruda no se observan diferencias estadísticas significativas entre periodos ($P>0.05$) pero si detectadas entre tratamientos ($P<0.05$).

En la evaluación por tratamientos los resultados fueron variables con un rango que determina diferencia, entre Tx1: TR+CN 113.7 g/kg MS a Tx3: TR+CB 158.3 g/kg MS este último indica una producción similar a Kacper Libera, (2020) (151 g/kg MS) en

donde evaluó grano de triticale tratado con urea, asociado a esto la semejanza con este CGP.

De acuerdo con Hadjipanayiotou M *et al.*, (1997) indica que la cebada tiene un promedio de fijación del nitrógeno total aplicado al 50%, es decir a mayor cantidad de nitrógeno en el forraje aumenta el contenido de proteína, lo cual se relaciona a que los tratamientos que tenían cebada presentan un mayor contenido de PC.

10.1.3 Fibra detergente neutra (FDN)

Los resultados de FDN por tratamientos fueron similares ($P>0.05$) para el Tx1: TR+CN y Tx2: CN+CB con mínima diferencia de 5.5 g/kg MS, para el Tx3: TR+CB se obtuvo un resultado menor (693.6 g/kg MS) teniendo así resultado semejante a García-Martínez, *et al.*, (2020) (710.1 g/kg MS).

Teniendo en cuenta a Oji *et al.*, (2007) en donde se evaluaron residuos de maíz (tallos, cascara y mazorcas) tratados con urea se tuvieron resultados similares (698.4 g/kg MS) al Tx3: TR+CB. Señalando lo anterior no se observan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados ($P>0.05$) pero si detectadas entre periodos ($P<0.05$).

10.1.4 Fibra detergente acida (FDA)

Los resultados para FDA para Tx1: TR+CN y Tx2: CN+CB tienen una diferencia mínima de 3.8 g/kg MS, siendo estos similares al resultado de García-Martínez, *et al.*, (2020) (523.3 g/kg MS), para Tx3: TR+CB se obtuvo un resultado menor (447.6 g/kg MS) siendo este similar al resultado de Oji *et al.*, (2007) (447.2 g/kg MS) evaluando cascara de maíz tratadas con urea.

Teniendo en cuenta los datos resultantes, se observa que no existen diferencias estadísticas significativas entre los periodos ($P>0.05$) pero si detectadas entre

tratamientos ($P < 0.05$).

10.1.5 Digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO)

De acuerdo con Marín y Torres, (2017) la DIVMO define su disponibilidad como fuente de nutrientes para el animal y se encuentra entre los 550-850 g/kg MO, según Gómez, (2016) varía según la especie, variedad y estado fenológico de la pradera.

Los resultados obtenidos tienen un rango de 518 a 595.7 g/kg MO, datos parecidos con García-Martínez, *et al.*, (2020) (571.5 g/kg MO) pero distintos a los de Oji *et al.*, (2007) (687.2 g/kg MS) con una diferencia de hasta 169 g/kg MO.

10.1.6 Energía metabolizable (EM)

Los resultados para EM son similares entre tratamientos, datos relacionados con García Martínez, *et al.*, (2020) (9.2 MJ/kg MS) y Dawit Abate & Solomon Melaku (2009) (8.1 MJ/kg MS).

10.2 Composición química de los complementos alimenticios de la dieta (pradera, pastura y concentrado)

Cuadro 4. Resultados de composición química de los complementos alimenticios de la dieta (pradera, pastura y concentrado)

Variable	Periodo	Variable			Media	EEM	P
		KY	PS	CC			
MS (g/kg MS)	I	352.4	796.1	910.0	686.1	150.0	0.915 ^{NS}
	II	377.1	562.5	931.3	623.6		
	III	375.1	604.3	957.5	645.6		
	Media	368.2	654.3	932.9			
MO (g/kg MS)	I	888.2	891.8	948.5	909.5	17.3	0.836 ^{NS}
	II	893.3	888.9	951.6	911.2		
	III	882.8	884.2	937.6	901.5		
	Media	888.1	888.3	945.9			
PC (g/kg MS)	I	187.3	77.1	185.4	149.9	32.5	0.988 ^{NS}
	II	194.3	73.5	167.9	145.2		
	III	187.4	84.0	176.6	149.3		
	Media	189.6	78.2	176.6			
FDN (g/kg MS)	I	577.9	664.8	267.4	503.3	96.5	0.994 ^{NS}
	II	533.7	665.1	318.9	505.9		
	III	551.1	634.5	300.4	495.3		
	Media	554.2	654.8	295.6			
FDA (g/kg MS)	I	247.7	312.6	80.4	213.6	62.1	0.989 ^{NS}
	II	235.1	327.8	79.1	214.0		
	III	245.2	322.9	97.0	221.7		
	Media	242.7	321.1	85.5			
DIVMS (g/kg MS)	I	746.4	621.2	927.0	764.8	67.0	0.886 ^{NS}
	II	790.0	675.9	907.7	791.2		
	III	791.5	683.1	911.4	795.3		
	Media	775.9	660.0	915.4			
EM (MJ/kg MS)	I	11.1	9.0	14.3	11.5	1.2	0.889 ^{NS}
	II	11.9	9.9	13.9	11.9		
	III	11.9	10.1	14.0	12.0		
	Media	11.6	9.6	14.1			

KY= Pradera de Kikuyo; PS= Pastura; CC= Concentrado comercial; MS=Materia seca; MO=Materia orgánica; PC= Proteína cruda; FDN= Fibra Detergente Neutra; FDA= Fibra Detergente Acida; DIVMS=

Digestibilidad *in vitro* de Materia Seca; **EM**= Energía metabolizable; **MJ**= Mega Joules; **EEM**= Error Estándar de la Media; **P**= Valor de P; **NS**= P>0.05, No Significativo.

10.2.2 Pradera (KY)

Los datos resultantes del análisis químico de la pradera (cuadro 4) donde pastoreaban las vacas y que estaba constituida de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) obtuvo resultados que se encuentran entre los valores reportados por Zamora-Juárez (2018) para MO (889 g/kg MS) y Valdez-Ruíz (2018) MO (889 g/kg MS); pero un valor mínimo diferente a lo que menciona Marín-Santana et.al (2020) (910 g/kg MS). Para EM de acuerdo con Valdez-Ruíz, (2018) EM (10.1 MJ/kg MS) dicta datos semejantes a los reportados.

Para MS se obtuvieron datos mayores comparando con Marín Santana *et al.*, (2020) (199.2 g/kg MS) y menores relacionando con Zamora-Juárez (2018) (201 g/kg MS); para PC de acuerdo con Marín-Santana *et al.*, (2020) se obtuvo producción diferente (209 g/kg MS) siendo mayor a lo reportado. De acuerdo a García-Matinez *et al.*, (2020) para FDN se obtiene información mayor (580.9 g/kg MS) y menor con Marín Santana *et al.*, (2020) (421 g/kg MS).

10.2.3 Pastura (PS)

La pastura por ser cortada antes de ser administrada a las vacas demostro tener mayor contenido de MS en comparación con; Gómez-Miranda *et al.*, (2020) MS (217 g/kg MS); para MO se obtuvieron valores menores (865 g/kg MS), y para PC con una diferencia mínima (178 g/kg MS).

10.2.4 Concentrado (CC)

Los resultados del concentrado comercial para el análisis químico demostraron mínima variación a consideración de la etiqueta (cuadro 4), y en comparación con Marín Santana *et al.*, (2020) donde se evaluaron pastizales de kikuyo asociados con festuca

alta pastoreada, se obtuvieron datos semejantes EM (14.8 14 MJ/kg MS); con Valdez-Ruíz (2018) EM (14.0 14 MJ/kg MS); de igual manera reportado con Gómez-Miranda *et al.*, (2020) MS (930 g/kg MS) y Valdez-Ruíz, (2018) FDA (85.4 g/kg).

10.3 Producción animal

En el Cuadro 5 se muestran los resultados de producción animal; rendimiento de leche, peso vivo y condición corporal, en los que no se detectaron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$).

Cuadro 5. Resultados de producción animal bajo el consumo de tres diferentes mezclas de CGP tratados con urea por tratamiento y periodo

Variable	Tratamiento			Medi a	Periodo			Medi a	EE M	P TX	P PE
	TR+C	CN+C	TR+C		I	II	III				
	N	B	B								
RLC 3.5%											
(kg/vaca/día)	16.1	14.7	14.4	15.0	15.8	14.3	15.0	15.0	0.44 7	0.182 Ns	0.293 Ns
PV (kg)	472.2	476.4	466.0	469. 1	465. 0	467. 9	481. 7	471. 5	9.05 1	0.538 Ns	0.207 Ns
R (kg/día)	2.0	2.1	1.9	2.0	2.7	2.3	1.1	2.0	0.57 8	0.966 Ns	0.064 Ns
CC (1-5)	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.24	0.10 0	0.297 Ns	0.818 Ns

RLC= Rendimiento de Leche Corregido en grasa al 3.5%; **PV**= Peso Vivo; **CC**= Condición corporal; **R**= Rechazo; **TR**= Triticale; **CB**= Cebada; **CN**= Centeno; **EEM**= Error Estándar de la Media; **P TX**= valor de P por Tratamientos; **P EP**= valor de P por Periodo Experimental; **Ns**= No significativo ($P > 0.05$)

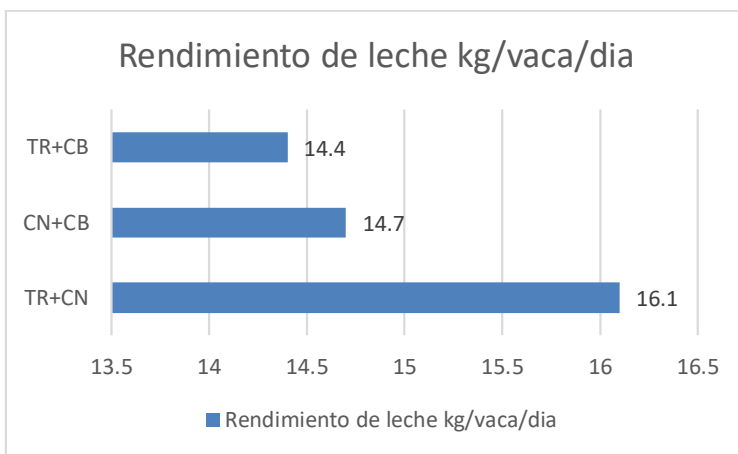
10.3.1 Rendimiento de leche

En el cuadro 5 se observa que no existen diferencias estadísticas significativas en los tratamientos evaluados ($P > 0.05$), ya que se reportaron promedios de 15 kg/vaca/día de acuerdo con el rendimiento de leche corregida al 3.5 %.

En un estudio realizado por García-Martínez *et al.*, (2020) en el cual se evaluó rastrojo de maíz tratado con urea como una alternativa en la suplementación a vacas en sistemas de producción de leche a pequeña escala, obtuvieron resultados de rendimiento de leche con promedio de 15.35 kg de leche/vaca/día, resultados similares a los obtenidos en este experimento.

En la Gráfica 1 se muestra el rendimiento de leche de acuerdo con cada tratamiento, donde se observa que el Tx1: de TR+CN fue mayor respecto al Tx2: CN+CB y al Tx3: TR+CB, estos últimos con una diferencia mínima. No obstante, las diferencias numéricas no fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$).

Gráfica 1. Efecto del periodo experimental sobre el rendimiento de leche por tratamiento.

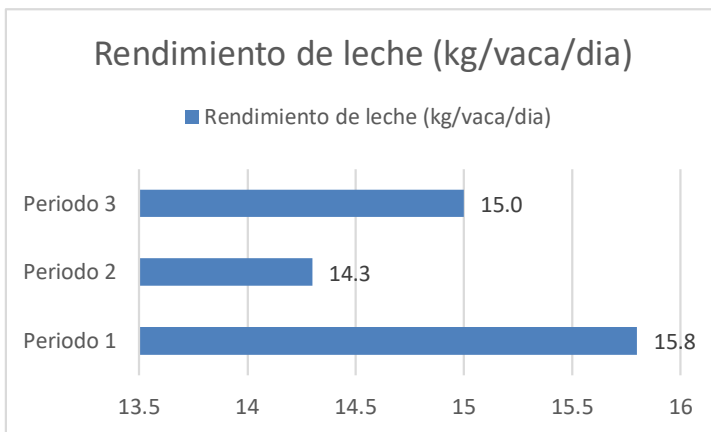


Los resultados obtenidos para periodos indican que tampoco existen diferencias

estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre periodos (Cuadro 3).

En la Gráfica 2 se muestra el rendimiento de leche durante el experimento por cada periodo, se puede observar que el rendimiento de leche fue más o menos variable, al inicio se registró un mayor rendimiento, después disminuyó en el periodo próximo, pero al final del experimento se registró mejor rendimiento aumentando de acuerdo con el periodo anterior.

Gráfica 2. Efecto del periodo experimental sobre el rendimiento de leche por periodo



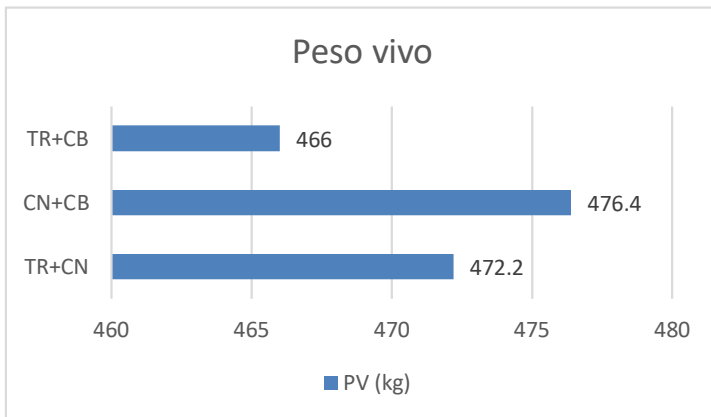
10.3.2 Condición corporal y peso vivo

En cuanto al peso vivo y la condición corporal en el Cuadro 3 se observa que fue similar en los tratamientos evaluados ($P > 0.05$), ya que se reportaron promedios de 469.1 kg de peso vivo y una condición corporal promedio de 2.2 en escala de 1 a 5 (Elanco, 2009).

De acuerdo con la BCS (Body Condition Scoring, por sus siglas en inglés), con 17 subdivisiones de 0.25; siendo la calificación baja de 1 como un animal emaciado (muy delgado de estructuras óseas prominentes y palpables); alta con escala de 5, un animal gordo (estructuras óseas no palpables recubiertas por grandes masas de tejido

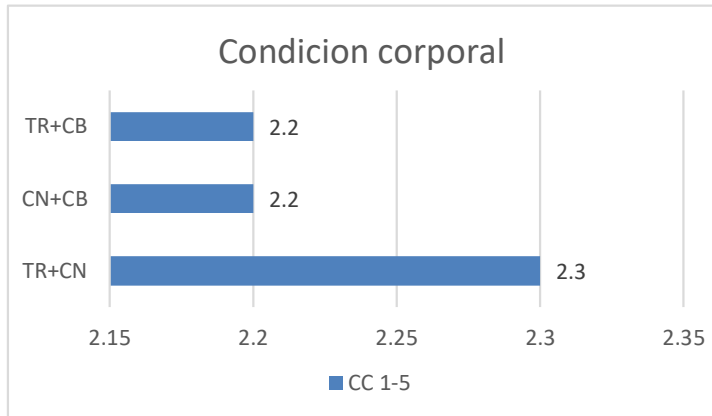
graso) y entre 2.5 y 4 como calificación estándar (Frasinelli *et al.*, 004; Elanco, 2009). De acuerdo con Frasinelli *et al.*, (2004) La condición corporal es una evaluación subjetiva de la cantidad de energía almacenada en forma de grasa y musculo que una vaca posee en un momento dado. García-Martínez *et al.*, (2020) trabajando en SPLPE evaluando rastros de maíz tratados con urea en SPLPE, reportaron un peso vivo promedio de 511.23 kg, y una condición corporal de 1.84; siendo el peso vivo registrado mayor al de este experimento, y la condición corporal menor de acuerdo con el mismo. En la Gráfica 3 se observa un aumento del peso vivo a la mitad del experimento, aunque al final disminuyó; aunque estos cambios numéricos no fueron estadísticamente significativos ($P>0.05$).

Gráfica 3. Efecto del tratamiento de forraje de CGP con urea sobre el peso vivo de vacas lecheras



La Gráfica 4 muestra los valores numéricos medios de condición corporal para cada tratamiento, disminuyendo de acuerdo con cada tratamiento.

Gráfica 4. Efecto del tratamiento de forraje de CGP con urea sobre la condición corporal de vacas lecheras



10.3.3 Composición química de la leche

En el cuadro 4 se muestran los resultados de composición química de la leche en vacas bajo el consumo de tres diferentes mezclas de cereales de grano pequeño tratados con urea, en los que, a excepción de la proteína de la leche, no se detectaron diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$), tanto como para tratamientos y periodos.

Si se detectaron diferencias estadísticas significativas para el contenido de proteína en leche entre periodos ($P<0.05$) aunque no entre tratamientos ($P>0.05$).

Cuadro 6. Resultados de composición química de la leche en vacas bajo el consumo de tres diferentes mezclas de CGP tratados con urea por tratamiento y periodo

Variable	Tratamiento			Medi a	Periodo			Medi a	EEM	P TX	P PE
	TR+C N	CN+C B	TR+C B		I	II	III				
Grasa (g/kg)	48.9	42.2	39.4	43.5	45.7	37.4	47.4	43.5	3.91 5	0.102 ^N s	0.076 ^N s
Proteína (g/kg)	26.7	26.8	28.5	27.4	28.1 b	30.9 5 ^a	22.2 8 ^c	27.3	1.22 6	0.311 ^N s	0.000 [*]
NUL (mg/dL)	17.8	15.6	17.6	17.0	18.6	17.5	15.0	17.0	1.93 2	0.496 ^N s	0.236 ^N s

TR= Triticale; CB= Cebada; CN= Centeno; NUL= Nitrógeno Ureico en Leche; EEM= Error Estándar de la Media; P TX= valor de P por Tratamientos; P EP= valor de P por Periodo Experimental; Ns= No significativo (P>0.05); *= Significativo (P≤0.05); abc= literales diferentes en la misma línea indican diferencias significativas entre periodos o tratamientos.

10.3.4 Grasa

El contenido de grasa en leche fue similar entre tratamientos, sin alguna diferencia estadística significativa (P>0.05), como se muestra en el cuadro 6 fue en promedio de 43.5 g/kg, con un EEM de 3.915 (P>0.05).

De acuerdo con la NMX-F-700-COFOCALEC-2004, que menciona las especificaciones para leche cruda de vaca, dice que el contenido de grasa debe ser >30 g/kg. Por otro lado, el Pliego de Condiciones para el Uso de la Marca Oficial México Calidad Suprema en Leche (2005) menciona que el contenido de grasa debe ser >32 g/kg para esta categoría de leche.

En este experimento el contenido de grasa en leche fue muy superior a lo establecido en estos dos documentos, esto se puede asociar a que la dieta contenía un alto porcentaje de fibra y la cual permite una mayor producción de ácido acético en el rumen y este es precursor de la grasa en la leche (Phillips C. 2018).

10.3.5 Proteína

El contenido de proteína en leche en promedio por tratamientos fue de 27.4 g/kg, sin diferencias estadísticas entre tratamientos ($P>0.05$) pero si con diferencias estadísticas detectadas entre periodos ($P<0.05$) con una media de 27.3 g/kg.

Respecto a la NMX-700-COFOCALEC-2004, que menciona las especificaciones para leche cruda de vaca, menciona que el contenido de proteína debe ser ≥ 28 g/kg, por lo que el contenido de proteína en los tratamientos; 1:TR+CN y 2:CN+CB se encontraron ligeramente debajo de este valor.

De acuerdo con los resultados del contenido de proteína por periodo, se observaron diferencias estadísticamente altamente significativas entre periodos ($P<0.001$); con valores dentro del rango aceptable en el primer periodo, para aumentar de manera significativa ($P<0.05$) en el Periodo 2 en comparación con la caída significativa ($P<0.05$) para el tercer periodo experimental.

La baja en el contenido de proteína en leche para el Periodo 3 puede haber sido debido a que durante ese periodo se haya presentado una baja en el consumo de energía Jenkins y McGuire (2006), ya que el contenido de EM de los forrajes tratados con urea en el Periodo 3 fue menor que en los otros dos periodos.

10.3.6 Nitrógeno ureico en leche (NUL)

El contenido promedio de nitrógeno ureico en leche fue de 17.6 mg/dL. Con un EEM de 1.932, ($P>0.05$) como se muestra en el cuadro 6.

De acuerdo con Gámez y Fernández (2018), la concentración de nitrógeno ureico en leche permite la detección indirecta de los niveles de proteína en la alimentación. La urea se produce a partir del amoníaco derivado principalmente de la descomposición de las proteínas en el rumen, si los microorganismos ruminales no pueden capturar todo el amoníaco y convertirlo en proteína microbiana, el exceso de amoníaco es absorbido a través de la pared ruminal, pasando al hígado donde es convertido en urea que se vierte al torrente sanguíneo para ser excretado en orina o en leche.

11. CONCLUSIONES

El tratar a los forrajes de mezclas de cereales de grano pequeño utilizando la planta entera con urea, mejoró algunos aspectos de la calidad nutritiva, sobre todo en proteína cruda, asociado a esto los tratamientos con mayor contenido de proteína contenían cebada, lo cual la adición de este cereal beneficia el contenido de proteína a las mezclas de cereales de grano pequeño, sin embargo, este incremento en el contenido de proteína cruda no se vio reflejado en una mayor respuesta productiva por parte de las vacas, es decir los tratamientos resultaron similares en cuanto a la producción de leche.

Por otro lado, a pesar de lo anterior el contenido de grasa de la leche supera lo estipulado a la NMX-F-700-COFOCALEC-2004, la implementación de mezclas de CGP tratados con urea podrían mejorar la calidad fisicoquímica de la leche, esto se ve reflejado en mayor contenido de grasa beneficiando a los productores en la calidad de la leche y mejorando el rendimiento en producción de quesos y subproductos.

12. LITERATURA CITADA

- AFRC (Agriculture and Food Research Council). (1993). Animal and food research council. Energy and protein requirements of ruminants, (CAB International, Wallingford).
- Albarrán B, García A, Espinoza E y Arriaga CM. (2012). Maize silage in the dry season for grazing dairy cows in small-scale production systems in Mexico's Highlands. *Indian Journal of Animal Research* 16: 317-324.
- Alfonso-Ávila, Á. R., Wattiaux, M. A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E. and Arriaga-Jordán, C. M. (2012). Local feeding strategies and milk composition in small-scale dairy production systems during the rainy season in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 44(3): 637–644. doi:10.1007/s11250-011-9947-5
- Anaya-Ortega, J.P., Garduño-Castro, G., Espinoza-Ortega, A., Rojo-Rubio, R., and Arriaga-Jordán, C.M. (2009). Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale campesino dairy production systems in the Highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 41, 607 – 616. DOI 10.1007/s11250-008-9231-5
- Ankom Technology. (2005): Procedures (for NDF and ADF) in vitro true digestibility using the DAISY II incubator. <http://www.ankom.com> (20 de septiembre de 2022)
- AOAC. (1990): Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th Ed. Asso. Offic. Anal. Chem. United States of America.
- AOAC. (2007): Official Methods of analysis, Gaithersburg, MD.
- Arriaga-Jordán, C.M., Espinoza-Ortega, A., Albarrán Portillo, B. y Castelán Ortega, O. (1999). Producción de Leche en Pastoreo de Praderas Cultivadas: Una Alternativa para el Altiplano Central. *Ciencia Ergo Sum*, 6, (3): 290 - 300.
- Arriaga-Jordán, C.M., Albarrán-Portillo B, Espinoza-Ortega A, García-Martínez A, Castelán-Ortega OA. (2002). On-farm comparison of feeding strategies based on forages for small-scale dairy production systems in the highlands of

- Central Mexico. *Exp Agric.* 38:375–388.
- Baron, V. S., Juskiw, P. E., & Aljarrah, M. (2015). Triticale as a Forage. En F. Eudes (Ed.), *Triticale* (pp. 189-212). Springer International Publishing.
- Bennett A, Lhoste F, Crook J, Phelan J. (2006): Futuro de la producción lechera en pequeña escala. En: Informe pecuario 2006. Editado por McLeod A, Crook J, Forlano N, Ciarlantini C., 51-81. FAO, Roma, Italia. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0255s/a0255s05.pdf>
- Bermúdez, E. J. (1986). Uso de Nitrógeno no Proteico en la Alimentación de los Caprinos. En: Producción de Caprinos (Arbiza, A.S.I. 1986, compilador). A.G.T. México, D.F. 409-419.
- Bernal-Martínez L.R, Rojas- Garduño M.A, Vázquez-Fontes C, Espinoza-Ortega A, Estrada-Flores J, Castelán-Ortega O.A. (2007): Determinación de la calidad fisicoquímica de la leche cruda producida en sistemas campesinos en dos regiones del Estado de México, *Veterinaria México*, 38 (4):395-407.
- Bilgili, U., Aydogan Cifci, E., Hanoglu, H., Yagdi, K. and Acikgoz, E. (2009). Yield and quality of triticale forage. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. Vol.8 (2): 618-621. 2010
- Butterworths, London.
- Camacho-Veraa, J., Cervantes-Escoto, F., Palacios-Rangela, M., Rosales-Noriegab, F., & Vargas-Canales, J. (2017). Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8, 23-29. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4313>
- Cañeque, V., Velasco, S., Sancha, J. L., Manzanares, C. y Souza. O. (1998). Effect of fiber moisture and temperature on the degradability of fiber and on nitrogen fractions in barley straw treated with urea. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 74: 241 - 258.
- Carrillo-Hernández, S., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., & Arriaga-Jordán, C. M. (2020). Milk production and estimated enteric methane emission from cows grazing ryegrass pastures in small-scale dairy systems in Mexico. *Tropical Animal Health and Production*.

Production, 52(6), 3609-3619. Scopus.

Castañeda Martínez, T. (1999). Tratamiento de Forrajes Lignocelulósicos con urea para Vacas Productoras de Leche en Sistemas de Producción en Pequeña Escala, en el Valle de Toluca, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Estado de México.

Castro, N., Rufach, H., Capellino, F., Domínguez, R., & Paccapelo, H. (2011). Evaluación del rendimiento de forraje y grano de triticales y tricepiros. *RIA: Revista Investigaciones Agropecuarias*, 37.

Celis-Álvarez, M. D., López González, F., Estrada-Flores, J., Vara, I. A., Heredia Nava, D., Munguía-Contreras, A., & Arriaga-Jordán, C. M. (2017). In vitro nutritional evaluation of small-grain cereal forage for small-scale dairy systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20, 439-446.

Chamberlain AT y Wilkinson JM. (2002). Alimentación de la vaca lechera. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Chaney AL, Marbach EP. (1962): Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*, 8: 130-132.

Cloete, S. W. P., Kritzing, N. M. (1984). A laboratory assessment of various treatment conditions affecting the ammoniation of wheat straw by urea. 1. The effect of temperature, moisture level and treatment period. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 14: 55 - 58.

Colín-Navarro, V., López González, F., Morales-Almaraz, E., González-Alcántara, F., Estrada-Flores, J., & Arriaga-Jordán, C. (2021). Fatty acid profile in milk of cows fed triticales silage in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Journal of Applied Animal Research*, 49, 75-82.

Conroy, C. (2005). Participatory livestock research. ITDG Publishing, Bourton-on-Dunsmore, Warwickshire, UK. 304 pp.

Covas, G. (1975). Triticales y trigopiros para la región semiárida pampeana. Informativo Técnico Agropecuario para la Región Semiárida Pampeana. 65:6-8.

Dawit Abate & Solomon Melaku. (2009). Effect of supplementing urea-treated barley straw with lucerne or vetch hays on feed intake, digestibility and growth of Arsi Bale Sheep. *Trop Anim Health Prod.* 41:579–586. DOI 10.1007/s11250-008-

9227-1.

- Espinoza A, Álvarez A, Del Valle A, Chauvete M. (2005): La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *TécPecuMéc*, 43 (1):39-56.
- Espinoza-Ortega A, Espinosa E, Bastida J, Castañeda T, Arriaga C. (2007): Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty, *Expl Agric*. 43:241-256.
- Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-López J, Castañeda-Martínez T, Arriaga Jordán CM. (2007): Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture*, 43:241-256.
- Fadul-Pacheco I, Wattiaux MA, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordan CM. (2013): Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37:882-901.
- FAO. (2016). *Producción y productos lácteos: Composición de la leche*. <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/>
- FAO. (2018): *Sistemas de producción*. <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/production-systems/es/> (17 de septiembre de 2021).
- Flores M.J. A. (1994). *Bromatología Animal*. 3ED. Limusa. México, D.F.
- Frasinelli CA, Casagrande HJ y Veneciano JH. (2004): La condición corporal como herramienta de manejo en rodeos de cría bovina. INTA - EEA San Luis, Argentina.
- Gámez CA y Fernández M. (2018): Nitrógeno ureico en leche y el balance proteico en raciones de vacas lecheras. Perú. <http://www.actualidadganadera.com/articulos/nitrogeno-ureico-en-leche-y-el-balanceproteico-en-rationes-de-vacas-lecheras.html> (29 de junio de 2022)
- García Martínez, A. (2009). Urea treated maize straw for small-scale dairy systems in the highlands of Central Mexico. *Trop Anim Health Prod* 41:1487–1494. DOI

10.1007/s11250-009-9337-4

- García-Martínez, A. (2001) "Tratamiento de rastrojo de maíz con urea para la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala" Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Autónoma del Estado de México.
- García-Martínez, A. (2020) "Tratamiento de rastrojo de maíz con urea para la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala" Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gómez-Miranda A., Estrada-Flores J.G., Morales-Almaraz E., López-González F., Flores-Calvete G., Arriaga-Jordán C.M. (2020). Barley or black oat silages in feeding strategies for small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Canadian Journal of Animal Science* 100, 221-227. <http://dx.doi.org/10.1139/cjas-2018-0237>
- Gómez-Miranda, A.; Estrada-Flores J.G, Morales-Almaraz E; Lopez-González F; Flores-Calvete G. y Arriaga-Jordán C.M. (2020). Barley or black oat silages in feeding strategies for small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *NRC Research Press. Can. J. Anim. Sci.* Vol. 100, 2020. dx.doi.org/10.1139/cjas-2018-023.
- González-Alcántara, F.J., Estrada-Flores, J.G., Morales-Almaraz, E., López-González, F., Gómez-Miranda, A., Vega-García, J.I. and Arriaga-Jordán,C.M. (2020). Whole-crop triticale silage for dairy cows grazing perennial ryegrass (*Lolium perenne*) or tall fescue (*Lolium arundinaceum*) pastures in small-scale dairy systems during the dry season in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 52 (4), 1903-1910. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02206-9>.
- Hadjipanayiotou M, Economides S, Kyprianou G, Antoniou I and Photiou A (1997): Feeding urea treated barley straw to growing Friesian heifers. *Livestock Research for Rural Development. Volume 9, Article #39*. Retrieved May 3, 2023, from <http://www.lrrd.org/lrrd9/4/miltos941.htm>
- Hemme T., y J. Otte. (2010). Status of and prospects for smallholder milk production—

- A global perspective. Rome: FAO.
- Hill, J. y Leaver, J. D. (1999). Energy and protein supplementation of lactating dairy cows offered urea treated whole crop wheat as the sole forage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 82: 177 – 193.
- Horn, F. N., Zorrilla, R. J. y Akin, D. E. (1989). Influence of stage of forage maturity and ammoniation of wheat straw on ruminal degradation of wheat forage tissues. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 24: 201 - 218.
- INAFED. (2017). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, México. <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM15mexico/index.html> (28 de junio de 2022).
- Jackson, M.G. (1977). Review Article: The Alkali Treatment of Straws. *Animal Feed Science and Technology*, 2: 105—130.
- Jenkins, T.C. and McGuire, M.A. (2006). Major Advances in Nutrition: Impact on Milk Composition. *Journal of Dairy Science*, 89: 1302–1310.
- Jung, H. G., Buxton, D. R., Hatfiel, R. D., Ralph, J. (1993). Forages cell wall structure and digestibility. *Am. Soc. Agron. Wisconsin. U.S.A.* 254 - 259.
- Jung, H. G., Buxton, D. R., Hatfiel, R. D., Ralph, J. 1993. Forages cell wall structure and digestibility. *Am. Soc. Agron. Wisconsin. U.S.A.* 254 - 259.
- Kacper Libera, Malgorzata Szumacher-Strabel, Mina Vazirigohar ,Wiktor Zieliński, Rafal Lukow, Klaudia Wysocka, Pawel Kołodziejwski, Dorota Lechniak , Zora Varadyova , Amlan Kumar Patra , Adam Cieslak. (2021). Effects of feeding urea-treated triticale and oat grain mixtures on ruminal fermentation, microbial population, and milk production performance of midlactation dairy cows. Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Poznań University of Life Science, Poland, from the Department of Animal Nutrition. *Ann. Anim. Sci.*, Vol. 21, No. 3. DOI: 10.2478/aoas-2020-0108
- Kernan, J. A., Coxworth, E. C., Spurr, D. T. (1981). New crops residues and forages for western Canada: assessment of feeding value in vitro response to ammonia treatment. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 6: 257 - 271.
- Krieg, J., Titze, N., Steingass, H., & Rodehutschord, M. (2017). In situ and in vitro ruminal

- starch degradation of grains from different rye, triticale and barley genotypes. *Animal: an international journal of animal bioscience*, 11, 1745-1753.
- Leaver, J. D. y Hill, J. (1995). The performance of dairy cows offered ensiled whole crop wheat, urea treated or sodium hydroxide treated whole crop wheat or sodium hydroxide treated wheat grain and wheat straw in a mixture with grass silage. *Anim. Sci.* 61: 481 – 491.
- Llamas, L.G. Ávila, G.E., Shimada, A.S. (1990). Mejoradores de Forrajes. En: *Anabólicos y Aditivos en la Producción Pecuaria. Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México*, A.C. México D.F. 49- 72.
- Madrid, J., Hernández, F., Pulgar, M. A., Cid, J. M. (1997). In Vivo digestibility of treated and untreated barley straw: results of direct and by - difference digestibility trials. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 65: 129 - 138.
- Makkar, H.P.S., (2016). Smart livestock feeding strategies for harvesting triple gain – the desired outcomes in planet, people and profit dimensions: a developing country perspective. *Animal Production Science*, 56, 519-534. <https://doi.org/10.1071/AN15557>.
- Marín-Santana M.N y Torres E. (2017): Evaluación de tres variedades de gramíneas de clima templado (Ballico perenne cv. Payday y cv. Bargala vs Festulolium cv. Spring Green) para el pastoreo de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el Noroeste del Estado de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Marín-Santana M.N; López-González F.; Hernández-Mendoza O. y Arriaga-Jordán C.M. (2020). Kikuyu pastures associated with tall fescue grazed in autumn in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production* (2020) 52:1919–1926. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02216-7>
- Mc Dermott *et al.*, (2010). Sustaining intensification of smallholder livestock systems in the tropics. *Livestock Science*, 130, 95-109. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.014>.
- Mellado Z, M., Matus T, I., & Madariaga B, R. (2008). *Antecedentes sobre el triticale en*

Chile y otros países. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7244>

- Muciño-Álvarez, M., Albarrán-Portillo, B., López-González, F. and Arriaga-Jordán, C.M., (2021). Multi-species pastures for grazing dairy cows in small-scale Dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 113. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02564-y>.
- N'Gambi, J. W. W. y Campling, R. C. (1991). Effects of sodium hydroxide and of energy and protein supplements on the voluntary intake and digestibility of barley, oat and wheat straw by cattle. In: Whittington, W. J., y Boston, N. J. *Agric. Sci. Camb.* 117: 251 - 256.
- Nikkhah, A. (2012). Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 3 (1), 22.
- Nikkhah, A. (2013). Barley forages for modern global ruminant agriculture: A review. *Russian Agricultural Sciences*, 39 (3), 206-213.
- Norma Mexicana NMX-F-700-COFOCALEC-2004. (Noviembre 15, 2022)
- Orskov E.R., G.W. Reid, S.M. Holland, C.A.G. Tait and N.H. Lee. (1983) The feeding value for ruminants of straw and whole- crop barley and oats treated with anhydrous or aqueous ammonia or urea. *Animal Feed Science and Technology*, 8 (1983) 247-257 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Orskov, E. R. (1999). Supplement strategies for ruminants and management of feeding to maximize utilization of roughages. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 38: 179 - 185.
- Owen, E. (1978) Processing of roughages. *Recent Advances in Animal Nutrition*.
- Payne, T. S., Amri, A., Humeid, B., & Rukhkyan, N. (2008). *Regeneration Guidelines Small-grained cereals*. Global Crop Diversity Trust.
- Payne, T. S., Amri, A., Humeid, B., & Rukhkyan, N. (2008). *Regeneration Guidelines Small-grained cereals*. Global Crop Diversity Trust.
- Pérez E, Peyraud JL, Delagarde R. (2012): N-alkanes v. Ytterbium/faecal index as two methods for estimating herbage intake of dairy cows fed on diets differing in

- the herbage: maize silage ratio and feeding level. *Animal*, 6 (2): 232–244.
- Phillips C. (2018): Principles of Cattle Production. 3^a ed., CABI, UK.
- Plata-Reyes, D., Morales-Almaraz, E., Martínez-García, C. G., Calvete, G., López González, F., Prospero Bernal, F., Valdez-Ruiz, C., Zamora, Y., & Arriaga-Jordán, C. (2018). Milk production and fatty acid profile of dairy cows grazing four grass species pastures during the rainy season in small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 50(8):1797-1805
- Posadas RR, Arriaga-Jordan C.M, Martínez F.E. (2014): Contribution of family labor to the profitability and competitiveness of small-scale dairy production systems in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 46: 235– 240.
- Prospero-Bernal Fernando, Carlos Galdino Martínez-García, Rafael Olea-Pérez, Felipe López-González y Carlos Manuel Arriaga-Jordán (2017). Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 49, (7), 1537-1544. DOI: 10.1007/s11250-017-1360-2
- Ríos K. D., Britto R., Delgado H. (2011) Evaluation Of Yield And Its Components In Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes Differentiated For Spike And Kernel Types. 14(2) 55–63.
- Riveros E, Argamentarías A. (1987). Métodos enzimáticos de predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de forrajes. *Avances en Producción Animal*, 12: 59- 75.
- Ruiter, J., Hanson, R., Hay, A. S., Armstrong, K., & Harrison-Kirk, R. D. (2002). Whole crop cereals for grazing and silage: Balancing quality and quantity. *Proceedings of the New Zealand Grassland Conference*, 64, 181-189. <https://doi.org/10.33584/jnzg.2002.64.2456>
- Schiere, J. B., y Nell, A. J. (1993). Feeding of urea treated straw in tropics. 1 A review of its technical principles and economics. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 43: 135 - 147.
- Schiere, J. B., Ibrahim, M. N., Deworl, U. J. H. y Zemmeling, G. (1989). Response of growing cattle given rice straw to lick blocks containing urea molasses. *Anim. Feed.Sci.*

- Technol. 26: 179 - 189.
- Schiere, J.B. e Ibrahim, M. N. M. (1989). Feeding of urea-ammonia treated Rice Straw. Anim. Feed. Sci. Technol. 25: 100 - 123.
- Secretaría de Economía. (2012). Análisis del Sector Lácteo en México, Dirección General de Industrias Básicas. (17 de septiembre de 2021).
- Shen, H. SH., Ni, D. B y Sundstol, F. (1998). Studies on untreated and urea treated rice strow from three cultivations seasons: 1. Physical and chemical measurements is straw and straw fractions. Agrycultural University of Norway. Anim. Feed. Sci. Technol. 73: 243 - 261.
- Shen, S. H., Sundstol. F., Eng, E. R. y Olava, E. L. (1999). Studies on untreated and ureatreated rice straw from three cultivation seasons: 3. Histological investigationsby light and scanning electron microscopy. Agricultural University of Norway. Anim.Feed. Sci. Technol. 80: 151 - 159.
- SIAP - SAGARPA. (2017): Panorama de la Leche en México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-de-la-lecheria-en-mexico> (17 de septiembre de 2021).
- SIAP-SADER, (2021). Cierre pecuario. https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/ (4de noviembre de 2021).
- Silva, A. T. y Orskov, E. R. (1988). Fiber degradation in the rumens of animals receiving hay untreated or ammonia treated straw. Anim. Feed. Sci. Technol. 19: 277 - 287.
- Silva, A. T., Greenhalgh, J. F. D. y Orskov, E. R. (1989). Influence of ammonia treatmentand supplementation on the intake, digestibility and weight gain of sheep and cattleon barley straw diets. Anim. Prod. 48: 99 - 108.
- Sundstol, F. y Coxworth, E. M. (1984) Anatomical and chemical characteristics. In: Sundstol,F., Owen, E.: Straw and other fibrous by-products as feed. Anim. Feed. Sci. Technol .5: 45 - 78.
- Taher-Yalchi, Jamal Seif-Davati y Reza Seyed Sharifi. (2010). Chemical composition and digestibility of urea-treated triticale (x Triticosecale) Straw. Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.8 (2): 618-621

- Tetlow R.M. and Mason V.C. (1987) Treatment Of Whole-Crop Cereals With Alkali. 1. The Influence Of Sodium Hydroxide And Ensiling On The Chemical Composition And In Vitro Digestibility Of Rye, Barley And Wheat Crops Harvested At Increasing Maturity And Dry Matter Content. *Animal Feed Science And Technology*, 18: 257-269.
- Theander, O. y Amnan, P. (1984). Anatomical and chemical characteristics. In: Sundstol, F., Owen, E. Straw and other fibrous by - products as feed. Amsterdam. 45 - 78.
- Toppo, S., Verma, A. K., Dass, R. S. y Mehram, U. R. (1997). Nutrient utilization and rumen fermentation pattern in crossbred cattle fed different planes of nutrition supplemented with urea molasses mineral block. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 64: 101 - 112.
- Treacher, T. T., Goodchild, A. V., Rihawi, S. y Termanini, A. (1993) Feed systems for heard of small ruminants in the arid zones of Western Asia and North Africa. In: New sources of feedstuffs for animal production. University of Cordoba. 88 - 101.
- U.I. Oji, H.E. Etima, F.C. Okoye. (2007). Effects of urea and aqueous ammonia treatment on the composition and nutritive value of maize residues. *Small Ruminant Research* 69, 232–236.
- Valdez Ruiz C.L. (2018). Tesis: Evaluación de cuatro Gramíneas para el pastoreo de vacas lecheras en tercer tercio de lactación en sistemas de producción en pequeña escala del noroeste del Estado De México. Universidad Autónoma Del Estado De México. Facultad De Medicina Veterinaria y Zootecnia.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. (1991): Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides and relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583-3587.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutricional Ecology of the Ruminant*. 2ED. Cornell University. Ithaca, London. 476.
- Vega García, J.I., López González, F., Estrada Flores, J.G., Flores Calvete, G., Prospero-Bernal, F. y Arriaga Jordán, C.M. (2020). Black oat (*Avena strigose* Schreb.) grazing or silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. Part I. Crop and dairy cow performance. *Chilean Journal of*

Agricultural Research, 80 (4), 515 – 525. doi:10.4067/S0718-58392020000400515

Vega García, J.I., López González, F., Morales Almaraz, E. y Arriaga Jordán, C.M., (2021). Grazed rain-fed small-grain cereals as a forage option for small-scale dairy systems in central Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 53, 511. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02958-y>

Wattiaux MA, Nordheim EV y Crump P. (2005): Statistical Evaluation of Factors and Interactions Affecting Dairy Herd Improvement Milk Urea Nitrogen in Commercial Midwest Dairy Herd. *J. Dairy Sci.*, 88: 3020–3035.

Zamora-Juárez Y.G. (2018). Tesis: Evaluación de cuatro variedades de gramíneas bajo pastoreo de praderas por vacas lecheras en el primer tercio de lactación en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el noroeste del estado de México. Universidad Autónoma del Estado De México; Facultad De Medicina Veterinaria Y Zootecnia.

Zorrilla, R. J. M. 1990. Ionóforos y Manipulación de la Fermentación Ruminal. En: *Anabólicos y Aditivos en la Producción Pecuaria* (Ávila, G. E; Shimada, A. S y Llamas, L.G., (1990); compiladores). Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México, A. C. México, D. F.85-95.