

## Trabajo Fin de Grado

Titulación: Ingeniería Agroalimentaria y del  
Medio Rural

Mención: Explotaciones Agropecuarias

Título del trabajo: “Caracterización de la calidad de  
henos y silos de prados y praderas del Pirineo Central”

English title: "Hay and silage quality characterisation  
of meadows and forage crops in the Central Pyrenees”

Autor/es

FÉLIX JORGE SALANOVA ARDANUY

Director/es

JOAQUÍN ASCASO MARTORELL  
RAMÓN REINÉ VIÑALES  
ANTONIO LÓPEZ ALIAGA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
Año 2022

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN .....	5
Palabras clave:.....	5
SUMMARY .....	6
Keywords .....	6
ABREVIATURAS UTILIZADAS: .....	7
1. INTRODUCCIÓN .....	8
1.1. El sistema forrajero del Pirineo Central .....	8
1.1.1. El sistema de producción ganadero .....	8
1.1.2. Necesidad de conservación de forrajes .....	8
1.1.3. Cultivos forrajeros, prados y praderas en el Pirineo central.....	9
1.2. Sistemas de conservación .....	11
1.2.1. Henificación y ensilado, proceso de producción.....	11
1.2.2. Procesos y pérdidas sobre el forraje en la henificación.....	12
1.2.3. Procesos y pérdidas sobre el forraje en el ensilado.....	14
1.2.4. Cambios en el valor nutricional según las técnicas de conservación.....	17
1.3. Idoneidad de la hierba para su conservación.....	18
1.3.1. Fenología .....	18
1.3.2. Ensilabilidad.....	20
1.3.3. Aditivos para ensilar .....	21
1.3.4. Familias botánicas .....	23
1.4. Sistemas de valoración de la calidad de la hierba y de henos y silos.....	23
1.5. Antecedentes .....	28
1.6. Justificación .....	30
2. OBJETIVOS .....	31
3. METODOLOGÍA.....	32
3.1. Área de estudio .....	32
3.2. Localización de praderas y prados .....	34
3.3. Muestreo de campo .....	35
3.4. Métodos analíticos en el laboratorio .....	36
3.5. Cálculos bromatológicos .....	39
3.1. Tratamiento de datos.....	45
4. RESULTADOS .....	47

4.1. Características de calidad de los forrajes según su origen y el método de conservación.....	47
4.2. Comparación calidad según el método de conservación. Entre henos y ensilados y entre los tipos de silo. ....	49
4.2.1. Variables cuantitativas .....	49
4.2.2. Variables cualitativas.....	50
4.4. Características de calidad de los forrajes según explotaciones .....	51
4.5. Relaciones entre los parámetros de calidad .....	56
4.4.1 Correlaciones (todos los forrajes) .....	56
4.4.2 Correlaciones (Heno).....	57
4.4.3 Correlaciones (Silos) .....	57
5. DISCUSIÓN.....	58
5.1. Parámetros de calidad.....	58
5.2. Comparaciones entre henos y silos.....	60
5.3. Comparaciones entre praderas y prados .....	62
5.4. Relación entre parámetros de calidad .....	62
6. CONCLUSIONES .....	64
7. BIBLIOGRAFÍA.....	65

El Trabajo de Fin de Grado que presento para su exposición y defensa es original y todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.



*Félix Jorge Salanova Ardanuy*

## AGRADECIMIENTOS

Ante todo, quiero dar las gracias a Ramón Reiné y Joaquín Ascaso por su absoluta predisposición, por su ayuda y por todo lo que me han enseñado durante el desarrollo de este trabajo.

Igualmente, a Antonio López y el resto del equipo del Laboratorio Agroambiental encabezado por Jesús Betrán por su paciencia y preocupación durante el proceso de análisis en el laboratorio.

A los miembros de UAGA y de la cooperativa Agropecuaria del Sobrarbe SCL (SCLAS) que han participado en el proyecto. Así mismo al Gobierno de Aragón que ha financiado el proyecto a través del Plan de Desarrollo Rural de Aragón 2014-2020.

A los ganaderos que han facilitado los henos y los silos e información sobre el manejo de los forrajes.

Y por supuesto, a mi familia y a todos los que me han apoyado durante esta etapa de mi vida.

Muchas gracias a todos.

## RESUMEN

El presente trabajo trata de la estimación de la calidad forrajera de los henos y silos de las explotaciones ganaderas del Pirineo aragonés. Para ello se han recogido 90 muestras de forraje conservado en 9 explotaciones y se han sometido análisis químicos en laboratorio, para posteriormente estimar su calidad mediante cálculos bromatológicos.

Según las categorías establecidas por la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, la calidad media de los forrajes analizados es baja. Los silos presentan mejores resultados de proteína y calidad forrajera que los henos, pero sus menores capacidades de ingestión podrían no satisfacer las necesidades diarias del ganado. No aparecen diferencias significativas cuando comparamos el origen de las muestras (prados y praderas) y tampoco aparecen diferencias significativas entre los tipos de silo (bola o trinchera) que en su conjunto presentan una calidad fermentativa deficiente.

De acuerdo con estos resultados no parece recomendable el cambio de método tradicional de conservación de la hierba mediante henificado en favor de la práctica del ensilado que requiere además un mayor grado de intensificación, aunque sí podría resultar de interés el abordar en un futuro el análisis del manejo de los silos y el potencial de ensilabilidad de la hierba de estos prados.

**Palabras clave:** Conservación de la hierba, calidad bromatológica, valor relativo del forraje, agricultura de montaña, ganadería extensiva.

## SUMMARY

This work deals with the estimation of the forage quality of hay and silage from livestock farms in the Aragonese Pyrenees. For this purpose, 90 samples of preserved fodder were collected from 9 farms and subjected to chemical analysis in the laboratory, to subsequently estimate their quality by means of bromatological calculations.

According to the categories established by the Spanish Foundation for the Development of Animal Nutrition, the average quality of the forages analyzed was low. Silages show better protein and forage quality results than hays, but their lower intake capacity may not satisfy the daily needs of cattle. There are no significant differences when we compare the origin of the samples (meadows and forage crops) and there are no significant differences between the types of silages (ball or trench) and, as a whole, they present a poor fermentative quality.

According to these results, it does not seem advisable to change the traditional method of forage conservation by tedding in favor of silage, which requires a higher intensification, although it could be of interest to analyze in the future the management of silos and the silage potential of grass from these meadows.

**Keywords:** Forage conservation, bromatological quality, relative forage value, mountain agriculture, extensive livestock farming.

## ABREVIATURAS UTILIZADAS:

- AGV: Ácidos grasos volátiles
- Cen (%MS): Cenizas
- CGS: Calidad Global del Silo
- dE (%): Digestibilidad energía
- dMO (%): Digestibilidad aparente de la materia orgánica
- DMS (%): Coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca
- dr(%): Digestibilidad real de las proteínas
- DT(%): Degradabilidad de las proteínas al rumen
- DT6(%): Tasa de paso fijada a 6%/hora para todas las partículas potencialmente degradables en el rumen
- EB (kcal/kgMS): Energía Bruta
- ED (kcal/kgMS): Energía Digestible
- EM (kcal/kgMS): Energía metabolizable
- FAD (%MS): Fibra ácido detergente
- FND (%MS): Fibra neutro detergente
- Humedad (%): Humedad por gravimetría
- IE: Índice de ensilabilidad
- IMS (%PV): Ingestión voluntaria de la materia seca
- MAT (% MS): Materia nitrogenada total
- MO (g/kgMS): Materia Orgánica
- MOF (g/kg MS): Materia orgánica fermentable
- MS (%): Materia Seca
- MSVib por día 500 kg: Materia seca voluntariamente ingerida (bovino) de 500kg de peso
- MSVib: Materia seca voluntariamente ingerida (bovino)
- P0,75: Peso vivo metabólico
- PANDI: Proteínas alimentarias no digeribles (fecales)
- PB (%MS): Proteína Bruta
- PD (% MS): Proteína digerible
- PDI (g/kg MS): proteína digerible en el Intestino
- PDIA (g/kg MS): proteína digerible en el Intestino de origen alimentario
- PDIE (g/kg MS): proteína digerible en el Intestino limitada por el aporte de nitrógeno
- PDIM (g/kg MS): Proteína digerible en el intestino que proviene de los microbios (rumen)
- PDIN (g/kg MS): proteína digerible en el Intestino limitada por el aporte de energía
- Ph: pH de una disolución
- pHdif: Diferencia entre pH y pHe
- pHe: pH de estabilidad
- PV: Peso vivo del animal
- r: Coeficiente de relación de Pearson
- UE: Coeficiente de ingestión INRA (UEb para bovinos)
- UF (UF/ kg MS): Unidad forrajera
- UFC (UF/ kg MS): Unidad forrajera carne
- UFL (UF/ kg MS): Unidad forrajera leche
- VRF: Valor Relativo del forraje

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1.El sistema forrajero del Pirineo Central

### 1.1.1. El sistema de producción ganadero

El Pirineo central delimita el área comprendida en esta cordillera, aproximadamente, desde las cumbres de Somport en la parte occidental, hasta el macizo de la Maladeta en la oriental. Esta zona engloba las cuatro comarcas más septentrionales de la provincia de Huesca: la Jacetania, Alto Gállego, Sobrarbe y Ribagorza. En dichas comarcas en el año 2020 el censo de vacas nodrizas era de 24.717 cabezas repartidas entre 507 explotaciones y en el caso del ovino, 199.911 cabezas de ganado se repartían en 466 explotaciones. (Gobierno de Aragón, 2021)

Estos animales se manejan mediante el denominado sistema de producción ganadero de montaña, en el cual la alimentación está basada casi exclusivamente en los forrajes producidos en la propia explotación, ya sea a diente o conservado. Durante la primavera el ganado se alimenta de los pastos de media montaña, de los que van ascendiendo progresivamente hasta alcanzar los puertos, en los que pasan los meses de verano. En otoño el ganado desciende de nuevo a los valles, donde se alimenta del rebrote de los prados que consumieron en primavera, y de otras parcelas que se cosecharon durante el verano. Finalmente, los animales se recogen en los establos donde se alimentan del forraje recolectado en verano y conservado en forma de heno o ensilado (Ocaña, 1978; Fillat et al., 2007). Por otro lado, el manejo reproductivo también está muy influenciado por la disposición de alimento para los animales. En el caso del vacuno, tradicionalmente se agrupaban los partos a finales del invierno y principios de primavera, tratando de hacer coincidir la época de lactación con el momento en el que comienza a haber abundantes pastos. (Adámez, 2009). Nuevos modelos agrupan los partos en otoño, el antiguo ideal técnico de acumular los partos en la época de mayor abundancia de pastos, para asegurar el desarrollo de los terneros y el mantenimiento de la madre sin necesidad de gastos adicionales, parece haber quedado obsoleto, ya que es más importante asegurar la condición corporal al parto, para garantizar una rápida reactivación ovárica postparto y el éxito de la cubrición siguiente (Sanz Pascua, 2014).

### 1.1.2. Necesidad de conservación de forrajes

En esta región el factor limitante para la producción animal es la conservación de forraje para el invierno, ya que el resto del año se dispone de abundantes pastos aprovechados a diente. El pico productivo de los prados y praderas se alcanza cuando los animales tienen las necesidades cubiertas durante la estancia en los puertos, por lo que entonces debe conservarse para la época invernal en la que se produce una parada vegetativa en los campos. Dicho de otro modo, los sistemas de producción ganadera se estructuran alrededor del sistema forrajero y éste, a su vez, depende principalmente del potencial edafoclimático de la región (Vignau-Loustau y Huyghe, 2008).

### 1.1.3. Cultivos forrajeros, prados y praderas en el Pirineo central

En el Pirineo Central, trabajos anteriores, recopilados en Maestro et al. (2002) hacen una división de la gestión forrajera en dos zonas geográficas: los cultivos forrajeros de la depresión media prepirenaica y los prados de los valles de montaña. A continuación, se van a describir los aspectos principales de estos dos tipos de gestión del pasto.

Los cultivos forrajeros son pastos sembrados en una rotación. Las praderas, son un cultivo polifito constituido fundamentalmente por gramíneas y leguminosas, que puede ser aprovechado por siega o pastoreo de forma indistinta, en general son plurianuales y con el paso del tiempo pueden naturalizarse. También lo son los cultivos forrajeros monofitos, entre lo que podemos encontrar cereales de invierno o de primavera para forraje, leguminosas y gramíneas forrajeras, raíces y tubérculos forrajeros o barbechos semillados, que se aprovechan fundamentalmente por siega y que pueden ser anuales o plurianuales (Ferrer et al., 2001).

La depresión Media Prepirenaica es una zona eminentemente cerealícola. De su superficie agrícola más del 50% lo constituyen cereales y sólo el 23,5% son cultivos forrajeros. De ellos el 27% lo constituyen alfalfares en igual proporción en secano y en regadío. Por último y en un porcentaje menor, nos encontramos una superficie dedicada al cultivo de praderas.

La alfalfa en regadío (ecotipo Aragón en su mayor parte) se siega para henificar, salvo un pastoreo a mediados o final del otoño. El cultivo se mantiene durante unos cinco años dándose cinco cortes al año más el mencionado pastoreo. En cuanto al abonado para la instalación suele aplicarse estiércol junto, en ocasiones, un abono complejo no superando aportes de 20-50-50 unidades de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O. En años posteriores es frecuente no abonar en absoluto o aplicar abonos como 0-14-7, 7-12-7, 4-12-8 que ni en cantidades ni en tipo de abono responden a las recomendaciones habituales, debido probablemente a que el agricultor tiende a utilizar el mismo abono que compra en cantidades notables para el cereal.

Si el cultivo se realiza en secano, se mantiene durante unos seis años y se suelen realizar cuatro cortes anuales, más uno o dos pastoreos a final de otoño si la meteorología lo permite. Como en el caso del regadío, al instalarse se fertilizan con estiércol, pero a diferencia de este, ese mismo año se aplica un abono complejo con 25-80-40 unidades el primer año y 20-60-30 en los sucesivos.

En ambos casos el máximo de producción se da en el tercer año y la productividad neta media en regadío sería de 9.020 kg de materia seca (MS)/ha (6.510 unidades forrajeras (UF)/ha y 1.369 kg de proteína digestible (PD)/ha) y para la alfalfa de secano sería de 5.643 kg. MS/ha (4.129 UF/ha y 895 kg. PD/ha) según datos de Amella et al. (1985).

En cuanto a las praderas, en regadío la mezcla de siembra utilizada en la mayoría de los casos es: *Lolium multiflorum*, *Dactylis glomerata*, *Trifolium repens* y *T. pratense*, detectándose en algunas parcelas *L. perenne*, *Festuca pratensis* y *Medicago sativa*. El abonado suele ser de estiércol y, en algunos casos, dosis de 300-400 kg/ha de 8-24-16. En la zona se explotan estas praderas según tres modelos: 3, 4 o 5 aprovechamientos anuales (modelos A, B y C respectivamente), en los que se consiguen en cuanto a kg de MS, UF y kg de PD: modelo A (10.474-7.290-1.227), B (13.129-9.170-1.680) y C (14.372-9.712-1.765). Los modelos B y C producen un 26-33% más de UF/ha y un 37-44% más de kg PD/ha que en el modelo A.

Comparados con la alfalfa, la producción de MS y UF por hectárea es mayor, con unos niveles similares de PD, además las praderas tienen la ventaja de que pueden ser aprovechadas a diente, mientras que la alfalfa se henifica (salvo el pastoreo otoñal) con las altas pérdidas que esto conlleva. Otra de las ventajas de estas praderas es que pueden mantener su composición florística durante más de 15 años (Ferrer et al., 2000).

Si las praderas son de secano, la mezcla de siembra está compuesta en general por *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Trifolium repens* y *Onobrychis viciaefolia* y en algunas praderas más frescas también *Medicago sativa*. No suelen abonarse con estiércol y se utilizan abonos complejos con aportes medios desequilibrados (60kg de N, 130kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 70kg de K<sub>2</sub>O por hectárea). Los agricultores de la zona explotan estas praderas con 3 o 4 aprovechamientos, en ambos casos la producción es similar en cuanto a kg MS/ha (8633-8774kg) y de UF/ha (5597-5759), sin embargo, la producción de proteína es mayor cuando el secano es más fresco y se pueden realizar cuatro aprovechamientos dado que en este la hierba cosechada es más joven (734-960kg). En general la calidad de la hierba es media-baja con altos niveles de materia seca y relativamente bajos en proteína (Maestro et al., 2000).

Un prado es una comunidad vegetal espontánea densa y húmeda, siempre verde, aunque puede haber un cierto agostamiento en verano, producida por el hombre o la acción del pastoreo. Se puede aprovechar por siega o pastoreo indistintamente (Ferrer et al., 2001).

En los valles más septentrionales de la provincia de Huesca, es decir, los situados en el Pirineo Axial o en las sierras Interiores (Amella et al., 1990), la superficie ocupada por prados de secano es de 10.300ha (el 58% de la superficie forrajera de estos Valles).

Su composición podría diferenciarse en dos grupos de prados, en primer lugar, prados con situaciones más "difíciles" (mayor altitud y pendientes, algo secos...), por lo tanto, menos intensificados en su manejo, que presentan bajas producciones, pero con una elevada riqueza específica, y por otro lado los prados de fondo de valle, más intensificados y que tienen unas producciones mayores pero una menor riqueza específica (Reiné et al., 2010). Por especies, en los prados de fondo de valle nos encontramos con mayor frecuencia a *Dactylis glomerata*, *Taraxacum officinale*, *Trifolium repens*, *Poa trivialis* o *Lolium perenne*. En los de ladera *Dactylis glomerata* (que sigue siendo la más frecuente) pero otras adquieren mayor importancia como *Agrostis capillaris*, *Lotus corniculatus* o *Festuca rubra* (Chocorro y Reiné, 2008). Finalmente, en cuanto a familias botánicas, en los prados de fondo de valle las gramíneas ocupan en torno a un 60% de la cobertura y el 40% restante se reparte a partes iguales entre leguminosas y otras familias. Mientras que, en los prados de ladera, las leguminosas siguen en torno al 20% pero el grupo de otras familias pasa a ser el mayoritario, con valores cercanos al 60% en detrimento de las gramíneas Chocorro et al. (2009).

El abonado es generalmente mediante estiércol del que se aplican entre 20-25t de materia fresca, un año sí y otro no y en sólo unas pocas parcelas se complementa con abonos inorgánicos complejos como (0-14-7). En estos valles se suelen realizar dos aprovechamientos. El primero se realiza desde mediados de junio a finales de julio (con producciones de 3912kgMS/ha, 2331 UF/ha y 205 kgPD/ha), y generalmente producen una cosecha de baja calidad debido al alto grado de madurez de la hierba. El segundo aprovechamiento es mediante pastoreo y la hierba más joven de mayor calidad (1385 kgMS/ha, 982UF/ha y 202 kgPD/ha) (Chocorro y Reiné, 2008).

Finalmente, y más allá de un manejo productivista, habría que tener en cuenta que, atendiendo a su vegetación, la mayoría de estas parcelas están consideradas como hábitats de

interés comunitario según la Directiva 97/62/CE, así que, aunque entre producción y biodiversidad no existe una correlación positiva, parece que actualmente el manejo en estos prados mantiene a ambos en niveles deseables para la sostenibilidad ecológica. (Reiné et al., 2009).

## 1.2. Sistemas de conservación

La conservación de forrajes consiste en paralizar la vida vegetal y la de los microorganismos que se desarrollan a costa de sus tejidos y se obtiene así un material estable en el tiempo, al menos durante un año. El objetivo es conservar el forraje, cosechándolo en el momento de mayor producción y calidad nutritiva. Los métodos utilizados para este fin en las explotaciones ganaderas son la deshidratación, conservando el forraje como heno y la fermentación, en forma de ensilado (Martínez-Fernández et al., 2014).

### 1.2.1. Henificación y ensilado, proceso de producción.

La conservación mediante deshidratación conlleva eliminar la mayor parte de agua que contiene el forraje, alcanzando un nivel inferior al 20%, que limita la vida vegetal y microbiana. En esta región, la deshidratación se lleva a cabo mediante la henificación natural, que consiste en evaporar el agua sobre el mismo terreno que se segó, por acción del sol y del viento. Para este proceso pueden requerirse entre dos o tres días en zona seca y hasta 14 o más días en zonas húmedas. Habitualmente se dan uno o varios procesos de volteado para airear la masa vegetal, tras los que se acondiciona el forraje en hileras y se compacta mediante una empacadora, que puede ser de prismas pequeños (entre 15 y 30kg) en pacas grandes (500-1000kg) o en cilindros (rotopacas), de en torno a 1,2 m de diámetro x 1,2 m de longitud (Vignau-Loustau y Huyghe, 2008).

A diferencia de la henificación, en el ensilado el forraje se conserva en estado húmedo, esto se consigue mediante acidificación, que impide la continuidad de la vida vegetal y la actividad microbiana indeseable. Este proceso se puede realizar mediante ensilado de pacas o mediante ensilado convencional en silos trinchera o zanja.

El ensilado en pacas, a diferencia del henificado no requiere llevar el contenido en humedad a porcentajes tan bajos como el henificado. Puede efectuarse con humedades entre el 60-75). Esto implica que los tiempos pueden llegar a acortarse, hasta el punto de completar el proceso tras solamente 24 horas desde la siega. Como en el caso anterior, habría que segar el forraje, pudiendo voltearlo o no (en caso de querer reducir este porcentaje de humedad) y finalmente acondicionándolo en hileras para proceder al empacado. Se puede también picar el forraje con un acople dentro de la empacadora a efectos de disminuir el contenido en aire en las pacas. Para aislar las rotopacas del contacto con la atmósfera se utiliza una encintadora, que envuelve la paca con una lámina de film estirable.

En el ensilado convencional de trinchera suele contratarse a una empresa especializada. Puede realizarse en campo mediante ensilaje directo (una cosechadora corta, pica y lanza el forraje a un remolque mediante una chimenea a un tractor, que lo traslada directamente a la zona de almacenaje) o con prehenificación, que implica llevar el mismo proceso que para el

henificado, pero sin llegar a niveles de humedad tan bajos y en vez de empacarlo, con una cosechadora como en el ensilaje directo, o con un remolque autocargador se recoge y traslada el forraje hasta los silos. Los silos pueden ser de trinchera, que están formados por una base y tres paredes, de en torno a dos metros de hormigón armado o de plataforma, cuando no existen paredes y se amontona el forraje directamente sobre el suelo o en una solera de hormigón. Una vez recogido en el silo, se compacta por pasadas de un tractor y finalmente se envuelve en una lámina de plástico (Cañeque et al., 1987).

### 1.2.2. Procesos y pérdidas sobre el forraje en la henificación.

Como ya se ha indicado, el objetivo de la henificación es conseguir un nivel de humedad inferior al 15%, y para ello, según el nivel de humedad inicial del forraje, será necesario evaporar entre 2 y 5 kg de agua por kg de materia seca.

La desecación del forraje en campo se produce en tres fases. Una primera, en la que el agua se evapora rápidamente ya que la humedad del forraje es elevada y los estomas de las hojas están abiertos, siendo la humedad del forraje muy superior a la del aire circundante. Sin embargo, al llegar a un 70-80% de humedad cae la presión osmótica de las hojas más exteriores y se cierran los estomas, esto da inicio a la segunda fase, que es más prolongada debido a que la evaporación se produce a través de la cutícula exterior de los tallos y hojas. La tercera fase es la que más se puede alargar debido a la existencia de humedad relativa alta alrededor del forraje y a que el nivel metabólico de la planta ya es muy bajo. En la Ilustración 1 se observa la curva de secado del forraje dividida en sus tres fases:

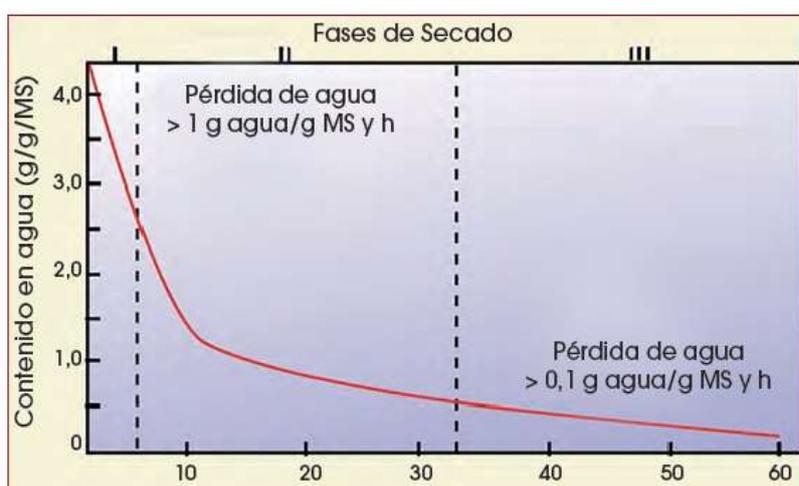


Ilustración 1 - Típica curva de secado de forraje (cordón poco espeso, temperatura de 20°C, HR del 50%, velocidad del aire de 1 m/s) – Fuente: Calleja (2017)

La velocidad de secado depende de varios factores que normalmente no son controlables: intensidad de la radiación solar, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento o la humedad del suelo. La deshidratación se produce de forma efectiva a partir de temperaturas de 15° y una humedad relativa no superior al 70%, lo que variará según la época

del año y hora del día (Callejo Ramos, 2017). En la Ilustración 2 se observan las distintas curvas y tiempos de secado en función de la meteorología en el campo durante el proceso:

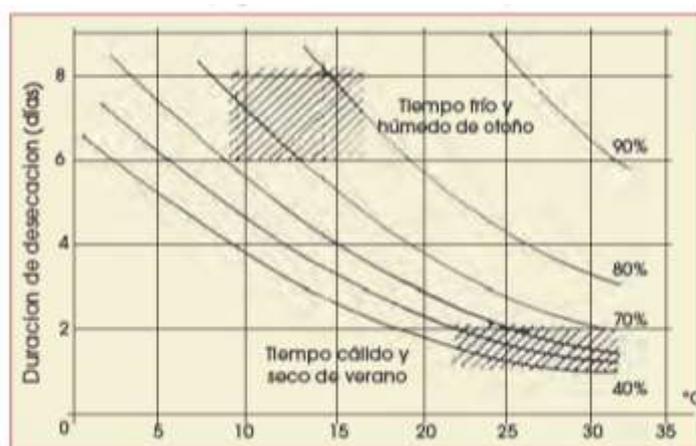


Ilustración 2 - Desecación natural de los forrajes verdes –  
Fuente: Callejo Ramos (2017)

Otros factores, como la naturaleza del forraje (generalmente las leguminosas tardan más en secarse debido a su mayor contenido inicial en agua), o el manejo (el uso de medios mecánicos, acondicionadores, para romper los tallos y facilitar la salida del agua del forraje), también influyen en la velocidad de secado.

A continuación, se resumen las principales causas de la pérdida de calidad en los heno (Callejo Ramos, 2017):

- Procesos enzimáticos: la respiración, que se produce mientras la planta está “viva”, es decir, mientras la materia seca es inferior al 70-80%, este proceso equivale a una combustión ( $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \Rightarrow 6CO_2 + 6 H_2O + 673 \text{ kcal}$ ) lo que implica una pérdida de materia seca de entre el 6 y el 8% de la inicial, pero que podría llegar en algunos casos al 20%. La proteólisis, en la que una parte de las proteínas se degradan a nitrógeno soluble, puede afectar hasta un 45% de las proteínas según la velocidad de desecación, este proceso no es deseable, pues el ganado no es capaz de usar en el rumen tan eficientemente la proteína degradada. De todas formas, el contenido total de nitrógeno varía poco o nada. Otras modificaciones enzimáticas afectan principalmente a las vitaminas, los porcentajes de clorofila y carotenos caen hasta un 95%, también desaparecen casi totalmente las vitaminas B o C y por el contrario la vitamina D aumenta cuanto más prolongada sea la exposición al sol.
- Efectos de las acciones mecánicas sobre la planta: las sucesivas operaciones de siega, hilerado, volteado y empacado del forraje implican el desprendimiento de las partes más frágiles de la planta, en las gramíneas los limbos son bastante resistentes, así que las pérdidas no suelen superar el 5%, no es así en las leguminosas en las que pueden llegar al 25%. Las hojas son más ricas en minerales y nitrógeno y más digeribles que los tallos, por lo que estas pérdidas son de gran importancia. El último rastrillado y/o hilerado nunca deberían darse con un contenido en agua inferior al 50%, puesto que

solamente en este proceso, pueden pasarse de pérdidas de un 5 a un 21% de hojas en las leguminosas.

- Consecuencias de la lluvia: cuando llueve sobre un forraje que aún está vivo, se prolonga el tiempo de secado y aumentan las pérdidas por respiración. Cuando el heno o con porcentajes de humedad ya muy bajos, la lluvia produce por lixiviación pérdidas en sustancias solubles como glúcidos, componentes nitrogenados o ciertos minerales. Cuando el tiempo lluvioso persiste, se desarrollarán hongos y bacterias que metabolizarán parte de la materia orgánica de la planta.
- Crecimiento fúngico: en henos conservados con un porcentaje de humedad entre el 20 y 30% de humedad, se desarrollan hongos en las pacas, que consumen nutrientes. Por otro lado, estas reacciones químicas producen calor, que pueden llegar a producir combustiones espontáneas del forraje y, por último, los hongos pueden producir toxinas perjudiciales para el animal.

### 1.2.3. Procesos y pérdidas sobre el forraje en el ensilado

El proceso de conservación mediante ensilado comprende las siguientes fases: aeróbica, fermentación, estabilización y utilización (Callejo Ramos, 2017):

- Fase aeróbica: comienza cuando se siega el forraje y se prolonga hasta que se consume el oxígeno del forraje ya ensilado. Por un lado, se produce la respiración, que conlleva pérdida de MS, de energía y de azúcares simples requeridos por las bacterias ácido lácticas para la fermentación. En esta fase también se produce la proteólisis ya descrita en el proceso de henificación, que disminuye conforme el heno se acidifica y se detiene cuando el pH baja de 4.
- Fase de fermentación: adherida al forraje hay una microflora responsable de las fermentaciones. Algunos microorganismos son beneficiosos, acidifican la masa y se desarrollan en ausencia de oxígeno. Otros, se desarrollan en condiciones de presencia de oxígeno o cuando el pH no es suficientemente bajo y son perjudiciales ya que degradan las proteínas y producen pérdidas de materia seca y energía. A continuación, se describen las 4 fermentaciones que se pueden producir en el proceso, las dos primeras son las deseables y las dos últimas son las que se deben evitar.
  - Fermentación acética: las primeras bacterias en desarrollarse son aquellas capaces de desarrollarse en presencia o ausencia de oxígeno, las más importantes son enterobacterias (habitualmente *E. coli*). Compiten con las bacterias ácido-lácticas por los azúcares solubles y degradan proteínas y aminoácidos produciendo amoníaco. Suelen estar activas en las primeras fases de la fermentación, por lo que en los buenos ensilados se encuentra poco ácido acético.
  - Fermentación láctica: esta fase comienza cuando desaparece el oxígeno en el silo, entonces los lactobacilos acidifican el forraje hasta pH entre 3,8 y 4 restringiendo así el crecimiento de microorganismos indeseables (enterobacterias o clostridios).

- Fermentación butírica: si el pH no baja con rapidez por presencia de oxígeno, falta de azúcares o un elevado poder tampón, se desarrollan bacterias del género Clostridium. Algunas especies degradan el azúcar y el ácido láctico, otras degradan los aminoácidos formando amoniaco que tiende a elevar el pH del silo. Los ensilados con fermentaciones butíricas presentan los siguientes problemas: altas pérdidas de materia seca y energía durante la conservación, baja ingesta, valor proteico reducido e incluso problemas de toxicidad para el ganado.
  - Fermentaciones secundarias, producidas por hongos que se pueden multiplicar como células únicas (levaduras) o como colonias filamentosas (hongos). La mayoría son aerobios estrictos, degradan la materia orgánica y además elevan la temperatura y el pH y pueden convertir el ensilado en un producto poco apetecible e incluso tóxico.
- Fase de conservación: cuando el ácido láctico disminuye el pH por debajo de 4 se inhibe la acción de todas las bacterias, así como la acción de las enzimas proteolíticas de la planta, se llega entonces a una fase de estabilidad, que permite la conservación del silo durante meses e incluso años, siempre que no haya entrada de oxígeno.
  - Fase de utilización: los microorganismos aerobios, que hasta el momento de apertura permanecían latentes, crecen con rapidez en la superficie del silo cuando lo exponemos al aire. En silos poco compactados se pueden producir pérdidas de hasta el 30% de MS, por lo que es importante consumirlo cuanto antes y adecuar sus dimensiones al consumo diario en la explotación.

En la Ilustración 3 se muestran los perfiles típicos de ácidos orgánicos en silos de buena y mala calidad y su relación con el pH y la evolución de ambos en las semanas posteriores al cierre del silo.

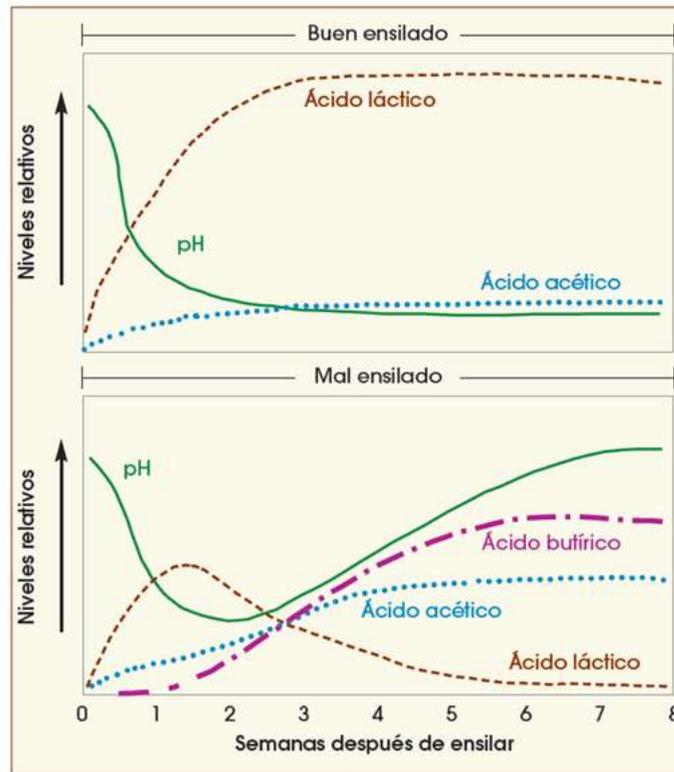


Ilustración 3 Perfiles típicos de ácidos orgánicos en silos de buena y mala calidad – Fuente: Callejo Ramos (2017)

Pérdidas: en función del tipo de ensilado (Zimmer y Wilkins, 1984) se producen pérdidas entre el 2,5 y 8,6% en campo y entre el 16,1 y 8,5% en el silo, referidas al ensilado directo o con prehenificado respectivamente, por lo que las pérdidas medias totales son similares (18-19%).

Las pérdidas en campo se deben a la respiración y proteólisis, acciones mecánicas de la maquinaria y a la acción de la lluvia sobre la hierba segada en el campo, las cuales ya se han descrito con anterioridad en el apartado de las pérdidas por henificación. En cuanto a las pérdidas propias del ensilado (Martínez-Fernández et al., 2014), se dan principalmente por las siguientes causas:

- Pérdidas por efluentes: en muchos silos se produce un drenaje natural en el que se arrastran nutrientes solubles. Azúcares (que dejarán de estar disponibles para la fermentación láctica), compuestos nitrogenados, minerales y ácidos orgánicos, todos estos compuestos tienen un alto valor nutritivo. Ensilados con un porcentaje de MS de un 15%, pueden experimentar pérdidas de un 10%, pero si la materia seca es superior al 25% las pérdidas son muy bajas o inexistentes.
- Pérdidas causadas por deterioro aeróbico: la entrada de aire en el silo promueve el crecimiento de levaduras, hongos o bacterias que lo deterioran, con destrucción de la materia orgánica hasta poder convertirlo en un material putrefacto o desechable. Estas pérdidas se relacionan principalmente con las siguientes causas:
  - Bajo contenido en materia seca del material de partida
  - Cosechar forraje muy espigado
  - Poca compactación y mal sellado del silo

- Mala distribución de los nutrientes (silo poco homogéneo)
- Baja concentración de azúcares
- Entrada de aire por mal sellado del silo
- Baja compactación del silo
- Exposición muy alta al aire tras la apertura (mal diseño del silo)

#### 1.2.4. Cambios en el valor nutricional según las técnicas de conservación

Han sido descritas las distintas técnicas de conservación del forraje, procesos y las pérdidas que conlleva cada una de las modalidades. Finalmente, y como consecuencia de estos cambios, el material obtenido difiere del pasto original del que partíamos, se sintetizan a continuación cuales son los cambios en cuanto a la composición nutritiva según la técnica de conservación (Demarquilly et al., 1998):

En el proceso de henificación:

- Disminuye la digestibilidad: hasta 16 puntos, en función de la estancia en el campo, es mínima en secados rápidos con buen tiempo (4 puntos) y es mayor para leguminosas que para gramíneas debido a la pérdida de hojas.
- Disminuye el contenido en nitrógeno, mayor en leguminosas por la misma razón y a pesar de un aumento del nitrógeno soluble por la acción de las proteasas tras el corte, la degradación se reduce de 10 a 15 puntos (por lo tanto, aumenta el contenido de PDIA)
- Disminuye la ingestión, más o menos importante según la época de recolección.

En el proceso de ensilado convencional:

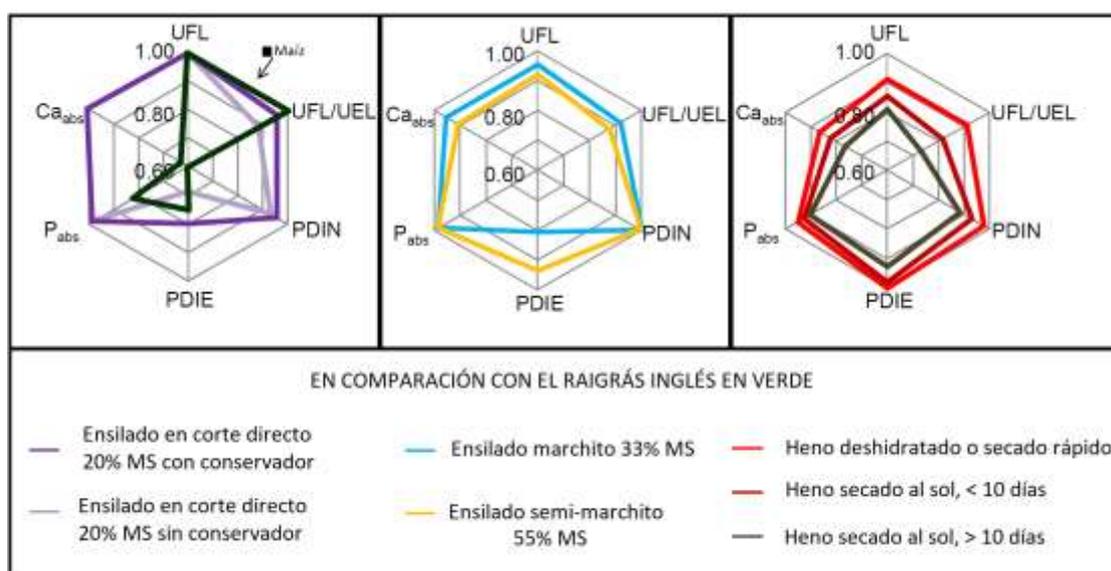
- La digestibilidad y, por tanto, el valor energético del forraje apenas varía (salvo que se conserve en malas condiciones) o en caso de que se marchite en campo (se perdería en torno a 1 punto por día de marchitamiento).
- Las proteínas se transforman en nitrógeno soluble, en torno a un 50% en silos de muy buena calidad y más de un 80% en los malos. Además, hay que tener en cuenta que en el silo los azúcares que ayudarían a la proteosíntesis en el rumen se han degradado: el ácido láctico solo aporta  $\frac{1}{4}$  de la energía que aportarían los azúcares y los alcoholes y ácidos grasos volátiles ninguna.
- Hay una reducción más o menos significativa de la cantidad de materia seca ingerida, por la presencia de productos de fermentación y de la degradación de las proteínas.

En el proceso de ensilado en pacas redondas encintadas:

Las pérdidas en materia seca durante el almacenamiento son bajas (5%) porque se reducen las fermentaciones, sin embargo, hay que añadir las pérdidas en campo, al estar más tiempo expuesto aumenta la respiración y aumentan las pérdidas mecánicas (más en leguminosas), durante el marchitamiento y el prensado. En cuanto al valor nutritivo sucede algo similar, los valores serán intermedios entre el heno y el silo picado:

- La digestibilidad es intermedia, ya que al estar menos tiempo expuesta en el campo y realizarse las operaciones de trabajo con un material más húmedo que el heno, se reducen las pérdidas mecánicas y se reduce el riesgo de afección por la lluvia.
- La degradabilidad de las proteínas, al tener un contenido de humedad en torno al 50%, debe ser más cercana a la del heno que a la del silo.
- Las cantidades ingeridas de MS son equivalentes a la del silo bien conservado y ligeramente inferiores a las del heno cosechado en buenas condiciones meteorológicas.

En la Ilustración 4 adaptada de Baumont (2011) observamos de forma sintetizada las variaciones en energía, proteína y elementos minerales que sufre un forraje según las técnicas de conservación utilizadas, en comparación con el raigrás inglés en verde de partida.



*Ilustración 4 - Variación nutricional sufrida por el raigrás inglés según la técnica de conservación. – Adaptado de Baumont, (2011)*

Finalmente, y tratando de sintetizar en cuanto al valor nutritivo según el método de conservación, en un estudio realizado por (Andrieu et al., 1992) se concluía que el valor nutritivo de las pacas redondas encintadas en buenas condiciones climáticas (dos días después de la siega) resulta ser igual o mejor que el heno cosechado en excelentes condiciones (cuatro días después de la siega) y equivalente al de los ensilados picados de corte directo con adición de conservante.

### 1.3. Idoneidad de la hierba para su conservación.

#### 1.3.1. Fenología

En el apartado anterior se han evaluado los diferentes métodos de conservación del forraje y es que de ellos depende el rendimiento que vayamos a sacar del material de partida.

Sin embargo, lo realmente importante para conseguir un forraje de calidad, es el valor nutricional del pasto verde de partida en el momento de la siega (Demarquilly et al., 1998).

En la Ilustración 5, adaptada del mismo trabajo podemos observar la variación de dos de los parámetros más importantes a la hora de valorar un forraje como son la digestibilidad de la materia orgánica (dMO) y la ingestibilidad, en función del estado fenológico del cultivo (alfalfa, prado natural o raigrás italiano), durante el primer y el segundo corte del forraje.

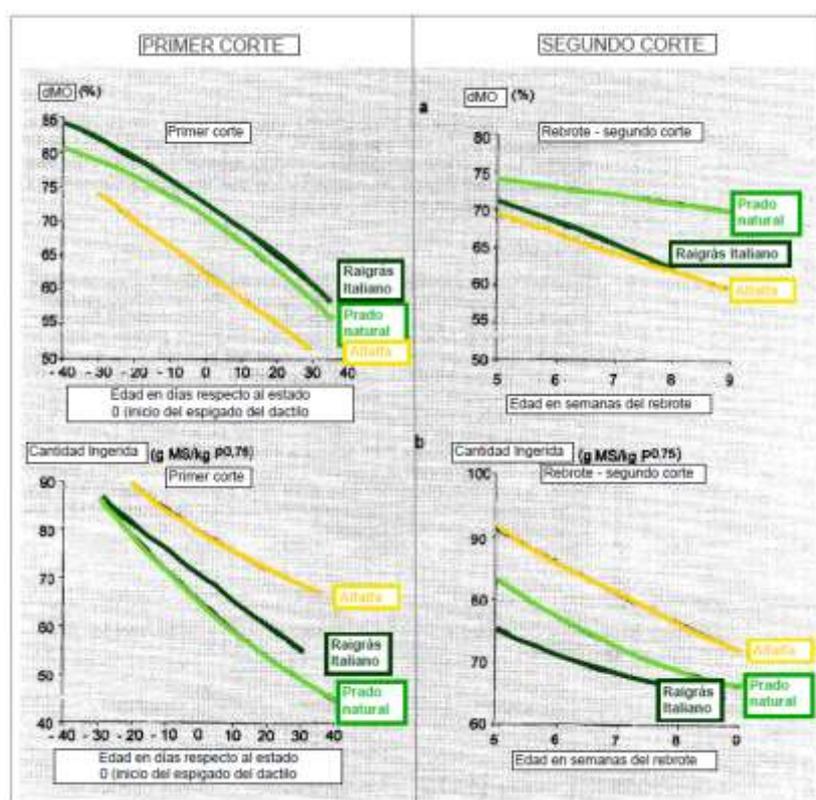


Ilustración 5 – Evolución de la digestibilidad e ingestibilidad del alfalfa, raigrás inglés y prado natural en el primer y segundo corte en función de su estado de desarrollo – Adaptado de Demarquilly et al. (1998).

Durante el ciclo de crecimiento de una planta la digestibilidad depende casi exclusivamente de su estado de desarrollo. En las praderas la digestibilidad es máxima al inicio del crecimiento (82-83%) y cae 0,4 puntos por día durante el primer ciclo hasta llegar al 55% en plena floración. La digestibilidad del rebrote es siempre menor que la del forraje en primavera, pero disminuye más lentamente (entre 0,1 y 0,3 puntos por día) (Demarquilly y Jarrigue, 1981). La ingestión depende de los mismos factores que la digestibilidad. La relación hojas/tallos y la proporción de paredes, que a medida que avanza el cultivo se lignifica (Demarquilly et al., 1981). y por lo tanto cada día a parte de perder digestibilidad, disminuye la ingestión (de 40 a 65g de MS/día en vacas de 600kg).

Así pues, un periodo de 10 días tras el inicio del espigado disminuye el valor 0,08UFL, 0,06UEL y 6g/kg MS de PDIE, lo que implicaría para una vaca que produce 30l de leche diarios, el tener que suplementarla con 2,5kg de pienso concentrado, o la caída a unos 24-25l diarios por día de no hacerlo (Baumont et al., 2009).

Sin embargo, la elección de la fecha óptima de cosecha debe tener en cuenta el que al contrario que en la calidad, la producción (MS/ha) aumenta con la edad o etapa del forraje. Siendo la cantidad de nutrientes recolectados por hectárea máximos, en el comienzo del espigado para las gramíneas y el estado de botón floral de las leguminosas en el primer corte y a las seis semanas de edad para el rebrote (Demarquilly et al., 1998).

### 1.3.2. Ensilabilidad

La experiencia en campo muestra que resulta por ejemplo mucho más fácil obtener un buen ensilado de gramíneas como el maíz, que de leguminosas como la alfalfa. Esto es debido a la diferente ensilabilidad de cada planta, característica que viene determinada por los siguientes factores:

- Contenido en materia seca: las bacterias perjudiciales del género *Clostridium* necesitan condiciones de humedad para su crecimiento. El valor crítico de acidez al que cesa su crecimiento aumenta, conforme aumenta el contenido en humedad. Si se preseca la hierba hasta un 30% de MS la actividad de las bacterias está muy controlada, cuando la materia seca es del 20% existe crecimiento de clostridios incluso a pH 4, disparándose el crecimiento con contenidos de MS inferiores al 15%. En la mayoría de las ocasiones será necesario realizar un prehenificado de la hierba para conseguir esos valores.
- Azúcares solubles (carbohidratos de reserva): las plantas almacenan sustancias de reserva en forma de carbohidratos. Estos se clasifican en dos grupos: carbohidratos de reserva (que están en el interior de las células) y los estructurales, que forman parte de las paredes celulares. Entre los de reserva están el almidón y los carbohidratos solubles. Estos últimos (monosacáridos como glucosa y fructosa, disacáridos como la sacarosa y oligosacáridos), son la principal fuente de energía de las bacterias que fermentan y conservarán el silo. La cantidad de estos azúcares depende de:
  - Especie vegetal: en mayor cantidad en gramíneas que en leguminosas.
  - Estado de madurez: dentro de una especie varían con la edad de la planta.
  - Meteorología: fuertes precipitaciones en el crecimiento reducen los azúcares a la mitad. La luz (aumenta la fotosíntesis) los aumentará y lo que estimule la respiración celular (calor) los reducirá.
  - Fertilización nitrogenada: si es baja aumentan los azúcares y al contrario si es elevada.

Según autores el contenido en azúcares solubles por kilo de hierba para conseguir un buen ensilado puede ir desde los 20g (15-20% sobre materia seca) hasta los 30-35 gramos de otros (McDonald et al., 1991).

- Capacidad tampón: la capacidad para resistirse a cambios en el pH (es decir, la cantidad de azúcares necesarios para acidificar el ensilado). Se expresa en miliequivalentes de álcali por 100g de MS (meq NaOH/100g MS) necesarios para pasar de pH 6 a 4 en la hierba, después de eliminar los bicarbonatos que pueden funcionar como tampón. Los valores en gramíneas son de 25-40 y en leguminosas entre 50-60 por lo que estas son más difíciles de ensilar. (Tobía et al., 2008). Generalmente solo con valores inferiores a 35meq se producirá una correcta acidificación.

- Nitratos: el contenido en nitratos de la planta está directamente relacionado con la fertilización. Con niveles de fertilización moderados (en torno a 170kg/ha y año) se acumulan entre 5 y 10g de nitrato por kg de MS de hierba, estos mejoran la eficiencia en el uso de los azúcares de las bacterias lácticas. Sin embargo, cuando no se fertilizan los campos o por el contrario, se abona en exceso (más de 300 kg N/ha y año) desaparecen estos efectos beneficiosos. (Weissbach, 1999)

En el trabajo de (Martínez Fernández et al. (2013) se ha definido un índice de ensilabilidad, adaptado a las condiciones de la Cornisa Cantábrica, que permite tomar decisiones en cuanto al empleo de aditivos y de determinar el índice de ensilabilidad de un forraje:

$$\text{Índice de ensilabilidad (IE)} = 152,29 - 1,97MS + 0,85 \text{ AzSol} - 3,75CT$$

En donde:

- MS=Porcentaje de materia seca
- AzSol=Porcentaje de azúcares solubles sobre MS
- CT=Capacidad tampón en meq NaOH/100gMS

En función de los valores dados por este índice se establecen cinco rangos de ensilabilidad (Tabla 1):

*Tabla 1 - Rangos de ensilabilidad según valores obtenidos del IE - Adaptado de Martínez Fernández et al. (2013)*

Ensilabilidad	Intervalo
Alta	28 < IE
Medio-alta	9 < IE ≤ 28
Media	-28 < IE ≤ 9
Media-baja	-47 < IE ≤ -28
Baja	IE < -47

### 1.3.3. Aditivos para ensilar

Cuando partimos de un material con una baja ensilabilidad, podemos prevenir una mala fermentación con el uso de aditivos, corrigiendo problemas como la falta de azúcares, exceso de capacidad tampón o reducir los problemas como los derivados de una alta humedad. Para ello se pueden utilizar, según su método de acción los siguientes aditivos:

- Conservantes: acidifican el medio y por lo tanto limitan las fermentaciones indeseadas. Un ejemplo de conservante es el ácido fórmico, que reduce el pH y aparte ataca selectivamente a las bacterias presentes en el silo, sin afectar apenas a las bacterias lácticas. Otros ácidos utilizados para ensilar son el acético o el propiónico, que además tienen propiedades antifúngicas.
- Inoculantes: cepas de bacterias lácticas que elevan rápidamente el pH para evitar su degradación. Su uso está más indicado para las condiciones que inhiben la multiplicación

natural de las bacterias lácticas, especialmente con temperaturas bajas. Requieren altos niveles de azúcares y un nivel de MS superior al 25%.

- **Enzimas:** las más comunes son las que degradan las paredes celulares de las plantas, como celulasas, pectinasas y hemicelulasas o mezclas de estas. Tienen dos efectos, aumentan el nivel de azúcares que sirven como sustrato a las bacterias lácticas, y mejoran la digestibilidad del ensilado.
- **Sustratos y nutrientes:** sustancias que mejoran las necesidades nutricionales tanto de los animales que consumirán el silo, como de las bacterias lácticas que lo conservan. Ejemplo de ello son las melazas, un subproducto de las azucareras que estimula la fermentación láctica al incorporar azúcares al silo. Otro ejemplo son los granos de cereales o las pulpas que sirven como absorbente para evitar pérdidas por efluentes. (Martínez-Fernández et al., 2014).

El uso de aditivos puede ayudar a la conservación del ensilado, pero su uso no sustituye las buenas prácticas necesarias para su elaboración. Por otro lado, según el precio del aditivo será importante determinar la respuesta en la producción animal obtenida con su uso. Y, por último, el uso de cada uno de los aditivos tendrá un efecto que puede ser incluso nulo según la ensilabilidad de la que partimos (Argamentería, 1997). A modo resumen, en la siguiente tabla 2 se muestran los efectos de diversos aditivos sobre la calidad fermentativa según ensilabilidad de la hierba:

*Tabla 2 - Efectividad de diversos aditivos sobre la calidad fermentativa según ensilabilidad de la hierba - Adaptada de Argamentería, (1997)*

Tipo de aditivo	Ensilabilidad		
	Alta	Media	Baja
Conservante: Ácido fórmico 85%	0	**	***
Conservante: Sales orgánicas 1	0	**	0
Conservante: Sales orgánicas 2	0	**	0
Sustratos y nutrientes: Melazas	0	***	0
Inoculante: Bacterias lácticas 1	0	**	0
Inoculante: Bacterias lácticas 2	**	**	0
Inoculante + enzimas 1	**	**	0
Inoculante + enzimas 2	*	***	0
0: Sin efecto; *: Efecto Moderado; **: Sensible; ***: Muy sensible			

#### 1.3.4. Familias botánicas

En los apartados precedentes, hemos descrito cual es el momento ideal en cuanto a la conservación, tomando como referencia dos familias botánicas, las leguminosas (botón floral) o gramíneas (espigado). También se han descrito las razones que hacían que este material de partida fuera adecuado o no para ensilar y de nuevo se diferenciaba el mayor potencial de las gramíneas frente a las leguminosas. Sin embargo, como describíamos en el primer apartado de la introducción, en los prados pirenaicos, el resto de las familias ocupan desde un 20% de la cobertura vegetal en los prados de fondo de valle, hasta un 60% de la cobertura en los de ladera.

Este amplio grupo de familias botánicas es de gran interés en nutrición animal. Plantas como *Cichorium intybus*, *Plantago lanceolata* o *Taraxacum officinale* contienen altos valores de minerales (K, Na, Mg, Cu) y vitaminas como la B12, sin embargo, también existen plantas que pueden tener un efecto negativo, como *Ranunculus acris*, que podría producir intoxicaciones graves en el ganado (Reiné et al., 2020).

Más allá de sus compuestos nutritivos y sustancias que puedan afectar de manera positiva o negativa al animal, por no poder seleccionarlas al estar incluidas en la mezcla del forraje cosechado, es interesante ver el comportamiento y aptitud de estas plantas para ser conservadas. La mayoría son muy susceptibles a los daños mecánicos (mucho mayores en el henificado, ya que muchas de estas plantas se secan más lentamente) lo que puede provocar grandes pérdidas en rendimiento y calidad. Por lo tanto el ensilado parecería una mejor opción, sin embargo, muchas plantas son problemáticas en este sentido por varias razones: alta capacidad tampón (probablemente derivada de su contenido en ácidos orgánicos) y bajas concentraciones en azúcares, aunque la presencia de algunos metabolitos secundarios como los taninos en plantas como *Polygonum bistorta* y el ácido gálico en otras como *Geranium pratense*, podrían resultar positivas al inducir una rápida disminución del pH al inicio de la fermentación y disminuir la descomposición de las proteínas. En el trabajo de (Lukač, 2012) se recogían todos aspectos y se concluía que, pese al conocimiento en muchos de sus compuestos nutricionales, el efecto de estas plantas en el conservado mediante ensilado aún era muy escaso.

#### 1.4. Sistemas de valoración de la calidad de la hierba y de henos y silos

Los pastizales forrajeros representan el 26% de la superficie terrestre y el 70% de la superficie agrícola (FAO, 2010). La producción ganadera es capaz de convertir estos forrajes indigestibles para el ser humano en alimento y además hacerlo de forma sostenible cuando se equilibran las entradas y salidas del sistema (Derner, 2017). Además, se prevé que la producción mundial continúe aumentando (Thornton, 2010) por lo que existe un grandísimo potencial en el área de estudio que trata de mejorar el rendimiento y la calidad nutricional de los forrajes (Capstaff, 2018).

Como se muestra en la Ilustración 6 existen diversos sistemas a la hora de valorar la calidad de la hierba de un pasto, o su correspondiente heno o ensilado. Podríamos hacerlo tomando medidas directas sobre el animal, al valorar simplemente las variaciones de peso sufridas al ingerir cierta cantidad de un alimento. Sin embargo, los sistemas más utilizados son

los que utilizan como criterio los valores nutricionales propios de su composición química, como pueden ser su digestibilidad o su contenido en proteína. Finalmente, a la hora de obtener estos valores, podemos hacerlo directamente (cuando realizamos un análisis químico-bromatológico del alimento o medimos su digestibilidad mediante distintos sistemas) o indirectamente si utilizamos tablas o fórmulas que nos permiten obtener datos a partir de otros que si conocemos.

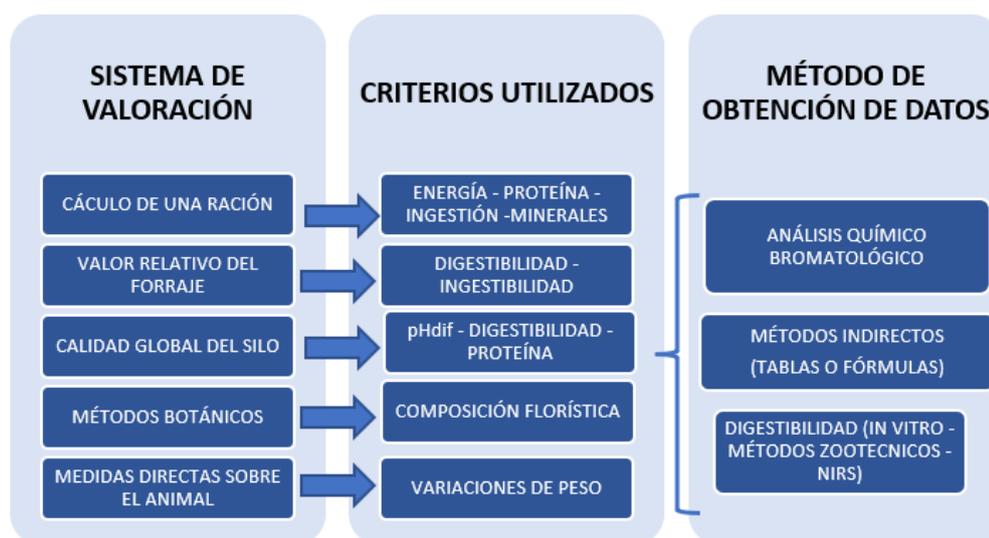


Ilustración 6 - sistemas de valoración la calidad de la hierba de un pasto (o su correspondiente heno o ensilado), criterios y métodos de obtención de datos.

### EL ANÁLISIS QUÍMICO BROMATOLÓGICO

Las plantas están formadas por agua y materia seca, la cual a su vez está formada por glúcidos, lípidos y proteínas. Todos estos componentes a su vez están incluidos en dos tipos de estructuras, la pared celular y los contenidos intracelulares. Mientras que estos contenidos intracelulares (citoplasma) contienen los productos más nutritivos y digestibles, la pared celular está compuesta por varios tipos de fibra, algunas de ellas indigestibles.

Estas fibras que forman la pared celular están a su vez formados por varios tipos de polisacáridos de cadena compleja. Los principales son celulosa, hemicelulosa y lignina. Los rumiantes, gracias a las bacterias celulolíticas que portan en su aparato digestivo, son capaces de digerir la celulosa y parcialmente la hemicelulosa, pero no la lignina. Por lo tanto, la calidad nutritiva de una planta está muy relacionada con la proporción de pared celular que contengan sus células.

Existen dos métodos principalmente para determinar la fibra desde un punto de vista nutricional: el método Weende y el fraccionamiento de van Soest. El primero se utiliza desde hace unos 150 años y con el obtenemos proteína bruta, extracto etéreo, fibra bruta cenizas y por diferencia el extracto libre de nitrógeno. Pero este sistema tiene una serie de inconvenientes, en primer lugar, la fracción fibra que en teoría es la menos digestible a veces es igual o más digestible que la no fibrosa y, por otro lado, este sistema asume que todo el nitrógeno está en forma de proteína, lo cual es incorrecto (Cherney, 2000).

Debido a problemas como este se han desarrollado otros dos métodos más exactos, actualmente el más difundido es el de van Soest. Este sistema divide a los componentes de la célula vegetal en: fibra neutro detergente (FND) que representa a las paredes celulares (parcialmente digestibles); fibra ácido detergente (FAD) que es la llamada lignocelulosa (lignina+celulosa); lignina ácido detergente (LAD) está formada por lignina, cutina y minerales (no es digestible y dificulta la digestión de los glúcidos de las paredes celulares); y por último las cenizas ácido-detergentes (CAD). Podemos ver este método esquematizado en la Ilustración 7:

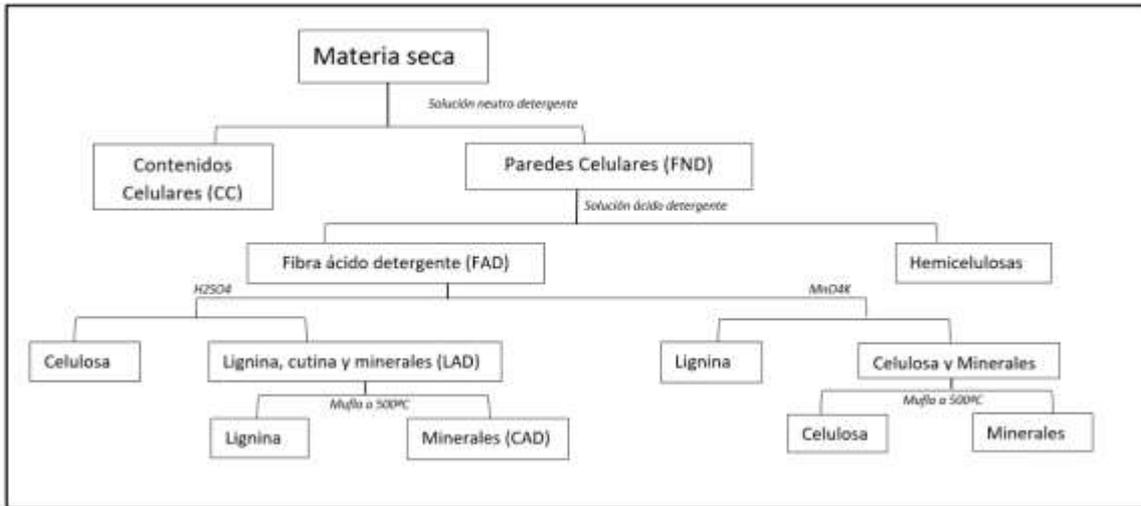


Ilustración 7 - Esquema del método de van Soest para el fraccionamiento de los componentes de la célula vegetal. - Fuente: Marinas y García González. (2008)

En la Ilustración 8 pueden compararse el método Weende y el fraccionamiento de van Soest y la relación de ambos con los constituyentes de la célula vegetal, pared celular y los contenidos intracelulares.

METODO WEENDE	CONSTITUYENTES QUÍMICOS	MÉTODO DE VAN SOEST				
Proteína bruta	Proteína	Contenido Celular				
	N no proteico					
Extracto etéreo	Lípidos					
	Pigmentos					
Extracto libre de nitrógeno	Azúcares					
	Ácidos orgánicos					
	Pectina					
	Hemicelulosa					
	Lignina soluble en álcali				Lignina	FAD
Lignina insoluble en álcali						
Fibra bruta	Nitrógeno ligado a la fibra					
	Celulosa					
Cenizas	Minerales insolubles en detergente	CAD				
	Minerales solubles en detergente					

Ilustración 8 - Contraste entre los métodos de Weende y van Soest con los constituyentes químicos de la célula vegetal - Adaptada de Cherney, (2000). Fuente: Marinas y García González (2008)

### MÉTODOS INDIRECTOS (TABLAS O FÓRMULAS)

En el apartado anterior describíamos los distintos componentes de la célula vegetal y distintos métodos analíticos que requieren de un análisis químico en el laboratorio para su determinación. Sin embargo, estos valores se pueden conocer de manera indirecta mediante tablas de ecuaciones, que utilizan bases de datos para predecir futuros resultados.

Instituciones como el Instituto Nacional para la Investigación Agronómica (oficialmente y en francés Institut National de la Recherche Agronomique o INRA), dispone de bases de datos de forrajes que les permite establecer ecuaciones de predicción mediante análisis de regresión.

Por ejemplo, en la siguiente tabla (Baumont, 2007) se establecen relaciones entre los valores en los distintos tipos de constituyentes de la pared vegetal (FND) con la lignocelulosa (FAD) y la celulosa bruta de los forrajes en verde. Por otro lado, se puntualiza respecto a esta tabla, que las relaciones entre FAD y celulosa bruta (CB) se pueden aplicar para todos los métodos de conservación de la hierba. Pero que, para los ensilados de prados permanentes procedentes de leguminosas y gramíneas forrajeras, la pendiente de relación entre FND y CB debe reducirse en un 0,13 en los ensilados directos, en 0,05 para los ensilados en los que la hierba se ha prehenificado (como en las pacas encintadas) y debe aumentarse en 0,07 para los henos.

Tabla 3 -Relación y cálculo de los distintos constituyentes de la pared vegetal: FAD (fibra ácido detergente), FND (fibra neutro detergente) – CB (celulosa bruta). Ecuaciones para: Prados permanentes, gramíneas forrajeras, leguminosas (alfalfa y trébol violeta), maíz forrajero y otros cereales forrajeros -Fuente: Baumont (2007)

Équations	R <sup>2</sup>	ETR
Prairies permanentes (n = 28)		
NDF = 0,90CB + 306	0,96	9,9
ADF = 0,83CB + 76	0,99	4,0
CB = 1,19ADF – 88	0,99	4,8
Graminées fourragères (n = 147)		
NDF = 1,14CB + 260	0,88	17,1
ADF = 0,95CB + 40	0,93	10,8
CB = 0,98ADF – 19	0,93	11,0
Légumineuses (luzerne et trèfle violet) (n = 34)		
NDF = 0,575CB + 320	0,92	9,3
ADF = 0,579CB + 147	0,91	9,6
CB = 1,572ADF – 209	0,91	15,8
Maïs fourrage (n = 254)		
NDF = 1,30CB + 201	0,73	18,1
ADF = 1,06CB + 8,2	0,92	7,1
CB = 0,87ADF + 9,5	0,92	6,4
Autres céréales fourragères (n = 29)		
NDF = 1,24CB + 228	0,98	9,6
ADF = 0,97CB + 55	0,98	7,1
CB = 1,01ADF – 50	0,98	7,3

En la Tabla 3 observamos como los datos se separan según el tipo de cultivo del que proceden y al que se pueden aplicar: prados permanentes, gramíneas forrajeras, leguminosas, maíz y otros cereales forrajeros. De cada uno de ellos conocemos, por un lado, el número de muestras de las que se disponían para calcular la regresión (n=28, 147, 34, 254, y 29 respectivamente) y, por otro lado, su coeficiente de determinación  $R^2$ , es decir, la calidad de la función o modelo para intentar replicar los resultados. Como observamos, en la mayoría de los casos los valores son muy próximos a 1, lo cual denota el buen ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar.

En otras tablas que podemos encontrar en el mismo trabajo, lo que se nos permite es predecir el contenido en distintos componentes, como las cenizas, contenido en nitrógeno o celulosa bruta, en un forraje conservado con distintas técnicas (silo, con o sin conservante, ensilado prehenificado y heno, deshidratado o secado en campo con buenas o malas condiciones meteorológicas) a partir los datos conocidos de su correspondiente forraje en verde.

Pese a que para ciertos cálculos estas fórmulas predictivas no sean del todo precisas, los métodos indirectos resultan una herramienta de gran utilidad, ya que permiten ahorrar tiempo y recursos, y es que cuando realizamos un análisis químico bromatológico o utilizamos otras técnicas para determinar propiedades como la digestibilidad de un alimento, estos dos factores en muchas ocasiones pueden resultar limitantes.

La digestibilidad de un forraje es la diferencia entre la cantidad consumida y la cantidad excretada con las heces. Ésta última contiene cantidades importantes de materiales de origen endógeno y microbiano que no formaban parte de la ración. Por lo que hay dos formas de calcular los coeficientes de digestibilidad: restando los materiales del metabolismo fecal (digestibilidad aparente) o sin restarlos (digestibilidad real o verdadera).

La diferencia entre las digestibilidades real y aparente es lo que se denomina constante metabólica. Para las ovejas se estima que esta constante es de 11,9 y para las vacas 13,9, resultando una media de 12,9 de materia seca fecal de origen (van Soest, 1994). La digestibilidad se puede expresar en función de la materia seca o de la materia orgánica, dependiendo de sí se incluyen las cenizas o no, respectivamente (García-González, 2008).

Como se explicaba en los apartados anteriores, una de las características que nos permiten valorar la calidad de un forraje es su digestibilidad, que varía principalmente en función de su contenido en fibras que forman la pared celular. Pese a que existen muchas ecuaciones que nos permiten predecirla a partir de los constituyentes químicos del forraje, se han desarrollado varios sistemas que buscan estimar con mayor precisión esta característica del alimento.

## 1.5. Antecedentes

A nivel regional existen numerosos trabajos en los que se ha evaluado tanto la producción como la calidad de los recursos pascícolas del Pirineo aragonés. En el año 2010 englobado en el proyecto “Tipificación, Cartografía y Evaluación de los Pastos Españoles” de la SEEP (Sociedad Española para el Estudio de los Pastos), se recogían datos de diversos trabajos realizados anteriormente en la comunidad de Aragón. En la Tabla 4 se han extraído y adaptado los datos referentes a los henos de los prados y praderas del Pirineo (Maestro et al., 2002).

Tabla 4 - Características de los henos del Pirineo Axial y el Prepirineo – Adaptada de Maestro et al. (2002) – Abreviaturas: número de aprovechamientos anuales del pasto (Nº aprov. Anuales), número de muestras (n), fibra neutro detergente (NFD), fibra ácido detergente (ADF), Referencia bibliográfica dentro del archivo original (Ref. Bibliográfica). Los grupos son: prados (POS) y praderas (PAS)

Grupo	Zona	Identificación	Secano/Regadio	Nº aprov. Anuales	Nº de aprov.	n	Fecha	Materia Seca %	Proteína bruta %	NFD %	ADF %	Ref. Bibliográfica
POS	Pirineo Axial	Arrhenatherion-heno	R	3	1	22	28/06	87,7	9,7	59,9	39,6	19
POS	Pirineo Axial	Arrhenatherion-heno	R	3	2	22	22/08	85,1	14,7	48,7	31	19
POS	Pirineo Axial	Arrhenatherion-heno	S	2	1	44	04/07	86,6	8,6	62	40,3	24
PAS	Pirineo Axial	Praderas, heno	S	3	1	12	20/06	85,5	10	58	37,9	7
PAS	Pirineo Axial	Praderas, heno	S	3	2	12	04/08	87,3	15,4	46,5	35,1	7
PAS	Pirineo Axial	Praderas, heno	R	4	1	6	13/06	84,2	11,6	58,4	36,1	7
PAS	Pirineo Axial	Praderas, heno	R	4	2	6	31/07	85,6	17,1	45,2	31,5	7
PAS	Prepirineo	Praderas, heno	R	4	t	46		85,4	16,5	44,4	32,6	4

Como podemos observar en la tabla, los datos correspondientes a forrajes conservados provienen en todos los casos de henos, y es que la bibliografía referente a la conservación mediante ensilado en esta zona del Pirineo es muy escasa.

Los resultados referentes a henificación en el Pirineo Aragonés hasta la actualidad muestran grandes pérdidas de materia seca respecto al forraje fresco, que se traducen en reducciones de proteína digestible entre el 33 y 48% y de energía entre el 40 y el 43% por hectárea. Los autores concluyen que estas elevadas pérdidas podrían encontrar explicación en que los cortes se realizan en un estadio vegetativo muy avanzado, en que el forraje se seca excesivamente en el campo (hasta un 86% de MS) o a que muchas veces las labores de volteo e hilerado o empacado no se realizan en las horas del día más adecuadas (Amella, 1984).

En cuanto a los ensilados, los resultados de calidad comparados con los obtenidos para henificación son similares, por lo que el uso del ensilado como sistema de conservación solo se justificaría cuando las condiciones meteorológicas no permiten el secado de la hierba (Vega et al., 1999). En otros trabajos en el Pirineo, más allá de las fronteras de la comunidad, a la hora de evaluar los silos, se encontraban límites en los valores de materia seca para los cuales los valores de pH eran adecuados para obtener ensilados de calidad, 25-35 % en silo trinchera y 30 % en rotopacas. Por otro lado en un alto porcentaje de estos ensilados (63 %) el recuento de esporas butíricas era elevado (Eguinoa, 2008).

Finalmente, también pueden servir como referencia la base de datos del INRA (Baumont, 2018), que dispone de una gran cantidad de datos de forrajes, procedentes de gran

parte de la geografía francesa (dentro de las cuales encontramos zonas de media y alta montaña), y de los que se dispone de datos tanto para forrajes en verde como conservados por los distintos métodos (henos o ensilados).

## 1.6. Justificación

El estudio que se presenta se enmarca en los trabajos desarrollados por el Grupo Operativo “Gestión agronómica innovadora de praderas y prados de siega pirenaicos” (Plan de Desarrollo Rural de Aragón 2014-2020) coordinado por la Unión de Agricultores y Ganaderos de Aragón (UAGA) y constituido por la Agropecuaria del Sobrarbe SCL (SCLAS), la Asociación de Entidades Locales del Pirineo aragonés (ADELPA) y la Universidad de Zaragoza.

Los objetivos del Grupo Operativo fueron el ensayo de distintas prácticas agrícolas para la innovación en la gestión de los prados, praderas y los cultivos forrajeros del Pirineo, abogando por un aprovechamiento óptimo de los recursos forrajeros endógenos y una menor dependencia de los insumos exteriores para la alimentación animal.

La participación del autor de este Trabajo de Final de Grado en el proyecto ha consistido en la toma de muestras en las explotaciones, análisis en el Laboratorio Agroambiental, análisis de los datos y redacción de esta memoria.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es evaluar y comparar mediante métodos analíticos y bromatológicos la calidad nutritiva de henos y silos de prados y praderas de siega del Pirineo central.

Como objetivos específicos se pretende:

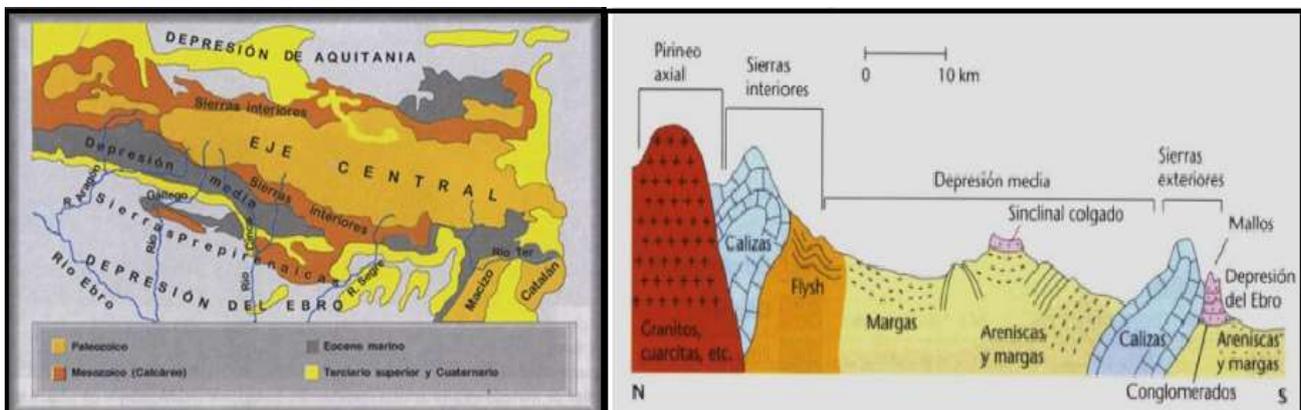
- Analizar las diferencias entre los distintos métodos de conservación de la hierba.
- Comparar las calidades obtenidas según tipos de prado y localización.
- Establecer relaciones entre los parámetros de calidad.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Área de estudio

Geomorfológicamente, el Pirineo central se divide en dos grandes unidades, el Pirineo Axial y el Prepirineo. El Pirineo Axial es el eje de la cordillera, pertenece a un antiguo macizo (Macizo de la Aquitania) que durante la orogenia alpina se elevó y rejuveneció, los materiales son paleozoicos (granitos, pizarras, cuarcitas...) y en cuanto a altitudes, toma mayor relevancia al este de la provincia donde encontramos cimas como el Aneto o el Perdiguero en el valle de Benasque. El Prepirineo está formado por materiales calizos que se plegaron dando lugar a dos alineaciones montañosas (anticlinal), paralelas al Pirineo Axial y separadas por una depresión que constituye el sinclinal. La primera de estas alineaciones corresponde a las Sierras Interiores, pegadas al Pirineo Axial cuya cima más alta es el Monte Perdido. Los ríos cortan transversalmente las sierras formando desfiladeros profundos y en los valles más altos encontramos ejemplos de la erosión glaciaria como circos y valles en artesa como los de Ordesa. Al sur encontramos las Sierras Exteriores, de mucha menor altitud y desde las cuales ya se inicia la caída hacia la llanura del Ebro. Entre ambas, la Depresión Media, se extiende desde la Canal de Berdún en el oeste hacia el este en Aínsa y Boltaña (Badía y Fillat, 2008).

En la Ilustración 9 se muestra la disposición de las cuatro unidades de relieve (Pirineo axial, sierras interiores, depresión media y sierras exteriores) y su corte norte-sur en la vertiente española (Oña, 2015).



En cuanto a la climatología, la configuración del relieve y la diversidad de exposiciones dan lugar a un extenso abanico de matices climáticos locales. Sin embargo, en función del reparto pluviométrico y del mayor o menor carácter continental, se pueden diferenciar en el área pirenaica cuatro espacios climáticos (Aragón, 2007):

- Clima de transición Mediterráneo–Océánico: situado al oeste de la provincia, con precipitaciones abundantes, superiores a los 1.000 mm anuales en muchas zonas. Las temperaturas estivales son suaves, en relación con la elevada altitud media, hasta quedar en julio y agosto entre los 20 y 22 °C.

- Clima de tipo Submediterráneo húmedo: más al este, en el que las precipitaciones son relativamente abundantes, por encima en muchos casos de los 900 mm, en esta área la precipitación invernal pierde importancia frente a los máximos en primavera y otoño típicos de ambientes más mediterráneos.
- Clima Submediterráneo continental frío: con menor precipitación y unas temperaturas más frías y continentales, en el límite de la Ribagorza con Cataluña.
- Clima de montaña: para aquellas áreas que superan los 1.500 – 1.800 metros. Con veranos frescos e inviernos muy fríos, en función de la elevada altitud, mucho más en las laderas con exposición norte. Las precipitaciones son abundantes y en muchas ocasiones superan los 1.500 mm.

Esta división en cuatro espacios climáticos a lo largo del Pirineo aragonés se plasma en la Ilustración 10, adaptada del Atlas climático de Aragón:

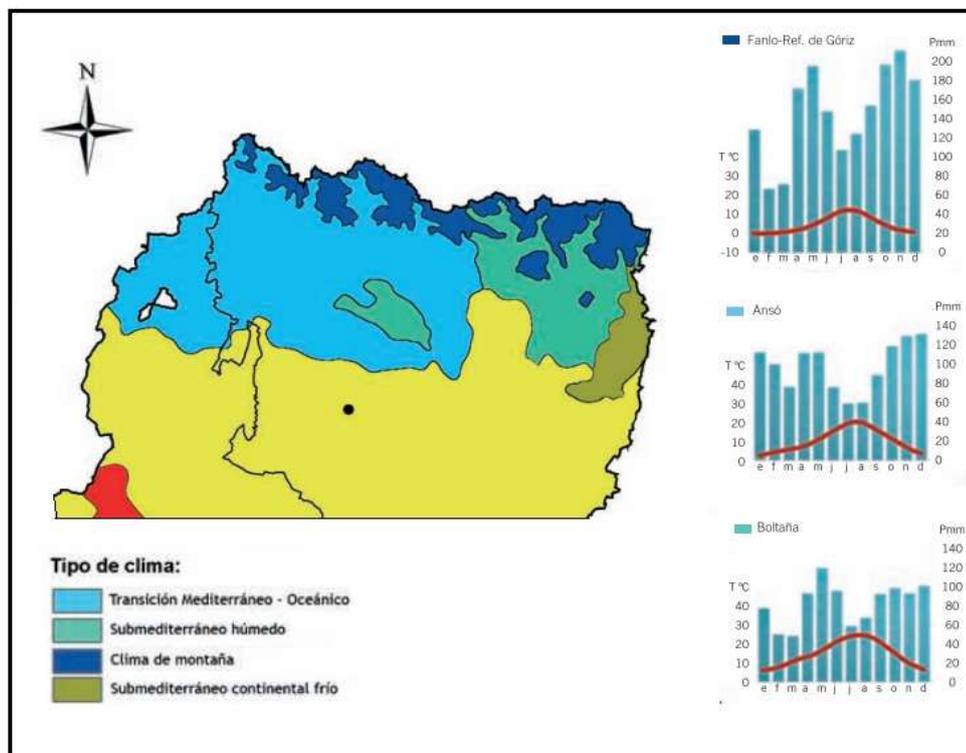


Ilustración 10 - División climática del Pirineo aragonés – Adaptado de Aragón (2007)

Generalizando estos conceptos, se pueden encontrar a lo largo del todo el Pirineo un cambio progresivo desde los cultivos de cereal de invierno en la zona más meridional, pasando por una zona intermedia en la que se producen sin regar praderas de alfalfa hasta llegar a los prados naturales de la zona de alta montaña. Como acabamos de describir, conforme aumentamos en altitud, se compensan los inconvenientes de la situación meridional del Pirineo y de esta forma las lluvias de altitud permiten el crecimiento del pasto en pleno verano. La conservación de este excedente de pasto durante el periodo estival cubrirá el déficit de este, originado por la parada vegetativa de las plantas debida a las limitaciones térmicas durante el invierno (Badía y Fillat, 2008).

### 3.2. Localización de praderas y prados

Se han estudiado henos y silos de praderas y prados de siega de 9 explotaciones ganaderas de montaña. En la Tabla 5 se describen sus principales características productivas. Algunas se encuentran en la zona de la depresión media prepirenaica (Tierrantona, Boltaña, Larrés y Barós), y otras están situadas en las Sierras interiores o en el Pirineo axial (Castejón de Sos, Sesué, Saravillo, Viu de Linás y Escarrilla) como se muestra en la Ilustración 11.

*Tabla 5 - Localización y características productivas de las explotaciones muestreadas.*

<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>GANADO</b>	<b>TIPO DE CULTIVO</b>	<b>MÉTODO DE CONSERVACIÓN</b>
<b>Barós</b>	Bovino	Praderas	Heno / Silo bola
<b>Larrés</b>	Ovino	Praderas	Heno
<b>Boltaña</b>	Ovino	Praderas	Silo bola y trinchera
<b>Tierrantona</b>	Bovino	Praderas	Heno / Silo bola
<b>Escarrilla</b>	Bovino	Prados	Heno / Silo bola
<b>Viu de Linás</b>	Bovino	Prados	Heno / Silo bola y trinchera
<b>Saravillo</b>	Bovino	Prados	Heno / Silo bola
<b>Sesué</b>	Bovino	Prados	Heno / Silo bola
<b>Castejón de Sos</b>	Bovino	Prados	Heno / Silo bola y trinchera

Como indicábamos, las explotaciones de las que se tomaron las muestras se encontraban, por un lado, en la zona de la depresión media prepirenaica (Tierrantona, Boltaña, Larrés y Barós) las cuales corresponden a praderas de siembra de distintas forrajeras y por otro lado a ganaderías situadas en los valles más septentrionales (Castejón de Sos, Sesué, Saravillo, Viu de Linás y Escarrilla) donde todas las muestras provenían de prados.

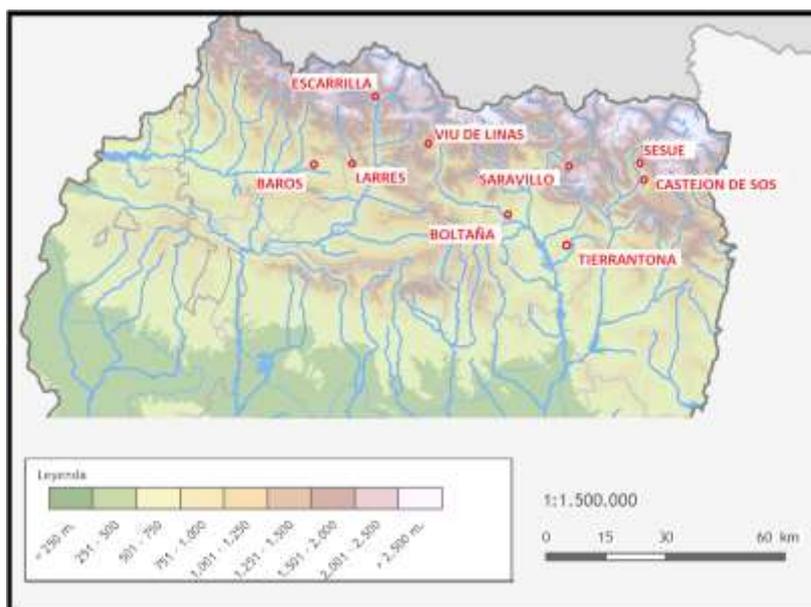


Ilustración 11 - Localización geográfica de las explotaciones muestreadas

### 3.3. Muestreo de campo

Los muestreos se realizaron en las 9 explotaciones entre los meses de octubre de 2018 y febrero de 2019 recogiendo forraje conservado correspondiente a la cosecha de la campaña del 2018.

Se tomaron un total de 90 muestras (todas ellas pareadas, por paca o silo), de aproximadamente 1 kg de material de henos (34 muestras), silos bola (44 muestras) y silos trinchera (12 muestras) según el sistema de conservación de la hierba practicado en la explotación. Las muestras de los silos se conservaron congeladas hasta su procesado en laboratorio. En la Ilustración 12, se muestran varias imágenes del proceso de toma de estas muestras:



Ilustración 12 - Heniles y silos (bola y trinchera) durante el proceso de muestreo en las explotaciones.

### 3.4. Métodos analíticos en el laboratorio

Las muestras se analizaron en el Laboratorio Agroambiental de Aragón de la Diputación General de Aragón. En las muestras de heno se determinó la humedad, proteína bruta (método Dumas), cenizas, fibra ácido detergente y fibra neutro detergente. En el ensilado, los cinco anteriores y además el pH del extracto.

#### *PREPARACIÓN DE LA MUESTRA*

Silos: el material se conservaba desde la recogida hasta su análisis en el laboratorio mediante congelación y en este caso no se realizaba molienda porque el producto estaba muy húmedo.

Henos: debido a su baja humedad, no requería ningún método de conservación específico desde que se toma la muestra hasta que se comienzan los análisis. El primer tratamiento al que se le somete es una molienda según el procedimiento fijado en el laboratorio. Se obtuvieron dos submuestras, una de tamaño 1 mm para la determinación de la humedad, proteína y cenizas y otra de 3 mm para la determinación de la fibra ácido detergente y neutro detergente.

#### *pH*

Solamente se determinó en muestras de silos. Se realizó el método de determinación del pH en el extracto. Se introduce la muestra dentro de una prensa para obtener el jugo o extracto, sobre este se midió con ayuda de un pHímetro. En aquellas muestras en las que la escasa humedad dificultaba el proceso se procedió a pesar 10 g de muestra e introducirlas en un vaso al que se añadió 90 ml de agua destilada. Se realizaron pruebas procediendo a la lectura del pH después de 1 y 4 h en maceración y los resultados no variaron. Prácticamente en todas las muestras el pH obtenido fue ácido excepto en aquellas en las que según se indicaba previamente había hongos y en las que el pH resultó básico. En la Ilustración 13 se muestran los distintos procedimientos llevados a cabo en este proceso.



*Ilustración 13 - Muestra de ensilado en el cilindro de la prensa (1) - Prensa y obtención del extracto (2) - Medición del pH del extracto (3)*

## HUMEDAD

En el caso de las muestras de heno, primero se procedió a su molienda y posteriormente se midió la humedad, en el caso del silo, lo primero que se midió fue la humedad introduciendo muestras de unos 100g en bandejas de aluminio en la mufla.

En el caso del heno, se partía de un crisol que se había introducido en la estufa a 103°C durante al menos media hora y se había enfriado en un desecador durante al menos 45 minutos hasta llegar a temperatura ambiente, posteriormente se numeraba y se anotaba su peso en vacío ( $P_0$ ). Con una balanza de precisión de 1mg se tomaba una muestra de heno de unos 5g y se anotaba el peso del portasustancias con la muestra ( $P_1$ ). Se llevaba la muestra a la estufa donde permanecía a 103°C durante cuatro horas, se extraían las muestras, se enfriaban en el desecador y se volvían a pesar ( $P_2$ ).

Finalmente se calculaba el porcentaje de humedad correspondiente a cada muestra mediante el siguiente cálculo:

$$\text{Humedad} = (P_1 - P_2) \times \frac{100}{P_1 - P_0}$$

El porcentaje restante corresponde a la materia seca o extracto seco, que es la parte que queda de un material tras extraerle toda el agua. Los resultados del resto de parámetros se darán en porcentajes sobre este contenido en materia seca de cada muestra (%MS).

## CENIZAS

En el caso de los silos, una vez seca la muestra se procedió a la molienda con lo que se obtuvo un material de partida con las mismas características que el heno.

Como en el caso anterior, se seca y pesa el crisol en vacío anotando el peso inicial ( $P_0$ ) y tras añadir unos 5g de muestra se anota el peso del conjunto ( $P_1$ ). Se introducen las muestras en el horno de mufla subiendo la temperatura gradualmente (para evitar pérdidas por proyecciones) en una rampa de temperatura de nueve horas hasta llegar a 550°C manteniéndola así durante seis horas más. Se apaga la mufla y cuando se baja hasta aproximadamente 150°C se comprueba que el residuo sea blanco o gris claro, de no ser así se añadiría agua destilada, se evaporaría el agua en la mufla y se aplicaría de nuevo la rampa de temperatura hasta alcanzar 550°C en una hora. Una vez conseguidas las cenizas blancas teniendo o no que realizar una o varias repeticiones, se coloca en el desecador y se vuelve a pesar ( $P_2$ ).

El resultado se expresa según la legislación en porcentaje de peso sobre la materia natural (%p/p)

$$\text{Porcentaje de cenizas} = \frac{(P_2 - P_0)}{(P_1 - P_0)} \times 100$$

En caso de expresarse sobre materia seca (% p/p sms) se opera con la humedad del siguiente modo:

$$\text{Porcentaje de cenizas sms} = \% \text{ cenizas} \times \frac{100}{100 - H}$$

Como observamos, el resultado obtenido es el residuo resultante de incinerar el producto, que corresponde principalmente a los minerales contenidos en la muestra. Aunque no representa al valor en concreto de ningún mineral, sí que es una muestra de los residuos inorgánicos de la muestra de heno o silo.

#### *PROTEÍNA BRUTA (PB)*

Método Dumas: en este análisis la muestra se introduce en unas cápsulas de estaño que se incineran en un horno a altas temperaturas (850°C), mediante unos catalizadores, se transforma el nitrógeno de la combustión a nitrógeno gas (N<sub>2</sub>). Se aíslan el resto de los componentes volátiles y se obtiene la cantidad de nitrógeno en mg, que se transforman a mg de proteína mediante un factor de conversión que dependen del tipo de materia prima analizada, en este caso 6,25 y estos resultados se dan en PB (% sobre MS).

Todos estos pasos y cálculos se realizan automáticamente en un equipo que hay que calibrar antes de introducir las muestras a analizar, para ello se introducen unos blancos (las cápsulas de estaño vacías) y posteriormente cápsulas con un peso creciente de un material del que se conoce su contenido en nitrógeno (EDTA), con lo que obtenemos una recta de calibración. Igualmente, para testar la fiabilidad de los resultados, las muestras se analizan por duplicado para comprobar que la diferencia entre ambas no supera un valor establecido y en cada tanda se analiza un material de referencia obtenido en ejercicios de intercomparación entre distintos laboratorios acreditados.

Para comprobar la fiabilidad de los resultados obtenidos mediante el método Dumas, también se realizaron muestras aleatorias mediante el método Kjeldahl, tradicionalmente usado, pero que requiere productos químicos tóxicos, catalizadores y de mucho más tiempo de trabajo en comparación. En el método Kjeldahl, la muestra se descompone calentándola en sulfúrico, en presencia de un agente reductor catalizador. El tratamiento transforma el nitrógeno de la muestra en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Luego se agrega una base fuerte que libera el NH<sub>3</sub>, éste es arrastrado hasta un frasco colector por destilación. El frasco colector contiene una disolución estándar de ácido, una fracción de ácido es neutralizada por el NH<sub>3</sub>. Al finalizar la destilación se procede a valorar el ácido no consumido. El volumen de disolución básica permite conocer la cantidad de NH<sub>3</sub>, que puede transformarse en contenido proteico en función del tipo de muestra. Las diferencias entre ambos métodos fueron despreciables.

#### *FIBRA NEUTRO DETERGENTE (FND)*

Para el análisis de las fibras, en primer lugar, se hizo el análisis de la fibra neutro detergente (FND).

De las muestras de forraje, ya deshidratadas, molidas y tamizadas a un tamaño de un milímetro, se introduce medio gramo en unos sobres de celulosa por duplicado y se sellan con calor. En primer lugar, estos sobres se sumergen en un baño de acetona durante diez minutos que arrastra la grasa, los retiramos y los dejamos secar sobre una rejilla metálica.

Una vez secos se introducen en un digestor, donde se sumergen en un líquido neutro al que se ha añadido la enzima alfa-amilasa, durante una hora a 100°C. Transcurrido este tiempo se hacen tres lavados con agua caliente, se secan a 103°C y se vuelven a pesar los sobres. La

diferencia de pesos corresponde a todos los componentes solubles que han sido arrastrados por el líquido de digestión (contenido celular y pectina: almidón, carbohidratos solubles, ácidos orgánicos, proteína soluble y nitrógeno no proteico) y el peso del sobre seco tras el lavado corresponde a la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina).

#### *FIBRA ÁCIDO DETERGENTE (FAD)*

Se parte de los sobres utilizados en el análisis de la FND, en los que habíamos eliminado por arrastre el contenido celular y la pectina por lo que el material restante corresponde a la pared celular. El procedimiento es muy similar, de nuevo introduciremos los sobres en el digestor durante una hora a 100°C, sin embargo, en este caso el líquido no es neutro sino ácido, con lo que conseguiremos que la hemicelulosa se hidrolice y la eliminaremos con los tres lavados posteriores a la digestión. Una vez lavados los sobres los secamos y los volvemos a pesar, la diferencia entre el peso inicial y el final corresponde a otros dos componentes de la pared celular, la celulosa y la lignina.

Como vemos en la Ilustración 6 con la que arranca este apartado del trabajo, algunos criterios o características del forraje como la digestibilidad, ingestibilidad o el contenido en proteína son utilizados por más de un sistema de valoración. Por lo tanto, una vez descritos los métodos de obtención, vamos a describirlos en este apartado:

### 3.5. Cálculos bromatológicos

A partir de los parámetros analíticos de laboratorio se han calculado los parámetros bromatológicos siguientes.

#### VALOR PROTEICO – PROTEINA DIGESTIBLE EN EL INTESTINO (PDI)

El valor nitrogenado de los alimentos se expresa inicialmente como la PB, si restamos la parte que se excreta en heces, obtenemos la proteína digestible (PD). El sistema INRA, expresa el valor nitrogenado de los alimentos y las necesidades de los animales, en términos de proteínas digestibles en el intestino o PDI.

La proteína digestible en el intestino (PDI) corresponde a la suma de las proteínas de origen alimenticio o de sobrepaso, no degradadas en el rumen (PDIA) y las proteínas de origen microbiano (PDIM). El PDIM puede tomar dos valores: PDIMN (cuando la formación de estas proteínas endógenas está limitada por el nitrógeno degradable del que disponen los microbios del rumen) o PDIME (cuando el limitante para estos microorganismos es la energía). En función de cuál sea el limitante (nitrógeno o energía) la PDI puede pasar a denominarse PDIN o PDIE, respectivamente. Esta separación en los distintos valores de proteína según la metodología del INRA y la relación entre ellas se esquematiza en la Ilustración 14:

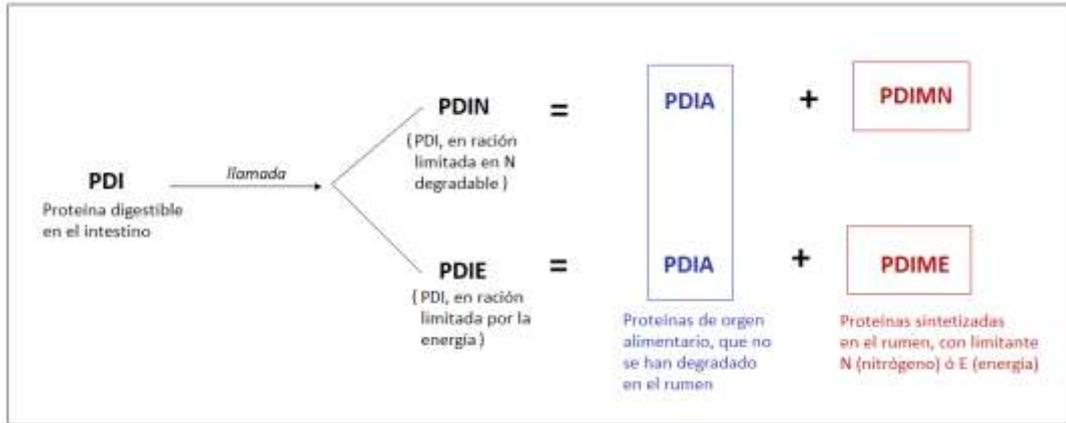


Ilustración 14 - Esquemización de los valores de proteína utilizados por el sistema del INRA – Basado en INRA (2018)

Los alimentos con un elevado contenido en materias nitrogenadas que se fermentan tienen un valor PDIN superior a su valor PDIE, como sucedería con la harina de soja. Al contrario, los alimentos con una gran concentración energética y con bajo valor nitrogenado (grano de maíz) tienen un valor de PDIE mayor al valor de PDIN. Cuando se asocian este tipo de alimentos en una ración, el exceso de PDIN de uno puede compensar el déficit de PDIN del otro.

$$PDIA = MAT \times (1,11 \times (1 - DT)) \times dr$$

$$PDIMN = MAT \times (1 - 1,11 \times (1 - DT))$$

$$PDIME = MOF \times 0,145 \times 0,8 \times 0,8$$

Donde:

- *MAT* = nitrógeno total en el alimento en g/kg
- *DT* = degradabilidad teórica del MAT del alimento en el rumen ( $0 < DT < 1$ )
- *dr* = digestibilidad real de los aminoácidos alimentarios en el intestino delgado ( $0 < dr < 1$ )
- *MOF* = materia orgánica fermentable del alimento (g/kg), con *MOF* = materia orgánica digestible-  
materias grasa-nitrógeno no degradable, lo que es,  $(MAT \times (1 - DT) - \text{productos de fermentación en el caso de los ensilados})$

La DT se calcula por diferentes fórmulas a través del contenido en MAT y MS y con distintos parámetros que varían en función del tipo de prado y conservación.

La dr depende de la DT y de las proteínas alimentarias no digestibles (fecales) PANDI, las cuales se expresan en función del contenido nitrogenado (MNT) y unas constantes según estados vegetativos y de conservación de los forrajes.

La MOF es la materia orgánica fermentable, que se obtiene de la MOD, que es la materia orgánica (MO) multiplicada por la dMO.

## VALOR RELATIVO DEL FORRAJE (VRF)

Al contrario que en explotaciones con animales de alta producción, como podrían ser el caso del cebo o las granjas de producción láctea, en las que se establecen unos mínimos valores de fibra en la ración de los animales, con el fin de evitar problemas como acidosis, laminitis o el desplazamientos de abomaso debido a desequilibrios físicos (falta de llenado ruminal) o fermentativos (reducción del pH), en las dietas de vacuno de carne se establecen unos límites máximos de fibra, ya que en altos porcentajes reduce la capacidad de ingestión, la digestibilidad de la ración, la síntesis de proteína microbiana ruminal y el aporte energético. (Calsamiglia, 1997)

En muchas ocasiones se había considerado la proteína como criterio de valoración de la calidad de un forraje, sin embargo, en este tipo de raciones un déficit proteico se puede resolver fácilmente suplementando al animal con concentrados como la soja, sin embargo, cuando el alto contenido en fibra limita la calidad del forraje, no hay solución. Debido a esto, los investigadores de la Universidad de Minnesota (Linn y Martin, 1989) desarrollaron un índice de calidad de los forrajes combinando los factores nutricionales más importantes, ingestión (IMS, determinado por el contenido de FND) y la digestibilidad (DMS, en función del contenido en FAD), a través de las siguientes fórmulas:

$$VRF = (DMS \times IMS) / 129$$

Donde:

- $IMS (\%PV) = 120 / FND (\%MS)$
- $DMS (\%) = 88,9 - (0,779 \times FAD, \%)$

Este valor no tiene unidades, pero permite, tanto en henos como ensilados, comparar su calidad entendida como la capacidad de producir en el animal una mayor respuesta productiva. En la Tabla 6 se muestra la clasificación de los forrajes según los criterios de calidad aconsejados por la Federación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA):.

Tabla 6 – Clasificación de los forrajes según su VRF – Adaptada de Linn y Martin (1989)

Clasificación	FND	FAD	VRF
Excelente	<41	<31	>151
Primera	40-46	31-35	151-125
Segunda	47-53	36-40	124-103
Tercera	54-60	41-42	102-87
Cuarta	61-65	43-45	86-75
Quinta	>65	>45	<75

## ENERGÍA

El valor energético de una ración procede por un lado de los constituyentes intracelulares, en los cuales su digestibilidad es total (azúcares o fructanos) o muy elevada (lípidos o sustancias nitrogenadas) y, por otro lado, de las paredes, en las que la digestibilidad es muy variable (desde un 40 hasta el 90% según lo incrustadas que están en lignina) (Baumont et al., 2009).

La fibra de las paredes digestibles se fermenta en el rumen por acción de las bacterias fibrolíticas, que producen enzimas (celulasa y hemicelulasas), capaces de degradarla a glucosas o fructosas, como productos intermedios, que, mediante vías fermentativas mayoritariamente, conducen a la producción de acetato como producto final y durante este proceso fermentativo se perderá un carbono en forma de metano. (Calsamiglia, 1997)

Cuando determinamos la energía de un alimento podemos hablar de distintos parámetros referidos a ella: en primer lugar, la energía bruta, digestible, metabolizable, de mantenimiento y finalmente la energía neta o de producción. Sus contenidos varían en función de las distintas pérdidas que se reflejan en la Ilustración 15, adaptada de Kellems et al. (2009).

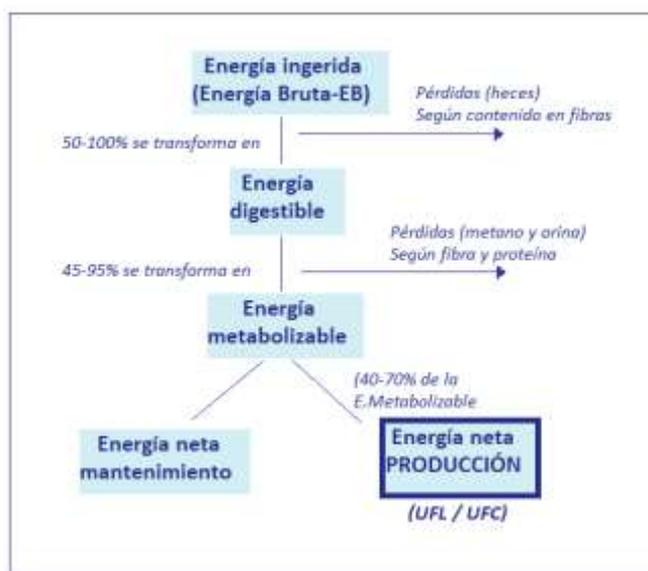


Ilustración 15 - Desglose del sistema de energía – Adaptado de Kellems et al. (2009)

La expresión en unidades forrajeras (UF) es el equivalente a la energía neta de un kg de grano de cebada que contiene 860 g de materia seca y 2720 Kcal de energía metabolizable. La UF se basa en la energía neta a partir de la energía metabolizable y su eficiencia de utilización. La eficacia es más alta para el mantenimiento (72%), en segundo término, para la producción de leche (60%), para el engrasamiento (56%) y para la gestación (13%).

De la utilización diferente de la energía por los animales el valor energético neto de los alimentos se expresa como: UFL (Unidad forrajera leche), que se emplea en animales en gestación, lactación, secas y animales con un crecimiento moderado o UFV (Unidad forrajera carne), que se emplea en animales de crecimiento rápido (engorde). Esta unidad forrajera equivale a la energía neta retenida en forma de incremento de peso al ingerir 1kg de cebada

estándar, en nuestro caso vamos a trabajar con vacas nodrizas, por lo que la equivalencia es la siguiente: 1 UFL son 2859 Kcal de EM o 1700 kcal de EN.

La energía se expresa en UFL (unidad forrajera leche) por kg de MS (INRA, 2018). Para su cálculo se utiliza la materia orgánica (MO), proteína bruta (PB) y fibra ácido detergente (FAD). La formulación está explicitada en la tabla 24.1 de INRA (2018).

#### *PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL CÁLCULO DE UNA RACIÓN*

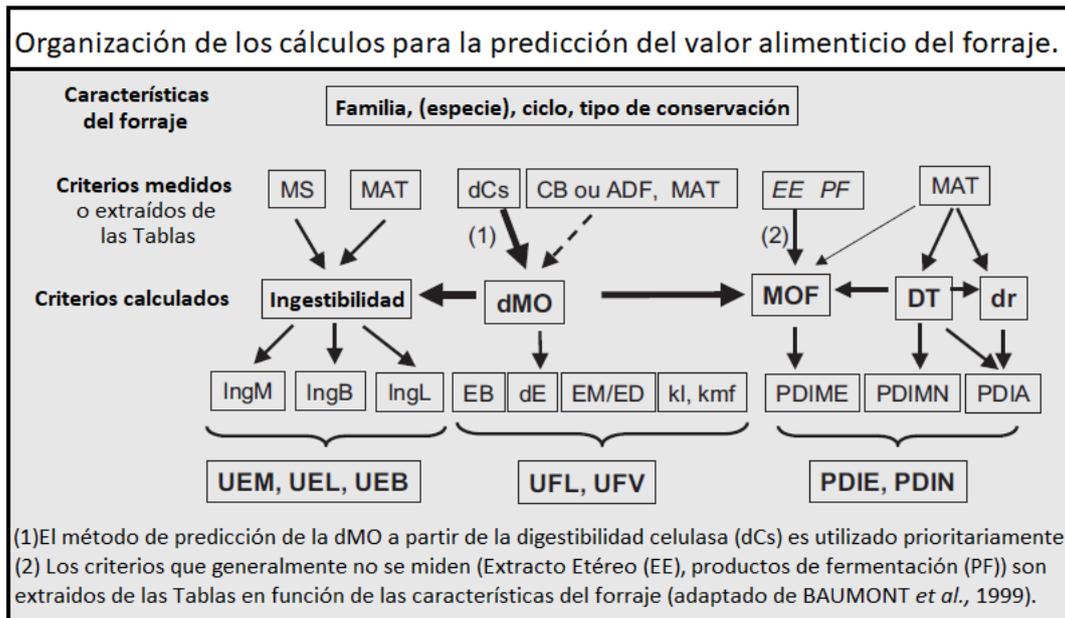
Como acabamos de describir, existen sistemas de valoración que utilizan distintos parámetros para establecer un índice que permite estimar la calidad global de un forraje. Por otro lado, existen sistemas que, en base al contenido energético y proteico principalmente, pretenden expresar su valor nutritivo mediante el cálculo de una ración.

Para ello se requiere de un sistema que utilice unas mismas unidades de medida que expresen por un lado el valor nutritivo de los alimentos y por otro, los requerimientos nutricionales de los animales. Distintos organismos oficiales han desarrollado sistemas para el cálculo de raciones, ejemplos de ello son el Agriculture Research Council (ARC) de Gran Bretaña, National Research Council (NRC) de los EE. UU., o el Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) de Australia (Enrique, 1997).

En el desarrollo de este trabajo se ha utilizado el sistema propuesto por el INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) francés. Éste ofrece una serie de ventajas como son el hecho de que dispone de una gran base de datos de forrajes, que es un sistema de evaluación moderno que tiene en cuenta todos los conocimientos científicos hasta la actualidad, que los sistemas de manejo son similares en los dos países o que el INRA prioriza maximizar el uso de forrajes en la alimentación de rumiantes (Jara Muriel, 2018).

Para ello se han utilizado como base teórica y de cálculo las varias ediciones y revisiones publicadas en los años (INRA, Alimentation des ruminants, 1978), (INRA, Alimentation des bovins, ovins & caprins, 1988), (INRA, Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux, valeur des aliments, 2007) y particularmente la última actualización de su “libro rojo” que responde al acrónimo Systali (Systeme d’Alimentation), que es la versión más reciente (INRA, 2018).

En la Ilustración 16, adaptada de Baumont et al, (2009) se expone la agrupación de los métodos utilizados por el INRA, en base a las tablas y ecuaciones de previsión del valor de los alimentos:



*Ilustración 16 - Organización de los cálculos para predecir el valor alimenticio de un forraje – Adaptada de Baumont *et al.* (2009)*

### **COEFICIENTE DE INGESTIÓN INRA-UE (UEb)**

A efectos de estimar la cantidad de forraje que puede ingerir una vaca por día según la calidad se han utilizado los parámetros materia seca voluntariamente ingerida en bovinos (MSVib), la materia seca voluntariamente ingerida en bovinos de 500kg (MSVib500) y el coeficiente de ingestión UEB según la metodología propugnada por el INRA (2018).

La MSVib depende de la digestibilidad de la materia orgánica (dMO), del contenido de proteína bruta y del contenido de materia seca. Las unidades se expresan en g/kg PV<sup>0,75</sup>. Los cálculos se realizan según las siguientes ecuaciones:

$$\text{Heno. MSVib} = 30,3 + 0,559 \times \text{dMO} + 0,132 \times \text{MS} + 0 + 5,2$$

$$\text{Silo. MSVib} = 47,0 + 0,228 \times \text{dMO} + 0,148 \times \text{MS} + 0 - 9,9$$

$$\text{Siendo dMO (\%)} = 1,017 \times \text{DMS} + 1,9$$

La MSVib500 depende de la MSVib y estima la cantidad de forraje ingerido por día para una vaca de 500 kg de peso vivo. Se expresa en kg MS/día. La ecuación es:

$$\text{MSVib500} = \text{MSVib} \times 500^{0,75} / 1000$$

El coeficiente de ingestión UEB es una relación entre la ingestión de 95 g MS/kg PV<sup>0,75</sup> de una vaca tipo y de un forraje tipo establecidos ambos por el INRA (2018) y el MSVib calculado para cada muestra. Se expresa en UEB/kg MS. La expresión de cálculo es:

$$\text{UEB} = 95 / \text{MSVib}$$

## CALIDAD GLOBAL DEL SILO - pHdif

La estimación de la calidad fermentativa se evalúa mediante la diferencia entre el pH real y el de estabilidad (pHe) obtenido de la ecuación  $pHe=0,0359MS + 3,44$  propuesta por Haigh (2006) para ensilados de hierba. Se considera que, cuando la diferencia entre el pH obtenido en laboratorio y el de estabilidad ( $pHdif=pH-pHe$ ) es menor a 0,10 unidades, la conservación del silo es adecuada y cuando es superior a 0,25 el silo presenta una conservación deficiente.

Si, por un lado, con el pHdif, podemos calificar su calidad fermentativa, también se establecen unos rangos de calidad nutritiva, valorando por un lado la energía que puede aportar (a través de la DMO) y por otro su contenido proteico (con el contenido en PB).

En la Tabla 7 se muestra la unión de los dos criterios (valor nutricional del forraje y calidad fermentativa del ensilado) en un solo índice, que permite establecer con sencillez la calidad global de los silos (Flores Calvete, 2003).

Tabla 7 - Calidad Global del Silo (CGS)/ Categorías - Adaptada de (Flores Calvete, 2003)

CALIDAD FERMENTATIVA	CONTENIDO ENERGÉTICO Y PROTEICO		
	Satisfactorio DMO $\geq$ y PB $\geq$ 13	Aceptable 62 $\leq$ DMO $<$ 67 ó 11 $\leq$ PB $<$ 13	Deficiente DMO $<$ 62 ó PB $<$ 11
Satisfactoria pHdif $\leq$ 0,10	CGS Satisfactoria	CGS Aceptable	CGS Deficiente
Aceptable 0,10 $<$ pHdif $\leq$ 0,25	CGS Aceptable	CGS Aceptable	CGS Deficiente
Deficiente pHdif $\geq$ 0,25	CGS Deficiente	CGS Deficiente	CGS Deficiente

### 3.1. Tratamiento de datos

Para la realización de los análisis estadísticos se ha utilizado el programa SPSS versión 15.0 con licencia de la Universidad de Zaragoza. Se han realizado las siguientes pruebas:

- Estadísticos descriptivos: máximo, mínimo, media y desviación estándar de: pH, PB, VRF, UFL, PDI, MSVib, MSVib500, UEB.

Se dan los resultados en función del origen del forraje: prados, praderas o para ambos (todos). Dentro de cada uno de los orígenes se dividen los resultados en función del método de conservación: heno (H), todos los silos (S), silo bola (Sb), silo trinchera (St) y para todos los métodos de conservación (total).

- Prueba U de Mann-Whitney para cada parámetro, en función del método de conservación, se compara el heno con los silos (H-S, H-Sb y H-St) y los dos tipos de ensilado (Sb-St) entre sí.

- Test de Chi<sup>2</sup> para la Calidad Global del silo (S-Sb-St)
- Estadísticos descriptivos: máximo, mínimo, media y desviación estándar, para los 8 parámetros nombrados anteriormente según la explotación de origen y separados según el método de conservación (henos o silos). También según la explotación de origen, del VRF (para henos y silos) y de la GGS (en los ensilados) se calcula el porcentaje de resultados de cada categoría.
- Prueba U de Mann-Whitney para los 8 parámetros, en función del origen de las muestras (Prado-pradera), para todos los forrajes, henos, silos, silo bola y silo trinchera.
- Rho de Spearman, para establecer las posibles relaciones entre los ocho parámetros, divididos según el método de conservación (todos, heno o ensilado).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Características de calidad de los forrajes según su origen y el método de conservación

En este primer apartado de los resultados se presentan valores obtenidos para los ocho parámetros (PB, PDI, VRF, UFL, UEB, MSVib, MSVib500 y pH). En la Tabla 8 están los datos del conjunto de prados y praderas y en las Tablas 9 y 10 vienen separadas las praderas y los prados respectivamente. Dentro de cada una de las tablas, se dividen los resultados según el método de conservación del forraje: todos, heno (H), silo (S), silo bola (Sb) y silo trinchera (St) y se dan para cada parámetro la media, desviación, mínimo y máximo.

*Tabla 8- Características de calidad de los forrajes de todos los prados y praderas estudiados. En la primera columna figura el tipo de forraje: H=henos, S= silo, Sb=silo bola, St=silo trinchera. En las siguientes los valores máximos (MAX), mínimos (MIN), medios (MEDIA) y desviaciones estándar (DESV) de los parámetros de calidad: proteína bruta (PB, en % de MS), proteína digestible en el intestino (PDI, en g/kg de MS), valor relativo del forraje (VRF), unidades forrajeras leche (UFL, en UF/kg de MS), coeficiente de ingestión INRA (UEB, UEB/kg MS), materia seca voluntariamente ingerida en bovino (MSVib, en g/kg PVO,75), materia seca voluntariamente ingerida en bovinos de 500kg (MSVib500, en kg MS) y pH.*

*n=número de muestras analizadas*

TODOS		PB	PDI	VRF	UFL	UEB	MSVib	MSVib 500	pH
total	MAX	21,69	91,67	154,41	0,95	1,55	99,53	10,52	
	MIN	5,50	58,38	70,08	0,44	0,95	61,22	6,47	
	MEDIA	10,95	72,62	95,08	0,69	1,32	72,66	7,68	
	DESV	3,30	7,71	17,49	0,10	0,14	8,15	0,86	
H n=34	MAX	19,57	90,74	154,41	0,85	1,35	99,53	10,52	
	MIN	5,50	58,38	73,20	0,49	0,95	70,24	7,43	
	MEDIA	9,30	69,47	90,29	0,69	1,20	79,94	8,45	
	DESV	3,01	7,34	17,00	0,08	0,09	6,58	0,70	
S n=56	MAX	21,69	91,67	147,05	0,95	1,55	82,85	8,76	8,70
	MIN	8,36	64,01	70,08	0,44	1,15	61,22	6,47	3,77
	MEDIA	11,95	74,53	97,98	0,69	1,40	68,23	7,21	5,24
	DESV	3,05	7,30	17,14	0,11	0,10	5,36	0,57	1,11
Sb n=44	MAX	21,69	91,67	147,05	0,95	1,55	82,85	8,76	8,70
	MIN	8,36	64,01	70,08	0,44	1,15	61,22	6,47	4,31
	MEDIA	12,38	75,49	99,25	0,70	1,39	69,00	7,30	5,54
	DESV	3,27	7,83	18,51	0,12	0,11	5,72	0,60	1,05
St n=12	MAX	12,27	75,06	108,63	0,74	1,54	68,71	7,26	4,93
	MIN	8,70	65,88	78,41	0,55	1,38	61,69	6,52	3,77
	MEDIA	10,37	70,99	93,33	0,66	1,45	65,42	6,92	4,13
	DESV	1,11	2,78	9,33	0,06	0,04	1,97	0,21	0,38

Como se puede observar a través de la desviación típica y los máximos y mínimos, hay variaciones importantes en los parámetros tanto para el conjunto de praderas y prados como dentro de las praderas y de los prados. Estas variaciones se producen también en los valores según el sistema de conservación

Los valores medios para el conjunto de praderas y prados muestran mayor calidad en los silos bola seguidos de los silos trinchera y, por último, del heno para PB, PDI y VRF. Las UFL más altas son también en los silos bola pero aquí los henos resultan más elevados que los silos trinchera. En el caso de las praderas para PB, PDI y UFL el orden decreciente de calidad es silo bola, heno y silo trinchera. Para el VRF es algo mayor el heno que el silo bola y mayores que el silo trinchera. Los prados muestran la misma ordenación que el conjunto de praderas y prados.

Los valores medios de UEB, MSVib y MSVib500 presentan mayor calidad en los henos y después en los silos bola y luego en silos trinchera en el conjunto de praderas y prados, en las praderas y en los prados.

Los valores de pH, al contrario que el resto de los parámetros, son más satisfactorios para el silo trinchera que para el silo bola.

Tabla 9– Características de calidad de los forrajes de las praderas estudiados. En la primera columna figura el tipo de forraje: H=heno, S= silo, Sb=silo bola, St=silo trinchera. En las siguientes los valores máximos (MAX), mínimos (MIN), medios (MEDIA) y desviaciones estándar (DESV) de los parámetros de calidad: proteína bruta (PB, en % de MS), proteína digestible en el intestino (PDI, en g/kg de MS), valor relativo del forraje (VRF), unidades forrajeras leche (UFL, en UF/kg de MS), coeficiente de ingestión INRA (UEB, UEB/kg MS), materia seca voluntariamente ingerida en bovino (MSVib, en g/kg PV0,75), materia seca voluntariamente ingerida en bovinos de 500kg (MSVib500, en kg MS) y pH. n=número de muestras analizadas

PRADERA		PB	PDI	VRF	UFL	UEB	MSVib	MSVib 500	pH
total n=30	MAX	21,69	91,67	154,41	0,83	1,54	99,53	10,52	
	MIN	6,90	58,38	73,20	0,44	0,95	61,69	6,52	
	MEDIA	12,03	73,60	94,29	0,66	1,34	72,15	7,63	
	DESV	4,34	9,71	22,98	0,10	0,15	9,41	0,99	
H n=10	MAX	19,57	90,74	154,41	0,81	1,34	99,53	10,52	
	MIN	6,90	58,38	73,20	0,49	0,95	71,03	7,51	
	MEDIA	10,33	69,86	95,56	0,65	1,20	80,36	8,50	
	DESV	4,93	11,53	30,61	0,10	0,14	10,42	1,10	
S n=20	MAX	21,69	91,67	147,05	0,83	1,54	82,85	8,76	8,70
	MIN	8,66	65,88	75,61	0,44	1,15	61,69	6,52	4,11
	MEDIA	12,71	75,09	93,78	0,67	1,39	68,86	7,28	5,77
	DESV	3,87	8,43	19,07	0,10	0,12	6,53	0,69	1,35
Sb n=18	MAX	21,69	91,67	147,05	0,83	1,52	82,85	8,76	8,70
	MIN	8,66	66,72	75,61	0,44	1,15	62,60	6,62	4,31
	MEDIA	13,14	76,06	95,45	0,67	1,38	69,62	7,36	5,95
	DESV	3,97	8,58	19,96	0,10	0,12	6,64	0,70	0,01
St n=2	MAX	9,05	66,87	79,18	0,61	1,54	62,36	6,59	4,13
	MIN	8,70	65,88	78,41	0,60	1,52	61,69	6,52	4,11
	MEDIA	8,88	66,38	78,80	0,60	1,53	62,02	6,56	4,12
	DESV	0,18	0,49	0,39	0,00	0,01	0,34	0,04	0,01

Tabla 10 - Características de calidad de los forrajes de los prados estudiados. En la primera columna figura el tipo de forraje: H=heno, S=silo, Sb=silo bola, St=silo trinchera. En las siguientes los valores máximos (MAX), mínimos (MIN), medios (MEDIA) y desviaciones estándar (DESV) de los parámetros de calidad: proteína bruta (PB, en % de MS), proteína digestible en el intestino (PDI, en g/kg de MS), valor relativo del forraje (VRF), unidades forrajeras leche (UFL, en UF/kg de MS), coeficiente de ingestión INRA (UEB, UEB/kg MS), materia seca voluntariamente ingerida en bovino (MSVib, en g/kg PV0,75), materia seca voluntariamente ingerida en bovinos de 500kg (MSVib500, en kg MS) y pH. n=número de muestras analizadas

PRADO		PB	PDI	VRF	UFL	UEB	MSVib	MSVib 500	pH
total n=60	MAX	16,78	90,53	137,95	0,95	1,55	91,05	9,63	
	MIN	5,50	59,19	70,08	0,53	1,04	61,22	6,47	
	MEDIA	10,46	72,18	95,43	0,70	1,32	72,89	7,71	
	DESV	2,56	6,57	14,32	0,09	0,13	7,50	0,79	
H n=24	MAX	13,22	81,54	110,57	0,85	1,35	91,05	9,63	
	MIN	5,50	59,19	75,02	0,54	1,04	70,24	7,43	
	MEDIA	8,98	69,36	88,67	0,70	1,19	79,81	8,44	
	DESV	1,99	5,43	8,86	0,07	0,07	4,80	0,51	
S n=36	MAX	16,78	90,53	137,95	0,95	1,55	78,80	8,33	7,29
	MIN	8,36	64,01	70,08	0,53	1,21	61,22	6,47	3,77
	MEDIA	11,53	74,22	100,32	0,71	1,41	67,88	7,18	4,94
	DESV	2,38	6,56	15,48	0,11	0,09	4,54	0,48	0,80
Sb n=26	MAX	16,78	90,53	137,95	0,95	1,55	78,80	8,33	7,29
	MIN	8,36	64,01	70,08	0,53	1,21	61,22	6,47	4,49
	MEDIA	11,86	75,10	101,88	0,72	1,39	68,57	7,25	5,25
	DESV	2,66	7,43	17,39	0,12	0,10	5,11	0,54	0,69
St n=10	MAX	12,27	75,06	108,63	0,74	1,48	68,71	7,26	4,93
	MIN	9,70	69,01	83,96	0,55	1,38	64,22	6,79	3,77
	MEDIA	10,67	71,91	96,24	0,68	1,44	66,10	6,99	4,13
	DESV	0,96	2,03	7,33	0,06	0,03	1,37	0,14	0,41

## 4.2. Comparación calidad según el método de conservación. Entre henos y ensilados y entre los tipos de silo.

### 4.2.1. Variables cuantitativas

En la Tabla 11 se muestran los resultados obtenidos mediante la prueba de U de Mann-Whitney, con las medias de todos los forrajes para los ocho parámetros, comparando los tipos de conservación: el heno con todos los silos, con el silo bola, con el silo trinchera y finalmente entre los dos tipos de silo.

Tabla 11 - Resultados de la prueba U de Mann-Whitney entre los distintos tipos de forrajes. Se representan los niveles de significación asintótica (p), en verde indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) y en naranja no significativas ( $p \geq 0,05$ ). Parámetros de calidad analizados: proteína bruta (PB, en % de MS), proteína digestible en el intestino (PDI, en g/kg de MS), valor relativo del forraje (VRF), unidades forrajeras leche (UFL, en UF/kg de MS), coeficiente de ingestión INRA (UEB, UEB/kg MS), materia seca voluntariamente ingerida en bovino (MSVib, en g/kg PV0,75), materia seca voluntariamente ingerida en bovinos de 500kg (MSVib500, en kg MS) y pH

	PB	PDI	VRF	UFL	UEB	MSVib	MSVib 500	pH
HENO-SILO	0,000	0,000	0,008	0,881	0,000	0,000	0,000	
HENO-SB	0,000	0,000	0,010	0,872	0,000	0,000	0,000	
HENO-ST	0,010	0,104	0,115	0,395	0,000	0,000	0,000	
SB-ST	0,059	0,151	0,497	0,549	0,106	0,106	0,106	0,000

La comparación global entre henos y silos muestra mayor calidad media de los silos con diferencias significativas en todos los parámetros menos en la energía (UFL/kg MS).

La comparación de medias de los silos bola que presentan las medias más altas en PB, PDI, VRF y UFL muestra diferencias significativas en los tres primeros parámetros con el heno y con ninguno al compararlo con los silos trinchera. La comparación entre heno y silo trinchera sólo presenta diferencias significativas en el caso de la PB. Para los parámetros de UEB, MSVib y MSVib500 hay diferencias significativas entre el heno y los dos tipos de silo, pero no las hay entre los silos. Respecto al pH se observan diferencias significativas con mejores valores para el silo trinchera.

Tampoco son significativas las diferencias entre ambos tipos de ensilado para ninguno de los parámetros, aunque podemos observar las diferencias entre los dos tipos de silo en la Tabla 8: los valores de proteína son superiores para el silo bola (12,38-10,37 de PB) y (75,49-70,99 de PDI), también son superiores para el VRF (99,25-93,33), la energía (0,70-0,66 UFL) y la ingestión (1,39-1,45 UEB), (69-65,42MSVib), (7,3-6,92MSVib500). Los valores de pH, al contrario que el resto de los parámetros, son más satisfactorios para el silo trinchera que para el silo bola (4,13-5,54) y a diferencia de los parámetros anteriores en este caso las diferencias sí que son significativas.

#### 4.2.2. Variables cualitativas

En la Tabla 12 se pueden observar las clasificaciones de los silos según su calidad fermentativa. Observamos como 41 silos (33 tipo bola y 8 tipo trinchera) de los 56 analizados presentaron una calidad global deficiente (el 73 % de los analizados) y solo 2 de 56 casos (4% de los analizados) se podrían clasificar como satisfactorios en cuanto a su calidad fermentativa.

Tabla 12 – Calidad fermentativa de los ensilados según su tipo. Los resultados se expresan en recuentos de números de muestras y en %. Sb=silo bola, St=silo trinchera, CGS= Calidad global del silo.

		Calidad global del ensilado			Total
		aceptable	deficiente	satisfactorio	
<b>SB</b>	Recuento	9	33	2	44
	% dentro de CGS	69,2%	80,5%	100,0%	78,6%
<b>ST</b>	Recuento	4	8	0	12
	% dentro de CGS	30,8%	19,5%	0,0%	21,4%
<b>SILOS (todos)</b>	Recuento	13	41	2	56
	% dentro de CGS	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Para analizar la relación entre el tipo de silo y su calidad fermentativa se realizó una prueba Chi-cuadrado. Sus resultados (Chi-cuadrado de Pearson= 1,309, df= 2, p=0,520, n=56) indicaron que no podemos afirmar que unos tipos de silos tengan mejor calidad fermentativa que otros.

#### 4.3. Comparación de la calidad entre praderas y prados

En la Tabla 13 se presentan los resultados de la prueba U de Mann-Whitney para los 8 parámetros (PB, PDI, VRF, UFL, UEB, MSVlb, MSVlb500 y el pH), en función del origen de las muestras (prado-pradera), para: todos los forrajes, henos, silos, silo bola o silo trinchera.

*Tabla 13– Resultados de la prueba U de Mann-Whitney entre prados y praderas. Se representan los niveles de significación asintótica (p), en verde indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) y en naranja no significativas ( $p \geq 0,05$ ). En la primera columna figura el tipo de forraje: todos=todos los casos, H=heno, S= silo, Sb=silo bola, St=silo trinchera. Parámetros de calidad analizados: proteína bruta (PB, en % de MS), proteína digestible en el intestino (PDI, en g/kg de MS), valor relativo del forraje (VRF), unidades forrajeras leche (UFL, en UF/kg de MS), coeficiente de ingestión INRA (UEB, UEB/kg MS), materia seca voluntariamente ingerida en bovino (MSVlb, en g/kg PV<sup>0,75</sup>), materia seca voluntariamente ingerida en bovinos de 500kg (MSVlb500, en kg MS) y pH*

	PB	PDI	VRF	UFL	UEB	MSVlb	MSVlb500	pH
<b>todos</b>	0,234	0,896	0,101	0,048	0,329	0,329	0,329	
<b>H</b>	,537 <sup>a</sup>	,152 <sup>a</sup>	,177 <sup>a</sup>	,110 <sup>a</sup>	,177 <sup>a</sup>	,177 <sup>a</sup>	,177 <sup>a</sup>	
<b>S</b>	0,412	0,811	0,065	0,218	0,959	0,959	0,959	0,022
<b>Sb</b>	0,316	0,867	0,166	0,305	0,720	0,720	0,720	0,070
<b>St</b>	,030 <sup>a</sup>	,030 <sup>a</sup>	,030 <sup>a</sup>	,182 <sup>a</sup>	,030 <sup>a</sup>	,030 <sup>a</sup>	,030 <sup>a</sup>	,758 <sup>a</sup>

Como se observa en la Tabla 13, apenas existen diferencias significativas para ninguno de los parámetros evaluados para prados y praderas. Solo podemos afirmar que los valores energéticos, considerando todos los tipos de conservación, eran menores en praderas que en los prados y que el pH de las praderas en promedio era superior al de los prados para todos los silos.

#### 4.4. Características de calidad de los forrajes según explotaciones

Para comparar la calidad entre las distintas explotaciones, se dividen en primer lugar los resultados en dos apartados según el método de conservación (henos o silos).

##### *HENOS*

En la Tabla 14, se presentan los resultados de los henos por las explotaciones de origen y se dan los resultados para cada parámetro mediante la media, desviación, mínimo y máximo de los siguientes parámetros de calidad: PB, PDI, VRF, UFL, UEB, MSVlb yMSVlb500)

Tabla 14 - Calidad comparada de los henos entre las distintas explotaciones. En la primera columna figura la localización de la explotación y el número de muestras analizadas (n). En las siguientes los valores máximos (MAX), mínimos (MIN), medios (MEDIA) y desviaciones estándar (DESV) de los parámetros de calidad: proteína bruta (PB, en % de MS), proteína digerible en el intestino (PDI, en g/kg de MS), valor relativo del forraje (VRF), unidades forrajeras leche (UFL, en UF/kg de MS), coeficiente de ingestión INRA (UEB, UEB/kg MS), materia seca voluntariamente ingerida en bovino (MSVib, en g/kg PV<sup>0,75</sup>) y materia seca voluntariamente ingerida en bovinos de 500kg (MSVib500, en g/kg MS).

	Lugar	PB	PDI	VRF	UFL	UEB	MSVib	MSVib500
<b>Escarrilla</b>	MAX	8,26	70,05	103,58	0,77	1,35	81,30	8,60
n=8	MIN	5,50	59,19	75,02	0,54	1,17	70,24	7,43
	MEDIA	7,26	64,39	85,36	0,65	1,26	75,53	7,99
	DESV	0,90	3,44	8,55	0,07	0,05	3,28	0,35
<b>Saravillo</b>	MAX	11,16	76,13	97,24	0,79	1,24	85,95	9,09
n=8	MIN	7,36	66,13	76,69	0,64	1,11	76,53	8,09
	MEDIA	8,82	69,82	88,40	0,72	1,18	80,35	8,50
	DESV	1,38	3,75	6,63	0,05	0,05	3,31	0,35
<b>Sesué</b>	MAX	9,95	72,03	88,94	0,72	1,17	81,77	8,65
n=2	MIN	9,67	71,51	84,02	0,72	1,16	81,33	8,60
	MEDIA	9,81	71,77	86,48	0,72	1,16	81,55	8,62
	DESV	0,14	0,26	2,46	0,00	0,00	0,22	0,02
<b>Viu</b>	MAX	13,22	81,54	110,57	0,85	1,20	91,05	9,63
n=2	MIN	8,50	68,29	87,79	0,69	1,04	79,20	8,37
	MEDIA	10,82	74,82	99,35	0,77	1,12	85,04	8,99
	DESV	2,25	6,40	10,34	0,08	0,08	5,71	0,60
<b>Castejón de Sos</b>	MAX	10,43	72,85	92,90	0,72	1,23	82,91	8,77
n=2	MIN	7,69	66,33	86,06	0,68	1,15	77,47	8,19
	MEDIA	9,06	69,59	89,48	0,70	1,19	80,19	8,48
	DESV	1,37	3,26	3,42	0,02	0,04	2,72	0,29
<b>Barós</b>	MAX	12,65	75,39	86,36	0,67	1,29	83,71	8,85
n=4	MIN	7,01	62,81	79,68	0,61	1,13	73,82	7,81
	MEDIA	9,61	69,01	82,56	0,65	1,21	78,72	8,32
	DESV	2,39	5,01	2,79	0,02	0,06	3,81	0,40
<b>Larrés</b>	MAX	19,57	90,74	154,41	0,81	1,34	99,53	10,52
n=4	MIN	6,90	58,38	75,98	0,49	0,95	71,03	7,51
	MEDIA	13,21	75,42	112,47	0,67	1,13	85,63	9,05
	DESV	5,66	14,24	35,86	0,14	0,17	12,68	1,34
<b>Tierrantona</b>	MAX	7,70	64,50	77,23	0,62	1,27	75,14	7,95
n=2	MIN	7,57	64,19	73,20	0,62	1,26	74,84	7,91
	MEDIA	7,64	64,34	75,21	0,62	1,27	74,99	7,93
	DESV	0,06	0,16	2,02	0,00	0,00	0,15	0,02
<b>n=34</b>								

Como ocurría en la Tabla 8 en la que se comparaban los resultados de todos los forrajes, cuando separamos los resultados por conservación para cada uno de los ganaderos, volvemos a comprobar que existe una gran variabilidad entre los resultados. Por ejemplo, los valores de proteína bruta fluctúan entre un mínimo de 7,26 hasta un máximo de 13,21. En el resto de los parámetros también observamos marcadas diferencias de calidad entre explotaciones: valores de PDI entre (64,34 y 75,42), VRF (entre 75,21 y 112,47), energía (0,62 y 0,77 UFL) e ingestión (1,12 a 1,27 UEB), (74,99-85,63 MSVib), (7,93-9,05 MSVib500).

En la Tabla 15, se muestran los resultados de los henos según las explotaciones de origen y se dan los resultados para las categorías del VRF, reconocidas por la FEDNA y cuantificadas porcentualmente.

Tabla 15– Categorías de calidad de los henos estudiados según su Valor Relativo del Forraje y criterios de la FEDNA. % de categorías por explotación

	Categoría	%
Escarrilla n=8	cuarta	62,5
	tercera	25,0
	segunda	12,5
Saravillo n=8	cuarta	37,5
	tercera	62,5
Sesué n=2	cuarta	50,0
	tercera	50,0
Viu n=2	tercera	50,0
	segunda	50,0
Sos Castejón de n=2	cuarta	50,0
	tercera	50,0
Barós n=4	cuarta	100,0
Larrés n=4	cuarta	50,0
	primera	25,0
	excelente	25,0
Tierrantona n=2	quinta	50,0
	cuarta	50,0

Los resultados en los henos de los distintos ganaderos en cuanto a calidad son bajos según los valores recomendados por FEDNA, entre tercera y cuarta categoría, excepto casos puntuales, y es que los valores medios por ganadero de VRF están entre 75,21 y 89,48 a excepción de una explotación con valores más altos (112,47).

En la Tabla 16, se presentan los resultados de los silos según las explotaciones de origen y se dan los resultados para cada parámetro mediante la media, desviación, mínimo y máximo de los ocho parámetros (PB, PDI, VRF, UFL, UEB, MSVib, MSVib500 y el pH).

Tabla 16- Calidad comparada de los silos entre las distintas explotaciones. En la primera columna figura la localización de la explotación y el número de muestras analizadas (n). En las siguientes los valores máximos (MAX), mínimos (MIN), medios (MEDIA) y desviaciones estándar (DESV) de los parámetros de calidad: proteína bruta (PB, en % de MS), proteína digerible en el intestino (PDI, en g/kg de MS), valor relativo del forraje (VRF), unidades forrajeras leche (UFL, en UF/kg de MS), coeficiente de ingestión INRA (UEB, UEB/kg MS), materia seca voluntariamente ingerida en bovino (MSVib, en g/kg PV<sup>0,75</sup>), materia seca voluntariamente ingerida en bovinos de 500kg (MSVib500, en kg MS) y pH.

	Lugar	PB	PDI	VRF	UFL	UEB	MSVib	MSVib500	pH
<b>Escarrilla</b> n=8	MAX	13,01	76,12	106,51	0,67	1,55	69,53	7,35	4,89
	MIN	8,36	64,01	77,19	0,55	1,37	61,22	6,47	4,49
	MEDIA	10,19	69,14	95,79	0,62	1,47	64,84	6,86	4,64
	DESV	1,56	3,67	9,07	0,04	0,06	2,66	0,28	0,12
<b>Saravillo</b> n=8	MAX	15,57	86,87	125,65	0,90	1,51	76,43	8,08	5,52
	MIN	8,67	67,60	84,57	0,66	1,24	62,94	6,66	4,69
	MEDIA	11,56	75,90	102,65	0,76	1,39	68,87	7,28	5,04
	DESV	2,34	6,31	14,18	0,07	0,09	4,53	0,48	0,30
<b>Sesué</b> n=4	MAX	16,41	81,64	96,15	0,67	1,49	74,45	7,87	7,29
	MIN	10,59	67,49	70,08	0,53	1,28	63,79	6,75	5,59
	MEDIA	13,46	74,66	81,40	0,60	1,38	69,16	7,31	6,45
	DESV	2,86	6,47	9,99	0,05	0,10	5,15	0,54	0,65
<b>Viu</b> n=2	MAX	14,04	84,37	117,44	0,90	1,29	74,26	7,85	5,83
	MIN	13,68	82,88	114,99	0,87	1,28	73,48	7,77	5,77
	MEDIA	13,86	83,63	116,21	0,88	1,29	73,87	7,81	5,80
	DESV	0,18	0,74	1,23	0,01	0,01	0,39	0,04	0,03
<b>Castejón de Sos</b> n=4	MAX	16,78	90,53	137,95	0,95	1,46	78,80	8,33	5,60
	MIN	9,80	71,77	107,54	0,72	1,21	65,21	6,90	5,22
	MEDIA	13,18	81,60	125,86	0,86	1,32	72,17	7,63	5,41
	DESV	3,16	7,68	11,20	0,09	0,10	5,69	0,60	0,14
<b>Barós</b> n=8	MAX	14,92	78,92	94,36	0,67	1,52	71,97	7,61	7,97
	MIN	8,66	66,72	75,61	0,44	1,32	62,60	6,62	5,30
	MEDIA	11,44	70,56	82,62	0,59	1,44	65,93	6,97	6,26
	DESV	1,85	3,70	5,78	0,07	0,06	2,77	0,29	0,90
<b>Boltaña</b> n=2	MAX	21,69	91,67	99,59	0,70	1,20	82,85	8,76	8,70
	MIN	19,32	86,92	95,67	0,68	1,15	79,33	8,39	8,31
	MEDIA	20,51	89,29	97,63	0,69	1,17	81,09	8,57	8,51
	DESV	1,19	2,37	1,96	0,01	0,03	1,76	0,19	0,19
<b>Tierrantona</b> n=8	MAX	19,37	91,29	147,05	0,83	1,47	81,09	8,57	5,97
	MIN	9,21	70,42	77,50	0,66	1,17	64,59	6,83	4,31
	MEDIA	12,99	78,25	107,74	0,75	1,36	70,45	7,45	5,01
	DESV	3,63	7,90	22,26	0,06	0,11	6,16	0,65	0,62
<b>Viu</b> n=6	MAX	11,10	74,53	101,78	0,74	1,46	67,42	7,13	4,93
	MIN	9,70	69,01	83,96	0,60	1,41	64,97	6,87	3,77
	MEDIA	10,12	71,60	95,65	0,70	1,45	65,65	6,94	4,00
	DESV	0,50	1,69	6,04	0,05	0,02	0,82	0,09	0,42
<b>Castejón de Sos</b> n=4	MAX	12,27	75,06	108,63	0,69	1,48	68,71	7,26	4,87
	MIN	9,98	69,53	86,44	0,55	1,38	64,22	6,79	4,08
	MEDIA	11,50	72,38	97,12	0,64	1,42	66,79	7,06	4,33
	DESV	0,90	2,38	8,86	0,05	0,04	1,70	0,18	0,32
<b>Boltaña</b> n=2	MAX	9,05	66,87	79,18	0,61	1,54	62,36	6,59	4,13
	MIN	8,70	65,88	78,41	0,60	1,52	61,69	6,52	4,11
	MEDIA	8,88	66,38	78,80	0,60	1,53	62,02	6,56	4,12
	DESV	0,18	0,49	0,39	0,00	0,01	0,34	0,04	0,01
<b>n=56</b>									

Como en el heno, para el resto de los parámetros (energía, proteína y coeficiente de ingestión INRA) observamos que los resultados también son muy variables entre ganaderos: para la proteína (PB entre 8,88 y 13,86), con el caso particular Boltaña de 20,51, lo que se traduce a valores de (PDI entre 64,84 y 89,29), VRF (78,8-125,86), energía (0,59-0,88 UFL), ingestión (1,17-1,53 UEB) -(62,02-81,09 MSVib)-(6,56-8,57 MSVib500) y pH (4-8,51).

En la Tabla 17, se dividen los resultados de los henos por las explotaciones de origen y se dan los resultados para las categorías del VRF cuantificadas porcentualmente.

Tabla 17- Categorías de calidad del forraje de los silos estudiados según su Valor Relativo del Forraje (criterios de la FEDNA) y calidad global fermentativa del silo (CGS). % de categorías por explotación.

	Categoría	%	CGS	%
<b>Escarrilla</b> n=8	cuarta	12,5	deficiente	100,0
	tercera	50,0		
	segunda	37,5		
<b>Saravillo</b> n=8	cuarta	12,5	deficiente	100,0
	tercera	37,5		
	segunda	37,5		
	primera	12,5		
<b>Sesué</b> n=4	quinta	25,0	deficiente	100,0
	cuarta	50,0		
	tercera	25,0		
<b>Viu</b> n=2	segunda	100,0	deficiente	100,0
<b>Castejón de Sos</b> n=4	segunda	25,0	satisfactorio	50,0
	primera	75,0	aceptable	50,0
<b>Barós</b> n=8	cuarta	87,5	deficiente	100,0
	tercera	12,5		
<b>Boltaña</b> n=2	tercera	100,0	deficiente	100,0
<b>Tierrantona</b> n=8	cuarta	25,0	deficiente	37,5
	tercera	25,0		
	segunda	25,0		
	primera	25,0		
<b>Viu</b> n=6	cuarta	16,7	deficiente	33,3
	tercera	83,3	aceptable	66,7
<b>Castejón de Sos</b> n=4	cuarta	25,0	deficiente	100,0
	tercera	50,0		
	segunda	25,0		
<b>Boltaña</b> n=2	cuarta	100,0	deficiente	100,0
<b>n=56</b>				

En cuanto a los silos las categorías para el valor relativo del forraje siguen siendo bajas, la mayoría son de categoría tercera-cuarta (entre 78 y 125), aunque como en el heno, encontramos excepciones en algún ganadero con categorías primera o segunda. Los resultados para la calidad global del silo también son bajos, en todos los casos son deficientes o aceptables con la excepción de un resultado satisfactorio.

## 4.5. Relaciones entre los parámetros de calidad

En la Tablas 18, 19, 20 se presentan los resultados de la prueba Rho de Spearman, para establecer las posibles relaciones entre los parámetros de calidad, divididos según el método de conservación (todos, heno o ensilado) respectivamente.

### 4.4.1 Correlaciones (todos los forrajes)

Tabla 18 – Coeficientes de Correlación Rho de Spearman entre los parámetros de calidad analizados para todos los forrajes (niveles de significación: \*\*  $p < 0,01$ , \*  $p < 0,05$ ). Parámetros de calidad: proteína bruta (PB, en % de MS), proteína digestible en el intestino (PDI, en g/kg de MS), valor relativo del forraje (VRF), unidades forrajeras leche (UFL, en UF/kg de MS), coeficiente de ingestión INRA (UEB, UEB/kg MS), materia seca voluntariamente ingerida en bovino (MSVlb, en g/kg PV<sup>0,75</sup>), materia seca voluntariamente ingerida en bovinos de 500kg (MSVlb500, en kg MS) y pH.

	PB	VRF	UFL	PDI	MSVlb	UEB	MSVlb500
PB	1,000						
VRF	,572**	1,000					
UFL	,381**	,787**	1,000				
PDI	,901**	,748**	,701**	1,000			
MSVlb	0,157	,254*	,490**	,338**	1,000		
UEB	-0,157	-,254*	-,490**	-,338**	-1,000**	1,000	
MSVlb500	0,157	,254*	,490**	,338**	1,000**	-1,000**	1,000
n=90							

En la Tabla 18 observamos como la relación entre MSVlb Y MSVlb500, al referirse ambos parámetros a la capacidad del forraje a ser ingerido, tienen una correlación total (1.000) y evidentemente, están inversamente relacionados (-1.000) con el coeficiente de ingestión INRA (UEb).

Existen correlaciones positivas entre los valores de proteína (PB y PDI), energía (UFL) y Valor Relativo del forraje. Todas ellas se correlacionan negativamente con el valor del coeficiente de ingestión INRA (UE) a excepción de los datos referentes a la PB, para los que la relación no es significativa.

#### 4.4.2 Correlaciones (Heno)

Tabla 19- Coeficientes de Correlación Rho de Spearman entre los parámetros de calidad analizados para los henos (niveles de significación: \*\*  $p < 0,01$ , \*  $p < 0,05$ ). Parámetros de calidad: proteína bruta (PB, en % de MS), proteína digestible en el intestino (PDI, en g/kg de MS), valor relativo del forraje (VRF), unidades forrajeras leche (UFL, en UF/kg de MS), coeficiente de ingestión INRA (UEB, UEB/kg MS), materia seca voluntariamente ingerida en bovino (MSVlb, en g/kg  $PV^{0,75}$ ), materia seca voluntariamente ingerida en bovinos de 500kg (MSVlb500, en kg MS) y pH

	PB	VRF	UFL	PDI	MSVlb	UEB	MSVlb500
PB	1,000						
VRF	,629**	1,000					
UFL	,638**	,890**	1,000				
PDI	,910**	,814**	,864**	1,000			
MSVlb	,881**	,828**	,890**	,992**	1,000		
UEB	-,881**	-,828**	-,890**	-,992**	-,1,000**	1,000	
MSVlb500	,881**	,828**	,890**	,992**	1,000**	-,1,000**	1,000
n=34							

En la Tabla 19 observamos como se mantienen las relaciones que se establecían para todos los forrajes y se amplían para los valores de proteína (PB y PDI) con el valor del coeficiente de ingestión INRA (UE) entre los que existe una relación negativa.

#### 4.4.3 Correlaciones (Silos)

Tabla 20 -Coeficientes de Correlación Rho de Spearman entre los parámetros de calidad analizados para los silos (niveles de significación: \*\*  $p < 0,01$ , \*  $p < 0,05$ ). Parámetros de calidad: proteína bruta (PB, en % de MS), proteína digestible en el intestino (PDI, en g/kg de MS), valor relativo del forraje (VRF), unidades forrajeras leche (UFL, en UF/kg de MS), coeficiente de ingestión INRA (UEB, UEB/kg MS), materia seca voluntariamente ingerida en bovino (MSVlb, en g/kg  $PV^{0,75}$ ), materia seca voluntariamente ingerida en bovinos de 500kg (MSVlb500, en kg MS) y pH

	Ph	PB	VRF	UFL	PDI	MSVlb	UEB	MSVlb500
pH	1,000							
PB	,452**	1,000						
VRF	-,166	,425**	1,000					
UFL	-,118	,361**	,816**	1,000				
PDI	0,215	,824**	,693**	,777**	1,000			
MSVlb	,295*	,926**	,647**	,617**	,954**	1,000		
UEB	-,295*	-,926**	-,647**	-,617**	-,954**	-,1,000**	1,000	
MSVlb500	,295*	,926**	,647**	,617**	,954**	1,000**	-,1,000**	1,000
n=56								

Por último, en la tabla 20 comprobamos como las relaciones observadas para los henos se mantienen en los ensilados. En cuanto a los valores de pH evaluados para el silo, cuando estos aumentan, también lo hacen los valores de PB, aunque la correlación no es significativa cuando los valores de proteína se miden con el sistema INRA (PDI). La correlación es también menor con los valores de VRF, UFL y UEB (que disminuyen con el aumento del pH).

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. Parámetros de calidad

#### PROTEÍNA

Los valores de PDI (g/kgMS) medios obtenidos en los henos son de 69,47. Si comparamos este valor con los obtenidos para henos referentes a prados de media montaña secados al sol de la base de datos del INRA (INRA, 2018) observamos como los valores son mucho más próximos a los obtenidos para cortes del primer ciclo en fechas tardías (68) que para los obtenidos en el primer ciclo al principio del espigado del dátilo (88) o para el segundo corte (104).

Si comparamos los resultados con los obtenidos en cuanto a PB (9,30), con trabajos anteriores en la región, de nuevo los datos son similares si los cotejamos con henos correspondientes al primer corte de prados del Pirineo (8,6-10) e inferiores a los obtenidos para segundos cortes en praderas del Pirineo Axial (15,4) (Maestro Martínez et al., 2002).

Puede pensarse que el estadio vegetativo demasiado avanzado en el momento de la siega es uno de los factores que podrían estar detrás de estos bajos resultados. En recientes trabajos desarrollados en el Pirineo aragonés (Ascaso y Reiné, 2022) se muestran pérdidas del 13 y 21% de PDI cuando se retrasa la fecha de siega hasta finales del mes de junio o inicios del de julio, respectivamente. También puede deberse a que el forraje se seque excesivamente en el campo (hasta un 86% de MS) o a que muchas veces las labores no se realizan en las horas del día más adecuadas (Amella et al., 1984).

Para los ensilados, los valores PB (11,95) son superiores a los de los henos, diferencias que se reducen si lo que evaluamos es el PDI (74,53). Esto podría deberse a que las proteínas se transforman en nitrógeno soluble, en torno a un 50% en silos de muy buena calidad y más de un 80% en los malos (Demarquilly et al., 1998) y como hemos descrito en el apartado de resultados, las calidades globales de estos silos son en su mayoría deficientes (73%), siendo pocos los aceptables (23 %) y muy pocos los satisfactorios (4 %).

Estos valores están dentro de los recopilados en las tablas INRA que se sitúan entre 65 y 78g/kgMS en silos con contenidos en MS>50% (65-78). Las diferencias poco significativas entre el silo trinchera y bolo, concuerdan con los de Andrieu et al. (1992) en los que se concluía que el valor nutritivo de las pacas redondas encintadas pero equivalente al de los ensilajes picados de corte directo con conservante.

#### VRF

Los resultados en los henos y silos de los distintos ganaderos en cuanto a calidad son bajos según los valores recomendados por FEDNA, entre tercera y cuarta categoría.

La correlación de este parámetro con los anteriormente descritos parece indicar de nuevo la alta influencia de la fenología del cultivo en los resultados. Cuando se retrasa la fecha de siega, el VRF del forraje verde de partida puede alcanzar pérdidas entre el 20 y el 30% según el retraso respecto al momento óptimo de siega en este tipo de prados (Ascaso y Reiné, 2022).

Los valores de VRF dependientes del contenido en fibras (FAD y FND) también concuerdan con Daccord (2001) lo que reafirmaría esta hipótesis.

Finalmente, y pese a ser mucho menores, hay datos para algunos ganaderos con valores de VRF de primera y segunda, lo cual lleva a pensar que si se dan las condiciones adecuadas (buena conservación y buen material de partida en cuanto a la fecha de corte), los prados y praderas de la región tienen el potencial suficiente como para alcanzar estos resultados.

## ENERGÍA

Los resultados medios obtenidos para la energía son iguales en los silos que en los henos 0,69UFL/kgMS. Cabría esperar valores menores en el caso del heno, ya que la digestibilidad disminuye entre 16 y 4 puntos en función del tiempo de secado, debido a la pérdida de hojas (Demarquilly et al., 1998).

Si comparamos estos valores con las bases de datos del INRA, de nuevo comprobamos que los datos son similares en henos aéreos correspondientes a fechas de siega tardías entre el 1 y el 10 de julio, para henos secados con buen tiempo en zonas de media montaña (0,66) pero que distan mucho 0,77-0,87 para fechas más tempranas en el primer corte o los 0,85-0,88 del segundo y tercer corte respectivamente. De nuevo los datos concuerdan con Ascaso y Reiné, (2022) que registraban pérdidas entre el 16 y el 26% de energía (UFL) cuando se retrasaba la fecha de siega hasta finales del mes de junio o inicios de julio.

Las diferencias son aún más marcadas si comparamos nuestros valores con los datos del INRA para silos. Los valores son iguales si los comparamos con silos con contenidos en materia seca superiores al 50% correspondientes al primer corte en fechas tardías, pero son significativamente menores si los comparamos con los resultados obtenidos en la misma zona al inicio del espigado (0,87). Más marcada es la diferencia cuando en el mismo estado vegetativo, los resultados proceden de prados de media montaña con silo picado sin conservante (0,98) (INRA, 2018).

De nuevo estos valores parecen estar más influidos por la fenología del forraje verde que por el origen de las muestras o la técnica de conservación utilizada, y es que el valor de energía está claramente influenciado por la digestibilidad de las paredes celulares, que varía desde un 40 hasta un 90% según lo incrustadas que están lignina (Baumont et al., 2009).

## COEFICIENTE DE INGESTIÓN INRA

Los valores medios obtenidos del coeficiente UEB para henos (1,20 UEB) son significativamente mejores que los del ensilado (1,4UEB). En el caso del heno las reducciones de ingestión son más o menos importantes en función de la época de recolección. En el caso de los silos la reducción de cantidad de materia seca ingerida depende además de la presencia de productos de fermentación y de la degradación de las proteínas (Demarquilly et al., 1998).

Si los comparamos con los resultados del INRA, los valores del silo son exactamente iguales a los obtenidos en el primer ciclo para fechas de corte muy tardías, con las mismas técnicas aplicadas y en la misma área geográfica estas cifras se pueden mejorar llegando a valores de 1,11 UEB al inicio del espigado del dactilo.

Ocurre lo mismo en el caso del heno, los valores coinciden en nuevo exactamente para cortes tardíos, entre el 1 y el 10 de julio, para henos secados al sol en zonas de media montaña. De nuevo estos valores son muy inferiores si adelantamos el corte al inicio del espigado, entre el 1 y el 10 de junio con valores de 0,97 (INRA, 2018).

Por último y dada la importancia que tiene el valor de ingestión, como ya hemos explicado en el apartado anterior, para este tipo de explotaciones, es reseñable que se lleguen a alcanzar valores de UEB de 1,55 en algunos de los silos analizados. Más allá de la importancia del estado fenológico del material de partida, sería de gran interés conocer el índice de ensilabilidad (Martínez-Fernández, 2014) del forraje verde de los prados y praderas pirenaicas.

### pH y CGS

Como para el VRF, los resultados en cuanto a la calidad global del silo son bajos, en todos los casos son deficientes o aceptables a excepción de un resultado satisfactorio. Este sistema de valoración depende de la digestibilidad y de la proteína (que ya hemos comentado anteriormente que tienen valores deficientes en todos los forrajes) y de la calidad fermentativa del silo, dependiente del pHdif.

Los valores de pH de los silos varían en función del sistema de ensilado utilizado, es menor en silo trinchera que para silo bola. Uno de los factores que más influyen en este valor de pH es el contenido inicial en azúcares. Éstos se degradan con mucha rapidez y las condiciones en el momento de la cosecha y la velocidad de secado pueden jugar un papel muy importante en el contenido del forraje (Daccord, 2001). Una posible respuesta podríamos encontrarla en que los silos bola generalmente se prehenifican en campo, por lo que el contenido en azúcares podría disminuir considerablemente.

Sin embargo, los silos de buena calidad no se relacionan en exclusiva con valores de pH bajos, si no que estos van de la mano con el contenido en MS (Haigh, 1987), lo que podría explicar por qué estos contenidos bajos en pH no se traducen en mejores resultados de proteína, energía o VRF cuando compramos el heno bola con el trinchera.

Dados estos resultados, podríamos pensar que, como se indica en (Andrieu et al., 1992), las pacas encintadas parecen más adecuadas para las zonas en las que la alimentación de los animales se basa en heno (vacas nodrizas, por ejemplo). Así pues, su ventaja sería poder comenzar a cosechar en etapas más tempranas, cuando la calidad del forraje es mucho mayor, sin necesidad de tantos días de secado como para el heno, y si continuara el buen tiempo sí que se henificaría, porque las diferencias de calidad entre ambas técnicas son demasiado bajas para compensar el costo de la envoltura.

## 5.2. Comparaciones entre henos y silos

La comparación de la calidad del forraje según el método de conservación permite establecer algunas diferencias. La comparación conjunta de praderas y prados entre henos y silos muestra mayor calidad media de los silos con diferencias significativas en todos los parámetros salvo en la energía (UFL/kg MS). Si se consideran de forma independiente las praderas y los prados la situación es distinta. La calidad media de los silos bola de los prados en

PB, PDI y VRF es superior a los silos trinchera y estos a los henos. En el caso de las praderas la calidad mayor es también la del silo bola pero los silos trinchera son de menor calidad que el heno. Sin embargo, dada la variabilidad existente dentro de cada tipo de conservación sólo se observan diferencias significativas entre los silos bola y los henos.

Respecto a los parámetros UEB, MSVib y MSVib500 los valores son mejores los del heno, luego el silo bola y, por último el silo trinchera. Aquí las diferencias son significativas tanto para la comparación entre henos y silos como para heno con el silo bola y el silo trinchera.

Por tanto, a pesar de la mayor calidad de los silos en PB, PDI y VRF, sus valores menos favorables en UEB, MSVib y MSVib500 podrían ser limitantes y que la ingesta diaria no saciara las necesidades de energía o proteína. Es preciso considerar que en este tipo de explotación la dieta de los animales se basa casi en exclusiva en los recursos forrajeros propios (Ocaña, 1978 ; Fillat et al, 2007 ; Adámez, 2009 ; Oña, 2015; Reiné et al., 2010).

Entre las causas de estas variaciones de calidad y capacidad de ingesta entre henos y silo podría señalarse la composición florística, el estado fenológico en el que se siega y el manejo de las técnicas de conservación (Demarquilly et al., 1998; Baumont, 2011). En el caso del heno, estas diferencias podrían deberse a las altas pérdidas en hojas durante la henificación, que conllevarían una gran reducción en su valor proteico y en un aumento en la relación tallos/hojas que elevaría sustancialmente los valores de VRF (Amella, 1984). Pese a que en los henos la digestibilidad también se vería muy afectada por estas mismas razones, los silos presentan valores aún más deficientes, que se podrían explicar por el contenido en ciertas sustancias resultantes del proceso de fermentación. Estas sustancias (ácidos acético, butírico y AGV presentes en los silos mal conservados) se correlacionan de forma negativa con la ingestión voluntaria (Demarquilly, et al., 1973).

Los valores de pH, al contrario que el resto de los parámetros, son más satisfactorios para el silo trinchera que para el silo bola (4,13-5,54) y a diferencia del resto, en este caso las diferencias sí que son significativas. Las dos diferencias más relevantes entre los dos tipos de silos que podrían afectar a los valores de pH estarían el picado y la adición de conservantes. Estas prácticas podrían haber contribuido a reducir el pH del forraje en los silos trinchera, mejorando los resultados respecto a las pacas encintadas,

Sin embargo, esta reducción del pH no se traduce en mejores resultados para el resto de los parámetros, lo que podría derivarse de que en los henos picados no se marchita el forraje en campo y el valor crítico de acidez al que cesa el crecimiento bacterias perjudiciales del género Clostridium aumenta, conforme crece el contenido en humedad. Si se presea la hierba hasta un 30% de MS la actividad de las bacterias está muy controlada, cuando la materia seca es del 20% existe crecimiento de clostridios incluso a pH 4, disparándose el crecimiento con contenidos de MS inferiores al 15% (Martínez-Fernández et al., 2014).

Tanto para henos como para silos, El Valor Relativo del Forraje se sitúa entre la 3ª y la 4ª categoría según valores recomendados por la FEDNA y la CGS de los ensilados resulta deficiente en el 70% de los casos. Lo que, de nuevo concuerda con los bajos valores de Maestro, (2002). Sin embargo, la gran variabilidad de los resultados pone de manifiesto que hay ganaderos cuyos henos y silos tienen valores muy superiores al resto. por lo que podríamos pensar que aplicando correctamente las técnicas de conservación y prestando atención a la fenología del cultivo en el momento de cosecharlo, el forraje verde de estas explotaciones tiene el potencial requerido para conservarse como henos o silos de buena calidad.

### 5.3. Comparaciones entre praderas y prados

Cuando comparamos el origen según el tipo de prado, solo podemos afirmar que los valores energéticos, en todos los tipos de conservación, eran menores en praderas que en los prados y que el pH de las praderas en promedio era superior al de los prados para todos los silos.

Estas diferencias energéticas, en función del tipo de prado podrían explicarse por la fuerte relación que existe entre los valores de energía y la dMO. En gramíneas y leguminosas, la dMO está estrechamente relacionado con la edad o etapa de desarrollo de las plantas. Sin embargo, plantas de otras familias que encontramos en los prados de montaña conservan una buena digestibilidad hasta el final del período de crecimiento (Schubiger y Lehmann, 2001; Reiné et al., 2010; Reiné et al., 2012; Ascaso y Reiné, 2022).

En cuanto a los altos valores de pH de las praderas, la única variable que podría explicar estas variaciones es la capacidad tampón, que es más alta en leguminosas, por lo que en ensilados realizados con la hierba procedente de praderas que tengan alta cobertura de esta familia, la calidad fermentativa sería deficiente (Tobía et al., 2008).

El hecho de que apenas existan diferencias significativas para el resto de los parámetros cuando comparamos los resultados de los prados y los de las praderas, podría llevar a pensar que podría haber influido más el manejo (método de conservación, fenología de la hierba en el momento de cosecha u otras variables) que el tipo de cultivo (A. Amella, 1984). Y es que, en anteriores trabajos desarrollados en el Pirineo, se concluía que en los prados situados a mayor altitud y con un manejo más extensivo, que suelen ser más biodiversos (con más especies del grupo "otras"), las plantas eran de menor talla y por lo tanto con menor rendimiento, lo que se traduce en una calidad analítica química mayor (por ejemplo más proteína y menos fibra) (Reiné et al., 2012; Reiné et al., 2010; Ascaso y Reiné, 2022).

### 5.4. Relación entre parámetros de calidad

En el apartado 4.5 observamos como para todos los forrajes, a medida que crece el valor del coeficiente de ingestión INRA (UEb) disminuyen la proteína, energía y el valor relativo del forraje y evidentemente sus valores inversos de ingestión (MSVib y MSVib500). Por lo que de cara comparar nuestros datos con los de trabajos, con bases de datos como la de Maestro et al. (2002) en la que solo podemos comparar los valores de PB, podríamos extrapolar esta comparación entre proteínas brutas al resto de parámetros. Es decir, si comparativamente tenemos valores bajos de PB, podemos establecer que este forraje es de baja calidad, ya que valores bajos de PB se relacionan con bajos VRF o energía y altos valores de ingestión.

En este sentido, también es interesante comprobar como estos resultados concuerdan con los obtenidos en otros estudios en los que se consideraba la evolución de la calidad de un pasto según su desarrollo vegetativo. Los resultados en cuanto al contenido en fibras, crecientes a lo largo del desarrollo (Daccord, 2001) conllevan disminuciones al mismo ritmo de la ingestibilidad y digestibilidad (Schubiger y Lehmann, 2001), esta disminución de la digestibilidad implica a su vez reducciones paralelas del contenido energético y proteico (Jeangros et al., 2001; Daccord, 2002).

Vista la correlación existente entre los distintos parámetros, puede pensarse que la relación con el avanzado estado fenológico podría estar afectando gravemente a la calidad de los forrajes conservados de estas explotaciones.

Dada esta escasa calidad, una posible mejora podría consistir en adelantar la fecha del primer corte y aumentar la presencia de leguminosas (Maestro, 1990). Dicho cambio en la composición se podría dar adaptando las prácticas agrícolas sin necesidad de siembras o laboreo, debido a la gran plasticidad de estos prados (Duru, 1998). Por otro lado, y buscando otras posibles mejoras, dado un prado de secano en montaña, resulta una mejor opción de intensificación ponerla en regadío que instalar una pradera artificial (Maestro, 1990) ya que, en un prado con riego, se pasa de dos a tres aprovechamientos con unas producciones de 7.671kgMS/ha, 5.227 UF/ha y 644 kgPD/ha, lo que supone unos incrementos del 45%, 58% y 58% respectivamente (Ferrer et al., 1990).

## 6. CONCLUSIONES

-Los valores medios de calidad de los forrajes conservados tanto en henos como en silos están por debajo de los de referencia del INRA. Según las categorías establecidas por la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal podemos considerar que la calidad media de los forrajes analizados es de tercera categoría

-La variabilidad de la calidad de los forrajes conservados es muy elevada y existen casos de alta calidad por lo que existe un amplio margen de mejora, como lo indican los resultados de algunas explotaciones estudiadas y los valores de referencia de otras zonas de montaña.

-Los ensilados frente a los henos presentan mayores valores de proteína (PB y PDI) y de calidad forrajera (VRF), pero menores capacidades de ingestión (UEB, MSVlb) por lo que podrían no satisfacer las necesidades diarias del ganado sin complemento. Las estimaciones de energía del forraje (UFL) en los dos métodos de conservación son iguales.

-Los parámetros de calidad de los forrajes producidos en pradera comparados con los producidos en prados no son significativamente distintos, a excepción de la energía (UFL) que presentó valores mayores en los prados.

-Los ensilados estudiados presentan en su mayoría (75%) una calidad fermentativa deficiente por lo que deberían abordarse en el futuro análisis de su manejo y estudios sobre el potencial de ensilabilidad de la hierba de estos prados.

-Los dos tipos de ensilados analizados no muestran diferencias significativas en cuanto a sus parámetros de calidad bromatológica y fermentativa.

-De acuerdo con nuestros resultados, no parece recomendable el cambio del método tradicional de conservación de la hierba mediante henificado a favor de la práctica del ensilado, que requiere además un mayor grado de intensificación en las explotaciones.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- A. Amella, C. F. (1984). Henificación en la depresión media prepirenaica; producciones, mermas y calidad. *Pastos*, 14, 77-91.
- Adámez, P. A. (2009). *Planificación y manejo de la explotación de vacuno de carne*. Consejería de Agricultura y Ganadería de la Junta de Castilla y León.
- Amella, A., Ferrer, C., Maestro, M., y Broca, A. (1984). Henificación en la depresión media prepirenaica; producciones, mermas y calidad. *PASTOS* 14, 77-91.
- Amella, A., Ferrer, C., Maestro, M., y Broca, A. (1985). Rendimientos y calidad de alfalfares en regadío y en secano, en la Depresión Prepirenaica. *PASTOS*, 159-173.
- Amella, A., Ferrer, C., Maestro, M., Broca, A., y Ascaso, J. (1990). Praderas naturales de secano de los fondos de valle del Pirineo Central (Huesca): Suelo, manejo, flora, producción y calidad. *XXX REUNION CIENTIFICA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA PARA EL ESTUDIO DE LOS PASTOS* (págs. 168-177). SAN SEBASTIÁN: Pastos.
- Andrieu, J., Demarquilly, C., y Rouel, J. (1992). Conservation et utilisation par les génisses de l'herbe de prairies naturelles. Intérêt des balles rondes enrubannées comparativement à l'ensilage direct et au foin. *INRA Productions Animales* (págs. 205-212). Paris: INRA.
- Aragón, D. d. (2007). La división climática de Aragón. En D. d. Aragón, *Atlas Climático de Aragón* (págs. 155-166). Gobierno de Aragón (Departamento de Medio Ambiente).
- Argamentería A., R. B. (1997). El ensilado en Asturias. *Ed. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias*, 127 p.
- Ascaso, J., y Reiné, R. (2022). Temporal Variations in the Production—Quality and Optimal Cutting Date of Hay Meadows in the Central Pyrenees (Spain). *Agronomy*, 1-18.
- Badía, D., y Fillat, F. (2008). Descripción del marco físico: geología, clima y suelos. En F. Fillat, *Pastos del Pirineo* (págs. 37-49). España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC : Diputación Provincial de Huesca.
- Baumont, R. (2011). La valeur alimentaire des fourrages : rôle de la diversité spécifique et des techniques de conservation. *ALP-Tagung*. Posieux.
- Baumont, R., Aufrère, J., y Meschy, F. (2009). La valeur alimentaire des fourrages: rôle des pratiques de culture, de récolte et de conservation. *Fourrages*, 153-173.
- Branko Lukač, B. K. (2012). Importance of non-leguminous forbs in animal nutrition and their ensiling properties: a review. *Žemdirbystė=Agriculture*, vol. 99, No. 1, 3–8.
- Callejo Ramos, A. (2017). Conservación de Forrajes (II): Fundamentos de la henificación. *Frisona Española*.
- Callejo Ramos, A. (2017). Conservación de forrajes (V): Fundamentos del ensilado. *Frisona Española*.
- Calsamiglia, S. (1997). NUEVAS BASES PARA LA UTILIZACION DE LA FIBRA EN DIETAS DE RUMIANTES. *XIII CURSO DE ESPECIALIZACION FEDNA*. Madrid: FEDNA.

- Cañeque, V., Lauzurica, S., y Guía, E. (1987). *BASES TÉCNICAS DEL ENSILADO DE FORRAJES*. INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria).
- Chacorro, C., y Reiné, R. (2008). El cultivo de los prados en el Pirineo. En F. Fillat, *Pastos del Pirineo* (págs. 141-158). CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS.
- Cherney, D. (2000). Characterization of forages by chemical analysis. En E. O. D.I. Givens, *Forage evaluation in ruminant nutrition* (págs. 281-300). Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Chocarro, C., Reiné, R., Juárez, A., Barrantes, O., Broca, A., y Ferrer, C. (2009). Clasificación florística de los prados de siega del pirineo de Huesca. *La Multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, (págs. 109-115).
- Daccord R., A. Y. (2001). Valeur nutritive des plantes des prairies: teneurs en constituants pariétaux. *Agrarforschung* 8 (4), 180-185.
- Daccord R., A. Y. (2002). Valeur nutritive des plantes des prairies: Valeurs azotées el énergétiques. *Revue suisse Agric.* 34, 73-78.
- Demarouilly, C., Andrieu, J., y Weiss, P. (1981). I.Jngestibilité des fourrages verts et des foins et sa prévision",. *Prévision de la valeur nutritive des aliments des Ruminants* (págs. 155-167). INRA Publ.
- Demarquilly, C., y Jarrige, R. (1981). Panorama des méthodes de prévision de la digestibilité et de la valeur énergétique des fourrages. *XI Journées du Grenier de Thiex, en: Prévision de la valeur nutritive des aliments des rumiants* (págs. 41-59). I.N.R.A. Publications.
- Demarquilly, C., Boissau, J.-M., Bousquet, H., Cuyllé, G., Jailler, M., Jamot, J., y L'Hotelier, L. (1973). COMPOSITION CHIMIQUE, CARACTÉRISTIQUES FERMENTAIRES, DIGESTIBILITÉ ET QUANTITÉ INGÉRÉE DES ENSILAGES DE FOURRAGES: MODIFICATIONS PAR RAPPORT AU FOURRAGE VERT INITIAL. *Annales de Zootechnie*, 22, 1-53.
- Demarquilly, C., Dulphy, J., y Andrieu, J. (1998). Valeurs nutritive et alimentaire des fourrages selon les techniques de conservation : foin, ensilage, enrubannage. *Fourrages*, 155, 349-369.
- Derner, J. D. (2017). Livestock Production Systems. En *Rangeland Systems Processes, Management and Challenges* (págs. 347–372). D. D. Briske.
- Eguinoa, J. I. (2008). Calidad de los silos en Navarra. Estudio de la posible presencia de microorganismos contaminantes. *NAVARRA AGRARIA* , 57-64.
- Enrique, H. S. (1997). Alcances y limitaciones de los sistemas para expresar Requerimientos Vacunos. *Unidad Integrada Balcarce - Argentina*. Obtenido de XI Curso de Postgrado en Producción Animal.
- FAO. (2010). Challenges and Opportunities for Carbon Sequestration in Grassland Systems: A Technical Report on Grassland Management and Climate Mitigation. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ferrer, C., Amella, A., Maestro, M., Broca, A., y Ascaso, J. (1990). Praderas naturales de regadío de los fondos de valle del Pirineo Central (Huesca): Suelo, manejo, flora, producción y calidad. *XXX REUNION CIENTIFICA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA PARA EL ESTUDIO DE LOS PASTOS*, (págs. 168-175). San Sebastián.

- Ferrer, C., Maestro, M., y Broca, A. (2000). Explotación de praderas de regadío en la depresión prepirenaica. Producción y calidad. *III Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes*. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- Ferrer, C., San Miguel, A., y Olea, L. (2001). NOMENCLÁTOR BÁSICO DE PASTOS EN ESPAÑA. *PASTOS, XXIX (2)*, 7 - 44.
- Fillat, F., García González, R., Gómez García, D., y Reiné, R. (2007). *Pastos del Pirineo*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Flores Calvete, G. (2003). Factores que afectan a la calidad del ensilaje de hierba y a la planta de maíz forrajero en Galicia y evaluación de métodos de laboratorio para la predicción de la digestibilidad in vivo de la materia orgánica de estos forrajes ensilados. *Universidad Politécnica de Madrid*.
- García-González, A. M. (2008). CALIDAD NUTRITIVA DE LOS PASTOS PIRENAICOS. En F. R. Fillat, *Pastos del Pirineo* (págs. 171-188). España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Gobierno de Aragón. (2021). *Distribución de ganadería-Estadísticas ganaderas*-. Obtenido de <https://www.aragon.es/-/estadisticas-ganaderas#anchor2>
- Haigh, P. (1987). The effect of dry matter content and silage additives on the fermentation of grass silage on commercial farms. *Grass and Forage Science (1987) 42*, 1-8.
- Haigh, P. (2006). The effect of dry matter content and silage additives on the fermentation of grass silage on commercial farms. *Grass and Forage Science 42*, 1-8.
- INRA. (1978). *Alimentation des ruminants*. Versailles: INRA Publication.
- INRA. (1988). *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. Paris: Institut National de la Recherche Agronomique (INRA).
- INRA. (2007). *Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux, valeur des aliments*. Versailles (France): Quae Editions.
- INRA. (2018). *Alimentation des ruminants: Apports nutritionnels - Besoins et réponses des animaux - Rationnement - Tables des valeurs des aliments*. Paris: QUAE .
- Jara Muriel, M. J. (2018). Desarrollo de modelos de cálculo de necesidades nutritivas en ganado caprino mediante hoja de cálculo Excel. *Facultad de Veterinaria de la Universidad de Extremadura*.
- Jeangros, B., Scephovic, J., Schubiger, E. X., Lehmann, J., Raccord, R., y Arrigo, Y. (2001). Valeur nutritive des plantes de prairies Teneurs en matière sèche, matière azotée et sucres. *Revue suisse Agric. 33*, 73-80.
- J-P. Andrieu, J.-P., Demarquilly, C., y Rouel, J. (1992). Conservation et utilisation par les génisses de l'herbe de prairies naturelles. Intérêt des balles rondes enrubannées comparativement à l'ensilage direct et au foin. *INRA Productions Animales*, (págs. 205-212). Paris.
- Kellems, Richard , O., y Church, D. (2009). *Livestock Feeds and Feeding*. Kellems, Richard O./Church, DC.

- Linn, J., y Martin, N. (1989). FORAGE QUALITY TESTS AND INTERPRETATION. *MINNESOTA EXTENSION SERVICE - UNIVERSITY OF MINNESOTA*.
- M. Duru, G. B. (1998). Fonctionnement et dynamique des prairies permanentes. Exemple des Pyrénées centrales. *Fourrages*, 97-113.
- Maestro Martínez, M., Ferrer, C., y Broca, A. (2000). Explotación de praderas de secano en la depresión prepirenaica. Producción y calidad. *III Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes* (págs. 585-591). Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- Maestro Martínez, M., Ferrer, C., y Broca, A. (2002). Presentación preliminar de una tabla de resultados productivos y analíticos de recursos pascícolas de Aragón. *Producción de pastos, forrajes y céspedes : actas de la XLII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos* (págs. 257-264). Lleida: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- Maestro, M. F. (1990). Praderas naturales de secano de los fondos de valle del Pirineo central (Huesca): Suelo, manejo, flora, producción y calidad. *XXX Reunión Científica de la SEEP*, (págs. 176-183). San Sebastián.
- Marinas, A., y García-González, R. (2008). CALIDAD NUTRITIVA DE LOS PASTOS PIRENAICOS. En F. FILLAT, *PASTOS DEL PIRINEO* (págs. 171-188). España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC : Diputación Provincial de Huesca.
- Martínez Fernández, A., Soldado, A., de la Roza Delgado, B., Vicente, F., González Arrojo, M., y Argamentaria, A. (2013). Modelling a quantitative ensilability index adapted to forages from wet temperate areas. *Spanish journal of agricultural research*, 455-462.
- Martínez-Fernández, A., Argamentaría Gutiérrez, A., y de la Roza Delgado, B. (2014). *Manejo de forrajes para ensilar*. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentaria (SERIDA).
- McDonald, P., Henderson, A., y Heron, S. (1991). *The biochemistry of silage*. Chalcombe Publications.
- Nicola M. Capstaff, A. J. (2018). *Improving the Yield and Nutritional Quality of Forage Crops*. John Innes Centre.
- Ocaña, M. (1978). *Ensayo de planificación ganadera en Aragón*. Zaragoza: Institución Fernando el Católico.
- Oña, P. (17 de Octubre de 2015). *BLOG PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA GEOGRAFÍA*. Obtenido de <http://elauladehistoria.blogspot.com/2015/10/los-pirineos.html>
- R. Baumont, G. T. (2018). Tables Inra de la valeur des aliments utilisés en France et dans les régions tempérées. En INRA, *Alimentation des ruminants* (págs. 521-616). Paris: Quæ.
- R. Baumont, J.-P. D.-L. (2007). Valeur alimentaire des fourrages et des matières premières: tables et prévision. En Inra, *Alimentation des bovins, ovins et caprins Besoins des animaux – Valeurs des aliments Tables Inra 2007* (págs. 154-167). Paris: Quæ.
- Reiné, R.; Ascaso, J.; Barrantes, O. Nutritional Quality of Plant Species in Pyrenean Hay Meadows of High Diversity. *Agronomy* 2020, 10, 883.

- Reiné, R., Chacorro, C., Juárez, A., Barrantes, O., Broca, A., y Ferrer, C. (2009). Características de la producción herbácea en los prados de siega del pirineo de Huesca. *La Multifuncionalidad de los pastos: producción ganadera sostenible y gestión de los ecosistemas*, (págs. 101-107).
- Reiné, R., Chocarro, C., Juárez, A., Barrantes, O., Maestro, M., Broca, A., y Ferrer, C. (2010). Riqueza específica en prados pirenaicos y su incidencia en el valor nutritivo. *4ª Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes* (págs. 189-195). Zamora, Miranda del Duero: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- Reiné, R., Vilchez, C., Broca, A., Maestro, M., Barrantes, O., Chocarro, C., . . . Ferrer, C. (2012). Calidad de prados en el Pirineo de Huesca: valoración mediante análisis botánicos y químicos. *Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*. (págs. 461-468. ). Pamplona, España: Canals R.M. y San Emeterio L. (Eds) .
- Sanz Pascua, A. (2014). Fertilidad en vacuno: asignatura pendiente. *Jornada sobre razas y variedades autóctonas pirenaicas*. Ainsa.
- Schubiger, F., y Lehmann, J. (2001). Valeur nutritive des plantes des prairies. Digestibilité de la matière organique. *Revue suisse Agric. 33* , 275-279.
- Tobía, C., Villalobos, E., Rojas, A., Soto, H., y Moore, K. (2008). Nutritional value of soybean (*Glycine max* L. Merr.) silage fermented with molasses and inoculated with *Lactobacillus brevis* 3. <http://www.lrrd.org/lrrd20/7/tobi20106.htm>, Volume 20, Article 106.
- van Soest, P. (1994). *Nutritional ecology of the uminant*. New York: Cornell University.
- Vega, L., Fillat, F., y Canals, R. M. (1999). Comparación de las técnicas de conservación de forrajes (henificación y ensilado) en las explotaciones de vacuno del valle de Broto. *Actas de la XXXIX Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos* (págs. 283-288). Almería : Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- Vignau-Loustau, L., y Huyghe, C. (2008). *Stratégies fourragères*. France Agricole Editions.
- Weissbach, F. (1999). Consequences of grassland intensification for ensilability and feeding value of herbage. *Contributions of Grassland and Forage Research to the development of Systems of Sustainable Land Use*. (págs. 41-53). Braunschwig, Germany.: Institute of Crop and Grassland Science of the Federal Agriculture Research Centre (FAL).
- Zimmer, E., y Wilkins, R. (1984). Efficiency of silage systems: a comparison between unwilted and wilted silages. *Landbauforschung Völkenrode*, 1-88.

