



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MÉXICO**

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**“RESCATE DE FORRAJES TRATADOS CON UREA COMO
ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA EN ÉPOCA
SECA”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

MVZ YESSICA GUADALUPE ZAMORA JUÁREZ

El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, Estado de México.

Mayo 2023



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MÉXICO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RURALES**

**“Rescate de forrajes tratados con urea como
estrategia de alimentación en sistemas de
producción de leche en pequeña escala en
época seca”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES**

Presenta:

MVZ Yessica Guadalupe Zamora Juárez

Comité de Tutores:

Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán

Dr. Felipe López González

Dr. Carlos Galdino Martínez García



Abril de 2023

RESUMEN

Los forrajes de cereales de grano pequeño son una opción para diversificar las estrategias de alimentación en los sistemas de producción de leche a pequeña escala (SPLPE), debido a su ciclo corto y amplia adaptación. Las mezclas de especies de cereales pueden tener ventajas sinérgicas; sin embargo, el pastoreo o el ensilado no siempre es posible debido a factores climáticos, por lo que los cultivos forrajeros se dejan madurar y pierden calidad. El tratamiento con urea de las mezclas de planta entera de cereales maduros puede ser una opción para recuperar calidad en el forraje que no pudo ser pastoreado o ensilado. El objetivo fue evaluar el rendimiento de vacas lecheras alimentadas con mezclas de planta entera de cereales tratados con urea de triticale (TRT), centeno (RYE) y cebada (BLY), en la estación seca para SPLPE. Las mezclas de tratamiento fueron TRT+RYE, TRT-BLY y RYE+BLY. Los cultivos de mezclas de cereales totalmente maduros se trataron con 4 - 6% de urea granular (más agua) sobre una base fresca. Las variables forrajeras se analizaron con un diseño de parcelas divididas. Los rendimientos de forraje de cultivo completo fueron en promedio de 3.4 ton/ha, con rendimientos más altos para RYE-BLY. El contenido de proteína cruda se duplicó en los forrajes tratados y la digestibilidad de la materia seca fue moderada con un contenido medio estimado de energía metabolizable (EM) de 7.9 MJ EM/kg MS. El rendimiento se evaluó mediante un experimento en finca bajo un diseño experimental de cuadro latino 3x3 tres veces con nueve vacas Holstein. A las vacas se les ofrecieron diariamente 9.0 kg de materia seca (MS) de forraje tratado con urea; complementado con 4.4 kg de MS de concentrado comercial, pastoreo diurno y 1.5 kg de MS de pradera de corte. No hubo diferencias estadísticas ($P > 0,05$) para ninguna de las variables animales. El tratamiento con urea de mezclas de cereales maduros de cultivo completo dio como resultado un forraje de rescate complementario de calidad moderada para la estación seca.

Palabras clave: Sistemas de producción de leche a pequeña escala; mezclas de planta entera de cereales de grano pequeño; cebada; centeno; triticale; alternativas forrajeras; tierras altas; México

SUMMARY

Forage from small-grain cereals is an option to diversify feeding strategies in small-scale dairy systems (SSDS), due to their short cycle and ample adaptation. Mixtures of cereal species may have synergic advantages; however, grazing or ensiling are not always possible due to climatic factors, so that forage crops are left to mature and lose quality. Urea treatment of whole-crop mature cereal mixtures may be an option to salvage forage that could not be grazed or ensiled. The objective was to evaluate the performance of dairy cows fed urea-treated mature whole-crop forage mixtures of triticale (TRT), rye (RYE), and barley (BLY), in the dry season for SSDS. Treatment mixtures were TRT+RYE, TRT-BLY, and RYE+BLY. Fully mature cereal mixtures crops were treated with 4 - 6% granular urea (plus water) on a fresh basis. Forage variables were analysed with a split-plot design. Whole-crop forage yields were 3.4 ton/ha, with highest yields for RYE-BLY. Crude protein content increased two-fold in treated forages, and dry matter digestibility was moderate with a mean estimated ME content of 7.9 MJ ME/kg DM. Performance was evaluated by an on-farm 3x3 Latin square experimental design repeated 3 times with nine Holstein cows. Cows were offered daily 9.0 kg DM of urea treated forage; complemented with 4.4 kg DM of concentrate, day-grazing, and 1.5 kg of cut pasture. There were no statistical differences ($P>0.05$) for any of the animal variables. Urea treatment of whole-crop mature cereal mixtures resulted in a complementary moderate quality salvage forage for the dry season.

Keywords: Small-scale dairy systems; small-grain whole-crop cereal mixtures; barley; rye; triticale; forage alternatives; highlands; Mexico

ÍNDICE

ÍNDICE	6
I. INTRODUCCIÓN	10
II. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1. LA ADAPTACIÓN DE LA ALIMENTACIÓN EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA	13
2.1.1. Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) en México y el mundo	13
2.1.2. Estrategias de alimentación en los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE)	14
2.1.3. Implementación de estrategias de alimentación en los SPLPE ante el cambio climático	15
2.2. CEREALES DE GRANO PEQUEÑO (CGP)	17
2.2.1. Triticale (X. Triticosecale Wittmack)	17
2.2.2. Cebada (Hordeum vulgare)	17
2.2.3. Centeno (Secale cereale).....	18
2.2.4. Características del triticale, cebada y centeno	18
2.2.4.1. Rendimiento de MS.....	18
2.2.4.2. Energía metabolizable (EM) y digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS)	19
2.2.4.3. Proteína cruda (PC), materia orgánica (MO), fibra detergente neutro y ácido (FDN y FDA).....	20
2.3. RESCATE DE FORRAJES	21
2.3.1. Conservación de cultivos enteros de cereales de granos pequeños (CGP)	21
2.3.2. Tratamientos con urea de cultivos enteros de CGP	23
2.3.3. Alcalaje.....	25
2.4. CGP COMO ESTRATEGIA DE ALIMENTACIÓN EN SPLPE ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO	
26	
2.4.1. Cultivos multi-especie de CGP como estrategia de alimentación en SPLPE ante el cambio climático	27
2.4.2. Implementación de cultivos enteros multi-especie de CGP tratados con urea como estrategia de alimentación en SPLPE ante el cambio climático	28

III. JUSTIFICACIÓN	30
IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	31
V. HIPOTESIS	32
5.1. HIPÓTESIS DE PRODUCCIÓN ANIMAL	32
5.2. HIPÓTESIS DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE	32
VI. OBJETIVOS	33
6.2. OBJETIVO GENERAL	33
6.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
VII. MATERIALES Y METODOS	34
7.1. ÁREA DE ESTUDIO	34
7.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	34
7.2.1. Establecimiento y manejo de cultivos experimentales	34
7.2.2. Proceso de tratamiento de CGP con urea (Alcalaje).....	35
7.2.3. Muestreo de forraje	35
7.3. DISEÑO EXPERIMENTAL	36
7.4. EVALUACIÓN DE VARIABLES DE PRODUCCIÓN ANIMAL	36
7.4.1. Peso vivo (PV) y condición corporal (CC)	36
7.4.2. Rendimiento de leche (RL).....	37
7.4.3. Composición química de la leche	37
7.5. EVALUACIÓN DE PRODUCCIÓN DE FORRAJE.....	37
7.5.1. Acumulación neta de forraje (ANF)	37
7.5.2. Composición morfológica (CM)	38
7.5.3. Determinación de la composición química de los alimentos	38
7.6. TRATAMIENTOS.....	39
7.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	40
7.7.1. Producción animal.....	40
7.7.2. Producción de forraje	40
VIII. RESULTADOS.....	42
8.1. ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN.....	42
8.1.1. Carta de recepción	42
IX. CONCLUSIONES.....	53

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
XI. ANEXOS	67

ÍNDICE DE CUADROS, TABLAS Y FIGURA

CUADROS

Cuadro 1. Rendimiento de forraje de CGP en SPLPE.....	19
Cuadro 2 Contenido de energía metabolizable (EM) y digestibilidad in vitro de materia seca (DIVMS) de triticale y centeno en SPLPE	19
Cuadro 3. Composición química de CGP en SPLPE de diferentes trabajos.....	20
Cuadro 4. Distribución de tratamientos por cuadros latinos.....	39
Cuadro 5. Datos pre-experimentales de las vacas usadas en el experimento.....	67
Cuadro 6. Resultados pre-experimentales de producción animal.....	67
Cuadro 7. Resultados pre-experimentales de composición química de los cultivos (g/kg MS)	68
Cuadro 8. Rendimiento de forraje pre-cosecha y concentración de urea por tratamiento.....	68
Cuadro 9. Composición botánica (%) pre-cosecha de los tratamientos.....	69
Cuadro 10. Altura (cm) de cereales pre-cosecha por tratamientos	69
Cuadro 11. Acumulación neta de forraje (ANF) y alturas de las praderas	69
Cuadro 12. Pastoreo simulado de pradera de kikuyo y trébol blanco	70
Cuadro 13. Composición botánica (%) de la pradera de kikuyo y trébol blanco	70

TABLAS DEL ARTÍCULO

Table 1. Pre-treatment chemical composition of binary mixtures of small-grain whole-crop cereals (g/kg DM).....	45
Table 2 Chemical composition of binary small-grain cereal crops treated with urea (g/kg DM).	46
Table 3. Chemical composition of grazed and cut pastures.	49
Table 4 . Animal variables	51

FIGURAS

Figura 1. Modelo estadístico para evaluación de producción animal.	40
Figura 2. Modelo estadístico para evaluación de producción de forraje.	40

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de leche a pequeña escala (SPLPE) se caracterizan por pequeñas superficies y hatos de 3 a 35 vacas más sus reemplazos, cuya operación se basa en los miembros de la familia, y un potencial para avanzar a modelos más productivos (Fadul-Pacheco et al., 2013; Prospero-Bernal et al., 2017).

A pesar de su infraestructura básica estos sistemas aportaron en torno al 35% de 12 millones de toneladas de leche de vaca producidos en México en el 2019 (CANILEC, 2021; FAO y FEPALE, 2012), generando ingresos y empleo, disminuyendo su nivel de pobreza, usando los recursos forrajeros de la región (Camacho-Vera et al., 2017; Espinoza-Ortega et al., 2007).

Los costos por alimentación llegan a representar del 50 hasta el 70% de los gastos totales de producción (Bellingeri et al., 2019; Martínez-García et al., 2015); por lo que se hace necesaria la investigación y desarrollo de estrategias de alimentación de menores costos para la continuidad de los SPLPE. Estas estrategias deben considerar la inclusión de forrajes de calidad y que los productores cosechen sus propios forrajes, como elemento para aumentar su rentabilidad y sostenibilidad (Fadul-Pacheco et al., 2013; Prospero-Bernal et al., 2017).

Los cereales de grano pequeño (CGP) pueden ser una opción en las estrategias de alimentación para diversificar y flexibilizarlas en cuanto a los esquemas de producción de forrajes para sistemas de producción de leche. Una ventaja es su ciclo agronómico corto para enfrentar mejor la escasez de lluvias, tolerancia a heladas y su uso potencial evaluado en los últimos años tanto en pastoreo como en conservación de forrajes, que los hace ampliamente adaptables a diversos suelos y condiciones agroclimáticas (Celis-Álvarez et al., 2017; Gómez-Miranda et al., 2021; González-Alcántara et al., 2020; Salgado et al., 2013; Zamora Villa et al., 2016).

Así mismo, es importante estudiar todas las perspectivas de uso de los CGP en México, como, por ejemplo, su conservación por diferentes métodos para su utilización en época seca que permita un uso óptimo de recursos alimenticios tanto a nivel nutricional como económico (Chenost, 1996; Coblenz et al., 2018; Cox, 2011).

Una opción de conservación para forrajes maduros y pajas en las condiciones de los SPLPE es el tratamiento con urea, ya que además de mejorar su calidad, tiene el beneficio de que la duración de la ventana de cosecha se amplía (Chenost, 1996); en virtud de que posibles efectos del cambio climático no permita cosechar los forrajes en momentos óptimos para otras formas de conservación como ensilaje, por exceso o escasez de lluvias. El postergar la cosecha resulta un forraje demasiado maduro para el consumo de los animales en pastoreo o para ensilado.

La conservación de CGP muy maduros tratados con urea para mejorar su calidad nutricional, además de representar una opción para la alimentación del ganado permite su conservación, dando como resultado un forraje muy estable y menos susceptible al enmohecimiento (Cox, 2011).

Aunque en otros países existe evidencia evaluando el potencial productivo y el valor nutritivo del forraje de CGP tratados con urea (Coblentz et al., 2018), en México no existen reportes sobre el tratamiento con urea de forrajes de planta entera (wholecrop en inglés) de cereales de grano pequeño. Según Zamora Villa et al. (2016), aún son necesarios estudios sobre la composición química del forraje de CGP, ya que el valor energético para los bovinos productores de leche puede depender de la maduración del grano, sugiriendo una mejor calidad, con mayor aporte de MS y rendimiento de leche.

Por otro lado, Muciño-Álvarez et al. (2021) mencionaron que los cultivos forrajeros multi-especie (praderas) para la alimentación de vacas lecheras permiten optimizar la producción de forraje al lograr mayor plasticidad a través de las diferencias y complementariedades en el crecimiento de las diferentes especies utilizadas, lo que entre sus ventajas se encuentra una menor invasión por malezas; lo que podría también ser un factor en cultivos multiespecie de CGP.

Por lo tanto, la pregunta de investigación de este trabajo fue sobre la utilización de cultivos multi-especie de CGP tratados con urea para la alimentación de bovinos productores de leche, tomando en cuenta que no hay informes sobre su uso en SPLPE en México.

Los CGP que se utilizaron para esta estrategia de alimentación son: el triticale que presenta mayor tolerancia ambiental y menor pérdida de nutrientes a medida que

avanza su maduración (González-Alcántara et al., 2020; Haque et al., 2013; Harper et al., 2017; Mendoza-Elos et al., 2011; Robles-Jiménez et al., 2018; Sánchez-Gutiérrez et al., 2014); la cebada, con mayor digestibilidad y producción de proteína microbiana reduciendo la necesidad de fuentes proteicas, con mayor competitividad y dominancia sobre otras especies (Baron et al., 2015; Nikkhah, 2012); y el centeno, favorecido por su resistencia a la sequía, enfermedades y bajas temperaturas (Castro et al., 2011; Mellado et al., 2008).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar cultivos multi-especie de tres cereales de grano pequeño: triticale (*X. Triticosecale* Wittmack), centeno (*Secale cereale*) y cebada (*Hordeum vulgare*) tratados con urea ofrecidos en pesebre a vacas lecheras como una estrategia de alimentación alternativa en SPLPE en época seca.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La adaptación de la alimentación en los sistemas de producción de leche en pequeña escala

2.1.1. Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) en México y el mundo

Los principales países con mayor producción de leche de vaca en el mundo son Estados Unidos e India (con producciones de 102.5 y 98 millones de toneladas de leche respectivamente). Una característica de la producción de leche es que cerca del 90% de las unidades que aportan la producción global son sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) en zonas rurales con recursos limitados, basados en la mano de obra familiar (CANILEC, 2021; FAO, 2016; FAO y FEPALE, 2012). Según la actual Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de México (SAGARPA, 2014), la producción de leche como actividad agropecuaria proporciona ingresos a los pequeños productores con ganancias diarias y constantes; además de que en los SPLPE proveen un recurso alimenticio (leche y productos lácteos) para su autoconsumo, que mejora la nutrición familiar en escenarios poco favorables (FAO, 2016).

En México, con una producción de poco más de 12 millones de toneladas de leche de vaca (CANILEC, 2021), los SPLPE se definen como unidades de producción dependientes de la fuerza del trabajo familiar, con superficies limitadas de tierra, especializadas en la producción de leche de vaca con hatos de entre 3 y 35 vacas más sus reemplazos (Fadul-Pacheco et al., 2013). Estos sistemas comprenden más del 78% de todos los productores especializados del país y ocupan el 35% de la población nacional vacuna, mientras que, en el Estado de México, con un considerable número de productores de medianas y pequeñas unidades de producción de lechería familiar, aportan el 4% de producción nacional (Martínez-García et al., 2015; Plata-Reyes et al., 2018; Prospero-Bernal et al., 2017).

2.1.2. Estrategias de alimentación en los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE)

En los SPLPE se presentan múltiples factores que aumentan los costos de producción, como no implementar la mano de obra familiar y requerir personal externo, pero se requieren de mejores estrategias para su disminución, como el uso de asesoría técnica que ha reportado un impacto de aumento en el rendimiento de casi 2 kg/vaca/día (Camacho-Vera et al., 2017).

Las estrategias de alimentación de los bovinos productores de leche en los sistemas de pequeña escala evolucionaron a partir del uso tradicional, basado principalmente en rastrojo de maíz, que por su baja calidad nutricional requiere ser suplementado con grandes cantidades de concentrados para permitir rendimientos vendibles pero a muy altos costos de producción (Arriaga-Jordán et al., 2002), indicando la necesidad reconocida por los productores de estrategias de alimentación eficientes para mejorar el desempeño de sus unidades de producción y sus vacas (Martínez-García et al., 2015; Muciño-Álvarez et al., 2021; Prospero-Bernal et al., 2017).

Basar la alimentación de los bovinos productores de leche en cultivos forrajeros dentro de la misma unidad de producción para mejorar el rendimiento y la sostenibilidad, también permite producir leche a un menor costo, el objetivo principal de cualquier sistema de producción de leche. El desarrollo de estrategias de alimentación apropiadas permite optimizar los recursos propios de la unidad que satisfagan los requerimientos nutricionales de vacas en lactación logrando mantener una producción de leche eficiente (Gómez-Miranda et al., 2020; González-Alcántara et al., 2020; Plata-Reyes et al., 2018; Prospero-Bernal et al., 2017; Thornton et al., 2009)

El pastoreo es la mejor opción en época de lluvias, ya que ofrece una mejor oportunidad para producir leche de manera rentable, constituyendo una estrategia de alimentación a bajo costo con alto valor nutricional, con mayor rentabilidad y mejor rendimiento por unidad (Cortiana-Tambara et al., 2017; Prospero-Bernal et al., 2017; Timm et al., 2019). Sin embargo, en la época seca existe un déficit en el crecimiento del pasto que debe abordarse, ya que es particularmente significativo para la producción lechera, porque el bajo crecimiento de las praderas no es suficiente para alimentar a las vacas durante toda su lactancia (Cox, 2011). En los sistemas del

centro de México se debe a causa del riego limitado y la alta evapotranspiración (Plata-Reyes et al., 2021). Por lo tanto, se hace necesario conservar los forrajes como ensilado o realizar tratamientos con aditivos.

El ensilado (principalmente de maíz) es implementado como estrategia de alimentación para la época seca por más del 30% de los SPLPE, mejorando el desempeño en comparación con el uso de pajas y rastrojos con el uso de grandes cantidades de concentrados en la alimentación de las vacas lecheras en estos sistemas (Martínez-García et al., 2015; Prospero-Bernal et al., 2017). Sin embargo, no siempre existen las condiciones adecuadas para llevar a cabo el proceso de ensilaje, sobre todo de maíz que es un cultivo con un ciclo agronómico largo.

2.1.3. Implementación de estrategias de alimentación en los SPLPE ante el cambio climático

Ante la necesidad de mejorar la productividad, rentabilidad y sostenibilidad de los sistemas de producción de leche, se requiere que las evaluaciones científicas aborden los posibles efectos del cambio climático en los sistemas ganaderos. Gran parte de estos trabajos realizados hasta la fecha son de alcance continental o nacional, pero es necesario comprender las variaciones regionales y locales, para una evaluación de mayor resolución y focalización que debe satisfacer las necesidades de las personas más vulnerables de la región. Además, para evaluar cómo los ganaderos enfrentan la variabilidad climática, se necesita más información entre los diferentes SPLPE en diferentes situaciones (Thornton et al., 2009).

Para la mayoría de los SPLPE en desarrollo del mundo, se prevé que aumente la variabilidad de los patrones climáticos que puede tener efectos críticos en los cultivos y la alimentación del ganado. La clave será la evaluación de las estrategias de alimentación implementadas y potenciales a escalas regional y local adaptadas al cambio climático, que reduzcan costos, permitiendo optimizar los recursos propios de la unidad de producción y mejoren la alimentación de bovinos productores de leche satisfaciendo los requerimientos nutricionales, logrando mantener una producción de leche eficiente (Celis-Álvarez et al., 2017; Thornton et al., 2009), por ejemplo mejorar el déficit de forraje, con el uso de especies con adaptación agroecológica para obtener forraje a lo largo del año y un mayor número de cosechas durante el año (Gómez-Miranda et al., 2020; González-Alcántara et al., 2020).

Ante los retos en la alimentación del ganado que enfrentan los SPLPE, es necesario realizar estudios con especies forrajeras alternativas como los cereales de grano pequeño (CGP) en cultivos multi-especie, que permitan optimizar la producción de forraje al lograr mayor plasticidad a través de las diferencias y complementariedades en el crecimiento de las diferentes especies utilizadas, lo que entre sus ventajas se encuentra una menor invasión por malezas (Muciño-Álvarez et al., 2021).

Se deben evaluar esquemas de conservación de forrajes incluyendo el tratamiento con aditivos para la época de secas; evaluando el desempeño de cultivos y del ganado en las condiciones de SPLPE, ya que el manejo puede ser diferente al que se da a los cultivos de otras regiones (Burbano-Muñoz et al., 2018; Plata-Reyes et al., 2018).

2.2. Cereales de grano pequeño (CGP)

Los CGP como el triticale y la cebada son gramíneas autógamias, es decir, homogéneas o heterogéneas (combinación de una o más líneas puras) altamente auto fecundables (Vallejo y Estrada, 2016; Angulo y Ortiz, 2020; Pedro et al., 2021), a diferencia del centeno por su naturaleza reproductiva anemófila, que se reproduce por el intercambio del polen en el viento (RAE, 2022; Engormix, 2022). Este trio de CGP se cultivan tanto para alimentación humana como animal, ya sea en forraje o el grano en concentrados, por lo que se han desarrollado diferentes variedades de estos cereales adaptables a las diferentes épocas de siembra (Payne et al., 2008).

2.2.1. Triticale (X. Triticosecale Wittmack)

El triticale es un híbrido del trigo (*Triticum* spp.) y el centeno (*Secale cereale*) que combina el contenido proteico y de aminoácidos del trigo con las características del centeno, útil como forraje por su productividad ante la tolerancia ambiental (resistencia a la sequía, heladas y enfermedades fúngicas) (Payne et al., 2008; Robles-Jiménez et al., 2018; Sánchez-Gutiérrez et al., 2014). El triticale es una alternativa viable, según varios estudios (Celis-Álvarez et al., 2017; González-Alcántara et al., 2020), por su buena producción de materia seca (MS), su utilización multipropósito (pastoreo, heno y ensilado), y una lenta disminución del valor nutritivo a través de sus etapas de crecimiento (Harper et al., 2017; Mendoza-Elos et al., 2011; Salcedo Díaz et al., 2018).

2.2.2. Cebada (*Hordeum vulgare*)

La cebada es un CGP dominante, comúnmente usado en las dietas de bovinos productores de leche para producir grandes rendimientos microbianos en el rumen (Baron et al., 2015; Nikkhah, 2012), con gran capacidad de adaptación a distintas condiciones ambientales (Newton et al., 2011; Nikkhah, 2012), un ciclo de crecimiento corto (111 días entre siembra y cosecha del grano) eliminando la competencia contra malezas, utilizado como último cultivo antes del establecimiento de praderas permanentes (Gómez-Miranda et al., 2020; Sadeghpour et al., 2013) y también mejora la fertilidad del suelo (Teuber et al., 2002). Su buen contenido de proteína permite reducir la necesidad de alimentos proteicas (Baron et al., 2015; Nikkhah, 2012).

2.2.3. Centeno (Secale cereale)

El centeno tiene una estructura en su grano similar a los de cebada y triticale. Es un CGP que cuenta con un grano de alta digestibilidad para los bovinos productores de leche (Krieg, 2017). Este cereal se caracteriza por su resistencia a la sequía, bajas temperaturas y limitantes del suelo, teniendo alta rusticidad y resistencia a enfermedades (Castro et al., 2011; Mellado et al., 2008).

Su rendimiento como forraje es más alto en comparación al del trigo y triticale (Celis-Álvarez et al., 2017; Coblenz et al., 2018), capaz de hacer crecer sus macollos y hojas aún en las temperaturas frías de invierno (7 a 10 ° C), y continuar su desarrollo en la primavera (Baron et al., 2015). Ha presentado resultados positivos, en cuanto a rendimientos y calidad del forraje en SPLPE en México (Celis-Álvarez et al., 2017).

2.2.4. Características del triticale, cebada y centeno

2.2.4.1. Rendimiento de MS

El rendimiento de materia seca (MS) de los CGP los convierte en una alternativa forrajera atractiva para la alimentación de rumiantes, de preferencia cuando son cosechados en etapas más maduras cuando el rendimiento de MS se acerca al máximo, aunque también la formación de granos, almidón y lignina pueden afectar la digestibilidad (Hill and Leaver, 1999; Weinberg et al., 1991). El Cuadro 1 presenta resultados medios de rendimiento obtenidos en SPLPE en los valles altos de México.

Una ventaja de los CGP es que tienen un buen potencial de competencia contra las malezas (Sadeghpour et al., 2013).

2.2.4.2. Energía metabolizable (EM) y digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS)

La energía metabolizable (EM), según la ARC (1980), es la energía bruta (EB) del alimento, menos las de las heces, orina y gases combustibles como el metano, y se puede expresar en mega Joules por día (MJ/d) o bien, los MJ por kg de MS por cada ración de alimento (MJ/ kg MS). En pocas palabras es la energía obtenida de la ración de alimento que aprovecha el animal para sobrevivir (AFRC, 1993).

Mientras que la digestibilidad es la medida individual más importante del valor energético de un alimento, ya sea in vivo o in vitro por incubación con líquido ruminal

(CSIRO, 2007). La la digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS) es una estimación aceptable de la digestibilidad in vivo (Tilley y Terry 1963; García-Martínez et al., 2001).

El Cuadro 2 presenta algunos resultados de DIVMS y energía metabolizable estimada en CGP en México.

Cuadro 1. Rendimiento de forraje de CGP en SPLPE.

Autor	CGP	Rendimiento kg MS/ha
Celis-Álvarez et al. (2017)	Triticale	5 434
	Centeno	5 658
Gómez-Miranda et al. (2020)	Cebada	3 800

CGP= cereal de grano pequeño; **MS**= materia seca; **ha**= hectárea.

Cuadro 2 Contenido de energía metabolizable (EM) y digestibilidad in vitro de materia seca (DIVMS) de triticale y centeno en SPLPE

Autor	CGP	EM (MJ/kg MS)	DIVMS (g/kg MS)
Mellado et al. (2018)	Triticale	10.3	706
Vega-García et al. (2021)	Triticale	9.3	700
	Centeno	9.3	697

CGP= cereal de grano pequeño; **EM**= energía metabolizable; **DIV**= digestibilidad in vitro; **MS**= materia seca; **MJ**= megajoules.

2.2.4.3. Proteína cruda (PC), materia orgánica (MO), fibra detergente neutro y ácido (FDN y FDA)

Los requerimientos de proteína de los rumiantes se expresan principalmente en términos de proteína cruda (PC), que es el resultado del nitrógeno (N) total \times 6.25, lo que significa que las proteínas contienen aproximadamente un 16 % de N (amidas, ácidos nucleicos, aminoácidos, etc.). Además, los rumiantes pueden utilizar fuentes de nitrógeno no proteico (NPN), que se incorpora a la proteína microbiana sintetizada durante la fermentación ruminal (CSIRO, 2007).

La determinación de la materia orgánica (MO) se realiza por medio de la determinación de cenizas por incineración en una mufla a 600°C para eliminar cualquier residuo de material orgánico (Gómez-Miranda, 2020).

Por último, la determinación de fibra neutro detergente (FDN), la fracción más digestible, y la fibra ácido detergente (FAD), la fracción menos digestible, determinan la cantidad de carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina) contenidos en el forraje y están directamente relacionados con la digestibilidad y actividad microbiana del rumen (Van Soest, 1982; García-Martínez, 2001).

El Cuadro 3 muestra el contenido de estos compuestos en CGP en los valles altos del centro de México.

Cuadro 3. Composición química de CGP en SPLPE de diferentes trabajos

Autor	CGP	PC g/kg	MO g/kg	FDN g/kg	FDA g/kg
Celis-Álvarez et al. (2017)	Triticale	73	895	624	385
	Centeno	78	923	627	385
Gómez-Miranda et al. (2020) *	Cebada	66	788	568	420

CGP= cereal de grano pequeño; **PC**= proteína cruda; **MO**= materia orgánica; **FDN**= fibra detergente neutro; **FDA**= fibra detergente ácida; *= ensilado.

2.3. Rescate de forrajes

El uso de la palabra rescate en los forrajes es poco utilizada, ya que en toda siembra se pretende aprovechar la máxima cantidad de MS para cosechar en las mejores condiciones o en ciertas ocasiones darlo como perdido, lo que no aplica en este estudio. Con el objetivo de impedir la pérdida de 4.0 hectáreas de cultivos multiespecie de CGP en un estado de maduración avanzado, se optó por la conservación de forraje por medio del tratamiento con urea (García-Martínez et al., 2001; García-Martínez et al., 2020), después de perder la oportunidad de un pastoreo o ensilado adecuado por complicaciones climáticas de la zona de estudio.

2.3.1. Conservación de cultivos enteros de cereales de granos pequeños (CGP)

Es primordial que los productores de leche cumplan en lo posible con los requisitos alimenticios en las raciones para su ganado, procurando la mayor digestibilidad, y el uso óptimo de los recursos alimenticios tanto a nivel nutricional como económico. Una estrategia es producir forrajes que se puedan conservar y utilizar en época de secas (Chenost, 1996; Cox, 2011).

Cuando los pequeños productores se enfrentan a la necesidad de utilizar forrajes de mala calidad que se digieren más lentamente en el rumen, son bajos en N, energía, minerales y vitaminas; es importante en lo posible tomar acciones para favorecer a los microorganismos del rumen de tal manera que puedan fermentar al máximo las paredes celulares de los forrajes.

Existen dos formas de mejorar el valor alimenticio de los forrajes de mala calidad. La primera es de naturaleza nutricional mediante la suplementación alimenticia, y la segunda es de carácter tecnológico mediante tratamientos de los forrajes (Chenost, 1996).

Saadullah et al. (1981) reportaron el efecto de tratamientos químicos sobre la digestibilidad y el valor energético en diferentes tipos de forraje. El mecanismo de los tratamientos químicos es romper los enlaces de la lignina con la celulosa en las paredes celulares, facilitando su fermentación por la microflora ruminal.

Entre los productos químicos utilizados, los álcalis se han convertido en una opción para el tratamiento de conservación de forrajes desde la década de 1970. Entre los

álcalis, el hidróxido de sodio (NaOH) es sumamente eficaz, pero es de un alto costo, difícil de conseguir por los productores, y de manipular (Jackson, 1977) además de que puede estimular el consumo de agua y elevar la excreción de orina en los animales (Deschard et al., 1987).

El tratamiento de forraje con amoníaco anhidro o líquido es también efectivo, pero es igualmente problemático por su baja disponibilidad y equipo necesario (Saadullah et al., 1981); pero según Jackson (1978) también se puede usar la amonificación del forraje a través de la urea en silos cerrados, pero en condiciones aeróbicas a temperatura ambiente durante mínimo 20 días y una vez tratado y bien cubierto, el forraje puede almacenarse durante varios meses, mejorando la digestibilidad y palatabilidad del forraje (Chenost, 1996).

Los cultivos de planta entera (wholecrop en inglés) de CGP se pueden ensilar aun cuando se encuentran en una etapa tardía de maduración; sin embargo pueden tener una digestibilidad y un contenido de N más bajos y pueden ser más susceptibles al deterioro aeróbico (Deschard et al., 1987).

Por otro lado, se pueden utilizar en un estado fenológico muy avanzado si se tratan con álcalis como el hidróxido de sodio, el amoníaco o la urea, ampliando su ventana de cosecha (Chenost, 1996; Kiangi et al., 1981; Saadullah et al., 1981), siendo el amoníaco o la urea álcalis que también son fuente de N no proteico útil para la síntesis de proteína microbiana en rumen, y que poseen importantes cualidades conservantes en el contexto de la estabilidad aeróbica del forraje tratado (Tetlow y Mason, 1987).

El tratamiento con urea es el resultado de dos procesos que ocurren simultáneamente en el forraje almacenado. En primer término, a partir de la hidrólisis de la urea o ureolisis, se genera amoníaco (NH_3) por un lado el efecto sobre el rompimiento de las ligaduras entre la lignina y la celulosa para mejorar la digestibilidad de las paredes celulares del cultivo entero de CGP, y por otro lado suministra una fuente de nitrógeno no proteico degradable en el rumen, representando un doble efecto de mejora de la digestibilidad de las paredes celulares por el efecto sobre la lignina y a partir del aporte de nitrógeno que influye en la microbiota ruminal (Castejon y Leaver, 1994; Cox, 2011; Deschard et al., 1987).

2.3.2. Tratamientos con urea de cultivos enteros de CGP

Desde hace algunos años ha habido interés en los cultivos enteros de CGP como alimento para vacas lecheras, ya que hay poca información disponible sobre su valor nutritivo, la ingesta de materia seca y los rendimientos ya sea en ganancia diaria de peso o producción de leche del ganado alimentado con CGP tratado con urea (Castejon y Leaver, 1994).

Los cultivos enteros de CGP, comúnmente se han conservado y utilizado como ensilados a través de la fermentación láctica, pero presentan desventajas donde el almacenamiento y la humedad propician el crecimiento de moho, que estropea la conservación del forraje (Cox, 2011). Según Deschard et al. (1987), el amoníaco y la urea ejercen cierto control sobre la fermentación y estabilidad del ensilado de CGP, pero producen ensilajes picantes poco palatables, por lo que sería inapropiado ensilar cereales de cultivos enteros inmaduros tratados con amoníaco o urea cuando el contenido de MS del cultivo es menor a 400 g/kg.

Sin embargo, al cosechar en una etapa de maduración tardía, con altos contenidos de MS y almacenar el forraje con urea a un pH ≥ 8.0 , tiene las ventajas de un buen rendimiento cuando se cosecha con contenidos de hasta 654 g MS /kg con un menor requerimiento de alimentos proteicos dado por el nitrógeno no proteico proporcionado por el amoníaco total producido y altos contenidos de almidón dada la maduración de las espigas (275 g/kg MS) en una sola cosecha (Castejon y Leaver, 1994; Cox, 2011; Deschard et al., 1987).

En síntesis, el tratamiento de amoníaco generado por urea en almacenamiento o para resumir, "tratamiento con urea", es el resultado de dos procesos simultáneos en el forraje a tratar; la ureolisis, que convierte la urea en amoníaco y el efecto de este sobre las paredes celulares del forraje (Chenost, 1996). Tiene las ventajas de que se puede cosechar el forraje en una etapa de crecimiento muy avanzada (Chenost, 1996), mientras que el amoníaco unido al forraje durante el tratamiento puede servir como fuente de nitrógeno no proteico para la síntesis de proteínas microbianas en el rumen mejorando la digestibilidad y elevando el pH, previniendo la acidosis ruminal (Deschard et al., 1987; Kiangi et al., 1981).

Otra ventaja es que, según Chenost (1996), es el tratamiento que mejor se adapta a las condiciones del SPLPE, porque no existe una técnica de modelo fija, sino una que se adapta a las condiciones locales.

Las únicas desventajas que presenta esta técnica es el exceso de amoníaco generado que se puede evaporar o escapar en forma de gas si el almacenamiento no es el adecuado; y que se recomienda tratar cantidades pequeñas en repetidas ocasiones durante el período de alimentación necesario, en lugar de cantidades demasiado grandes y requerir de mayor espacio y trabajo en una sola ocasión (Chenost, 1996).

Saadullah et al. (1981) reportaron una mayor digestibilidad aparente de la MS y materia orgánica (MO) de los forrajes tratados con urea y se confirmó el efecto del tratamiento sobre el aumento de la ingesta del forraje por el ganado bovino productor de leche. Aunque se necesitan condiciones muy simples para el almacenamiento, lo que es muy práctico para los SPLPE (Chenost, 1996; Saadullah et al., 1981).

Como fue mencionado, una de las ventajas del tratamiento de forrajes con urea es en propiciar un pH estable en el rumen ya que en ocasiones, las raciones con forrajes ensilados pueden disminuir inadvertidamente el pH del rumen (<6.2) y afectar la producción de leche (Russell y Wilson, 1996). La alimentación con forrajes tratados con urea disminuye ese riesgo de acidosis (Cox, 2011).

Otro problema con los ensilados es existe el riesgo de aparición de moho, lo que reduce la velocidad de la digestión. Orskov et al. (1983) mencionaron que los tratamientos de forraje con álcalis son menos propensos a presentar crecimiento de mohos durante su conservación.

Desde el punto de vista de un pequeño productor, es importante realizar experimentos de producción en los que el forraje tratado constituya una alta proporción de la ración (Saadullah et al., 1981).

Se hacen necesarios más estudios para determinar la ingesta voluntaria de CGP tratados con urea con el fin de evaluar sus efectos sobre la palatabilidad y digestibilidad para los bovinos productores de leche (Guedes et al., 2008) y también para determinar el potencial de producción de forraje tratado con álcalis.

Varios de los estudios publicados dirigidos a sistemas en pequeña escala en países en desarrollo (Castejon y Leaver, 1994; Deschard et al., 1987, 1988; García-Martínez et al., 2009; 2020; Guedes et al., 2008; Saadullah et al., 1981) han sido principalmente con pajas de maíz o arroz, pero es necesario diversificar la investigación, utilizando otro tipo de cultivos que no sea el maíz o paja de arroz, sino otros CGP (cebada, centeno y triticale), aprovechando la ventana de cosecha hasta que alcancen una etapa tardía de maduración y conservarse con poco riesgo de producir moho durante su almacenamiento (Cox, 2011; Chenost, 1996; Orskov et al., 1983; Tetlow y Mason, 1987).

2.3.3. Alcalaje

El tratamiento de forrajes con álcalis para mejorar su calidad se conoce como alcalaje, un proceso por el cual se logra un forraje de mayor digestibilidad y por ende mayor contenido de energía a partir de CGP como el trigo, la cebada, el arroz, el triticale o la avena; y puede describirse como cultivos enteros tratados con urea a un pH ≥ 8.5 con altos niveles de almidón y fibra.

El proceso de alcalaje consiste en dejar madurar el cultivo completamente hasta un alto nivel de materia seca ($\geq 72\%$), para que se alcancen los niveles más altos de almidón. Después de que se cosechan los cultivos de CGP, se depositan en un silo donde se agrega urea granulada ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), la cual se hidroliza (Cox, 2011; Home n'dry, 2021). El gránulo de urea debe mezclarse con el cultivo y la reacción con la humedad genera la ureólisis resultando en la formación de gas amoníaco (NH_3), por lo que debe cubrirse adecuadamente con plástico en el silo para que el gas no escape. No se requiere de compactación ya que se debe permitir que el gas migre por todo el cultivo. Todo el proceso de amoníaco dura aproximadamente de dos a cuatro semanas (dependiendo la temperatura ambiente), después se estabiliza y se puede destapar para ventilarse y estará listo para utilizarse como forraje en época seca para bovinos productores de leche (Cox, 2011; García-Martínez, 2001).

Los beneficios de aplicar el alcalaje en el forraje para la dieta de una vaca lechera incluyen: reducir el riesgo de acidosis, mejorar la función del rumen, aumentar el contenido de proteína, la deslignificación del forraje y minimizar las pérdidas de almacenamiento, ya que se puede recolectar en condiciones de humedad y almacenarse durante largos períodos de tiempo. En general, los cultivos se digieren

más fácilmente por las vacas lecheras debido al proceso de deslignificación, ya que el tratamiento hace que los enlaces químicos que mantienen unidas la lignina, la celulosa y la hemicelulosa se rompan. También proporciona un mejor equilibrio energético y proteico, al proporcionar nitrógeno no proteico a los microbios del rumen (Church, 1988; García-Martínez, 2001).

Según Chenost (1996), el tratamiento con amoníaco generado con urea es el que mejor se adapta a las condiciones de los sistemas en pequeña escala, ya que su mejor beneficio es la duración de la ventana de cosecha. Los niveles de humedad en estos cultivos pueden ser más altos que los de los cultivos cosechados tradicionalmente y habrá muy poco efecto sobre el rendimiento y los nutrientes del cultivo si la cosecha se retrasa. Una vez preservado, el forraje tratado con urea es muy estable y mucho menos susceptible al moho que el ensilaje de cultivos enteros o el ensilaje de maíz (Cox, 2011), aunque las pérdidas de amoníaco pueden ser elevadas (Kiangi et al., 1981).

2.4. CGP como estrategia de alimentación en SPLPE ante el cambio climático

En los SPLPE, la investigación e implementación de estrategias de alimentación para reducir costos y aumentar la sostenibilidad está encaminada a la búsqueda de cultivos y variedades de forrajes con ciclos de crecimiento más cortos como los CGP, como posible respuesta dada su capacidad de adaptación ante los posibles efectos del cambio climático, una necesidad planteada por Hristov et al. (2018); es decir, los factores fuera del control del productor, que son las temporadas de lluvias que pueden ser erráticas y con temperaturas variables; así como los factores dentro del control del mismo agricultor, que son el manejo y conservación de agua y suelo (Cox, 2011). Por lo tanto, existe la necesidad de investigar cultivos forrajeros mejor adaptados que permitan a los productores afrontar mejor los escenarios futuros, por ello, los forrajes de CGP son una alternativa para la producción de forrajes.

Los CGP son gramíneas anuales autógamias, utilizados con mucha flexibilidad a lo largo de todo el año, como forraje de pastoreo con altos contenidos de proteína en época de lluvias (Gómez-Miranda et al., 2022; Vega-García et al., 2020; 2021), o como ensilado de alto valor energético, rico en carbohidratos y fibra para mantener el rendimiento de las vacas lecheras en la época de estiaje (De Ruyter et al., 2002; Gómez-Miranda et al. 2020).

Una de sus características es su capacidad de recuperarse después de una primera defoliación, ya sea mediante el corte del forraje o del pastoreo; siendo el rebrote 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, características buscadas en los SPLPE (Vega-García et al., 2020). La ventaja es que se pueden utilizar en monocultivos o cultivos multi-especie, ya sea para pastoreo, conservación de forrajes, o alimentación en fresco como forrajes de corte (Celis-Álvarez et al., 2017).

Entonces, los CGP son una alternativa para la producción de forraje en los SPLPE, al ser cultivos resistentes al déficit hídrico y tener un ciclo agronómico corto (Gómez-Miranda et al., 2020; González-Alcántara et al., 2020). Entre las especies clasificadas dentro de esta categoría, está incluida la cebada, el centeno y el triticale (Payne et al., 2008), que constituyen una propuesta como estrategia de alimentación, porque cumplen con ciertas características que ayudaran a evaluar su potencial y valor nutritivo, asegurando una buena sostenibilidad en los SPLPE (Celis-Álvarez et al., 2017; Salgado et al., 2013).

2.4.1. Cultivos multi-especie de CGP como estrategia de alimentación en SPLPE ante el cambio climático

Los cereales se utilizan a menudo como forrajes anuales en la alimentación de los bovinos productores de leche para complementar el pastoreo o para actuar como pastos de emergencia ante los posibles efectos del cambio climático (Hristov et al., 2018; Juskiw et al., 1999). Los cultivos multi-especie son una opción viable para los SPLPE, ya que la mayor plasticidad y complementariedad de las diferentes especies sembradas los hacen más resistentes a la invasión de malezas y pastos invasores como el kikuyo; con una mayor acumulación neta de forraje (ANF), de calidad similar a las de las praderas binarias de ballico-trébol blanco reportados en SPLPE (Celis-Álvarez et al., 2021; Plata-Reyes et al., 2018), y mejores condiciones de pastoreo que aumentan la ingesta de MS y pueden mejorar la producción y composición de la leche (Muciño-Álvarez et al., 2021).

Estos resultados podrían ser similares en cultivos multi-especie de CGP. Jedel y Salmon (1995) reportaron que la mezcla de triticale de invierno y primavera no era tan productiva como la mezcla de cebada de primavera con triticale de invierno, incluso fueron más productivas que el centeno de invierno. Según Juskiw et al. (1999), tratamientos de CGP combinados con triticale tenían un mayor contenido de

proteína y fibra (dentro del rango de buena calidad para las vacas lecheras) que los tratamientos con centeno, a pesar de que el triticale tuvo rendimientos más bajos que el centeno.

Sin embargo, hay pocos informes sobre la producción de leche de bovinos alimentados con una proporción significativa de cultivos enteros de CGP en SPLPE (González-Alcántara et al., 2020), por lo que es necesario seguir evaluando diferentes variedades de CGP en combinaciones que se adapten a las condiciones meteorológicas y de manejo de la región de estudio, con la finalidad de mejorar la calidad de forraje (Muciño-Álvarez et al., 2021).

2.4.2. Implementación de cultivos enteros multi-especie de CGP tratados con urea como estrategia de alimentación en SPLPE ante el cambio climático

Se han ensilado con éxito cultivos enteros de CGP en etapa de maduración avanzada y se han utilizado para alimentar a bovinos productores de leche con altos rendimientos de materia seca (MS) en comparación a cosechar cultivos inmaduros (Givens et al., 1993; Tetlow y Mason, 1987). Sin embargo, también se produce una lignificación más extensa del tallo, con la consiguiente reducción del valor nutritivo, y para contrarrestar esto, se han investigado varios tratamientos con álcalis para cultivos enteros de CGP. Los tratamientos han incluido hidróxido de sodio (Tetlow y Mason, 1987), amoníaco (Deschard et al., 1987) y urea (Deschard et al., 1987; 1988; Orskov et al., 1983).

La conservación de cultivos enteros de CGP tratados con urea que se hidroliza en amoníaco (NH_3) por la enzima ureasa, siendo el amoníaco en gas el que modifica la estructura del forraje rompiendo los enlaces que unen los carbohidratos estructurales (lignina, celulosa, hemicelulosa), mejorando la digestibilidad de los cultivos en el rumen, además de aumentar la concentración de nitrógeno para los microorganismos ruminales. Otra ventaja, es que no se requiere de ningún procesamiento mecánico del cultivo antes del tratamiento como picarlo, más que ser cosechado (Church, 1988; Orskov et al., 1983).

Los cultivos maduros de CGP se muestran prometedores como forraje conservado en regiones donde los rendimientos de pastos están limitados en la temporada seca y como forraje de rescate en caso de no poderse cosechar por exceso de lluvias.

Deschard et al. (1988) y Tetlow y Mason (1987) concluyeron que la adición de urea a cultivos enteros de CGP genera un alto rendimiento del cultivo, aumentos en la digestibilidad de la fibra, incremento del consumo de MS y una conservación estable del forraje tratado, si se cosecha con un contenido de aproximadamente 500 g/kg MS y tratado a una dosis aproximada de 40 g de urea/kg MS.

III. JUSTIFICACIÓN

El manejo tradicional de la alimentación en los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) no ha presentado cambios significativos en las últimas décadas, siendo necesario evaluar estrategias de alimentación en los SPLPE. El desarrollo de estas estrategias permitirá optimizar los recursos propios de la unidad, cosechando sus propios cultivos, favoreciendo la rentabilidad y sostenibilidad (Prospero-Bernal et al., 2017), que satisfagan los requerimientos nutricionales de vacas en lactación logrando mantener una producción de leche eficiente y a un menor costo (objetivo principal de cualquier sistema de producción de leche) (Gómez-Miranda et al., 2022; González-Alcántara et al., 2020; Plata-Reyes et al., 2018; Thornton et al., 2009) y por supuesto, la continuidad de los SPLPE (Camacho-Vera et al., 2017; Martínez-García et al., 2015); ya que los costos por alimentación llegan a representar hasta el 70% de los gastos totales de producción (Fadul-Pacheco et al., 2013).

Es necesario tomar en consideración evaluar forrajes que se adapten mejor a las diversas condiciones que los sistemas enfrentan, donde la asociación de diferentes especies permite una mejor cobertura del terreno y las diferentes características agronómicas de cada especie resulta en una complementariedad con mejor producción en el forraje y desempeño animal (Muciño-Álvarez et al., 2021).

Algunos de estos forrajes alternativos son los CGP, al reunir distintas cualidades por especie de gran adaptabilidad y resistencia (González-Alcántara et al., 2020) y pueden ser utilizados con mucha flexibilidad a lo largo de todo el año, como forraje de pastoreo con altos contenidos de proteína, o como forrajes conservados de alto valor energético (De Ruitter et al., 2002), características buscadas en los SPLPE siendo posibles alternativas de uso para las diferentes épocas del año.

Sin embargo, ante la falta de información sobre la utilización de CGP en cultivos multi-especie, así como del efecto de un tratamiento con urea a CGP en cultivo multiespecie de madurez avanzada para la alimentación de vacas lecheras, se hace necesario evaluar que asociaciones de CGP pueden presentar mejores resultados y respuesta al tratamiento con urea para mejorar su calidad nutritiva en SPLPE.

IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto en el desempeño productivo de vacas lecheras al consumir en pesebre cultivos multi-especie de cereales de grano pequeño (cebada, centeno y triticale) en avanzado estado de madurez tratados con urea complementado con pastoreo y concentrado, como estrategia de alimentación en SPLPE para la época seca?

V. HIPOTESIS

5.1. Hipótesis de producción animal

No existen diferencias significativas en el rendimiento, composición de leche, peso vivo y condición corporal de vacas lecheras al consumir en pesebre tres cultivos/tratamientos multi-especie de cereales de grano pequeño (cebada, centeno y triticale) de madurez avanzada tratados con urea complementado con pastoreo y concentrado, como estrategia de alimentación en SPLPE.

5.2. Hipótesis de producción de forraje

No existen diferencias significativas en el rendimiento del forraje y composición química de tres cultivos/tratamientos multi-especie de cereales de grano pequeño (cebada, centeno y triticale) de madurez avanzada tratados con urea como estrategia de alimentación en SPLPE.

VI. OBJETIVOS

6.2. Objetivo general

Evaluar el desempeño productivo de vacas lecheras respecto al consumo de forraje tratado con urea de tres cultivos multi-especie de tres cereales de grano pequeño; triticale (X. Triticosecale Wittmack), centeno (Secale cereale) y cebada (Hordeum vulgare) de madurez avanzada; como estrategia de alimentación para SPLPE en época seca.

6.3. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad del forraje, previo a la cosecha, a través de las variables agronómicas; altura, composición química (MS, PC, MO, FDN, FDA, DIVMO y EM) y composición botánica (proporción de cada especie de cereal, proporción de otras plantas y/o arvenses, espigas de cereales y otros), de los cultivos multi-especie de tres cereales de grano pequeño; triticale (X. Triticosecale Wittmack), centeno (Secale cereale) y cebada (Hordeum vulgare).
- Evaluar el consumo en vacas lecheras de SPLPE de tres forrajes tratados con urea en cultivos multi-especie de tres cereales de grano pequeño; triticale (X. Triticosecale Wittmack), centeno (Secale cereale) y cebada (Hordeum vulgare); sobre la condición corporal, peso vivo, rendimiento, composición química de la leche (contenido de grasa, proteína, lactosa y NUL).
- Evaluar la calidad de la pradera complementaria a través de las variables agronómicas; altura y acumulación neta de forraje (ANF), composición química (MS, PC, MO, FDN, FDA, DIVMO y EM), botánica (proporción de pasto y proporción de otras plantas y/o arvenses) como complementación de la alimentación de las vacas lecheras con cultivos tratados con urea como estrategia de alimentación en SPLPE.
- Evaluar la calidad del forraje, posterior a la cosecha, a través de la composición química (MS, PC, MO, FDN, FDA, DIVMO y EM) de los cultivos multi-especie de tres cereales de grano pequeño; triticale (X. Triticosecale Wittmack), centeno (Secale cereale) y cebada (Hordeum vulgare) tratados con urea como estrategia de alimentación en los SPLPE.

VII. MATERIALES Y METODOS

7.1. Área de estudio

Se llevó a cabo en la unidad de producción (UP) de un productor de leche a pequeña escala en Aculco de Espinoza; municipio que se localiza en las coordenadas 20° 00'–20° 17' norte, y 99° 40'–100° 00' en el noroeste del Estado de México. El municipio cuenta con una superficie de 453.3 km², con una altitud de 2, 440 m 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).

7.2. Desarrollo experimental

El experimento se desarrolló mediante un enfoque de investigación participativa rural según (Conroy, 2004); a través de experimentos en finca de acuerdo con la disponibilidad de terreno para la siembra de cultivos y vacas en producción del productor participante.

El experimento tuvo una duración de 42 días con tres periodos experimentales de 14 días cada uno (12 de adaptación a la dieta y dos de muestreo) siguiendo la metodología propuesta por Pérez-Ramírez et al. (2012) y de otros trabajos previos en SPLPE (González-Alcántara et al., 2020; Muciño-Álvarez et al., 2021; Plata-Reyes et al., 2018).

7.2.1. Establecimiento y manejo de cultivos experimentales

Se establecieron tres cultivos multi-especie para el tratamiento con urea (alcalaje), con los siguientes cereales de grano pequeño: TRT - triticale (X. Triticosecale Wittmack), RYE-centeno (Secale cereale) y BLY - cebada (Hordeum vulgare) en las siguientes mezclas binarias. Las mezclas evaluadas fueron TRT+RYE, TRT+BLY, y RYE+BLY, ajustándose a una superficie de 1.0 ha/cultivo.

Se sembraron en época de lluvias (mayo de 2021) con una dosis de siembra de 50 kg por especie de cereal representando una dosis total 100 kg/ha de semilla multiespecie de CGP,

fertilizadas con NPK 90-80-90 kg/ha (175 kg/ha de DAP fosfato diamónico, 150 kg/ha de urea y 150 kg/ha de cloruro de potasio).

Para complementar la alimentación de las vacas, se llevó a cabo el pastoreo diurno (6 h/vaca/día) entre ordeños, en una pradera ya establecida de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) asociada con trébol blanco (*Trifolium repens* L.) con una superficie de 3.0 ha.

7.2.2. Proceso de tratamiento de CGP con urea (Alcalaje)

Se cosecharon los cultivos completos (planta entera) de los tres tratamientos multi-especie cuando se encontraban en estado de maduración avanzada a una altura de 5 cm del suelo con maquinaria tipo Chopper. Se aplicaron 50 kg de urea granulada (1 bulto) por cada remolque cosechado para lograr una concentración entre 4 y 6% de urea en peso fresco de los forrajes.

Cada cultivo de planta entera cosechado se colocó por capas (una capa por cada remolque) sobre un plástico extendido dejando una pestaña de más de 50 cm para sellar, se compactaron con el tractor solo lo necesario para poder envolverlo. Entre cada capa se aplicó un bulto de urea granulada y se esparcieron homogéneamente 450 L de agua sobre todo el forraje cosechado, excepto en la primera y en la última capa de forraje. Por último, se envolvió el forraje con el plástico y se sellaron las pestañas con tierra para evitar el escape del amoníaco producido por la ureólisis.

7.2.3. Muestreo de forraje

La pradera de pastoreo se subdividió nominalmente en tres subparcelas. La obtención de las muestras de la pradera de pastoreo fue mediante la técnica de pastoreo simulado que consiste en recolectar muestras al azar de todo el cultivo con la mano, de forma 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 la pradera de pastoreo durante los dos días de medición de cada período experimental, colectando nueve muestras en total, 3 muestras por cada subdivisión.

En el desarrollo de los cultivos multi-especie, se tomaron dos veces nueve muestras por cultivo (3 muestras x 3 subdivisiones por parcela). Igualmente, al momento de la cosecha, se tomó una muestra sin tratamiento de urea para evaluar su composición

química pre-cosecha. y se tomaron muestras de los cultivos tratados con al final de cada periodo experimental.

Las muestras del concentrado comercial se recolectaron el último día de cada periodo experimental.

7.3. Diseño experimental

En las variables de desempeño animal se utilizó un diseño experimental de cuadro latino 3x3 repetido tres veces con doble aleatorización, y el segundo cuadro fue en espejo del primero para minimizar posibles efectos residuales de los tratamientos, con tres tratamientos, y tres periodos experimentales de 14 días cada uno. Se utilizaron nueve vacas de raza Holstein, con un peso promedio de 455 kg, una producción promedio de leche de 12.4 kg/vaca/día y con un promedio de 159 días en lactación.

Para las variables de las muestras del forraje pre-cosechado, composición botánica/morfológica y altura de los cultivos, se utilizó un diseño de parcelas divididas para experimentos en finca donde las repeticiones son limitadas, donde la parcela mayor (PM) representó a los tratamientos y la parcela menor (Pm) a los periodos experimentales (Plata-Reyes et al., 2018).

7.4. Evaluación de variables de producción animal

7.4.1. Peso vivo (PV) y condición corporal (CC)

El peso vivo (PV) de las vacas (kg), se registró al final de cada periodo experimental, durante dos días consecutivos después del primer ordeño (8:00 hrs), con la finalidad de disminuir la variación, utilizando una báscula portátil Gallagher MR con capacidad de 1000 kg. La condición corporal (CC) se evaluó en una escala de 1 a 5 con subdivisiones de 0.25; siendo la calificación más baja de 1 como un animal emaciado (muy delgado de estructuras óseas prominentes y palpables); y la calificación más alta con 5, un animal gordo (de estructuras óseas no palpables recubiertas por grandes masas de tejido graso) y entre 2.5 y 4 como calificación estándar (Plata-Reyes et al., 2018).

7.4.2. Rendimiento de leche (RL)

En los últimos dos días de cada periodo experimental se registró el rendimiento diario de leche, en el ordeño matutino (8:00 hrs) y vespertino (17:00 hrs), pesando la leche con una báscula de reloj con capacidad para 20 kg y una cubeta. El análisis de resultados realizó con los valores promedio individuales de cada vaca, expresando el resultado en kg de leche/vaca/día.

7.4.3. Composición química de la leche

Se tomaron muestras de leche recolectadas inmediatamente después del ordeño de cada vaca y realizando una homogenización de la leche de cada ordeño (8:00 y 17:00 h) y tomando una alícuota de 200 ml en función de la proporción de cada ordeño.

Las composición química de la leche se determinó en la misma unidad de producción en cuanto a grasa, proteína y lactosa mediante un analizador de leche por ultrasonido (Lactoscan Farm-Eco, Milkotronic LTD, EEUU).

Igualmente se conservaron las muestras en congelación y al final de cada periodo fueron transportadas al laboratorio para determinar la concentración de nitrógeno ureico en leche (NUL), con el método colorimétrico enzimático a través de un espectrofotómetro (Genesys 10UV/ Thermo Electron Corporation/USA) de acuerdo al procedimiento reportado por Plata-Reyes et al. (2018).

7.5. Evaluación de producción de forraje

7.5.1. Acumulación neta de forraje (ANF)

En la pradera de pastoreo se determinó la acumulación neta de forraje (ANF), método indirecto que estima la disponibilidad de forraje, empleado con la finalidad de determinar el crecimiento promedio de la pradera en un intervalo determinado (Plata-Reyes et al., 2018). Como se mencionó, cada hectárea de pradera se subdividió nominalmente en tres partes iguales, siendo cada subdivisión la unidad experimental para las variables de la pradera.

La ANF se estimó de acuerdo con Hoogendoorn et al. (2016) con seis jaulas de exclusión al pastoreo de 0.25 m² (0.5 m x 0.5 m), con dos jaulas en cada subdivisión, distribuidas aleatoriamente en cada periodo experimental, cortando cuadros de 0.16

m² (0.40 m x 0.40 m) fuera de la jaula (día 0) y dentro de la jaula (día 14) con tijeras de mano a nivel del suelo, estimando por diferencia la ANF expresando los resultados en kg MS/ha (Plata-Reyes et al., 2018), repitiendo el procedimiento en cada uno de los tres períodos.

7.5.2. Composición morfológica (CM)

La composición morfológica (CM) de la pradera se determinó por periodo mediante la recolección al azar de seis muestras, delimitando el área de corte con cuadrantes de metal de 0.16 m² (0.40 m x 0.40 m), inmediatamente después del corte se pesaron (50g) utilizando una báscula digital portátil ScoutPro, y se separaron manualmente en proporciones relativas a gramíneas, trébol y arvenses, que se calcularon sobre una base de MS mediante secado en horno y pesando cada una de las muestras por separado expresando el resultado en gramos de MS (Plata-Reyes et al., 2018).

7.5.3. Determinación de la composición química de los alimentos

Los análisis bromatológicos de las muestras de forraje se realizaron de acuerdo con los procedimientos establecidos en el laboratorio del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México (Celis-Álvarez et al., 2017; González-Alcántara et al., 2020; Plata-Reyes et al., 2021).

Los componentes determinados, tanto para las muestras de la pradera pastoreo, las muestras de cultivos pre-cosechados y de los forrajes tratados, y para el concentrado fueron: Materia Seca (MS), colocando las muestras en una estufa de aire forzado a 65°C durante 48 horas; posteriormente se molieron en un molino Pulvex 200 y se determinaron cenizas para obtener el contenido de Materia Orgánica (MO) mediante incineración en una mufla a temperatura de 550°C, durante 3 horas; contenido de Proteína Cruda (PC) mediante determinación de nitrógeno por el método de Kjeldahl; las fracciones de fibra en términos de fibra detergente neutro (FDN) y de fibra detergente ácido (FDA) con alfa amilasa sin corrección de cenizas/MO y la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) por los métodos descritos por Celis-Álvarez et al. (2017) y González-Alcántara et al. (2020); la Energía Metabolizable (EM), se estimó aplicando la formula: $EM = 0.172 \text{ DIVMS (\%)} - 1.707$ de acuerdo con CSIRO (2007); y el pH de los tratamientos se midió con un medidor de pH, como

parámetro indicador del tipo de fermentación en el alcalaje se midió a partir de un extracto acuoso de los forrajes.

7.6. Tratamientos

Se implementaron tres tratamientos a partir de los tres cultivos multi-especie de CGP tratados con urea para ofrecer en pesebre y complementar con pastoreo 6 h/día en una pradera binaria de 3 ha ya establecida de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) asociada con trébol blanco (*Trifolium repens* L.) por nueve vacas Holstein distribuidas en tres grupos de tres vacas cada uno; suplementadas con 4.5 kg concentrado comercial (20% PC).

Cada grupo de tres vacas constituyó uno de los Cuadros Latinos 3 x 3, de forma que el Cuadro 1 se conformó con tres vacas con mayor producción, el Cuadro 2 con tres vacas de producción moderada y el Cuadro 3 con las tres vacas de menor producción.

Las secuencias de tratamientos y las vacas en cada secuencia por cuadro fueron aleatorizadas, y las secuencias del Cuadro 2 se plantearon en espejo (por fila) al Cuadro 1 a fin de minimizar efectos residuales de los tratamientos (Plata-Reyes et al., 2018); como se muestra en el Cuadro 4.

Los tratamientos evaluados fueron: TRT+ RYE= Triticale + Centeno, TRT+ BLY= Triticale + Cebada; y RYE+BLY= Centeno + Cebada.

Cuadro 4. Distribución de tratamientos por cuadros latinos.

Cuadro 1	Periodos			Cuadro 2	Periodos			Cuadro 3	Periodos		
	Vaca	I	II		III	Vaca	I		II	III	Vaca
3031	TRT+ RYE	TRT+ BLY	RYE+ BLY	6966	RYE+ BLY	TRT+ RYE	TRT+ BLY	3030	TRT+ BLY	RYE+ BLY	TRT+ RYE
6840	TRT+ BLY	RYE+ BLY	TRT+ RYE	Negra	TRT+ RYE	TRT+ BLY	RYE+ BLY	Cuernos	RYE+ BLY	TRT+ RYE	TRT+ BLY
Troy	RYE+ BLY	TRT+ RYE	TRT+ BLY	5941	TRT+ BLY	RYE+ BLY	TRT+ RYE	6841	TRT+ RYE	TRT+ BLY	RYE+ BLY

Cuadro 1= Vacas altas productoras; **Cuadro 2=** Vacas Medianas productoras; **Cuadro 3=** Vacas Bajas productoras; **TRT=** Triticale; **BLY=** Cebada; **RYE=** Centeno.

7.7. Análisis estadístico

7.7.1. Producción animal

Los resultados para las variables de producción animal se analizaron mediante análisis de varianza para un diseño experimental de Cuadro Latino 3x3 repetido 3 veces (Kaps y Lamberson, 2004), según el siguiente modelo:

Figura 1. Modelo estadístico para evaluación de producción animal.

$$Y_{jkl} = \mu + C_i + V_{(i)j} + P_k + t_l + e_{jkl}$$

Donde:

Y_{jkl} = Variable respuesta

μ = Media general

C = Efecto de cuadros ($i = 1, 2$ y 3)

V = Efecto de las vacas dentro de cuadros ($j=1, 2$ y 3)

P = Efecto de los periodos experimentales ($k=1, 2$ y 3)

t = Efecto de los tratamientos ($l=1, 2$ y 3)

e = Error experimental.

7.7.2. Producción de forraje

Para las variables de producción de forraje, disponibilidad y composición morfológica de los cultivos se utilizó un diseño de parcelas divididas para experimentos en finca (Plata-Reyes et al., 2018). Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza siguiendo el modelo:

Figura 2. Modelo estadístico para evaluación de producción de forraje.

$$Y_{ijkl} = \mu + SD_i + T_j + E_k + p_l + Tp_{jl} + Tr_{jm} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{jki} = Variable respuesta

μ = Media general

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

T = Efecto de Tratamientos (Parcela Mayor) $i = 1 \dots 3$

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

Cuando se observaron diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey para la comparación entre medias. Los resultados se analizaron con el programa estadístico Minitab (V14, Minitab Inc., State College, PA, EE. UU).

VIII. RESULTADOS

8.1. Artículo de investigación

Se presenta la carta de recepción del artículo “Urea treatment of mature whole-crop cereal mixtures as salvage forage for small-scale dairy systems in the dry season”, enviado a la revista indexada Tropical Animal Health and Production y a continuación, el resumen del artículo con sus respectivas tablas de resultados.

8.1.1. Carta de recepción

RV: TROP-D-23-00075 - Acknowledgement of Receipt



Carlos Manuel Arriaga Jordan <cmarriagaj@uaemex.mx>

14/01/2023 05:25 p. m.



Para: yessikzam18

-----Mensaje original-----

De: em.trop.0.80b3b5.0a511386@editorialmanager.com <em.trop.0.80b3b5.0a511386@editorialmanager.com> En nombre de Tropical Animal Health and Production

Enviado el: sábado, 14 de enero de 2023 05:24 p. m.

Para: Carlos Manuel Arriaga Jordan <cmarriagaj@uaemex.mx>

Asunto: TROP-D-23-00075 - Acknowledgement of Receipt

Dear Dr. Arriaga-Jordan:

I am writing to acknowledge the receipt of your manuscript entitled "Urea treatment of mature whole-crop cereal mixtures as salvage forage for small-scale dairy systems in the dry season".

The submission id is: TROP-D-23-00075

Please refer to this number in any future correspondence.

Thank you for submitting this paper to Tropical Animal Health and Production.

During the review process, you can keep track of the status of your manuscript.

Your username is: cmarriagajordan

If you forgot your password, you can click the 'Send Login Details' link on the EM Login page at <https://www.editorialmanager.com/trop/>.

Yours sincerely,

Leslie IS Harrison PhD
Tropical Animal Health and Production

8.1.2. Resumen de artículo

Urea treatment of mature whole-crop cereal mixtures as salvage forage for small-scale dairy systems in the dry season

Yessica Guadalupe Zamora-Juárez, Felipe López-González, Carlos Galdino
Martínez-García, Monica Arias-Ávila and Carlos Manuel Arriaga-Jordán

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, CP 50295, Toluca, Estado de México, México.

Corresponding Author:

Carlos Manuel Arriaga-Jordán

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR),

Universidad Autónoma del Estado de México,

Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo. Piedras Blancas, 50295 Toluca, Estado de México, México. Tel / Fax: +52 (722) 296 5552/180 61 24/481 16 07.

E-mail: cmarriagaj@uaemex.mx

Urea treatment of mature whole-crop cereal mixtures as salvage forage for small-scale dairy systems in the dry season

Abstract

Forage from small-grain cereals is an option to diversify feeding strategies in small-scale dairy systems (SSDS), due to their short cycle and ample adaptation. Mixtures of cereal species may have synergic advantages; however, grazing or ensiling are not always possible due to climatic factors, so that forage crops are left to mature and lose quality. Urea treatment of whole-crop mature cereal mixtures may be an option to salvage forage that could not be grazed or ensiled. The objective was to evaluate the performance of dairy cows fed urea-treated mature whole-crop forage mixtures of triticale (TRT), rye (RYE), and barley (BLY), in the dry season for SSDS. Treatment mixtures were TRT+RYE, TRT-BLY, and RYE+BLY. Fully mature cereal mixtures crops were treated with 4 - 6% granular urea (plus water) on a fresh basis. Forage variables were analysed with a split-plot design. Whole-crop forage yields were 3.4 ton/ha, with highest yields for RYE-BLY. Crude protein content increased two-fold in treated forages, and dry matter digestibility was moderate with a mean estimated ME content of 7.9 MJ ME/kg DM. Performance was evaluated by an on-farm 3x3 Latin square experimental design repeated 3 times with nine Holstein cows. Cows were offered daily 9.0 kg DM of urea treated forage; complemented with 4.4 kg DM of concentrate, day-grazing, and 1.5 kg of cut pasture. There were no statistical differences ($P>0.05$) for any of the animal variables. Urea treatment of whole-crop mature cereal mixtures resulted in a complementary moderate quality salvage forage for the dry season.

Keywords: Small-scale dairy systems; small-grain whole-crop cereal mixtures; barley; rye; triticale; forage alternatives; highlands; Mexico.

8.1.3. Tablas de resultados

Table 1. Pre-treatment chemical composition of binary mixtures of small-grain whole-crop cereals (g/kg DM).

Variable	Treatment		Mean	SEM	P-Value
	TRT-RYE	TRT-BLY			
DM	29.7 ^a	27.2 ^b	29.1	1.6	0.033*
OM	940.4	931.2	937.3	5.3	0.384 ^{NS}
CP	63.6	58.6	59.3	4.0	0.693 ^{NS}
NDF	692.9 ^a	659.5 ^b	683.7	21.2	0.011*
ADF	450.6 ^a	391.4 ^b	427.9	31.9	0.015*
IVDMD	462.7	574.9	526.1	57.5	0.132 ^{NS}
EM (MJ/kg)	6.3	8.2	7.4	1.0	0.135 ^{NS}

TRT= Triticale; BLY= Barley; RYE= Rye; DM= Dry matter; OM= Organic matter; CP= Crude protein; NDF= Neutral Detergent Fibre; ADF= Acid Detergent Fibre; IVDMD= In vitro dry matter digestibility; ME= Metabolizable energy; SEM = Standard Error of the Mean; NS= P>0.05; * = P<0.05; ^{a,b}= P<0.05.

Table 2 Chemical composition of binary small-grain cereal crops treated with urea (g/kg DM).

Variable	Period	Treatment			Mean Period	SEM sp	P MP	P sp	P MP*sp
		TRT+RYE	TRT+BLY	RYE+BLY					
DM (g/kg)	I	922.9	874.3	790.9	862.7				
DM)	II	938.8	917.9	759	871.9	10.7 ^{NS}			
	III	931.5	797	809.3	845.9				
Mean Tx		931	863.1	786.4			0.182	0.933	0.892
SEM MP			59.1 ^{NS}						
SEM									
MP*sp						12.1 ^{NS}			
OM (g/kg)	I	926.7	922.3	916.7	921.9				
DM)	II	919.3	919.2	911.1	916.5	5 ^{NS}			
	III	908.7	915.8	904.3	909.6				
Mean Tx		918.2	919.1	910.7			0.732	0.58	0.996
SEM MP			3.8 ^{NS}						
SEM									
MP*sp						0.8 ^{NS}			
CP (g/kg)	I	101.9	184.3	128.2	138.2				
DM)	II	118.2	165.3	124.7	136.1	6.8 ^{NS}	0.002	0.213	0.052
	III	120.9	125.1	122.5	122.9				

Mean Tx	113.7^c	158.3^a	125.1^b	
SEM MP		18.9*		
SEM			5.5 ^{NS}	
MP*sp				
NDF (g/kg DM)	I 826	718.1	804.4	782.9^a
	II 776.7	685.1	746.7	736.2^b
	III 670.7	677.7	705.5	684.7^c
Mean Tx	757.8	693.6	752.3	
SEM MP		29 ^{NS}		0.156
SEM				0.049
MP*sp				0.661
ADF (g/kg DM)	I 549.4	473.7	554	525.7
	II 567.9	450.3	536.9	518.4
	III 492.5	419	507.5	473
Mean Tx	536.6^a	447.6^b	532.8^a	
SEM MP		41.1*		0.014
SEM			3.9 ^{NS}	0.15
MP*sp				0.931
IVDMD (g/kg DM)	I 479.1	625.3	531.9	545.4
	II 558.5	560.6	480.8	533.3
			27.9 ^{NS}	0.191
				0.266
				0.334

	III	650.1	601.1	541.3	597.5
Mean Tx		562.6	595.7	518.0	
SEM MP		31.8 ^{NS}			
SEM		14.9 ^{NS}			
MP*sp		14.9 ^{NS}			
	I	7	9.1	7.4	7.8
ME (g/kg)	II	7.9	7.9	6.6	7.5 0.5 ^{NS}
DM)	III	9.5	8.6	7.6	8.6
Mean Tx		8.1	8.5	7.2	0.187 0.294 0.47
SEM MP		0.6 ^{NS}			
SEM		0.2 ^{NS}			
MP*sp		0.2 ^{NS}			

TRT= Triticale; **BLY**= Barley; **RYE**= Rye; **DM**= Dry matter; **OM**= Organic matter; **CP**= Crude protein; **NDF**= Neutral Detergent Fibre; **ADF**= Acid Detergent Fibre; **IVDMD**= In vitro dry matter digestibility; **ME**= Metabolizable energy; **SEM MP**= Standard Error of the mean of Main Plots; **SEM sp**= Standard Error of the mean of split plots; **SEM MP*sp**= Standard Error of the mean of the interaction of Main Plots and split plots; **P MP**= P value of Main Plots; **P sp**= P value of split plots; **P MP*sp**= P value of the interaction of Main Plots and split plots; **NS**= P>0.05; * = P<0.05, a,b.

Table 3. Chemical composition of grazed and cut pastures.

Variable	KY				Mean	SEM	P
	Period			III			
	I	II	III				
DM (g/kg DM)	352.4	377.1	375.1	368.2	15.5 ^{NS}	0.639	
OM (g/kg DM)	888.2	893.3	882.8	888.1	0.5 ^{NS}	0.003	
CP (g/kg DM)	187.3	194.3	187.4	189.6	4.9 ^{NS}	0.676	
NDF (g/kg DM)	577.9	533.7	551.1	554.2	9.7 ^{NS}	0.164	
ADF (g/kg DM)	247.7	235.1	245.2	242.7	3.3 ^{NS}	0.215	
IVDMD (g/kg DM)	746.4	790 ^b	791.5 ^a	775.9	5.9 [*]	0.035	
ME (MJ/kg DM)	11.1 ^b	11.9 ^a	11.9 ^a	11.6	0.1 [*]	0.034	

	PS					
DM (g/kg DM)	796.1 ^a	562.5 ^c	604.3 ^b	654.3	0.6 [*]	0
OM (g/kg DM)	891.8	888.9	884.2	888.3	1.2 ^{NS}	0.078
CP (g/kg DM)	77.1	73.5	84.0	78.2	4 ^{NS}	0.418
NDF (g/kg DM)	664.8 ^a	665.1 ^a	634.5 ^b	654.8	1.01 [*]	0.001
ADF (g/kg DM)	312.6	327.8	322.9	321.1	2.5 ^{NS}	0.079
IVDMD (g/kg DM)	621.2	675.9	683.1	660.0	12.5 ^{NS}	0.114
ME (g/kg DM)	9.0	9.9	10.1	9.6	0.22 ^{NS}	0.112

KY= Kikuyu grass grazed pasture; **PS**= Cut pasture; **DM**= Dry matter; **OM**= Organic matter; **CP**= Crude protein; **NDF**= Neutral Detergent Fibre; **ADF**= Acid Detergent Fibre; **IVDMD**= In vitro dry matter digestibility; **ME**= Metabolizable energy; **NS**= P>0.05, *= P<0.05, ^{abc}.

Table 4 . Animal variables

Variable	Treatment				Mean	SEM	P Tx	P EP		
	Period									
	TRT+RYE	TRT+BLY	RYE+BLY	III						
Milk yield 3.5% fat corrected (kg/cow/day)	14.5	13.1	13.6	14.2	13.1	13.8	13.7	0.78 ^{NS}	0.122	0.24
Milk fat (g/kg)	48.0	40.0	44.0	45.7	39.3	46.8	43.9	3.68 ^{NS}	0.059	0.053
Protein (g/kg)	27.2	29.1	27.1	29.4 ^b	31.1 ^a	22.9 ^c	27.8	1.19 [*]	0.101	0.05
MUN (mg/dL)	16.5	15.6	15.3	17.8 ^a	15.9 ^b	13.6 ^c	15.8	1.81 [*]	0.691	0.042
LW (kg)	462.2	452.7	469.8	458.8	461.3	464.6	461.6	10.2 ^{NS}	0.156	0.791
RTF kg/day)	2.2	1.9	2.1	2.8 ^a	2.3 ^b	1.1 ^c	2.1	0.47 [*]	0.728	0.002

BCS (1-5)

2.3

2.2

2.2

2.2

2.3

2.3

2.3

0.08^{NS}

0.272

0.242

MUN= Milk urea nitrogen; **LW**= Live weight; **RTF**= Refusals of urea treated forages; **BCS**= Body condition score; **TRT**= Triticale; **BLY**= Barley; **RYE**= Rye; **SEM**= Standard Error of the Mean; **P Tx**= P value for Treatments; **P EP**= P value for Experimental Periods; **NS**= P>0.05; * = P<0.05; ^{a,b}.

8.2. Consideraciones generales

Participar en el desarrollo de los proyectos experimentales del Equipo de Investigación en Sistemas de Producción de Leche a Pequeña Escala me permitió fortalecer mis capacidades de entender que la revisión de literatura, bases metodológicas y las referencias bibliográficas son la base de cualquier investigación, pero también el conocer que los datos recabados requieren experiencia y minuciosidad para redactar conclusiones certeras.

El continuo aprendizaje me generó en ocasiones más cuestionamientos que respuestas y me motivó a explorar otras temas de interés; por ejemplo saber de la gran variedad forrajes utilizados alrededor del mundo y como cada uno se adapta a diferentes condiciones climáticas y al reportarlo como publicación puede ser replicado en otra parte del mundo, al igual que los procesos de conservación varían dependiendo de la región o forraje cosechado.

De igual manera tener claro que existen factores que si están dentro del control humano y factores independientes que pueden ser aprovechados, refiriéndome específicamente a los factores climáticos que afectaron mi estudio en cierto punto pero que pudimos aprovecharlos convenientemente.

También me impactó la forma en que si se realiza una investigación con un enfoque diferente pueden resultar datos similares o completamente diferentes que de igual manera pueden ser aprovechados y generar nuevas ideas o incertidumbres que descubrir.

Por ello, agradezco que los constantes Seminarios impartidos por la comunidad científica del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales y otras Asociaciones no se limitan y abren sus puertas a todo público sin importar el gremio y que puede ayudar desde aprender sobre un nuevo tema hasta generar una nueva idea o combinación de campos.

IX. CONCLUSIONES

La búsqueda de nuevas estrategias de alimentación permite la continuidad de los sistemas de producción de leche a pequeña escala, ya que los costos por alimentación llegan a representar del 50 hasta el 70% de los gastos totales de producción. Por ello, los cereales de grano pequeño son una gran opción para diversificar y flexibilizarla alimentación, por su corto ciclo agronómico porque son ampliamente adaptables a diversos suelos y condiciones agroclimáticas.

Una opción para su utilización en la época seca como forraje de rescate cuando tienen una madurez avanzada y no es posible su utilización en pastoreo o como ensilado es el tratamiento con urea, para mejorar su calidad nutritiva y lograr un uso óptimo de los recursos forrajeros de las unidades de producción, tanto a nivel nutricional como económico.

Esta tecnología puede adaptarse a las condiciones de los sistemas de producción de leche a pequeña escala, ya que su mejor beneficio es la ampliación de la ventana de cosecha y la posibilidad de utilizar cultivos de madurez muy avanzada.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño productivo de vacas lecheras respecto al consumo de forraje tratado con urea de tres cultivos multi-especie de tres cereales de grano pequeño en avanzado estado de madurez; triticale (X. Triticosecale Wittmack), centeno (Secale cereale) y cebada (Hordeum vulgare); como estrategia de alimentación para sistemas de producción de leche a pequeña escala.

El valor nutritivo de los forrajes tratados se incrementó con respecto a los valores pre-experimentales, especialmente los que contenían Triticale.

Los resultados de producción animal indicaron que las vacas mantuvieron el mismo rendimiento moderados de leche con los tratamientos de forrajes multi-especie de cereales de grano pequeño tratados con urea en época de secas con una composición química dentro de las normas mexicanas.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arriaga-Jordán, C. M., Albarrán-Portillo, B., Espinoza-Ortega, A., García-Martínez, A., y Castelán-Ortega, O. A. (2002). On-farm comparison of feeding strategies based on forages for small-scale dairy production systems in the highlands of central México. *Experimental Agriculture*, 38(4), 375-388. <https://doi.org/10.1017/S0014479702000418>
- Agriculture and Food Research Council (AFRC). (1996). Necesidades energéticas y proteicas de los rumiantes. Acribia, ESP.
- Angulo, I., y Ortiz, M. A. (2020). Mejoramiento genético de plantas autógamias y alógamas. Monografía de Licenciatura, Universidad Nacional de Colombia.
- Agriculture Research Council (ARC). (1980). The ruminant requirements of ruminant livestock. Technical review by Agricultural Research Council Working Party, Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, UK.
- Baron, V. S., Juskiw, P. E., y Aljarrah, M. (2015). Triticale as a Forage. En F. Eudes (Ed.), *Triticale* (pp. 189-212). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7_10
- Bellingeri, A., Cabrera, V., Gallo, A., Liang, D., y Masoero, F. (2019). A survey of dairy cattle management, crop planning, and forages cost of production in Northern Italy. *Italian Journal of Animal Science*, 18(1), 786-798. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1580153>
- Burbano-Muñoz, V. A., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Sainz-Sánchez, P. A., y Arriaga-Jordán, C. M. (2018). Oat silage for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *African Journal of Range and Forage Science*, 35(1), 63-70. <https://doi.org/10.2989/10220119.2018.1473493>
- Camacho-Vera, J. H., Cervantes-Escoto, F., Palacios-Rangél, M. I., Rosales-Noriega, F. y Vargas-Canales, J. M. (2017). Factores determinantes del rendimiento en

- unidades de producción de lechería familiar. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 23. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4313>
- Cámara Nacional de Industriales de la Leche (CANILEC). (2021). Estadísticas del Sector Lácteo 2010-2020. Accesado el 20 de mayo del 2021 en: <https://www.canilec.org.mx/estadisticas-2/>
- Castejon, M., y Leaver, J. D. (1994). Intake and digestibility of urea-treated whole crop wheat and liveweight gain by dairy heifers. *Animal Feed Science and Technology*, 46(1-2), 119-130. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90070-1](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90070-1)
- Castro, N., Rufach, H., Capellino, F., Domínguez, R. y Paccapelo, H. (2011). Evaluación del rendimiento de forraje y grano de triticales y tricepiros. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 37(3), 281-289. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86421245014>
- Celis-Álvarez, M. D., López-González, F., Estrada-Flores, J. G., Domínguez-Vara, I. A., Heredia-Nava, D., Munguía-Contreras, A., y Arriaga-Jordán, C. M. (2017). In vitro nutritional evaluation of small-grain cereal forage for small-scale dairy systems., 20: 439-446.
- Celis-Álvarez, M. D., Arriaga-Jordán, C. M., González-Ronquillo, M., Sainz-Ramírez, A., Flores-Calvete, G. y López-Gonzalez, F. (2021). Milk production and nitrogen excretion by dairy cows in late lactation fed cut pastures of different ryegrass – clover species in small-scale dairy systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24 (86): 1-10.
- Chenost, M. (1996). Optimizing the use of poor-quality roughages through treatments and supplementation in warm climate countries with particular emphasis on urea treatment. *Tropical Feeds and Feeding Systems*, 71-92.
- Church, D. C. (1988). *The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition*. 2 ed., Prentice-Hall, USA.

- Coblentz, W. K., Akins, M. S., Kalscheur, K. F., Brink, G. E., y Cavadini, J. S. (2018). Effects of growth stage and growing degree day accumulations on triticale forages: 1. Dry matter yield, nutritive value, and in vitro dry matter disappearance. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 8965-8985. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14868>
- Conroy, C. (2005). *Participatory Livestock Research: A Guide*. ITDG Publishing, UK. <https://doi.org/10.3362/9781780440316>
- Cortiana, A. A., Regiani, M., Cardoso, G., Carvalho, J. L., Henz, É. L., y Velho, J. P. (2017). Production and chemical composition of grasses and legumes cultivated in pure form, mixed or in consortium. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(3): 235-241. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i3.34661>
- Cox, E. (2011). *Improving Forages for Dairy Cows*. Dairy Farm Production, Nuffield Australia, AUS.
- De Ruiter, J. M., Hanson, R., Hay, A. S., Armstrong, K. W., y Harrison-Kirk, R. D. (2002). Whole-crop cereals for grazing and silage: Balancing quality and quantity. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 64: 181-189. <https://doi.org/10.33584/jnztg.2002.64.2456>
- Deschard, G., Tetlow, R. M. y Mason, V. C. (1987). Treatment of whole-crop cereals with alkali. 3. Voluntary intake and digestibility studies in sheep given immature wheat ensiled with sodium hydroxide, urea or ammonia. *Animal Feed Science and Technology*, 18(4), 283-293. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(87\)90036-8](https://doi.org/10.1016/0377-8401(87)90036-8)
- Deschard, G., Mason, V. C. y Tetlow, R. M. (1988). Treatment of whole-crop cereals with alkali. 4. Voluntary intake and growth in steers given wheat ensiled with sodium hydroxide, urea or ammonia. *Animal Feed Science and Technology*, 19, 55-66. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(88\)90054-5](https://doi.org/10.1016/0377-8401(88)90054-5)
- Elgersma, A. (2015). Grazing increases the unsaturated fatty acid concentration of milk from grass-fed cows: A review of the contributing factors, challenges and future perspectives: Effect of grazing on milk fatty acid composition. *European Journal*

of Lipid Science and Technology, 117(9), 1345-1369.
<https://doi.org/10.1002/ejlt.201400469>

Ergon, Å., Kirwan, L., Bleken, M. A., Skjelvåg, A. O., Collins, R. P. y Rognli, O. A. (2016). Species interactions in a grassland mixture under low nitrogen fertilization and two cutting frequencies: 1. dry-matter yield and dynamics of species composition. *Grass and Forage Science*, 71(4), 667-682. <https://doi.org/10.1111/gfs.12250>

Engormix (2022). Centeno (Secale cereale L. M.Bieb.): Manual de cultivos suplementarios. Capítulo 5. Accesado el 6 de septiembre del 2022 en: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/centeno-secale-cereale-bieb-t48860.htm>.

Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda- Martínez, T. y Arriaga-Jordán, C. M. (2007). Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: Technical, economic, and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture*, 43(2): 241–256. <https://doi.org/10.1017/S0014479706004613>

Fadul-Pacheco, L., Wattiaux, M. A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E., y Arriaga-Jordán, C. M. (2013). Evaluation of sustainability of small-scale dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37(8), 882-901. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.775990>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). Producción y productos lácteos: Composición de la leche. Accesado el 12 de marzo del 2021 en: <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) y Federación Panamericana de Lechería (FEPALE). (2012). Situación de la Lechería en América Latina y el Caribe en 2011: Informe por el Observatorio de la Cadena Láctea de América Latina y el Caribe. División de Producción y Sanidad Animal.

- 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 en Ciencias de la Producción y de la Salud animal, Universidad Autónoma del Estado de México.
- García-Martínez, A., Albarrán-Portillo, B., Castelán-Ortega, O. A., Espinoza-Ortega, A. y Arriaga-Jordán, C. M. (2009). Urea treated maize straw for small-scale dairy systems in the highlands of Central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 41(7): 1487-1494. <https://doi.org/10.1007/s11250-009-9337-4>
- Givens, D. I., Moss, A. R. y Adamson, A. H. (1993). The digestion and energy value of whole crop wheat treated with urea. *Animal Feed Science and Technology*, 43, 51-64. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(93\)90142-7](https://doi.org/10.1016/0377-8401(93)90142-7)
- Gómez-Miranda, A., Estrada-Flores, J. G., Morales-Almaraz, E., López-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. *Canadian Journal of Animal Science*, 100(2): 221-227. <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0237>
- Gómez-Miranda, A., López-González, F., Vieyra-Alberto, R. and Arriaga-Jordán, C.M., 2022. Grazed barley for dairy cows in small-scale systems in the highlands of Mexico, *Italian Journal of Animal Science*, 21 (1), 178 – 187. DOI: 10.1080/1828051X.2021.2022540.
- González-Alcántara, F. de J., Estrada-Flores, J. G., Morales-Almaraz, E., López-González, F., Gómez-Miranda, A., Vega-García, J. I. y 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. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02206-9>

- Guedes, C. M., Rodrigues, M. A. M., Ala, L. F., Ferreira, L. M., Silva, S. R. y Carnie, V. P. (2008). The effect of urea addition on the preservation of low dry matter oat-vetch silages. 20(8). <http://www.lrrd.org/lrrd20/8/gued20131.htm>
- Haque, M. E., Waddington, S. R., Sarker, Z. I., Sarker, N. R. y Akteruzzaman, M. (2008). Production and promotion of triticale as a high quality fodder and feed in small-scale dairy farmers of Bangladesh. *Progressive Agriculture*, 19(2): 217-228. <https://doi.org/10.3329/pa.v19i2.16964>
- Harker, K. N., O'Donovan, J. T., Blackshaw, R. E., Johnson, E. N., Holm, F. A. y Clayton, G. W. (2011). Environmental effects on the relative competitive ability of canola and small-grain cereals in a Direct-Seeded System. *Weed Science*, 59(3): 404-415. <https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00121.1>
- Harper, M. T., Oh, J., Giallongo, F., Roth, G. W. y Hristov, A. N. (2017). Inclusion of wheat and triticale silage in the diet of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(8): 6151-6163. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12553>
- Home n' dry. (2021). Alkalage. Accesado el 12 de noviembre del 2021 en: <https://www.homendry.com/alkalage>
- Hoogendoorn, C. J., Newton, P. C. D., Devantier, B. P., Rolle, B. A., Theobald, P. W. y Lloyd-West, C. M. (2016). Grazing intensity and micro-topographical effects on some nitrogen and carbon pools and fluxes in sheep-grazed hill country in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 217: 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.021>
- Horn, J. y Isselstein, J. (2022). How do we feed grazing livestock in the future? A case for knowledge-driven grazing systems. *Grass and Forage Science*, 77:153-166. <https://doi.org/10.1111/gfs.12577>
- Hristov, A. N., Degaetano, A. T., Rotz, C. A., Hoberg, E., Skinner, R. H., Felix, T., Li, H., Patterson, P. H., Roth, G., Hall, M., Ott, T. L., Baumgard, L. H., Staniar, W., Hulet, R. M., Dell, C. J., Brito, A. F. y Hollinger, D. Y. (2018). Climate change effects on

livestock in the Northeast US and strategies for adaptation. *Climatic Change*, 146: 33-45. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2023-z>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2009). *Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos*.

Jedel, P. E. y Salmon, D. F. (1995). Forage potential of spring and winter cereal mixtures in a short-season growing area. *Agronomy Journal*, 87(4), 731-736. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700040020x>

Juskiw, P. E., Salmon, D. F. y Helm, J. H. (1999). Annual forage production from spring-planted winter cereal monocrops and mixtures with spring barley. *Canadian Journal of Plant Science*, 79(4), 565-577. <https://doi.org/10.4141/P99-008>

Kiangi, E. M. I., Kategile, J. A., and Sundstøl, F. (1981). Different sources of ammonia for improving the nutritive value of low quality roughages. *Animal Feed Science and Technology*, 6(4): 377-386. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(81\)90016-X](https://doi.org/10.1016/0377-8401(81)90016-X)

Krieg, J. (2017). *Ruminal degradation characteristics of barley, rye, and triticale grains assayed in situ and in vitro, and by near-infrared spectroscopy*. University of Hohenheim, DEU.

Martínez-García, C. G., Rayas-Amor, A. A., Anaya-Ortega, J. P., Martínez-Castañeda, F. E., Espinoza-Ortega, A., Prospero-Bernal, F. y Arriaga-Jordán, C. M. (2015). Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production*, 47(2): 331-337. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0724-0>

McCarthy, K. M., McAloon, C. G., Lynch, M. B., Pierce, K. M. y Mulligan, F. J. (2020). Herb species inclusion in grazing swards for dairy cows—A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 103(2): 1416-1430. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17078>

- Mellado Z., M., Matus T., I. y Madariaga B., R. (2008). Antecedentes sobre el triticale en Chile y otros países. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CHL. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7244>
- Mendoza-Elos, M., Cortez-Baheza, E., Rivera-Reyes, J. E., Rangel-Lucio, J. A., Andrión-Enríquez, E. y Cervantes-Ortiz, F. (2011). Época y densidad de siembra en la producción y calidad de semilla de triticale (X Triticosecale Wittmack). *Agronomía Mesoamericana*, 22(2): 309-316.
- Muciño-Álvarez, M., Albarrán-Portillo, B., López-González, F. y 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(1): 113. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02564-y>
- Newton, A. C., Flavell, A. J., George, T. S., Leat, P., Mullholland, B., Ramsay, L., Revoredo-Giha, C., Russell, J., Steffenson, B. J., Swanston, J. S., Thomas, W. T. B., Waugh, R., White, P. J. y Bingham, I. J. (2011). Crops that feed the world 4. Barley: A resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. *Food Security*, 3(2): 141-178. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0126-3>
- Nikkhah, A. (2012). Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 3(1): 22. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-3-22>
- Ørskov, E. R., Reid, G. W., Holland, S. M., Tait, C. A. G. y Lee, N. H. (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(4): 247-257. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(83\)90046-9](https://doi.org/10.1016/0377-8401(83)90046-9)
- Palmquist, D. L. y Jenkins, T. C. (2003). Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*, 81: 3250-3254. <https://doi.org/10.2527/2003.81123250x>
- Payne, T. S., Amri, A., Humeid, B. y Rukhkyan, N. (2008). Regeneration Guidelines: Small-grain cereals. Global Crop Diversity Trust.

- Pedro-Huaman, J. J., Blas-Cerdán, W. G., Reyes-Pita, D. B., Rodríguez-Luján, L. F., Rosales-Rodríguez, S. F., Ruíz-Ángeles, J., Salas-Pizarro, F. M., Sánchez-Llatas, M. N., Vásquez-Regalado, L. S., Varas-Rodríguez, J., Ventura-Aguilar, E. E., Villena-Ulloa, W. E. y Yabar-Rosales, Y. I. (2021). Mejoramiento Genético en plantas autógamas. *Revista de Investigación Científica (REIBOL)*, 41 (1): 136 - 153. <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2021.41.01.14>
- Pérez-Ramírez, E., Peyraud, J. L. y 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. <https://doi.org/10.1017/S1751731111001480>
- Plata-Reyes, D. A., Morales-Almaraz, E., Martínez-García, C. G., Flores-Calvete, J. G., López-González, F., Prospero-Bernal, F., Valdez-Ruiz, C. L., Zamora-Juárez, Y. G. y Arriaga-Jordán, C. M. (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: 1797-1805. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1621-8>
- Prospero-Bernal, F., Martínez-García, C. G., Olea-Pérez, R., López-González, F. y Arriaga-Jordán, C. M. (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. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2>
- Real Academia Española (RAE) (2022). Accedido el 6 de septiembre del 2022. <https://dle.rae.es/anem%C3%B3filo>.
- Robles-Jimenez, L.E., Morales-Osorio, A., Gutierrez-Martinez, M.G., Osorio-Avalos, J., Castelan-Ortega, O.A. y Gonzalez-Ronquillo, M. . (2018). Forage yield, chemical composition, and in vitro gas production of triticale varieties (X Triticosecale Wittmack) preserved by silage or hay. *Acta Agronómica*, 67(3), 431-437. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.68127>

- Russell, J. B., and Wilson, D. B. (1996). Why Are Ruminant Cellulolytic Bacteria Unable to Digest Cellulose at Low pH? *Journal of Dairy Science*, 79(8): 1503-1509. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76510-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76510-4)
- Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M. B., and Hashemi, M. (2013). Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. *Field Crops Research*, 148, 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021>
- Saadullah, M., Haque, M. y Dolberg, F. (1981). Effectiveness of ammonification through urea in improving the feeding value of rice straw in ruminants. *Tropical Animal and Production*, 6(1): 30-36.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2014). Ficha técnica: Sistema de producción de leche en granjas bovinas familiares. Accesado el 12 de marzo del 2021 en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/15525183/sistema-de-produccion-de-leche-en-granjas-bovinas-sagarpa>
- Salcedo, G., Villar, A., Mier, M. y Doltra, J. (2018). Efecto de la combinación de triticale con trébol encarnado sobre la producción y composición de la leche de vacas en pastoreo. *Información Técnica Económica Agraria (ITEA)*, 114(1): 33-44. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.003>
- Salgado, P., Thang, V. Q., Thu, T. V., Trach, N. X., Cuong, V. C., Lecomte, P. y Richard, D. (2013). Oats (*Avena strigosa*) as winter forage for dairy cows in Vietnam: An on-farm study. *Tropical Animal Health and Production*, 45(2), 561-568. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0260-8>
- Sánchez-Gutiérrez, R.A., Gutiérrez-Bañuelos, H., Serna-Pérez, A., Gutiérrez-Luna, R. y Espinoza-Canales, A. (2014). Producción y calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(2): 131-142. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v5i2.3220>

- Tetlow, R. M. y 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(4): 257-269. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(87\)90034-4](https://doi.org/10.1016/0377-8401(87)90034-4)
- Teuber, N., Navarro, H., Goic, L. y Angulo, L. (2002). Informativo No. 36: La cebada, una interesante alternativa forrajera. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/4020>
- Thornton, P. K., van de Steeg, J., Notenbaert, A. y Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 101(3): 113-127. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.05.002>
- Tilley, J. M. y Terry, R. A. (1963). A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*, 18:104-111.
- Timm, L. C., Haygert-Velho, I. M. P., Bolke, D. R., Antunes, G. V., Alessio, D. R. M., and Velho, J. P. (2019). Ryegrass (*Lolium multiflorum*) BRS Ponteio and wheat (*Triticum aestivum*) BRS Tarumã pasture with different doses of ammonium sulfate as topdressing. *Acta Scientiarum, Animal Sciences*, 41(1): 44026. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.44026>
- Vallejo, F. y Estrada, E. (2016). *Mejoramiento Genético de Plantas: Segunda Edición*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Van Soest, P. J., Sniffen, C. J., Mertens, D. R., Fox, D. G., Robinson, P. H. y Krishnamoorthy, U. (1982). Meeting protein requirements of cattle. In: *Requirements protein for cattle*. Owens. Oklahoma State University, 280-295.
- Vega-García, J.I., López-González, F., Estrada-Flores, J.G., Flores-Calvete, G., Prospero-Bernal, F. and Arriaga-Jordán, C.M. (2020). Black oat (*Avena strigosa* 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. and 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>

Vieyra-Alberto, R., Domínguez-Vara, I. A., Castro-Hernández, H., Arriaga-Jordán, C. M. y Morales-Almaráz, E. (2018). Pasture access times and milk fatty acid profile of dairy cows from central highland of Mexico. *Journal of Livestock Science*, 9: 1-8.

Weinberg, Z. G., Ashbell, G., Hen, Y. y Harduf, Z. (1991). Ensiling whole wheat for ruminant feeding at differing stages of maturity. *Animal Feed Science and Technology*. 32: 313-320.

Zamora Villa, V. M., Colín Rico, M., Torres Tapia, M. A., Rodríguez García, A. y Jaramillo Sánchez, M. A. Producción y valor nutritivo en fracciones de forraje de trigos imberbes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2): 291-300.

XI. ANEXOS

Cuadro 5. Datos pre-experimentales de las vacas usadas en el experimento

Vaca	RL	# Partos	DEL	Gestante	CC (1-5)	PV (kg)
1	14.25	2	180	SI	2.75	507
2	11.2	5	250	SI	2	408.5
3	18.1	5	90	SI	2	466
4	11.4	2	60	NO	2.5	463
5	10.75	3	90	NO	2	449.5
6	9.55	3	150	SI	2	503
7	10.325	1	180	SI	2	427.5
8	10.2	5	180	SI	2	448.5
9	15.6	1	250	NO	2.75	421.5

RL= Rendimiento de Leche; **# Partos** = Número de partos; **DEL** = Días en leche;
CC= Condición corporal; **PV**= Peso Vivo.

Cuadro 6. Resultados pre-experimentales de producción animal

Variable	Vaca									Media	EEM	P
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
RL	14.3 ^c	11.2 ^d	18.1 ^a	11.4 ^d	10.8 ^e	9.6 ^f	10.4 ^e	10.2 ^e	15.6 ^b	12.4	1.4	0.000*
PV	507 ^a	409 ^f	466 ^b	463 ^b	450 ^c	503 ^a	428 ^d	449 ^c	422 ^e	455.2	16.1	0.000*
CC	2.75 ^a	2.00 ^c	2.00 ^c	2.50 ^b	2.00 ^c	2.00 ^c	2.00 ^c	2.00 ^c	2.75 ^a	2.2	0.2	0.000*

RL= Rendimiento de leche; **PV**= Peso vivo; **CC**= Condición corporal; **EEM**= Error Estándar de la Media; **P**= Valor de P; **NS**= P>0.05, No Significativo; *****= Significativo.

Cuadro 7. Resultados pre-experimentales de composición química de los cultivos (g/kg MS)

Variable	Tratamiento			Media	EEM	P
	TRCN	CBCN	TRCB			
MS	29.7 ^a	30.4 ^a	27.2 ^b	29.1	1.6	0.033*
MO	940.4	940.2	931.2	937.3	5.3	0.384 ^{NS}
PC	63.6	55.7	58.6	59.3	4.0	0.693 ^{NS}
FDN	692.9 ^a	698.7 ^a	659.5 ^b	683.7	21.2	0.011*
FDA	450.6 ^a	441.6 ^a	391.4 ^b	427.9	31.9	0.015*
DIVMS	462.7	540.8	574.9	526.1	57.5	0.132 ^{NS}
EM	6.3	7.6	8.2	7.4	1.0	0.135 ^{NS}

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=** Error Estándar de la Media; **P=** Valor de P; **NS=** P>0.05, No Significativo; *= P<0.05, ^{abc}, Significativo.

Cuadro 8. Rendimiento de forraje pre-cosecha y concentración de urea por tratamiento

Tratamiento	Rendimiento (kg MS/ha)	Remolque/Bulto (50 kg)	Urea (%)
TRT+RYE	2839.0	3.0	5.28%
TRT+BLY	3033.2	3.0	4.95%
RYE+BLY	4416.3	4.0	4.53%

TRT= Triticale; **BLY=** Cebada; **RYE=** Centeno.

Cuadro 9. Composición botánica (%) pre-cosecha de los tratamientos

Tratamiento	Componentes					
	Cereales	Pastos	Arvenses	ETRT	ERYE	EBLY
TRT+RYE	25.7	14.8	15.9	19.6	24.0	0.0
TRT+BLY	28.0	15.5	19.6	0.0	24.3	12.6
RYE+BLY	25.2	18.6	16.9	26.5	0.0	12.7

ETRT= Espigas de triticale; EBLY= Espigas de cebada; ERYE= Espigas de centeno.

Cuadro 10. Altura (cm) de cereales pre-cosecha por tratamientos

Tratamiento	Cereales		
	BLY	RYE	TRT
TRT+RYE	0.0	112.3	50.0
TRT+BLY	42.4	0.0	74.8
RYE+BLY	56.7	113.8	0.0

TRT= Triticale; BLY= Cebada; RYE= Centeno.

Cuadro 11. Acumulación neta de forraje (ANF) y alturas de las praderas

PE	Altura (cm)	ANF (Kg MS/ha)	ANF (Kg MS/ha/día)
I	3.5	304.8	21.8
II	3	482.5	34.5
III	2.8	992.2	70.9

PE= Periodo experimental; ANF= Acumulación neta de forraje; ANF/día =

Acumulación Neta de Forraje por día.

Cuadro 12. Pastoreo simulado de pradera de kikuyo y trébol blanco

PE	PS (g/kg MS)	PS (% MS)
Pxp	6.7	36.2
I	8.0	39.3
II	14.3	31.1
III	3.5	7.9

Pxp= Periodo pre-experimental; **PS**= Pastoreo simulado.

Cuadro 13. Composición botánica (%) de la pradera de kikuyo y trébol blanco

PE	Componentes		
	Pastos	TB	Arvenses
Pxp	60.7	27.9	11.4
I	72.5	23.7	3.8
II	77.3	17.4	5.3
III	66.4	24.6	9.0

PE= Periodo experimental; **Pxp**= Periodo pre-experimental; **TB**= Trébol blanco.