



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

**EVALUACIÓN DE CENTENO, TRIGO Y TRITICALE COMO
ALTERNATIVA FORRAJERA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE
LECHE EN PEQUEÑA ESCALA**

T E S I S

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

P R E S E N T A:

JESÚS ISRAEL VEGA GARCÍA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Octubre de 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

**EVALUACIÓN DE CENTENO, TRIGO Y TRITICALE COMO
ALTERNATIVA FORRAJERA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE
LECHE EN PEQUEÑA ESCALA**

T E S I S

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

P R E S E N T A:

JESÚS ISRAEL VEGA GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Felipe López González

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán

TUTOR DE TESIS:

Dr. Ernesto Morales Almaraz

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Octubre 2022

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar como alternativa forrajera en sistemas de producción de leche en pequeña escala tres cereales de grano pequeño en dos experimentos: centeno (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.). En el Experimento 1, se evaluaron los siguientes tratamientos: pastoreo continuo de cultivo de centeno (RYE), trigo (WHT) o triticale (TRT) durante 6 h d⁻¹ (9:00 a 15:00 h); además cada vaca recibió al día 4.5 kg MS de concentrado comercial. En el Experimento 2 los tratamientos fueron la inclusión de 10 kg de MS vaca⁻¹ d⁻¹ ensilaje de centeno (RYE) o ensilaje de triticale (TRT); las vacas tuvieron acceso durante 8 h d⁻¹ (09:00 a 17:00 h) a una pradera de pasto Kikuyo y fueron suplementadas con 3.6 kg MS vaca⁻¹ d⁻¹ concentrado comercial; cabe señalar que este ensilado fue producto del rebrote de los cultivos que se utilizaron en el Experimento 1 y que fue cortado para ensilar después de concluido. Tanto en el Experimento 1 como en el Experimento 2, no se detectaron diferencias significativas (P>0.05) para las variables de rendimiento animal evaluadas entre tratamientos (rendimiento y composición química de la leche), tampoco hubo diferencias en el peso vivo ni en la puntuación de condición corporal, aunque estos valores son solo indicativos dada la corta duración de los períodos experimentales. Debido a que no hubo diferencias en las variables animales del Experimento 1, los tres cereales son opciones viables para el pastoreo en estos sistemas por sus altos rendimientos de materia seca, con contenido adecuado de proteína y digestibilidad media para sostener los rendimientos y la rentabilidad de la leche en vacas lecheras con rendimientos bajos a moderados. En cuanto al Experimento 2, el rendimiento de ensilaje de los cultivos de triticale y centeno después del pastoreo fue alto, lo que demuestra que es factible utilizar estos cereales de grano pequeño desde un enfoque de doble propósito. Los productores lecheros de pequeña escala pueden incluir ensilaje de centeno o triticale en sus estrategias de alimentación en la estación seca. Se concluye que tanto el centeno como el triticale son buenas alternativas como cultivos forrajeros de doble propósito para pastoreo seguido de ensilado en sistemas lecheros de pequeña escala para alimentar el hato lechero.

Palabras clave: estación seca, forrajes alternativos, lechería familiar, pastoreo, rebrote, ensilado.

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate as a forage alternative in small-scale milk production systems three small grain cereals in two experiments: rye (*Secale cereale* L.), wheat (*Triticum aestivum*), and triticale (*X Triticosecale* Wittm.). In Experiment 1, the following treatments were evaluated: continuous grazing of rye (RYE), wheat (WHT) or triticale (TRT) crops for 6 h d⁻¹ (9:00 to 15:00 h); in addition, each cow received 4.5 kg DM of commercial concentrate per day. In Experiment 2, the treatments were the inclusion of 10 kg of DM cow⁻¹ d⁻¹ rye silage (RYE) or triticale silage (TRT); the cows had access for 8 h d⁻¹ (09:00 to 17:00 h) to a Kikuyu grass meadow and were supplemented with 3.6 kg DM cow⁻¹ d⁻¹ commercial concentrate; it should be noted that this silage was the product of the regrowth of the crops that were used in Experiment 1 and that it was cut for silage after concluding it. Both in Experiment 1 and Experiment 2, no significant differences (P>0.05) were detected for the animal performance variables evaluated between treatments (yield and chemical composition of milk), nor were there differences in live weight or in the body condition score, although these values are only indicative given the short duration of the experimental periods. Since there were no differences in the animal variables of Experiment 1, the three cereals are proposed as viable options for grazing in these production systems due to their high yields of dry matter, with adequate protein content and medium digestibility to sustain yields and the profitability of milk in low-yielding dairy cows in mid-lactation. As for Experiment 2, the silage yield of triticale and rye crops after grazing was high, showing that it is feasible to use these small grain cereals from a dual-purpose approach. Small-scale dairy farmers can include rye or triticale silage in their dry season feeding strategies. It is concluded that both rye and triticale are good alternatives as dual-purpose forage crops for grazing followed by silage in small-scale dairy systems to feed the dairy herd.

Keywords: dry season, alternative forages, family dairy, grazing, regrowth, silage.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala.....	4
2.2. Forrajes.....	5
2.2.1. Crecimiento	5
2.2.2. Forraje como alimento animal.....	8
2.2.3. Utilización de forrajes de doble propósito.....	9
2.3. Pastoreo	11
2.4. Ensilado.....	11
2.4.1. Proceso.....	12
2.4.2. Factores que influyen en la calidad	13
2.5. Cereales.....	15
2.5.1. Centeno (<i>Secale cereale</i> L.)	16
2.5.2. Trigo (<i>Triticum</i> spp.).....	20
2.5.3. Triticale (<i>X Triticosecale</i> Wittm.)	26
III. JUSTIFICACIÓN	31
IV. HIPÓTESIS	33
4.1. Hipótesis general.....	33
4.2. Hipótesis específicas	33
V. OBJETIVOS	34
5.1. Objetivo general.....	34
5.2. Objetivos específicos.....	34
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	35
6.1. Localización del sitio experimental.....	35
6.2. Productor participante	35
6.3. Establecimiento de los cultivos	37
6.4. Variables a medir del forraje.....	39
6.4.1. Altura.....	39

6.4.2. Masa herbácea	40
6.4.3. Acumulación neta de forraje	40
6.4.4. Composición química	40
6.4.5. Digestibilidad in vitro de la materia seca y valor energético	41
6.5. Evaluación de variables de las vacas.....	41
6.5.1. Rendimiento de leche	41
6.5.2. Peso vivo	42
6.5.3. Condición corporal	42
6.5.4. Composición físicoquímica de la leche	42
6.5.5. Consumo voluntario	43
6.6. Diseño experimental y análisis estadístico.....	43
6.6.1. Experimento 1: evaluación de pastoreo de tres cereales de grano pequeño como alternativa de alimentación.....	43
6.6.2. Experimento 2: evaluación de ensilado de dos cereales de grano pequeño como suplemento alimenticio.....	46
6.7. Análisis económico	48
VII. RESULTADOS.....	49
7.1. Artículo publicado.....	49
7.2. Artículo aceptado para su publicación	61
VIII. CONCLUSIONES GENERALES.....	66
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
X. ANEXOS	79
10.1. Aprobación por parte del Comité de Bioética de Investigación PCARN	79
10.2. Datos pre-experimentales de las vacas	80
10.2.1. Datos pre-experimentales de las vacas del Experimento 1	80
10.2.2. Datos pre-experimentales de las vacas del Experimento 2	81

LISTA DE CUADROS, FIGURAS E IMÁGENES

CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del centeno.....	17
Cuadro 2. Clasificación taxonómica del trigo.....	23
Cuadro 3. Clasificación taxonómica del triticale.....	26

FIGURAS

Figura 1. Comparación de rendimiento de grano (Grain), materia seca (DM) y margen bruto (GM) para el pastoreo de cereales en Waikerie, 2008.....	10
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

IMÁGENES

Imagen 1. Ubicación de la unidad de producción donde se llevaron a cabo las evaluaciones.	36
Imagen 2. Localización de la superficie destinada para la siembra de trigo, centeno y triticale (color azul), con respecto a la unidad de producción (color amarillo).....	36
Imagen 3. Distribución de las superficies en las que se sembraron los cereales.	37
Imagen 4. Captura de pantalla del correo recibido por parte del editor de la revista, en la cual se aprecia que el artículo fue aceptado para ser publicado.....	62

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de leche en México se realiza en tres principales sistemas: intensivos o gran escala, tropicales y lechería en pequeña escala; en este último se encuentran los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala (SPLPE).

Los sistemas de familiares lecheros en pequeña escala, representan el 88.5 % de las unidades de producción en el país, contribuyen con el 37 % de la producción nacional de leche, cuentan con pequeñas superficies de tierra y ocupan mano de obra familiar (Fadul-Pacheco et al., 2013; Espinoza-Ortega et al., 2007; INEGI, 2014). En estos sistemas la venta de leche proporciona ingresos fundamentales para las familias por lo que representa una opción para proporcionar ingresos y empleo, y en última estancia, amortiguan la pobreza (Espinoza-Ortega et al., 2007; Martínez-García et al., 2015).

En el Estado de México, el modelo familiar o de traspatio de lechería se compone de ganaderías formadas hace aproximadamente 100 años; estas se complementan con la actividad agrícola para la producción de forrajes. En este modelo de producción el alimento para el ganado se basa en esquilmos agrícolas, maíz molido, concentrado y pastoreo natural (Martínez-Borrego, 2009). Son explotaciones que combinan los recursos provenientes de superficies de riego y de temporal, aprovechan cultivos de secano y de cosechas que son complementadas con concentrados locales (Martínez-García et al., 2015). Estos sistemas se desarrollan bajo condiciones agroecológicas muy diversas lo que lleva a diversificar las prácticas de su manejo; debido al acceso a riego en la época de estiaje, desde 1970 se introdujeron a estos sistemas praderas con *Lolium* spp., y *Trifolium* spp. La sustentabilidad

de estos sistemas se basa en el uso correcto de los recursos forrajeros producidos en la propia finca, aumentando la eficiencia de producción antes mencionada además de que las condiciones agroclimáticas ofrecen una diversidad local tanto para especies perenes como anuales (Prospero-Bernal et al., 2017).

El nivel de sustentabilidad en estos sistemas es alto, sin embargo, en los meses donde la temperatura baja considerablemente y principalmente por la falta de riego, el crecimiento del forraje disminuye o puede detenerse; aunado a esto, el futuro escenario para estos sistemas con baja disponibilidad de agua para riego, cambios en las épocas de lluvia y aumento en las temperaturas (Plata- Reyes et al., 2018), hacen necesario evaluar especies de forraje que puedan integrarse a estos sistemas y con estas condiciones.

La producción de forraje durante todo el año se considera la mejor manera de aumentar la eficiencia y rentabilidad de los sistemas de producción ya que la inclusión de estos forrajes a la dieta permitiría la producción de leche durante todo el año con el costo mínimo debido a que el desmedido uso de concentrado para mantener los rendimientos disminuiría; en este caso los cereales de grano pequeño representan una gran oportunidad (Lehmen et al., 2014). De acuerdo con Celis-Alvares et al. (2017) la incorporación de prácticas en la alimentación de los hatos que permitan hacer frente a los efectos del cambio climático se encaminan al desarrollo de cultivos con un ciclo de crecimiento corto adaptadas a menores precipitaciones pluviales y regímenes pluviales erráticos (Thornton et al., 2009).

Entre los cereales que se pueden conservar se encuentran los cereales de grano pequeño, que cuentan con cantidades altas de proteína y fibra digestible en etapa vegetativa; en cambio el maíz cuenta con un alto valor energético y es esta característica lo que le convierte en el

cereal que más se ensila. Dado que el trigo (*Triticum* spp.) es la planta más cultivada y que tiene un amplio rango de adaptación: crece y se desarrolla en ambientes muy diversos, y puede sembrarse tanto en invierno como en primavera (Soto et al., 2009), su estudio como alternativa se vuelve viable, aunque aún no se ha hecho en los sistemas a pequeña escala. Por su parte el centeno (*Secale cereale* L.), ya ha mostrado ser un cultivo de elección tanto para pastar como ensilar en invierno (Kilcher, 1982); y el triticale (*X Triticosecale* Wittm.) se encuentra en etapa de difusión; en México se presenta como alternativa de cultivo debido a su mayor tolerancia a bajas temperaturas, sequía, plagas y enfermedades, características dadas por el trigo y el centeno (Ballesteros et al., 2015).

De acuerdo con Mut et al. (2006) y Khan et al. (2015), existe gran variación en la composición de los forrajes debido a la especie y madurez, por lo que este trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar: trigo (*Triticum* spp.), centeno (*Secale cereale* L.) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.) como forrajes de doble propósito en diferentes manejos (fresco en pastoreo y conservado en ensilaje) como alternativa a la alimentación de vacas en sistemas de producción de leche en pequeña escala, en las condiciones del noroeste del Estado de México.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala

Estos sistemas se definen como unidades de producción con pequeñas superficies de tierra donde la venta de leche proporciona ingresos fundamentales para la familia, y que pueden complementarse o no con ingresos generados por otras actividades dentro o fuera de la unidad de producción; estos cuentan con un máximo de 35 vacas y un mínimo de 3, más sus reemplazos; utilizan mano de obra familiar y se encuentran integrados al mercado como proveedores (Espinoza-Ortega et al., 2007). Martínez-García et al. (2015) mencionan que estos sistemas a pequeña escala deberían tener prioridad por el orden público ya que cumplen diversas funciones para con la sociedad como proporcionar ingresos y empleo, amortiguan la pobreza y disminuyen la inseguridad en áreas rurales.

Un componente importante de la investigación en los SPLPE es el diseño y evaluación de estrategias de alimentación que lleven a su sustentabilidad; lo que ha llevado a estudiar cada una de las limitantes que impidan el desarrollo de los SPLPE. Prospero-Bernal et al. (2017), mencionan que para que toda actividad pueda ser sustentable debe de cumplir tres principios: ser ecológicamente sana, socialmente justa y económicamente viable; por esto se ha integrado la sustentabilidad como base de todo desarrollo y es por ello que todos los sistemas de producción actualmente giran en torno a estos mandatos.

En los SPLPE, los sistemas de cultivo tienen muchas características que contribuyen al desarrollo rural sustentable, aumentando el nivel nutricional, la productividad agrícola, mejora los sustentos de la población rural y contribuye al crecimiento de la economía mundial

y, por tanto, se consideran un importante elemento para reducir la pobreza y el hambre. Estos sistemas han tomado ventaja del capital humano proporcionado por la mano de obra familiar de una forma eficaz manejando intensivamente la agricultura a nivel de granja (Posadas-Domínguez et al., 2014). Aunque no es la única, la limitante más trascendental de estos sistemas es la escala económica de la sustentabilidad (Fadul-Pacheco et al., 2013); por los altos costos de producción y la baja eficiencia, y ya que el mayor costo en el funcionamiento de los SPLPE es el que representa la alimentación de los animales con un 55-70 % de los costos (Mwendia et al., 2017), se requiere administrar alimentos de buena calidad y con el menor costo posible.

2.2. Forrajes

De acuerdo con Haider (2018), el reino Vegetal, es muy diverso y muy importante para el hombre ya que los vegetales siempre han jugado un papel fundamental a lo largo de su historia, brindando alimentos, medicina e incluso cobijo (Chapman & Carter, 1980). Los animales consumen plantas porque no pueden obtener energía directamente del sol (las plantas toman dióxido de carbono de la atmósfera para la fotosíntesis) (Haider, 2018). Se le llama forraje a todo aquel producto de origen vegetal que tiene bajo peso por unidad de volumen (voluminoso), y que puede darse directamente al ganado o previamente conservado; aunque en el forraje puede haber órganos reproductivos, su presencia es mínima en la biomasa (Ferrer-Benemeli, 2016).

2.2.1. Crecimiento

Las plantas son multicelulares y altamente diferenciadas por lo que el conocimiento de su estructura es muy importante para el manejo de su cultivo. Se crecimiento vegetativo

(también conocido como retoño) comprende el periodo entre la siembra y la cosecha (cultivos anuales) o entre el comienzo del brote y cosecha (especies perennes) y consiste en el desarrollo de nuevos brotes a nivel suelo que se convertirán en nuevas plantas (Chamberlain & Wilkinson, 2002; CIREN, 1989). Sus partes vegetativas son:

- Raíces: el conjunto de estas se denomina sistema radicular; los tipos de raíz y forma de crecimiento varían con el tipo de cultivo. De acuerdo a la forma de distribución pueden ser pivotantes y fasciculadas. La raíz desempeña principalmente tres funciones: a) proporciona el punto de contacto de la planta con el suelo (absorbe agua, oxígeno y minerales), b) mediante su ramificación anclan la planta al suelo (si la planta está desarraigada, no hay suficiente absorción y en las cosechas resulta difícil la recolección) y c) funciona como almacén de carbohidratos en plantas bianuales o perennes.
- Tallos: parte aérea de las plantas que sirve como soporte y punto de despliegue de las hojas, permitiendo que estas obtengan luz para realizar la fotosíntesis, otra función es albergar el sistema vascular para que el agua circule a lo largo de la planta y los productos fotosintéticos se transporten a la raíz. Las ramas, hojas y flores se forman a partir de los nudos (zonas del tallo, más abultadas). El espacio entre dos nudos sucesivos recibe el nombre de “entrenudo”. Las gramíneas anuales tienen un número fijo de entrenudos.
- Yemas: agrupaciones de tejidos meristemáticos. De acuerdo a la posición en los tallos pueden ser: alternas (dan lugar a una hoja en cada nudo, cada yema está del lado opuesto al precedente), opuestas (en cada nudo hay dos yemas en los lados opuestos

del tallo) o verticiladas (más de dos yemas en cada nudo). Según su disposición en el tallo, las yemas pueden ser: terminales (en la cima del tallo), laterales (en las axilas, entre las hojas o ramas) o adventicias (ni terminales, ni laterales). Por último, se pueden clasificar según la estructura a que dan lugar, pueden ser: foliares, florales o mixtas.

- Hojas: son una de las partes más fundamentales de la planta ya que la fotosíntesis se lleva a cabo en las células de las hojas. Tienen una superficie plana relativamente grande que se llama limbo, y en la base de este se encuentra el peciolo (une al limbo con el tallo); este tipo de hoja es representativo de muchas plantas agrícolas no gramíneas (hojas pecioladas). En algunas especies la hoja se asienta directamente sobre el tallo y no hay peciolo (hojas sésiles).

Muchos de los principales cultivos alimenticios son gramíneas. Los tallos de estas plantas se denominan cañas. Las hojas se asientan en los nudos, y aunque no tienen peciolo, no se pueden denominar sésiles, y constan de limbo y vaina (adherida y rodea al tallo). En la unión del tallo y de la vaina se encuentran las aurículas (apéndices en forma de uña) y las lígulas (estructura membranosa que sobresale en el punto de unión). El crecimiento de los tallos de las gramíneas no es apical, sino que la producción de nuevas células es secuencial: comienza por el primer internudo, luego el segundo y así sucesivamente; este tipo de crecimiento se denomina crecimiento intercalar. Las yemas se forman en las axilas entre la hoja y el tallo. En los nudos más bajos, las yemas desarrollan nuevos tallos (retoños), en consecuencia, las gramíneas no tienen ramas (Chapman & Carter, 1980).

Cuando se alarga el tallo y se da un desarrollo de la cabeza floral, la planta entra en su crecimiento reproductivo, mismo que se asocia con escasa o nula formación de retoños (Chamberlain & Wilkinson, 2002).

2.2.2. Forraje como alimento animal

De acuerdo con Flores-Calvete et al. (2003), los forrajes constituyen la forma más barata para la alimentación de los rumiantes y el conocimiento de su composición es una condición necesaria para la utilización eficiente en la alimentación animal, preparando así dietas mejor equilibradas y poder obtener altos niveles de producción en el desempeño animal, sin olvidar los requerimientos del mercado y consumidores en general, orientados a la calidad del producto y preferencia hacia sistemas de producción no agresivos con el medio ambiente.

La mayoría de los forrajes tienen altos valores de fibra cruda (FC), más de 18% del total; el contenido proteico, mineral y vitamínico es variable entre especies, y de forma general, la calidad puede abarcar un rango amplio; una alta calidad se puede obtener de gramíneas y leguminosas jóvenes, y ensilados; en su contraparte se encuentran las pajas con un escaso valor nutricional (Parsi et al., 2001). Giraldo et al. (2007), mencionan que la calidad nutritiva de los forrajes se puede determinar por el nivel de consumo, la digestibilidad (de alta calidad cuando presenta valores aproximadamente entre los 700 g kg⁻¹ de digestibilidad *in vitro* de materia seca), el contenido de nutrientes y la eficiencia en que pueden ser metabolizados y utilizados por los animales durante el proceso digestivo.

El rendimiento y calidad del forraje se ven afectados por la etapa de crecimiento a la cosecha; el rendimiento es mayor cuando se extiende su crecimiento hasta una etapa de madurez de masa blanda (Khorasani et al., 1997), mientras que algunas características nutricionales como

contenido de proteína y digestibilidad disminuyen, dado que existe una relación entre su estructura morfológica y sus cualidades nutricionales (Mut et al., 2006).

2.2.3. Utilización de forrajes de doble propósito

Si bien, se ha mencionado que el pastoreo continuo de pastos disminuye los costos de producción (Muciño-Álvarez et al., 2021), debido a la estacionalidad en su producción, la adopción exclusiva de este manejo se vuelve inviable en algunas zonas. De acuerdo con Lapar & Ehui (2003), en los sistemas de producción, se atribuye el bajo desempeño animal a la baja disponibilidad de forraje, en especial en época de estiaje y por el sobre pastoreo cuando el área es limitada, por lo que destaca la necesidad de fuentes alternativas de alimentos que puedan contrarrestar este sobre pastoreo, además de generar un segundo beneficio.

Establecer un cultivo de doble propósito genera ventajas a los sistemas de producción ya que se aprovecha al máximo la precipitación pluvial, complementan la baja calidad de los forrajes naturales y los residuos de cultivos, mejoran la calidad de suelo y reducen su erosión, además se incrementan los ingresos del sistema, por lo que su adopción aumenta (Lapar & Ehui, 2003; GRDC, 2018).

En Filipinas se han utilizado especies de setos (*Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Setaria* spp., *Pennisetum purpureum* y *Vetiveria zizanioides*), por su valor como forraje para el ganado, además de sus funciones para reducir la erosión del suelo, disminuir la presencia de malezas en los sistemas de tierras altas (Lapar & Ehui, 2003). Por otra parte, debido a que las gramíneas pueden volver a crecer debido a su potencial de rebrote (Simon et al., 2021), los cereales de invierno manejados como cultivos de doble propósito, generalmente para

pastoreo y luego dejados para la cosecha de granos, disminuyen el sobre pastoreo que se produce en la época de secas y permiten que las praderas de pastos descansen y sean utilizados posteriormente (Ferrer-Benimeli, 2016; GRDC, 2018).

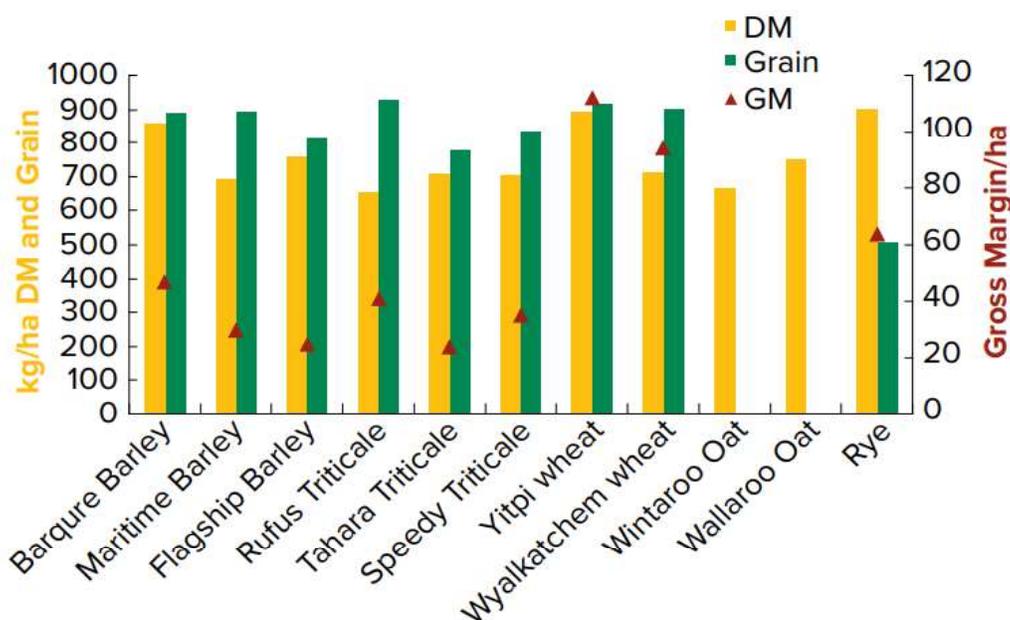


Figura 1: Comparación de rendimiento de grano (Grain), materia seca (DM) y margen bruto (GM) para el pastoreo de cereales en Waikerie, 2008 (Tomado de GRDC, 2018).

Hay informes de Canadá desde la década de 1980 cuando los cereales de invierno se pastaban en otoño o primavera y luego se dejaban crecer nuevamente para la producción de grano (Kilcher, 1982); estos también podrían usarse para el pastoreo del crecimiento primario y ensilar el nuevo crecimiento. Los ensilajes de cereales de grano pequeño son muy utilizados en sitios como Brasil y Europa (Horst et al., 2018), donde se ha propuesto su utilización en pastoreo antes del ensilado (Lehmen et al., 2014).

2.3. Pastoreo

De acuerdo con Gordon (2003), el consumo de alimento es de las principales actividades para los animales; la teoría evolutiva plantea que uno de los objetivos más importantes de estos es optimizar la ingesta de alimentos. Los bovinos comúnmente comen hierba directamente del suelo arrancándola con su lengua y este alimento es molturado entre sus molares antes de ser deglutido (Chamberlain & Wilkinson, 2002); en este tenor, Illius & Gordon (1987) describen al pastoreo como la sucesiva toma de hierba a nivel del suelo a través de mordiscos y señalan que la cantidad de esta hierba se verá influenciada por su altura y composición botánica. El forraje consumido en las praderas es el alimento más barato para las vacas lecheras, por lo que se requiere que su consumo sea alto; sin embargo, la producción de forraje para pastoreo está ligada a la superficie con que se cuenta. Chamberlain & Wilkinson (2002) mencionan que la clave del éxito del pastoreo consiste en controlar la disponibilidad de hierba, por lo que el sistema de producción debe ser flexible en la carga animal, dependiendo de la época del año; se debe tener claro que, si hay poco forraje en época de sequía, se limita el consumo, pero, aunque en época de lluvias el consumo aumenta, también existe pérdida de forraje.

2.4. Ensilado

La necesidad de mantener la producción estable de leche a lo largo del año provoca que sea esencial buscar alternativas para alimentar a los animales durante los períodos de escasez de forraje. Una alternativa es la conservación del forraje a través del ensilaje invernal (Lehmen et al., 2014). El ensilado es una técnica europea; el primer silo en América se construyó en Maryland, EEUU., en 1876 (Hughes et al., 1974). Representa la vía húmeda de conservación de forrajes verdes; este sistema permite mantener el valor nutritivo (similar al que tenía al

momento de recolección) sin disminuir mucho el contenido de agua (Hughes et al., 1974; Duthil, 1980); en sus primeros tiempos su uso se limitaba para maíz, aunque ahora se emplea mucho para almacenar y conservar forrajes de gramíneas y leguminosas (Hughes et al., 1974).

2.4.1. Proceso

El objetivo del proceso consiste en desencadenar fermentaciones lácticas en la materia para reducir el pH y estabilizar el producto; sin embargo, se pueden dar otras fermentaciones indeseables (acética, butírica, degradación de proteínas y producción de amoníaco). Este proceso está regulado por la interacción de tres factores: 1) las bacterias del material vegetal, 2) el aire que quede o que penetre en la masa almacenada; y 3) la composición del material vegetal (Hughes et al., 1974).

El proceso consiste en dos fases muy diferenciadas (Duthil, 1980):

- Respiración del forraje: al momento de la recolección, las bacterias que se encuentran en las plantas son principalmente aerobias, el número de estas crece y su actividad contribuye al agotamiento del oxígeno. El forraje recién cortado produce anhídrido carbónico y agua, debido a que continúa su respiración. A la vez aumenta la temperatura, que puede sobrepasar 50 – 60 °C, lo que oscurece el ensilado. En esta fase disminuye el contenido de azúcares solubles y también hay una disminución de la digestibilidad (crecimiento relativo de las membranas). En un silo cerrado herméticamente el oxígeno presente se terminará consumiendo en las primeras cinco horas, en uno no hermético, el proceso puede tardar una semana.

- Acidificación de la masa: el comienzo de la acidificación se debe a las bacterias coliformes, estas conservan los azúcares y liberan ácido fórmico, ácido acético, alcohol, ácido láctico, anhídrido carbónico y ácido butírico. Cuando la anaerobiosis es suficiente se desencadena la fermentación láctica debido a bacterias productoras de ácido láctico (anaerobias estrictas o facultativas); aunque inicialmente pueden estar en pequeño número, siempre existe un número suficiente para producir un buen ensilaje. Estas bacterias actúan sobre los hidratos de carbono fácilmente utilizables, produciendo ácido láctico, que es el verdadero agente de conservación del ensilado. Entonces el pH baja a 4.5 o menos; este pH inhibe el nuevo desarrollo de las bacterias y, a esta acidez, se detiene toda actividad enzimática.

El proceso de formación del ensilaje se completa pasados diez días o dos semanas; desde ese momento se puede conservar durante varios años (si se ha producido cantidad suficiente de ácidos y se evita el acceso al aire) (Hughes et al., 1974).

2.4.2. Factores que influyen en la calidad

La calidad es una medida de eficacia del proceso de ensilado. Para apreciar el color se debe usar la luz natural. Conviene que el color sea verde; es frecuente que se observe un color pardo o negro veteado, aunque un contenido excesivo de humedad determina un color verde oscuro a negro. Un ensilado con olor fuerte normalmente no resulta desagradable para los animales por lo que no se rechaza, pero debe usarse con precaución ya que puede transmitir el olor a la leche; los ensilajes con mucha humedad suelen tener olor fuerte. En los ensilajes de buena calidad, el pH tiene un valor de 4.5 o menos, los de mala calidad tienen 5.2 o más (Hughes et al. 1974).

Los principales factores que influyen en la calidad son:

- El contenido de materia seca: el aumento en la materia seca tiene influencia beneficiosa en las fermentaciones y estabilización del ensilado, en algunos casos será necesario realizar una pre henificación de los forrajes verdes. Se recomienda que los forrajes tengan entre 350 – 300 g kg⁻¹ MS ya que mayor contenido genera problemas de compactación (Duthil, 1980). Se puede mantener ensilado el forraje con un pH mayor (4.8) si el forraje contiene baja humedad; cuando se marchita el forraje, el contenido de agua de las plantas disminuye, entonces es menos intensa la fermentación y hay menos pérdidas de principios nutritivos (Hughes et al., 1974). Por último, los ensilados con alto contenido de materia seca tienen mayor aceptación por los animales (Duthil, 1980).
- El contenido de azúcares: la multiplicación de bacterias ácido lácticas y la acidificación que resulta de ellas, está ligada al contenido de azúcares fermentables (glucosa, fructosa, sacarosa, fructosana). Su proporción depende de la especie, la fase vegetativa y las condiciones de cultivo (Duthil, 1980).
- El tamaño de partícula: disminuir el tamaño de partícula permite una mejor compactación y, por tanto, reduce la cantidad de aire que queda en la masa del ensilaje. Se cree que la laceración puede detener la respiración de los tejidos de las plantas y hacer que los constituyentes del jugo celular sean utilizados más rápidamente como sustrato para las bacterias. La dirección del proceso de fermentación puede quedar determinada en las primeras 24 - 48 horas, por el grado en que se elimine el aire; si quedan grandes cantidades de aire, el ácido láctico se

transformará en ácido butírico con un aumento en el pH, que ocasionará un ensilaje de mala calidad (Hughes et al., 1974).

2.5. Cereales

Denominadas las primeras especies cultivadas, los cereales son un grupo de plantas, pertenecientes a la familia de las gramíneas que son consumidas por los animales, incluido el hombre, quien las eligió como la fuente alimenticia más segura en comparación con la recolección de plantas espontáneas al comienzo de la agricultura (López-Bellido, 1991). Su nombre proviene de Ceres, diosa romana de las cosechas, por lo que se demuestra que la agricultura ha tenido papel en el desarrollo de las creencias y manifestaciones religiosas (López-Bellido, 1991). De acuerdo con Coletto-Martínez et al. (2016), excavaciones realizadas indican que las primeras plantas domesticadas por el hombre fueron los cereales de otoño-invierno y que esta fue en zonas donde había gran variabilidad de estas especies. Se piensa que familias o grupos nómadas regresaban anualmente a zonas donde crecían abundantes plantas silvestres comestibles, y que al pasar el tiempo estos parajes se convirtieron en asentamientos permanentes; posteriormente descubrirían que las semillas se podían sembrar y comer (Jobet, 1988).

En los países subdesarrollados, del 50 al 80 % de la alimentación es representado por los cereales; en los desarrollados la proporción es muy inferior (15 %) (López-Bellido, 1991). De acuerdo con Ramos-Gamiño (2013), los cereales que más contribuyen a la alimentación de la humanidad y con mayor producción son el maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum* spp.) y arroz (*Oriza sativa*), con 140, 200 y 148 millones de hectáreas en producción, respectivamente.

De acuerdo con Ferrer-Benimeli, (2016), hay cereales de primavera (se siembran en primavera y se cosechan en verano u otoño) como el arroz, alpiste (*Phalaris canariensis*), maíz, mijo y sorgo (*Sorghum* spp.); y cereales de invierno (se siembran en otoño y se cosechan al principio del verano) como la avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*), centeno (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.).

Los cereales forrajeros (se aprovecha más su parte vegetativa, como tallos y hojas; no así el grano) de invierno pueden producir alimento en un periodo corto de tiempo con buena calidad (Murillo-Amador et al., 2001) y se han considerado importantes para el ganado ya que son fuentes versátiles y económicas de fibra digestible y proteína (Mut et al., 2006). Se pueden pastar a final del invierno, segar a principio de primavera (para ensilar) o segar a final de primavera (para henificar) (Ferrer-Benimeli, 2016). En la etapa previa a la floración poseen un contenido de proteína cruda más alto que en otras etapas, pero tienen poca energía y, al avanzar a la etapa de masa, sufren alteraciones que reducen la calidad nutricional de la fibra, pero obtienen energía por la deposición de almidón en los granos; sin embargo la calidad del forraje producido por los cereales de invierno depende de varios factores, como la variabilidad entre especies, genotipos de la misma especie y su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y del suelo (Horst et al., 2018).

2.5.1. Centeno (*Secale cereale* L.)

Cereal que se cultiva extensivamente para obtención de grano, como cultivo de cobertura o para obtener alimento forrajero (GRDC, 2018); en principio se consideró una mala hierba en los cultivos de trigo y cebada, a los que fue invadiendo progresivamente en zonas frías y suelos de mala calidad (López-Bellido, 1991), por lo que ha sido tratado injustamente por la

historia (Coletto-Martínez et al., 2016). Poseedor de una gran rusticidad, resistencia al frío y a las heladas, el centeno es un cereal que pertenece al género *Secale* (Cuadro 1) (Meier, 1978; Guerrero-García, 1987). El género *Secale* se clasifica en dos secciones: *Agrestes*, que incluye especies silvestres de raquis frágil y grano pequeño (*S. sylvestre*, *S. montanum* y *S. africanum*) y el género *Cerealia*, que en contraparte incluye plantas de grano grueso y de raquis frágil, semifrágil y tenaz (*S. ancestrale* y *S. cereale*) (López-Bellido, 1991).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del centeno (USDA, 2022).

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
Súper división	<i>Spermatophyta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Subclase	<i>Commelinidae</i>
Orden	<i>Cyperales</i>
Familia	<i>Gramineae</i>
Género	<i>Secale</i> L.
Especie	<i>Secale cereale</i> L.

Se piensa que tuvo su origen en Asia Menor, aunque existen dos centros de biodiversidad: uno de ellos ahí mismo, donde hay gran variedad de especies silvestres y primitivas formas del centeno cultivado (*Secale cereale* L.); el otro situado en Afganistán, noreste de Irán y Turquestán, que se pobló con variedades de centro de origen, compitiendo con la flora nativa hasta su establecimiento. Se piensa que fue en Turquestán donde se inició su cultivo como cereal hacia los 3000 a. de C., de donde se extendió hacia el norte y oeste de Europa; su mayor extensión ocurrió durante la Edad Media, como cereal panificable predominante

(López-Bellido, 1991), siendo el único recurso de carbohidratos para la alimentación campesina. A pesar de ser junto con especies de trigo y cebada, una de las primeras plantas domesticadas, pronto fue minusvalorado debido al color oscuro de su harina y actualmente su desarrollo agronómico se ha descuidado en comparación con otros cultivos de invierno (Coletto-Martínez et al., 2016).

Es uno de los cereales que puede soportar las temperaturas más bajas (2 °C), aunque el daño a los cultivos por las heladas puede ocurrir en cualquier etapa del desarrollo, pero es más dañino en y alrededor de la floración. Los signos del daño por heladas pueden ocurrir como esterilidad y daño al tallo (GRDC, 2018). Además, suele ser resistente a enfermedades de espigas y parasitarias de las hojas, el centeno, gracias a su sistema radicular desarrollado, tiene gran poder de absorción de nutrientes lo que le permite ser menos exigente en cuanto a los mismos en comparación con otros cereales y tener un crecimiento vigoroso; este sistema aumenta la estabilización del suelo y permite que la planta explore más el perfil de la capa superior por lo que hay mayor tolerancia a las condiciones secas (GRDC, 2018). Se puede producir en regiones con una altitud de 1800m o más (Meier, 1978; Guerrero-García, 1987).

El centeno tiene un tallo largo, delgado, erecto y flexible con una punta curva de 7–15 cm de largo; tiene hojas estrechas que crecen a partir de nudos en el tallo y son hojas en forma de lanza, de color azul verdoso. Sus espigas son delgadas y largas, y cada una de ellas llega a producir hasta tres flores que producen uno o dos granos. (Guerrero-García, 1987; GRDC, 2018).

El centeno puede alcanzar 1–3 m de altura y se cultiva como anual (centeno de primavera) o bianual (centeno de invierno); en malas condiciones puede tener más rendimiento de materia seca que el trigo (GRDC, 2018).

El centeno no es exigente en la calidad del suelo; se cultiva en tierras ácidas y arenosas de clima frío (Guerrero-García, 1987). El ahijamiento del centeno debe realizarse en invierno porque en primavera comienza a encañonar muy temprano (Meier, 1978).

Algunas de las variedades de centeno son:

- Gigantón: obtenido de la Estación Experimental de Aula Dei, variedad tetraploide.
- Petkus: variedad alemana, de espiga corta, de las variedades más productivas.
- Royal: tiene tallo corto y rígido; es resistente al acame por lo que puede soportar abonados fuertes de nitrógeno (N). Tiene un mayor rendimiento que Petkus.
- Varne: muy resistente a heladas invernales, con buena adaptación y producción.

La siembra de este cereal debe hacerse antes de que lleguen las primeras lluvias con una densidad de semilla de 100 a 120 kg/ha. Se considera que debe fertilizarse con 20 a 40 unidades de N, 70 a 80 unidades de óxido fosfórico (P_2O_5) y 70 unidades de óxido de potasio (K_2O) (Guerrero-García, 1987). Se ha mencionado que la calidad del grano no se ve afectada por el pastoreo o diferentes tasas de siembra o fertilizante (GRDC, 2018).

Nutricionalmente las proteínas del centeno son superiores a las del trigo y otros cereales por un mejor balance de aminoácidos esenciales; tiene mayor cantidad de lisina en comparación con el trigo (López-Córdova et al., 2018). De acuerdo con López-Córdova et al. (2018), México resalta como país importador de cereales secundarios, principalmente centeno, y se

estima que del 2016 a 2025 aumente sus importaciones en un 15% (23.8 millones de toneladas). Aunque actualmente su crecimiento se ha descuidado en comparación con otros cultivos de invierno (GRDC, 2018), entre todos los cereales, se considera al centeno como el de mayor adaptación a condiciones desfavorables del suelo y al frío, pudiendo cultivarse en diversos ambientes como zonas áridas de México, que también cuentan con problemas de salinidad del suelo y agua (Murillo-Amador et al., 2001). Se utiliza en siembras tempranas como cereal de doble propósito, debido a la producción temprana de alimento y alta calidad del mismo; se recomienda retirar al ganado del cereal antes de la etapa tardía de macollamiento para que así tenga buen rendimiento de grano y debe tomarse en cuenta que el pastoreo demasiado lento ralentiza el forraje (GRDC, 2018).

2.5.2. Trigo (*Triticum* spp.)

Es la planta más cultivada en el mundo; se considera que al mes una cosecha madura en algún lugar (no hay estación del año en que no se siembre o coseche trigo) (Jobet, 1988; Plana et al. 2006). Cultivado desde los inicios de la agricultura, se cree que el trigo (*Triticum* spp.) tuvo su primer contacto con el hombre entre los años 15,000 – 10,000 a. de C. (hay indicios de antiguas culturas palestinas que recogían y comían granos de las plantas), aunque al parecer el sitio exacto difiere entre autores; las investigaciones más recientes sostienen que este cereal tuvo origen entre Asia Menor y Afganistán, en regiones montañosas y áridas, donde las temperaturas son muy variables y de donde se extendió hasta el resto del mundo; actualmente la mayor diversidad genética de trigos silvestres se encuentra en Irán e Israel (Jobet, 1988; López-Bellido, 1991; Ramos-Gamiño, 2013). Los vestigios encontrados en Irak, donde se encontraron restos de grano carbonizados y huellas de granos en barro cocido,

son los testimonios arqueológicos más antiguos del uso del trigo como alimento humano (Jobet, 1988).

En un principio el trigo sólo poseía cualidades adaptativas a medios locales. A finales del siglo pasado y a principios de este fue cuando comenzaron los trabajos de mejora por selección de líneas puras a partir de los trigos cultivados realizando las primeras hibridaciones. Borlaug en 1960, en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) de México, seleccionó variedades de trigo con alto rendimiento para países en desarrollo, cuyo impacto se conoció como “la revolución verde”; estos contaban con las siguientes características (López-Bellido, 1991):

- Baja altura (50-100 cm).
- Tallos, adventicias fuertes y raíces vigorosas que se anclan fuertemente al suelo (resistencia al acame).
- Más flores fértiles por espiga (más granos).
- Mayor ahijamiento (mejor respuesta ante una mala germinación).
- Precocidad (importante en zonas limitadas por lluvias y heladas, o bien si se quieren más cosechas en menor tiempo).
- Mejor respuesta al fertilizante.
- Insensibilidad al fotoperiodo.
- Amplia adaptación.
- Resistencia a enfermedades.

Su mejora tuvo como objetivo aumentar la productividad, ya sea incrementando el rendimiento y/o la calidad del grano, aunque ambas características parecen estar

correlacionados negativamente, puede seleccionarse a la vez para ambos. En la selección se buscó el mejor equilibrio entre los componentes del mismo: peso del grano, granos por espiga y número de espigas por unidad de área. En zonas de baja pluviometría o donde la lluvia es errática, tiene gran valor la capacidad de una variedad para ahijar si las condiciones son favorables puesto que las dosis de siembra serán bajas. La resistencia al acame se relaciona con las variedades de altos rendimientos; no es común que se logre un alto rendimiento si no se mejora el vigor de los tallos o la resistencia al acame (por acortamiento de la planta, aumentando el diámetro de los tallos). Una amplia adaptación se relaciona con características que afectan a la estabilidad de la cosecha o sensibilidad al fotoperiodo, adaptación del cultivo a nuevas zonas, diferente laboreo y condiciones precarias del suelo. Desde el punto de vista nutricional, se buscaron trigos con alto contenido de proteína. Por otro lado, se buscó una buena estabilidad con genotipos que resistan condiciones ambientales adversas (resistencia a la sequía, frío, enfermedades y malas hierbas) (López-Bellido, 1991).

Pertenecientes a la familia de las gramíneas, los trigos (silvestres o cultivados) se hallan incluidos en el género *Triticum* (Cuadro 2), el cuál comprende alrededor de 30 tipos de trigo con suficientes diferencias genéticas; la mitad son silvestres y el resto se han cultivado o cultivan en alguna parte del mundo. *Triticum aestivum* (trigo de pan o harinero) es la especie más cultivada y de mayor importancia económica, le sigue *Triticum turgidum durum* (trigo semolero) que se cosecha en zonas áridas del mundo y que tiene granos extremadamente

duros. Otras especies se cultivan de forma más limitada, como el *Triticum monococcum*, que se utiliza principalmente para alimentación animal (Jobet, 1988; López-Bellido, 1991).

Cuadro 2. Clasificación taxonómica del trigo (USDA, 2022).

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
Súper división	<i>Spermatophyta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Subclase	<i>Commelinidae</i>
Orden	<i>Cyperales</i>
Familia	<i>Gramineae</i>
Género	<i>Triticum L.</i>

Es una planta adaptada mundialmente, aunque su mayor producción se obtiene en la zona templada del hemisferio norte ya que es menos cultivado en el hemisferio sur. Es un cultivo de estación fría, su temperatura mínima de crecimiento es de 3 °C, la óptima ronda alrededor de los 25 °C y la máxima en torno a los 32 °C; crece bien en zonas de clima húmedo y fresco; en climas desérticos se produce bajo riego; se produce en zonas con una pluviometría comprendida entre 200 y 1750 mm, los periodos críticos en cuanto a las necesidades hídricas del trigo son la fase de embuche, de floración y llenado del grano (López-Bellido, 1991).

Es cultivado en una gran variedad de suelos, desde el nivel del mar hasta 3000 msnm. Se ha mencionado que los suelos ideales son los de textura media a pesada y de buena estructura, y que los mejores rendimientos se obtienen en suelos arcillo-limosos o arcillosos bien provistos de calcio, con buen poder absorbente y no excesivamente aireados. Esta amplia

adaptación del trigo le permite ser cosechado a lo largo del año en todo el mundo (López-Bellido, 1991).

El trigo no es una planta que requiera una preparación especial. Para las siembras de otoño e invierno se recomiendan labores poco profundas en las que se obtenga un suelo poco fragmentado en pequeños terrones que permita una ejecución adecuada de la siembra y recolección. El momento de la siembra dependerá de la época, (esta podría ser en la que el periodo de máximo frío coincida con la planta en estado de tres a cinco hojas), así como de las condiciones climáticas, el área de cultivo y de la precocidad de la variedad, la densidad, dosis de semilla y profundidad del enterrado de la semilla. Su temperatura óptima de germinación es alrededor de 25 °C y la de elongación del coleóptilo de 16 °C (son necesarios 100 grados para la emergencia, y acumulación adicional de 150 a 200 grados para alcanzar el estado de tres a cinco hojas) (López-Bellido, 1991). Este cereal es favorecido por las siembras tempranas, aunque en estas haya menor resistencia al acame por el efecto del alargamiento del periodo de crecimiento vegetativo.

Hoy en día se utilizan sembradoras en línea para el cultivo; comúnmente se hacen surcos con espaciamentos de 14 a 20 cm, disminuyendo esta distancia en ambientes poco favorables al ahijamiento y aumentándola en ambientes favorables al desarrollo vegetativo, aunque se ha mencionado que existen pocas diferencias (a veces ninguna) entre diferentes espaciamentos y el rendimiento. La dosis adecuada debe establecerse en número de semillas/m², aunque posteriormente se transforme en kg de semilla/ha debido a las diferencias de peso de la semilla entre variedades. Cabe mencionar que experimentos con dosis de siembra de 100, 150, 200 y 250 kg/ha no tuvieron diferencias en los rendimientos. El último aspecto a

considerar durante la siembra es la profundidad, esta debe estar comprendida entre 2 y 4 cm, la mayor se recomienda para suelos sueltos y secos, y la menor para suelos arcillosos y húmedos (López-Bellido, 1991).

En cuanto a la fertilización, requiere de fertilización con N, al ser el nutriente más limitante (utiliza 36 kg por tonelada de materia seca producida); también requiere de fósforo (P) y potasio (K) (KSU, 1914). La fosfopotásica debe asegurar que el suelo disponga de estos nutrientes en cantidad suficiente de forma asimilable por lo que se deben realizar análisis y compararlos con los umbrales críticos establecidos. Para la fertilización nitrogenada, las recomendaciones de abonado están dadas por la cantidad de N residual del suelo y en los requerimientos del cultivo dependiendo del medio ambiente (López-Bellido, 1991). La cantidad total de N a aplicar se debe establecer de acuerdo con el objetivo de producción, aunque la distribución y reparto de la misma varía de acuerdo a las características del suelo y el clima de la zona. Es decir, se pueden hacer pequeñas aportaciones de N antes de la siembra para estimular el efecto de arranque y así incentivar el ahijamiento, la siguiente aplicación se puede realizar al principio del ahijamiento (3 a 5 hojas) y una aplicación más al comienzo del encañado (poco antes del estado de espiga).

El trigo es uno de los tres granos básicos mundiales (Ayed et al., 2017) y tiene mayores necesidades de nutrientes y de agua que la cebada. Es una especie que tiene un amplio rango de adaptación, crece y se desarrolla en ambientes muy diversos y puede sembrarse tanto en invierno como en primavera, lo que, unido a su gran consumo, ha permitido que se extienda a muchas partes del mundo (Soto et al., 2009). Es una fuente valiosa de forraje de calidad disponible a finales de otoño, en invierno y principios de primavera, cuando otras fuentes de

forraje son de baja calidad y cantidad. Su siembra temprana (si se va a pastar) tiene capacidad de producir gran cantidad de forraje en otoño, aunque si se siembra demasiado temprano puede haber incidencia de enfermedades; el pastoreo puede comenzar de cuatro a ocho semanas después de la siembra, cuando hay un crecimiento de 15-30 cm y las raíces son fuertes. Se ha mencionado que el pastoreo tiene poco efecto sobre la producción de grano y que el sistema de pastoreo continuo es rentable para el ganado vacuno (KSU, 1914).

2.5.3. Triticale (*X Triticosecale* Wittm.)

Denominado el primer cereal creado por el hombre (hecho por fitogenetistas), el triticale, botánicamente conocido como (*X Triticosecale Wittmack*) (Cuadro 3) es resultado del cruzamiento artificial entre el trigo (*Triticum* spp.) y el centeno (*Secale cereale* L.); la planta de este cereal tiene características intermedias entre las dos especies progenitoras (capacidad de producción y calidad del trigo, y la rusticidad del centeno), existiendo algunas variaciones según la constitución cromosómica del genotipo (CIMMYT, 1976; López-Bellido, 1991).

Cuadro 3. Clasificación taxonómica del triticale (USDA, 2022).

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
Súper división	<i>Spermatophyta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Subclase	<i>Commelinidae</i>
Orden	<i>Cyperales</i>
Familia	<i>Gramineae</i>
Género	<i>X Triticosecale</i> Wittm.

El triticale es una opción para ser ofrecido a los animales como forraje verde, ensilaje y en grano (como suplemento alimenticio o fabricación de concentrados), y se ha mencionado que cuenta con algunas características superiores a la avena, trigo, cebada y centeno. (CORPOICA, 1998).

En el año de 1875, se reporta el origen como una especie estéril (CIMMYT, 1976; CORPOICA, 1998). La primera planta fértil de triticale fue obtenida en 1888 (Alemania), aunque desde ese año hasta mediados de 1930 el potencial del triticale como cultivo era desalentador ya que la semilla producida no tenía suficiente vigor para el crecimiento de las plántulas (López-Bellido, 1991). Para 1935, a la planta se le denomina por primera vez como triticale (CORPOICA, 1998). En 1937 se superó la esterilidad inicial al descubrirse que la aplicación de colchicina inducía la duplicación del número de cromosomas en las plantas, aunque se sabe que no siempre duplica los cromosomas y a menudo causa la muerte de las plántulas (López-Bellido, 1991).

En 1966 se creó en México el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) con el objetivo de desarrollar germoplasma y variedades para la alimentación humana, destinadas a los países en vías de desarrollo. Se hicieron trabajos en tres zonas climáticas diferentes obteniendo dos ciclos anuales de cultivo utilizándose como punto de partida los trigos duros y harineros. En el CIMMYT se querían obtener triticales insensibles al fotoperiodo, plantas cortas para aumentar resistencia al encamado y aumentar la velocidad de madurez, la esterilidad parcial, el arrugado del grano y el aumento de resistencia a enfermedades (López-Bellido, 1991). Para 1968, un cruzamiento se produjo entre un triticale y un trigo harinero semienano; al resultado se le denominó línea Armadillo y esta presentaba

una fertilidad casi completa, muy baja altura, mejor peso del grano, insensibilidad al fotoperiodo, madurez temprana y buena calidad del grano; además su rendimiento aumentó un 50-60% en comparación con los anteriores triticales. En los primeros experimentos sobre rendimiento en México, el triticale no alcanzaba el 50 % del rendimiento del trigo, pero con la introducción de las líneas Armadillo se alcanzaba el 83%; la clave fue la disminución de altura y aumentar la resistencia para permitir una aplicación más alta de N sin inducir el acamado (López-Bellido, 1991).

A finales de la década de 1970 solamente eran recomendables dos o tres variedades de triticale como cultivo para primavera con buena resistencia al acame y con rendimientos iguales o mejores que los del trigo; algunas otras seguían con características negativas como bajo rendimiento, encamado, grano arrugado y esterilidad. A raíz de un esfuerzo en genética y mejora de la planta se obtuvieron líneas con excelente comportamiento en cuanto a rendimiento, caracteres agronómicos y calidad; dando lugar a centenares de variedades (López-Bellido, 1991).

A mediados de la década de 1980 se cultivaron en más de 30 países en el mundo, más de un millón de hectáreas de triticale, con variedades de primavera e invierno. Recientemente se está impulsando la mejora de las plantas para ambientes desfavorables y creación de variedades tolerantes a la sequía y para regiones áridas. Las actuales variedades de triticale son más propensas al acame que los trigos y también tienen mejor ahijamiento que este último, aunque son mejores en cuanto a mayor número de granos por espiga y mayor peso de estos, la calidad nutritiva también se supera; tienen un contenido medio de proteínas, mejor digestibilidad; el contenido de lisina es superior que el del trigo. El futuro de este cereal

se encamina a ampliar su adaptación y variabilidad genética, mejorar el peso específico y la calidad nutricional del grano, y aumentar el rendimiento (López-Bellido, 1991); para el año de 1998 ya era cultivado en más de dos millones quinientas mil hectáreas en 34 países (CORPOICA, 1998). El triticale ofrece una alternativa de producción para las áreas de temporal debido a que tiene mayor tolerancia a la sequía, enfermedades y resistencia a suelos pobres (Murillo-Amador et al. 2001) y se ha considerado como el cereal del futuro para determinados ambientes (Coletto-Martínez et al., 2016).

El triticale tiene múltiples usos en alimentación humana y animal, aunque ha tenido mayor desarrollo para alimento animal, dado la buena calidad del grano y los favorables rendimientos de materia seca comparados con otros cultivos de grano fino (Peccapelo et al. 2017). En los últimos años ha crecido el interés para este cereal de invierno en cuanto a su potencial de calidad como planta completa en ensilado en muchas partes de mundo (McCartney & Vaage, 1993). Tradicionalmente este cereal se ha usado para la alimentación de ganado vacuno lechero y de carne, además de ser alimento para ovejas y cabras en sistemas basados en pastoreo (Delogu et al., 2002) dados los excelentes valores en pastoreo y como forraje (WARATAH, 2011). Se ha demostrado su potencial como forraje verde superior a la avena (*Avena sativa*), y rendimiento como ensilado y forraje (que se considera más prometedor que la producción de grano) más alto que trigo (*Triticum* spp.), centeno, avena (*Avena* spp.) y cebada (Murillo-Amador et al., 2001; Mut et al., 2006), por lo que se ha convertido en una alternativa al trigo y la cebada en áreas de condiciones de cultivo desfavorables o en sistemas de bajos insumos (Mut et al., 2006). Adecuado para la industria láctea (el pastoreo continuo puede dar mejor rendimiento animal en comparación con el

pastoreo rotativo); en épocas de escasez de agua donde se ha disminuido la utilización de praderas de trébol con raigrás (que requieren de más riegos), se puede utilizar como forraje de corte o para pastoreo directo. Se recomienda comenzar a pastar desde temprano, cuando el sistema de raíces ya es fuerte y hasta iniciado del espigamiento, es decir seis a diez semanas posteriores a la emergencia del cultivo, dependiendo de la temperatura y la lluvia (CORPOICA, 1998; WARATAH, 2011). Se ha mencionado que para ensilaje se debe esperar de 100 a 120 días, cuando el cereal se encuentre en estado lechoso del grano; los silos tipo bunker y horno son buena opción para almacenar el forraje, además estos se pueden enriquecer con melaza extendiéndola en capas y se pueden abrir después de 1 o 2 meses para suministrar gradualmente a los animales (CORPOICA, 1998).

En cuanto a la fertilización se requiere aplicar a la hora de la siembra P y N, y volver a aplicar N adicional para la producción máxima de materia seca para pastoreo; se ha mencionado que una tonelada de triticale elimina 23 kg de N aproximadamente. Entonces, si se pretende obtener un mínimo de 3 toneladas; se deben aplicar 70 kg de N, aproximadamente (WARATAH, 2011).

III. JUSTIFICACIÓN

Para poder ofertar forraje al animal en los meses críticos (temporada invernal) se requiere contar con este, es decir, optar por plantas alternativas que son resistentes a esta época; en caso de que no sea viable el pastoreo de estos cultivos de invierno, se puede elegir otra estrategia mediante métodos de conservación. Esta opción se basa en la utilización (en la temporada invernal) del excedente forrajero producido en la temporada de lluvias, utilizando un método para preservar el forraje. Dentro de estas formas de conservación, la que tiene menores pérdidas nutricionales es el ensilaje.

Los cereales de doble propósito se han convertido en una herramienta importante de los sistemas de pastoreo ya que proporcionan alimento para otoño e invierno; estos aprovechan las lluvias tempranas, aunque requieren mayor manejo (siembra oportuna, elección cuidadosa de la variedad, buena humedad del subsuelo y alta fertilidad del suelo). Con estos cultivos los productores tienen la oportunidad de siembra a principios de temporada y así proporcionar alimento adicional al ganado, además un buen manejo permite aumentar el rendimiento de los cultivos.

Existe una amplia gama de variedades de cereales (avena, cebada, centeno, trigo y triticale), y canola que se pueden pastar con éxito y recuperarse como para producir un rendimiento de grano (o forraje) aceptable; esto permite aumentar la rentabilidad del sistema de producción al suministrar alimento en invierno y, por otra parte, dando oportunidad a los pastos (base del pastoreo) de descansar, recuperarse y crecer para una buena alimentación cuando los cereales se destinan al grano.

El forraje más ensilado en los sistemas de producción de leche a pequeña escala es el maíz, pero los cereales de grano pequeño se consideran una buena alternativa ya que cuentan con una alta calidad nutritiva además de ser de ciclo corto y proporcionar gran cantidad de forraje en poco tiempo a comparación del maíz; por lo que se hace necesario evaluar bajo distintos manejos el potencial nutritivo de estos cereales de grano pequeño, tanto en su estado verde como en ensilado.

IV. HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis general

No existe diferencia entre el centeno (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.) en cuanto a su comportamiento agronómico y en cuanto al desempeño animal al ser alternativa en la alimentación de vacas en sistemas de producción de leche en pequeña escala, en el noroeste del Estado de México.

4.2. Hipótesis específicas

- Cereales en pastoreo: no existe efecto en la respuesta productiva de vacas lecheras que pastorean tres cereales de grano pequeño durante 6 h d⁻¹: cultivo de centeno, cultivo de trigo y cultivo de triticale.
- Cereales en ensilado: no existe efecto en la respuesta productiva a la inclusión de 10 kg vaca⁻¹ d⁻¹ de ensilado de centeno y ensilado de triticale para vacas lecheras que pastorean una pradera de pasto kikuyo durante 8 h d⁻¹.

V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar centeno (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.), como alternativa forrajera para sistemas de producción de leche en pequeña escala, tanto en pastoreo como en ensilado, en el noroeste del Estado de México.

5.2. Objetivos específicos

- Determinar el rendimiento del forraje de centeno (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.).
- Determinar la composición química (contenido de materia seca, contenido de proteína, contenido de fibra detergente neutro y ácido, contenido de materia orgánica, digestibilidad de la materia seca y valor energético) de centeno (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.) utilizados en distintos manejos: en fresco (pastoreo) y como ensilado.
- Evaluar la respuesta de las vacas en cuanto a rendimiento de leche, peso vivo, condición corporal y consumo, al ser alimentadas en pastoreo de cultivos de centeno (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.), y con ensilado de centeno (*Secale cereale* L.) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.).
- Determinar la composición química de la leche de vacas alimentadas en pastoreo de cultivos de centeno (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.), y con ensilado de centeno (*Secale cereale* L.) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización del sitio experimental

El trabajo se llevó a cabo bajo el enfoque de investigación participativa rural (Conroy, 2005; Stroup, 1993), en el municipio de Aculco (20°10' N 99°48' O; 2470 m.s.n.m), ubicado en el noroeste del Estado de México. El municipio tiene una extensión de 465.7 km² (equivalente a una superficie de 46,570 hectáreas), de las cuales el 45 % se destinan a la agricultura, el 21 % es de uso pecuario y el 19 % al uso forestal. La región tiene un clima templado sub-húmedo con una temperatura media de 14 °C, lluvias en verano y una precipitación pluvial de 800 mm; la época de lluvias es de mayo a octubre y la época de secas, de noviembre a mediados de mayo.

Los análisis de laboratorio se realizaron en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicado en el Campus Universitario “El Cerrillo”, en el municipio de Toluca, Estado de México.

6.2. Productor participante

Se trabajó con un productor de leche a pequeña escala en la localidad de La Concepción (Imagen 1), la elección del productor se realizó de acuerdo a la disponibilidad de superficie para el cultivo de los forrajes y la disponibilidad de vacas en producción para evaluar en los experimentos.



Imagen 1. Ubicación de la unidad de producción donde se llevaron a cabo las evaluaciones.

Aunado a lo anterior, el productor participante se comprometió a llevar a cabo los experimentos sobre la evaluación de los forrajes propuestos, con la apropiada superficie disponible en su finca (Imagen 2) y con el uso de sus vacas en condiciones idóneas.

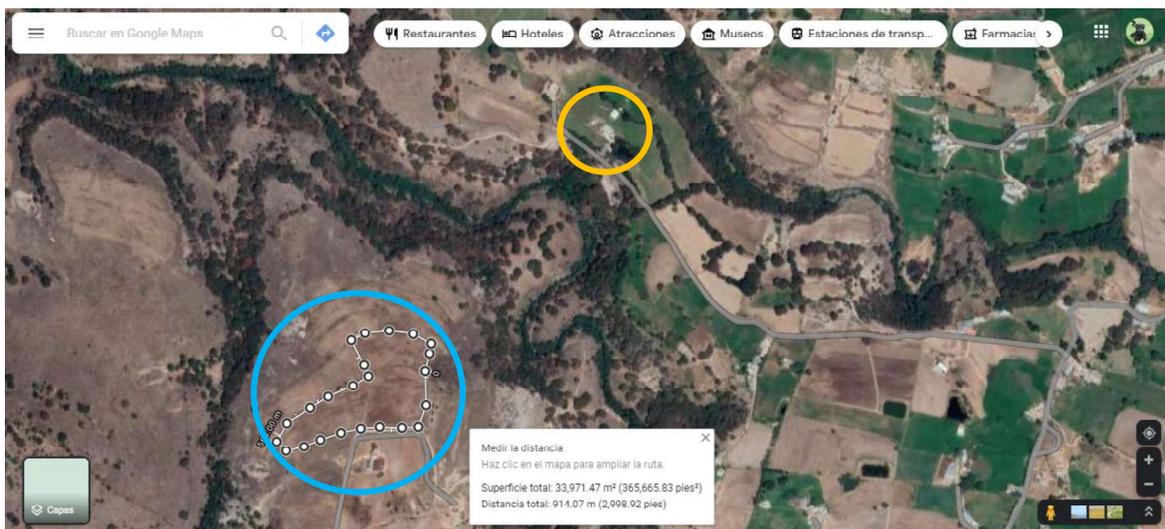


Imagen 2. Localización de la superficie destinada para la siembra de trigo, centeno y triticale (color azul), con respecto a la unidad de producción (color amarillo).

6.3. Establecimiento de los cultivos

El 20 de mayo del año 2020, se sembraron parcelas individuales (1.0 ha) con semilla de centeno (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittm.) (Imagen 3). Los cultivos utilizados se sembraron al boleó y en una ubicación similar, en ese momento se efectuó una primera fertilización con 23-60-40 kg ha⁻¹ de N, P, K, respectivamente. La dosis de semilla fue de 140 kg ha⁻¹ para todos los cereales de grano pequeño. Una segunda fertilización de N se realizó 19 días posteriores a la siembra con 57 kg ha⁻¹; y, por último, se realizó una tercera fertilización de N con 23 kg ha⁻¹, 44 días post siembra (fertilización total de 103-60-40 kg ha⁻¹ de N, P, K, respectivamente).



Imagen 3. Distribución de las superficies en las que se sembraron los cereales.

De estos cultivos se realizaron dos experimentos:

- **Experimento 1: evaluación de cereales en pastoreo**

Al cabo de 65 días post siembra, cuando los cultivos alcanzaron una altura de entre 20 y 30 cm, se inició con la primera evaluación de los cereales de grano pequeño en pastoreo continuo.

Esto se realizó mediante un diseño de cuadro latino 3x3 repetido cuatro veces, con tres tratamientos a evaluar y tres periodos experimentales:

- Pastoreo continuo de centeno (*Secale cereale* L.) cv. Nacional, durante 6 h d⁻¹, más una suplementación de 4.5 kg MS vaca⁻¹ d⁻¹ de concentrado comercial (RYE).
 - Pastoreo continuo de trigo (*Triticum aestivum*) cv. Tollocan-F05, durante 6 h d⁻¹, más una suplementación de 4.5 kg MS vaca⁻¹ d⁻¹ de concentrado comercial (WHT).
 - Pastoreo continuo de triticale (*X Triticosecale* Wittm.) cv. Bicentenario, durante 6 h d⁻¹, más una suplementación de 4.5 kg vaca⁻¹ d⁻¹ de concentrado comercial (TRT).
- **Experimento 2: evaluación de cereales en ensilado**

Una vez que el experimento de pastoreo concluyó, el forraje de los cultivos de centeno y triticale se dejó rebrotar por 27 días y este rebrote fue cortado 134 días post siembra y se utilizó para hacer en silos tipo pastel; en suelo firme cubiertos con lámina de plástico negro calibre 600 y compactada con tierra, permitiendo una buena fermentación; el experimento comenzó a los 107 días desde que se ensiló el forraje. El objetivo de este experimento fue evaluar la inclusión de ensilados como opción

forrajera para vacas lecheras en época de estiaje, en sistemas de producción de leche en pequeña escala.

El diseño fue doble reversible con seis vacas durante tres periodos experimentales (de 14 días) siguiendo la secuencia (tres vacas por secuencia) de tratamiento: RYE-TRT-RYE y TRT-RYE-TRT.

Los dos tratamientos que se implementaron fueron:

- RYE: 10 kg MS de ensilado de centeno + 8 h d⁻¹ de pastoreo (pradera de kikuyo) + 3.6 kg MS de concentrado.
- TRT: 10 kg MS de ensilado de triticale + 8 h d⁻¹ de pastoreo (pradera de kikuyo) + 3.6 kg MS de concentrado.

6.4. Variables a medir del forraje

6.4.1. Altura

La medición de la altura (cm) de los cultivos de cereales de grano pequeño se registró con una cinta métrica tomando 30 registros de altura a lo largo de las parcelas, utilizando un patrón de zigzag y haciendo un registro cada veinte pasos. Al final de los 30 registros se calculó la media de las mediciones obteniendo la altura promedio de las parcelas.

Para calcular la altura de las praderas de pastos se utilizó la técnica de plato ascendente descrita por Hodgson (1994), la cual consiste en un plato de aluminio que se desliza sobre una varilla de aluminio graduada en centímetros (pastómetro). El pastómetro se coloca en la pradera, el plato de aluminio asciende y marca una altura en la varilla. La medición de la altura se registró cada inicio y fin del periodo, tomando 30 registros de altura a lo largo de

las praderas, esto se logró utilizando un patrón de zigzag y haciendo un registro cada veinte pasos. Al final de los 30 registros se calculó la media de las mediciones obteniendo la altura promedio de las praderas.

6.4.2. Masa herbácea

La determinación de masa herbácea se realizó mediante la técnica empleada por Hodgson (1994); es decir, se utilizaron seis cuadrantes de 0.25 m², en cada parcela de 1.0 ha, para tomar el forraje dentro del mismo cortando a 10 cm de suelo con tijeras; los cuadrantes fueron colocados al azar a lo largo de la superficie. El forraje cortado fue pesado y posteriormente secado para expresar la masa herbácea en kg MS ha⁻¹.

6.4.3. Acumulación neta de forraje

La acumulación neta de forraje (ANF) se realizó mediante la técnica empleada por Hodgson (1994); es decir, para la ANF se utilizaron seis jaulas de exclusión de 0.25 m², en cada pradera de 1.0 ha, y colocadas al azar el día 0 de cada periodo experimental se cortó a ras de suelo con tijeras el forraje fuera de la jaula en un cuadro de 0.4 x 0.4 m. Al finalizar el periodo (día 14) se retiraron las jaulas de exclusión para cortar el forraje acumulado. A partir de la diferencia del peso del forraje en materia seca (MS) entre el día 0 y 14 de cada periodo experimental se estimó la ANF en kg MS ha⁻¹.

6.4.4. Composición química

La composición química se obtuvo de muestras colectadas al final de cada periodo experimental mediante la técnica de pastoreo simulado, en el caso de las praderas, la cual consiste en tomar al azar muestras de forraje en el área de cada pradera, simulando el pastoreo de las vacas. En el caso del ensilado de los cereales de grano pequeño, la muestra se tomó de

varias partes del silo para tener una muestra representativa. También se tomaron muestras de alimento concentrado al final de cada periodo para su análisis bromatológico.

De estas muestras se obtuvo el contenido de MS (g kg^{-1}) manteniéndolas a 65°C durante 48 h en una estufa de aire forzado; para la determinación de la composición química del forraje, así como para estimar la energía metabolizable (MJ kg^{-1} MS) de los alimentos se siguieron los procedimientos empleados por Celis-Alvarez et al. (2016), es decir, el contenido de materia orgánica (g kg^{-1} MS) se determinó mediante incineración a 550°C ; el contenido de proteína cruda (g kg^{-1} MS) se determinó mediante el método de Kjeldahl, los contenidos de fibra ácido detergente y fibra neutro detergente (g kg^{-1} MS) mediante el método de micro bolsas. Para el forraje conservado también se midió el pH.

6.4.5. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca y valor energético

Los valores digestibilidad *in vitro* de la materia seca (g kg^{-1} MS) se obtuvieron a partir de la incubación de las muestras en líquido ruminal, por el método de Ankom Daisy (Ankom, 2005). En cuanto a la estimación del valor energético (MJ kg^{-1} MS), se estimó la energía metabolizable (eEM) de los alimentos a partir de su digestibilidad, siguiendo los procedimientos por AFRC (1993).

6.5. Evaluación de variables de las vacas

6.5.1. Rendimiento de leche

El rendimiento de la leche se obtuvo al pesar la producción de leche de las vacas en los días de medición de variables. El ordeño de las vacas se realizó manualmente dos veces al día, en la mañana y tarde. El rendimiento de leche se registró los cuatro días de medición de cada periodo experimental con una balanza de reloj (capacidad para 20 kg) pesando un contenedor

de plástico con la leche producida de cada vaca. De los valores registrados ($\text{kg de leche vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$) en los cuatro días se obtuvo una media para el análisis de los resultados.

6.5.2. Peso vivo

El peso vivo (kg) de las vacas se registró en los últimos días de medición de cada periodo experimental, pesando cada vaca inmediatamente después del ordeño con una báscula portátil Gallagher Weighing System MR, con capacidad de 1000 kg. Posteriormente se obtuvo la media de estos registros y se calculó el peso vivo de cada vaca por periodo.

6.5.3. Condición corporal

La condición corporal se evaluó visualmente por la misma persona a principio y fin de cada periodo experimental considerando un parámetro de 1 a 5 puntos de acuerdo a la técnica descrita por Wattiaux (2013).

6.5.4. Composición fisicoquímica de la leche

De los contenedores de plástico con que se pesó la leche, se colectó una muestra de leche de cada vaca por la mañana y por la tarde. De estas muestras de leche obtenidas en los ordeños (am y pm) se realizó una alícuota por cada uno de los cuatro días de medición; esta alícuota se conformó con la proporción de leche producida en cada ordeño (Vieyra-Alberto et al., 2017). Una sub muestra de la alícuota se destinó para ser analizada por Ekomilk Ultra en las instalaciones del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) para obtener el contenido de grasa (G), proteína (P) y Lactosa (L) de las muestras y expresarlo en g kg^{-1} .

Se determinó nitrógeno ureico en leche (NUL) a partir de una sub muestra conservada en congelación obtenida de la alícuota, bajo la técnica descrita por Chaney & Marbach (1962): método colorimétrico enzimático y este se expresó en mg dl⁻¹.

6.5.5. Consumo voluntario

La estimación del consumo total del pastoreo se estimó a partir de la energía metabolizable utilizada siguiendo los procedimientos de Hernández-Mendo & Leaver, (2006); a partir de la resta de energía metabolizable (EM) proporcionada por el concentrado en el Experimento 1, y del ensilado de los cereales de grano pequeño, además del concentrado en el Experimento 2; a los requerimientos de EM de las vacas.

El consumo de concentrado comercial y ensilado (en el Experimento 2), se estimó midiendo la materia ofrecida menos la rechazada.

6.6. Diseño experimental y análisis estadístico

Los datos se analizaron con el programa estadístico Minitab (V14, Minitab Inc., State College, PA, EE. UU). Las diferencias que se detectaron como significativas se compararon mediante la prueba de Tukey.

6.6.1. Experimento 1: evaluación de pastoreo de tres cereales de grano pequeño como alternativa de alimentación

El experimento tuvo una duración de 42 días, divididos en tres periodos de 14 días cada uno (10 días de adaptación por parte de las vacas a la dieta y 4 días de medición de respuesta del forraje y de las vacas); las fechas para los periodos experimentales se plantearon de la siguiente forma:

- Periodo 1: del 25 de julio al 07 de agosto.
- Periodo 2: del 08 al 21 de agosto.
- Periodo 3: 22 de agosto al 04 de septiembre.

VARIABLES ANIMALES:

Se seleccionaron 12 vacas productoras de leche, fueron agrupadas en cuatro grupos de tres vacas cada uno, homogenizando los grupos en cuanto a rendimiento de leche, peso vivo y condición corporal, para un diseño de Cuadro Latino 3 x 3, replicado cuatro veces (Cuadro 1); las vacas se asignaron al azar a la secuencia de tratamientos. El modelo fue el siguiente (Burbano-Muñoz et al., 2018):

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

Donde:

Y_{ijkl} = Variable respuesta

μ = Media general;

C_i = Efecto del cuadro $i=1, 2, 3$;

$V_{j(i)}$ = Efecto de la vaca dentro del cuadro $j= 1, 2, 3$;

P_k = Efecto debido al periodo experimental $k = 1, 2, 3$;

T_l = Efecto de tratamiento $l = 1, 2, 3$; y

e_{ijkl} = Error experimental.

VARIABLES DEL FORRAJE:

Para las variables de producción de forraje se utilizó un diseño de parcelas divididas con subdivisiones de cultivo como unidades experimentales, cultivos como parcelas mayores, periodos experimentales como parcelas menores y muestras (dentro y fuera de las jaulas de exclusión) como réplicas en las subdivisiones de cultivo (Plata-Reyes et al., 2018), considerando el siguiente modelo:

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

Donde:

Y_{ijkl} = Variable respuesta

μ = Media general;

csd_i = Efecto de la subdivisión del cultivo, $i = 1, 2, 3$;

T_j = Efecto del tratamiento, cereal de grano pequeño (Parcela Mayor) $j = 1, 2, 3$;

E_k = Término residual para las Parcelas Mayores;

P_l = Efecto de los periodos experimentales (Parcela Menor) $j = 1, 2, 3$;

Tp_{jl} = Efecto de la interacción entre los tratamientos y periodo experimental;

Tr_{jm} = Interacción entre los tratamientos y las repeticiones de las muestras ($r_m = 1, 2$); y

e_{ijk} = Término residual.

6.6.2. Experimento 2: evaluación de ensilado de dos cereales de grano pequeño como suplemento alimenticio

El experimento tuvo una duración de 42 días, divididos en tres periodos de 14 días cada uno (10 días de adaptación por parte de las vacas a la dieta y 4 días de medición de respuesta del forraje y de las vacas). Las fechas para los periodos experimentales se plantearon de la siguiente forma:

- Periodo 1: del 16 al 29 de enero.
- Periodo 2: del 30 de enero al 12 de febrero.
- Periodo 3: del 13 al 26 de febrero.

VARIABLES ANIMALES:

Se evaluó el desempeño de vacas lecheras a la suplementación de ensilado de estos cereales; el diseño fue un doble reversible con seis vacas durante tres periodos experimentales (de 14 días) siguiendo la secuencia (tres vacas por secuencia) de tratamiento (Cuadro 2), siguiendo la secuencia RYE-TRT-RYE y TRT-RYE-TRT (Kaps & Lamberson 2004), con el siguiente modelo (Muciño-Álvarez et al., 2021):

$$Y = \mu + S_i + C_j(i) + P_h(j) + t_k + E_{ijkh}$$

Donde:

Y= Variable respuesta,

μ = Media general,

S_i = Efecto debido a la secuencia,

$C_j (i)$ = Efecto debido a las vacas dentro de la secuencia,

$P_h (i)$ = Efecto debido al periodo dentro de la secuencia,

t_k = Efecto debido al tratamiento,

E_{ijkh} = Variación residual.

Variables del forraje:

Para las variables de composición química en los ensilados, se utilizó un diseño de parcelas divididas completamente al azar, con los ensilados como parcelas mayores, los periodos experimentales como parcelas menores, con el siguiente modelo experimental (Kaps & Lamberson, 2004):

$$Y_{ijk} = \mu + T_j + E_j + p_k + Tp_{ijk} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media general;

T_j = Efecto del tratamiento ensilado (cereal de grano pequeño) (Parcela Mayor) $i = 1, 2$;

E_j = Término residual para las parcelas mayores;

p_k = Efecto de los periodos experimentales (Parcela Menor) $j = 1, 2, 3$;

Tp_{ijk} = Efecto de la interacción entre los tratamientos y periodo experimental; y

e_{ijk} = Término residual.

En cuanto a las variables de NHA, altura y composición botánica de la pradera que se pastoreó, se utilizó un diseño totalmente al azar (Kaps & Lamberson, 2004), con el siguiente modelo:

$$Y = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:

Y = Variable respuesta;

μ = Media general;

T_i = Efecto de los periodos experimentales; y

E_{ij} = Término residual.

6.7. Análisis económico

El análisis económico de ambos experimentos se realizó mediante la metodología de presupuestos parciales, teniendo en cuenta los costos de alimentación: establecimiento de praderas, la fertilización, el riego, el costo del ensilado (en el caso del Experimento 2) y el alimento concentrado; y los retornos por concepto de la venta de leche (Celis-Alvarez et al., 2016).

VII. RESULTADOS

7.1. Artículo publicado

Se presentan capturas del artículo publicado en la revista Tropical Animal Health and Production:

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, Trop. Anim. Health Prod. 53:511.

J.I. Vega-García, F. López-González, and C.M. Arriaga-Jordán. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México.

E. Morales-Almaraz. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México.

Corresponding autor: Felipe López González (email: flopezg@uaemex.mx)



Grazed rain-fed small-grain cereals as a forage option for small-scale dairy systems in central Mexico

Jesús Israel Vega-García¹ · Felipe López-González¹ · Ernesto Morales-Almaraz² · Carlos Manuel Arriaga-Jordán¹

Received: 11 June 2021 / Accepted: 4 October 2021
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature B.V. 2021

Abstract

Small-scale dairy systems face reduced availability of water for irrigation of pastures and disruption in the amount or pattern of rains due to climate change, so research on alternative short-cycle rain-fed forages is needed. Grazing reduces feeding costs and small-grain cereals may be an option. The objective was to assess on-farm the performance of dairy cows grazing 6 h/day of three small-grain cereals: rye (RYE), wheat (WHT), and triticale (TRT), and supplemented 4.5 kg dry matter (DM)/cow/day of concentrate. Twelve Holstein cows were used in repeated 3 × 3 Latin squares with 14-day experimental periods. Pasture variables were analysed with a split-plot design, and economic analysis was performed with partial budgets. Sampling of forage (sward height, net herbage accumulation, botanical and chemical composition of herbage) and animal variables (milk yield and composition, live weight, and body condition score) were at the end of each period. The RYE showed a trend ($P > 0.05$) for higher net herbage accumulation (NHA) with highly significant differences ($P < 0.001$) among periods. The RYE had higher DM, a lower crude protein (CP) content ($P < 0.05$), and no differences for other chemical components between treatments ($P > 0.05$). The RYE proportion in pasture was consistently higher, whilst the lowest cereal proportion was in WHT. There were no differences ($P > 0.05$) for any animal variable. The RYE and TRT treatments proved useful as rain-fed forage alternatives under grazing. WHT showed lower crop and economic performance. However, given the higher cereal component in pastures, regrowth potential, and post-grazing herbage mass, as well as better economic performance, the RYE treatment was better ranked by the participating farmer.

Keywords Alternative forages · Rye · Triticale · Wheat · Small-scale dairy farming

Introduction

Small-scale cattle systems improve livelihoods worldwide by increasing simultaneously the assets of farming families and resilience to climatic, health, and economic risks (Blümel et al. 2015).

In Mexico, over 88% of all farms with cattle are small (INEGI 2018), whilst small-scale dairy systems contribute

more than 30% of the national milk production, and they enable families to overcome rural poverty (Espinoza-Ortega et al. 2007).

The sustainable intensification of small-scale livestock systems is promoted to improve their contribution to livelihoods and food security and to reduce the environmental footprint (Makkar 2016; FAO 2017); such intensification enables small-scale farmers to better commercialize their produce and increase their income (Rasmussen et al. 2018). Small-scale diversified livestock-crop systems may provide both high productivity and ecosystem services to mitigate the environmental footprint (Lemaire et al. 2014).

Grazing irrigated pastures has shown reduced feeding costs and increased profitability in small-scale dairy farms in central Mexico (Prospero-Bernal et al. 2017). However, water for irrigation is becoming scarce limiting the feasibility of long-term pastures, a situation that will worsen due to possible effects of climate change with disruptions in the

✉ Felipe López-González
flopezg@uaemex.mx

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, Mexico

² Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, Mexico

7.2. Artículo aceptado para su publicación

Se presenta la captura de pantalla de que el artículo ha sido aceptado (Imagen4) completamente para su publicación, la carta de aceptación y el resumen de dicho documento enviado a la revista Chilean Journal of Agricultural Research:

Vega-García, J.I., López-González, F., Morales-Almaraz, E., and Arriaga-Jordán, C.M. 2021. Secondary growth rye or triticale silage: small-grain cereals as a dual-purpose forage option for small-scale dairy systems in the highlands of Mexico

J.I. Vega-García, F. López-González, and C.M. Arriaga-Jordán. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México.

E. Morales-Almaraz. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo Piedras Blancas, 50090 Toluca, Estado de México, México.

Autor de correspondencia: Felipe López-González (email: flopezg@uaemex.mx)

- Captura de que el artículo fue aceptado:

← RV: CJAR220124 Publication charge

Dear Felipe Lopez-Gonzalez

The corrections of your manuscript **Secondary growth rye or triticale silage: small-grain cereals as a dual-purpose forage option for small-scale dairy systems in the highlands of Mexico**, code **CJAR220124**, have been accepted. The official acceptance letter will be available after the payment is confirmed.

Payment must be made by **September 09, 2022**. If payment is not confirmed by the specified date, the publication will be delayed.

Methods of Payment: [Download Payment Information \(PDF\)](#)

- Wire transfer (transferencia bancaria): **690 USD + TRANSFER FEE** (19 pages, one extra pages). Transfer charges are the responsibility of the author (tick OUR on the bank form).
- Payment with Credit Card by [webpay.cl](#): **640479 CLP**. Transaction fee (2%) is included.

Payment information is also available in your account at www.chileanjar.cl

Access data:

Username: flopezg@uaemex.mx

Password: 1c33a5

Sincerely yours,

Pablo Undurraga
Editor in Chief
ChileanJAR

888 comprometido con los ODS



"La información contenida en este mensaje y en los archivos adjuntos es de carácter confidencial del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Chile) y está destinada al uso exclusivo del emisor o de la entidad a quien se dirige. Si lo recibió por error, por favor infórmenos inmediatamente respondiendo este mismo mensaje y borre todos los archivos adjuntos, pues el uso indebido de esta información está sancionado por la ley"

"The information contained in this message as well as the attached files is confidential to the Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA Chile) and it is intended of the exclusive use of the sender or the entity that is addressed. If you received it by mistake, please inform us immediately answering this message and delete all attached files, as the misuse of this information is sanctioned by law"

Imagen 4. Captura de pantalla del correo recibido por parte del editor de la revista, en la cual se aprecia que el artículo fue aceptado para ser publicado.

- **Carta de aceptación emitida por la revista:**



CHILEAN JOURNAL
of AGRICULTURAL RESEARCH

Chillán, Chile, September 07, 2022

Mister/Miss
Felipe López-González
Universidad Autonoma del Estado de Mexico
Toluca
Mexico

Dear author:

We are pleased to inform you that the manuscript **Secondary growth rye or triticale silage: Small-grain cereals as a dual-purpose forage option for small-scale dairy systems in the highlands of Mexico**, of **Jesus I. Vega-Garcia, Felipe Lopez-Gonzalez, Ernesto Morales-Almaraz, and Carlos M. Arriaga-Jordan**, code **CJAR220124**, has been accepted for publication in Chilean Journal of Agricultural Research.

Your manuscript will be published in Volume 83, issue 01, in February 2023.

Sincerely yours



Pablo Undurraga D.
Editor
Chilean J. Agricultural Research

Instituto de
Investigaciones
Agropecuarias
Ministerio de Agricultura

INIA Quilamapu: Avda Vicente Méndez 515, Chillán. Casilla 426
Tel.: +56 42 220 6780

- Resumen del artículo “Secondary growth rye or triticale silage: small-grain cereals as a dual-purpose forage option for small-scale dairy systems in the highlands of Mexico”:

Los cereales de grano pequeño pueden ser una alternativa forrajera para los sistemas de producción de leche en pequeña escala en condiciones climáticas limitantes, debido a su ciclo agronómico corto. Los cereales como forraje de doble propósito (pastoreo y ensilaje) no han sido evaluados en México. El objetivo fue evaluar la inclusión de ensilado de centeno (RYE) y de triticale (TRT), cortados después del pastoreo, como base forrajera ($10 \text{ kg MS vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$) para vacas en ordeño durante la época poco lluviosa, con acceso (8 h d^{-1}) a una pradera de pasto kikuyo y suplementado con $3.6 \text{ kg MS vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de concentrado comercial; en un diseño doble reversible con seis vacas y tres periodos experimentales de 14 días. Los animales (rendimiento de leche -RL, peso vivo -PV, puntuación de condición corporal -PCC y muestreo para la composición de la leche) y las variables de alimentación (acumulación neta de forraje, altura del césped y muestreo para la composición química) se registraron durante los últimos cuatro días de cada período. No se detectaron diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos para RL ($13.3 \pm 2.8 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$), PV ($512.1 \pm 85.9 \text{ kg}$), PCC (2.2 ± 0.2), grasa láctea ($35.8 \pm 5.2 \text{ g kg}^{-1}$), proteína de leche ($27.8 \pm 0.6 \text{ g kg}^{-1}$), nitrógeno ureico de leche ($9.8 \pm 2.5 \text{ mg dl}^{-1}$) o pH de leche (6.8 ± 0.07). Los costos de alimentación fueron menores en RYE ($P < 0.05$); que puede ser una alternativa para los sistemas lecheros de pequeña escala. Se concluye

que tanto el centeno como el triticale son buenas alternativas como cultivos forrajeros de doble propósito.

Palabras clave: Estación seca, estrategias de alimentación, ensilaje de cereal de segundo corte, sistemas lecheros de pequeña escala.

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

Para el Experimento 1, dado que no hubo diferencias en las variables animales, los tres cereales se plantean como opciones viables para el pastoreo en estos sistemas de producción lechera de pequeña escala por sus altos rendimientos de materia seca, con contenido adecuado de proteína y digestibilidad media para sostener los rendimientos y la rentabilidad de la leche en vacas lecheras de bajo rendimiento en lactancia media. El mejor desempeño del centeno en el rendimiento de materia seca lo convirtió en el forraje de menor costo por kg de materia seca, disminuyendo los gastos en comparación con los cultivos de trigo y triticale. Por el contrario, el cultivo de trigo tuvo el mayor costo de alimentación por kg de leche y un menor margen de ingresos en relación con los costos de alimentación; sin embargo, la relación de los ingresos sobre los costos de alimentación fue muy favorable para los tres tratamientos.

Otra ventaja de los tres cereales evaluados fue su posibilidad de doble propósito para un cultivo de ensilado después del pastoreo, ya que la masa de forraje en pie al final del experimento de pastoreo fue alta, lo que dio lugar a la realización del Experimento 2.

Para el Experimento 2, el rendimiento de ensilaje de los cultivos de triticale y centeno después del pastoreo fue alto, lo que demuestra que es factible utilizar estos cereales de grano pequeño desde un enfoque de doble propósito. Los productores lecheros de pequeña escala pueden incluir ensilaje de centeno o triticale en sus estrategias de alimentación en la estación seca.

Se concluye que tanto el trigo, centeno y triticale son buenas alternativas como cultivos forrajeros para pastorearse en sistemas de producción de leche en pequeña escala, y que los cultivos de centeno y triticale se pueden utilizar por los productores con un manejo de doble propósito: para pastoreo en época de lluvias seguido de ensilado en época de secas, en sistemas de producción de leche en pequeña escala para alimentar el hato lechero en el noroeste del Estado de México.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFRC 1993 Energy and Protein Requirements for Ruminants. An advisory manual prepared by the Animal and Food Research Council. Technical Committee on Response to Nutrients. 159. CAB International, Wallingford, UK.

Ankom 2005 Procedures (for NDF, ADF, and *in vitro* Digestibility). Ankom Technology Method. (<http://www.ankom.com/>). Consultado en el 2019.

Ayed S, Rezgui M, Othmani A, Rezgui M, Trad H, Teixeira-da Silva, JA, Ben-Younes M, Ben- Salah H & Kharrat M 2017 Response of tunisian durum (*Triticum turgidum* ssp. Durum) and bread (*Triticum aestivum* L.) wheats to water stress. *Agrociencia* **51** 13-26.

Ballesteros-Rodríguez E, Morales-Rosales EJ, Franco-Mora O, Santoyo-Cuevas E, Estrada-Campuzano G & Gutiérrez-Rodríguez F 2015 Manejo de fertilización nitrogenada sobre los componentes del rendimiento de triticale. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* **6** 721-733.

Burbano-Muñoz VA, López-González F, Estrada-Flores JG, Sainz-Sánchez PA, & Arriaga-Jordán CM 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** 63-70, doi: 10.2989/10220119.2018.1473493

Celis-Alvarez MD, López-González F, Martínez-García CG, Estrada-Flores JG & Arriaga-Jordán CM 2016 Oat and ryegrass silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production* **48** 1129-1134, doi: 10.1007/s11250-016-1063-0

Celis-Alvarez MD, López-González F, Estrada-Flores JG, Domínguez-Vara IA, Heredia-Nava D, Munguía- Contreras A & Arriaga-Jordán CM 2017 Evaluación nutricional *in vitro* de forrajes de cereales de grano pequeño para sistemas de producción de leche en pequeña escala. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* **20** 439-446.

Chamberlain AT & Wilkinson JM 2002 Alimentación de la vaca lechera. Editorial Acribia. España.

Chaney L & Marbach E 1962 Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*. 130–132.

Chapman SR & Carter LP 1980 Producción Agrícola (Principios y Práctica). Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Chung-Nan C, Tzu-Tai L & Bi Y 2016 Improving the prediction of methane production determined by *in vitro* gas production technique for ruminants. *Annals of Animal Science* **16** 565-584.

CIMMYT 1976 Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Trigo x Centeno = Triticale. *El CIMMYT Hoy*. CDMX, México.

CIREN 1989 Centro de Información de Recursos Naturales. Cereales, cultivos industriales y flores, Publicación CIREN No. 86. Santiago, Chile.

Coletto-Martínez JM, Bartolomé-García T & Velázquez-Otero R 2016 Historias de plantas (III): la historia del centeno. En: *La agricultura y ganadería extremeñas 2016*.

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales-Escuela de Ingenierías Agrarias, Universidad de Extremadura. Impreso en España.

Conroy C 2005 Participatory livestock research. Bourton-on-Dunsmore: ITDG Publishing. Warwickshire, UK.

CORPOICA 1998 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Centro de Investigación Abanuco, Regional No. 5. Boletín Educativo No. 4, Obonuco Triticale 98: nueva especie forrajera para el departamento de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia.

Duthil J 1980 Producción de forrajes. 3a Ed. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.

Delogu G, Faccini N, Faccioli P, Reggiani F, Lendini M, Berardo N & Odoardi M 2002 Dry matter yield and quality evaluation at two phenological stages of forage triticale grown in the Po Valley and Sardinia, Italy. *Field Crop Research* **74** 207-215.

Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-lópez J, Castañeda-Martínez T & Arriaga-Jordán CM 2007 Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico, technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture* **43** 241-256.

Flores-Calvete G, González-Arráez A, Castro-González J, Castro-García P, Cardelle-Campos M, Fernández-Lorenzo B & Valladares-Alonso J 2003 Evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica de ensilajes de hierba y planta entera de maíz. *Pastos* **33** 5-26.

Fadul-Pacheco I, Wattiaux MA, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E & Arriaga-Jordán CM 2013 Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems* **37** 882-901.

Ferrer-Benemeli C 2016 Diccionario de pascología – Aspectos ecológicos, botánicos, agronómicos, forestales, zootécnicos y socio-económicos de los pastos. Fundación Conde del Valle Salazar. Madrid. España. ISBN: 978-84-96442-67-2

Giraldo LA, Gutiérrez LA & Rúa C 2007 Comparación de dos técnicas in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, **20** 269-279.

Gordon IJ 2003 Browsing and grazing ruminants: are they different beasts? *Forest Ecology and Management* **181** 13-21.

Guerrero-García A 1987 Cultivos herbáceos extensivos. 4ª Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

GRDC 2018 Grains Research & Development Corporation, Cereal Rye Plant Growth and Physiology. Disponible en https://grdc.com.au/_data/assets/pdf_file/0030/369336/GrowNote-Cereal-Rye-North-4-Physiology.pdf. Consultado en noviembre de 2019.

Haider N 2018 A brief review on plant taxonomy and its components. *Journal of Plant Science and Research* **34** 275-290.

Hernández-Mendo O & Leaver JD 2006 Production and behavioural responses of high- and low-yielding dairy cows to different periods of access to grazing or to maize silage and soyabean meal diet fed indoors. *Grass and Forage Science* **61** 335-346.

Hodgson J 1990 Grazing management: science into practice. Longman Scientific and Technical. Harlow. UK.

Horst HE, Neumann M, Mareze J, Mattos-Leão JF, Bumbieris-Júnior VH & Cruz-Mendes M 2018 Nutritional composition of pre-dried silage of different winter cereals. *Acta Scientiarum* **40** 1-7, doi: 10.4025/actascianimsci.v40i1.42500

Hughes HD, Health ME & Metcalfe DS 1974 Forrajes. La ciencia de la agricultura basada en la producción de pastos. Editorial CECSA, Barcelona, España.

Illius AW & Gordon IJ 1987 The allometry of food intake in grazing ruminants. *Journal of Animal Ecology* **57** 989-999.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Encuesta nacional agropecuaria. 2014. <http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/proyectos/encagro/ena/2014/doc/minimonografia/prodbovena14.pdf>. Consultado en octubre del 2018.

Jobet FC 1988 Origen del trigo y su distribución en el mundo. *Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca* **7** 2-6.

Kaps M & Lamberson W 2004 Change-over designs. In: *Biostatistics for Animal Science*. Kaps, M. and Lamberson, W. Cromwell Press, Trowbridge.

Khan NA, Farooq MW, Ali M, Suleman M, Ahmad N, Sulaiman SM, Cone JW & Hendriks WH 2015 Effect of species and harvest maturity on the fatty acids profile of tropical forages. *The Journal of Animal & Plant Sciences* **25** 739- 746.

Khorasani GR, Jedel PE, Helm JH & Kennelly JJ 1997 Influence of stage of maturity on yield components and chemical composition of cereal grain silages. *Canadian Journal of Animal Sciences* **77** 259-267, doi: 10.4141/A96-034

Kilcher MR 1982 Effect of cattle grazing on subsequent grain yield of fall rye (*Secale cereale* L.) in southwestern Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science* **62** 795-796.

KSU-Kansas State University Grazing Wheat Pasture. A FORAGE FACTS Publication of the KANSAS FOREGE TASK FORCE. Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Disponible en: <https://www.asi.k-state.edu/doc/forage/fora23.pdf>. Consultado en mayo del 2020.

Lapar MLA, & Ehui S 2003 Adoption of dual-purpose forages: some policy implications. *Tropical Grasslands* **37** 284-291.

Lehmen RI, Serena-Fontaneli R, Serena-Fontaneli R & Pereira-dos Santos H 2014 Yield, nutritive value and fermentative parameters of winter cereals silages. *Ciência Rural* **44** 1180-1185, doi: 10.1590/0103-8478cr20130840

Limón-Hernández D, Rayas-Amor AA, García-Martínez A, Estrada-Flores JG, Núñez-López M, Cruz-Monterrosa RG & Morales-Almaraz E 2019 Chemical composition, *in vitro* gas production, methane production and fatty acid profile of canola silage (*Brassica*

napus) with four levels of molasses. *Tropical Animal Health and Production* **51** 1579-1584.

doi: 10.1007/s11250-019-01849-7

Little TM & Hills FJ 1985 Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas, México.

López-Bellido L 1991 Cultivos herbáceos Vol. I Cereales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

López-Córdova JP, Rueda-Puente EO, Vargas-López JM, Wong-Corral FJ & López-Ahumada GA 2018 Rendimiento y calidad de grano de centeno (*Secale cereale* L) bajo diferentes condiciones de fertilización en el estado de Sonora, México. *Biotechnia* **20** 76-82.

Martínez-Borrego E 2009 El estado de México: sus regiones y la producción de leche. p. 41-78. In: *La lechería en el Estado de México: sistema productivo, cambio tecnológico y pequeños productores familiares en la región de Jilotepec*. 1th ed. Bonilla Artigas Editores, México.

Martínez-García CG, Rayas-Amor AA, Anaya-Ortega JP, Martínez-Castañeda FE, Espinoza-Ortega A, Prospero- Bernal F & Arriaga-Jordán CM 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** 331-337.

McCartney DH & Vaage AS 1993 Comparative yield and feeding value of barley, oat and triticale silages. *Canadian Journal of Animal Science* **74** 91-96. doi: 10.4141/cjas94-014

Meier HME 1978 Plantas, cultivos, cosechas. 1ª Ed. Aedos Editorial, Barcelona, España.

Muciño-Álvarez M, Albarrán-Portillo B, López-González F, & Arriaga-Jordán CM

2021 Multi-species pastures for grazing dairy cows in small-scale Dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production* **53** 113. doi: <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02564-1573-7438> (Online).

Murillo-Amador B, Escobar AH, Fraga-Mancillas H & Pargas-Lara R 2001

Rendimiento de grano y forraje de líneas de triticale y centeno en Baja California Sur, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* **24** 145-153.

Mut Z, Ayan I & Mut H 2006 Evaluation of forage yield and quality at two phenological stages of triticale genotypes and other cereals grown under rainfed conditions. *Bangladesh Journal of Botany* **35** 45-53.

Mwendia SW, Maass BL, Njenga DG, Nyacundi FN & Notenbaert AMO 2017

Evaluating oat cultivars for dairy forage production in the central Kenyan highlands. *African Journal of Range and Forage Science* **34** 145-155. doi:10.2989/10220119.2017.1358214

Paris W, Zamarchi G, Pavinato PS & Martin T N 2015 Qualidade da silagem de aveia

preta sob efeito de estádios fenológicos, tamanhos de partícula e pré-murchamento. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* **16** 486-498.

Parsi J, Godio I, Miazzi R, Maffioli R, Echevarria A, & Provencal P 2001 Valoración

nutritiva de los alimentos y formulación de dietas. *Cursos de Producción Animal, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.*

http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/16

[valoracion_nutritiva_deJos_alimentos.pdf](#). Consultado en septiembre de 2018.

Peccapelo H, Ferreira V, Picca A, Ferrari E, Domínguez R, Grassi E, Ferreira A, di Santo H & Castillo E 2017 Triticale (*X Triticosecale Wittmack*): yield and yield components in a semiarid environment of Argentina. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* **33** 45-58.

Plana R, Álvarez M & Varela M 2006 Evaluación de una colección del género triticum: trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp *aestivum*), trigo duro (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) y triticale (*x Triticum secale Wittmack*) en las condiciones del occidente de Cuba. *Cultivos Tropicales* **27** 49-52.

Plata-Reyes DA, Morales-Almaraz E, Martínez-García CG, Flores-Calvete G, López-González F, Prospero-Bernal F, Valdez-Ruiz CI, Zamora-Juárez YG & Arriaga-Jordán CM 2018 Milk production and fatty acid profile of dairy cows grazing four grass species pastures during the rainy sea son in small-scale dairy Systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production* **50** 1797-1805.

Posadas-Domínguez, RR, Arriaga-Jordán, CM, & Martínez-Castañeda, FE 2014 Contribution on family labour to the profitability and competitiveness of small-scale dairy production systems in Central Mexico. *Tropical Animal Health and Production* **46** 235-240.

Prospero-Bernal F, Martínez-García CG, Olea-Pérez R, López- González F & Arriaga-Jordán CM 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** 1537-1544.

Ramos-Gamiño F 2013 Maíz, trigo y arroz, los cereales que alimentan al mundo. Serna Impresos, Monterrey, México.

Simon LM, Obour AK, Holman JD, Johnson SK, Rooseboom KL 2021 Forage productivity and soil properties in dual-purpose cover crop systems. *Agronomy Journal* **113** 5569-5583. doi: 10.1002/agj2.20877

Soto F, Plana R & Hernández N 2009 Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*) y triticale (*X Triticum secale Wittmak*) y su relación con el rendimiento. *Cultivos Tropicales* **30** 32-36.

Stroup WW, Hidebrand PE & Francis CA 1993 Farmer participation for more effective research in sustainable agriculture. In: Ragland J, lai R (eds), *Technologies for sustainable agriculture in the tropics*. Special Publication 56. Madison: American Society of Agronomy. pp 153-186.

Thornton PK, Van de Steeg J, Notenbaert A & 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** 113-127.

Vieyra-Alberto R, Arriaga-Jordán CM, Domínguez-Vara IA, Borquéz-Gastelum JL & Morales-Almaráz E 2017 Efecto del aceite de soya sobre la concentración de los ácidos grasos vaccenico y ruménico en leche de vacas en pastoreo. *Agrociencia* **51** 299-313.

WARATAH Seed Co. Ltd. 2011 Triticale: Grazing guide. Disponible en: www.Waratahseeds.com.au. Consultado en mayo de 2020.

Wattiaux MA 2013 Grados de Condición Corporal. En: Esenciales Lecheras. Instituto Babcock, EUA.

Zadocks JC, Chang TT & Konzak CF 1974 A decimal code for the growth stages of cereals. Weed research **14** 415-421.

Zouza-Filho AX, Garcia- Von Pinho R, De Andrade-Resende-Pereira JL, Costa-dos Reis M, Vilela-de Rezende A & De Castro-Mata D 2011 The evolution of livestock raising requires intensive. Revista Brasileira de Zootecnia **40** 1894-1901.

X. ANEXOS

10.1. Aprobación por parte del Comité de Bioética de Investigación PCARN



Universidad Autónoma del Estado de México

Toluca, México a 18 de agosto de 2021

JESÚS ISRAEL VEGA GARCÍA
Investigador Principal

Asunto: DICTAMEN DEL COMITÉ DE BIOÉTICA DE INVESTIGACIÓN PCARN.
APROBADO.

Título del Proyecto: **Evaluación de centeno, trigo y triticale como alternativa forrajera en sistemas de producción de leche en pequeña escala**

Código asignado por el Comité: **23-FEB-2021-2**

Le informamos que su proyecto de referencia ha sido evaluado por el Comité y las opiniones acerca de los documentos presentados se encuentran a continuación:

	Nº y/o Fecha Versión	Decisión
PROTOCOLO	19 FEBRERO DE 2021	APROBADO
CONSENTIMIENTO INFORMADO	1 MAYO DE 2020	PRESENTADA

Este protocolo tiene vigencia del 2 de agosto de 2020 al 30 de enero de 2022.

En caso de requerir una ampliación, le rogamos tenga en cuenta que deberá enviar al Comité un reporte de progreso al menos 30 días antes de la fecha de término de su vigencia. Lo anterior forma parte de las obligaciones del Investigador o la investigadora las cuales vienen descritas al reverso de esta hoja.

ATENTAMENTE

Patria, Ciencia y Trabajo

"2021, Celebración de los 65 años de la Universidad Autónoma del Estado de México"

Dra. Ivonne Vizcarra Bordi

Presidenta del Comité de Bioética de Investigación del PCARN

c.c.p. Archivo.

10.2. Datos pre-experimentales de las vacas

10.2.1. Datos pre-experimentales de las vacas del Experimento 1

ID Vaca	RL	PV	CC	DL
6966	23.3	449	1.75	79±10
6841	19.7	438	1.75	20±10
5940	20.4	468	1.75	41±10
3028	11.0	457	2.00	260±10
5943	12.9	516	1.75	275±10
6836	13.8	548	1.50	220±10
6840	11.9	462	1.25	187±10
0005	13.1	495	1.50	158±10
5938	11.7	381	1.75	187±10
3030	13.1	459	1.75	136±10
5941	12.0	419	1.50	117±10
3031	11.5	422	1.75	92±10

ID Vaca: Identificación animal, **RL:** rendimiento de leche (kg d⁻¹), **PV:** peso vivo (kg),

CC: condición corporal (1-5), **DL:** días en lactación.

10.2.2. Datos pre-experimentales de las vacas del Experimento 2

ID Vaca	RL	PV	CC	DL
SN	16.4	377	1.75	11
3028	17.0	516	2.00	66
3025	11.8	418	2.00	62
6837	11.3	518	2.00	97
1496	15.7	594	2.00	59
5936	14.7	600	2.00	48

ID Vaca: Identificación animal, **RL:** rendimiento de leche (kg d⁻¹), **PV:** peso vivo (kg),

CC: condición corporal (1-5), **DL:** días en lactación.