



FACULTAD DE AGRONOMÍA
Universidad Nacional de La Pampa

**BASES PARA LA PRODUCCIÓN DE HENO DE ALFALFA CON DESTINO A
LA FABRICACIÓN DE PELLETS EN CHUBUT**

**BASES FOR THE PRODUCTION OF ALFALFA HAY FOR THE
MANUFACTURE OF PELLETS IN CHUBUT**

Eduardo Javier Martinata

Trabajo de Tesis para optar al Título de

**MAGISTER EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA EN REGIONES
SEMIÁRIDAS**

FACULTAD DE AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Santa Rosa, La Pampa, Argentina

Marzo, 2023



FACULTAD DE AGRONOMÍA
Universidad Nacional de La Pampa

**BASES PARA LA PRODUCCIÓN DE HENO DE ALFALFA CON DESTINO A
LA FABRICACIÓN DE PELLETS EN CHUBUT**
**BASES FOR THE PRODUCTION OF ALFALFA HAY FOR THE
MANUFACTURE OF PELLETS IN CHUBUT**

Eduardo Javier Martinata

Directora de Tesis Laura María Celia Fontana, Ing. Agr. (MSc)

Co-Director de Tesis Francisco Babinec, Ing. Agr.

Integrantes del Comité de Tesis:

Daniel Basigalup, Ing. Agr. (MSc., Dr.)

Alicia María Sáenz, Ing. Agr. (MSc.)



FACULTAD DE AGRONOMÍA
Universidad Nacional de La Pampa

**BASES PARA LA PRODUCCIÓN DE HENO DE ALFALFA CON DESTINO A
LA FABRICACIÓN DE PELLETS EN CHUBUT**

BASES FOR THE PRODUCTION OF ALFALFA HAY FOR THE
MANUFACTURE OF PELLETS IN CHUBUT

Eduardo Javier Martinata

Aprobado por:

Mg. Valeria AROLFO

Mg. Karina Laura FRIGERIO

PhD. Alejandro Rafael PALLADINO

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres, que velaron a través de su esfuerzo hasta su último día por la educación de sus hijos, inculcándonos la perseverancia y dedicación, sobre todo en los tiempos difíciles.

A mis hermanos, cuñados y sobrinos, por su apoyo incondicional.

Y, muy especialmente, a mi esposa, que, a través de su amor, tiempo de atención y empeño, siempre me ayuda a no bajar los brazos.

Y, para mis hijos, para explicarles con el ejemplo, que el único camino que existe para lograr los objetivos que uno se propone en la vida son a través del esfuerzo, la dedicación, la paciencia y la voluntad.

A la memoria de Carlos.

A todos, eternamente gracias.



AGRADECIMIENTOS

Al INTA, por haberme permitido perfeccionarme, brindándome todo el apoyo necesario para la realización de esta maestría.

A las autoridades de la EEA Chubut, actuales y anteriores, que confiaron en mí para esta etapa de mi vida.

A Laura “Chechi” Fontana y Francisco Babinec, por haber tomado el timón de un barco a la deriva y conducirlo hasta el destino.

A Enrique Viviani Rossi, por brindarme tanto apoyo y orientación de la realización de mi maestría.

A Alexander y Manuel James, por permitirme realizar este trabajo en su establecimiento, y haberme brindado toda ayuda posible para que saliera todo bien.

A los compañeros de la Agencia de Extensión VIRCh, por su tiempo, apoyo y colaboración. A Ivana, Laura y Santiago de Pastizales naturales, por su ayuda colaboración y dedicación de tiempo.

A la Facultad de Agronomía, por haberme recibido con tanto afecto, permitirme perfeccionarme profesionalmente y como persona.

Al INTA Anguil, por haberme permitido conocer ese grupo genial de compañeros mientras cursaba.

A Jorge Salomone, Agustín Pazos, que me ayudaron para la realización de este perfeccionamiento.

A Dady Salgado, que me ha ayudado tanto en esta etapa de la vida, desde que llegue a la Patagonia y en la concreción de la maestría.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Panorama internacional.....	1
1.2. Panorama nacional y local.....	4
1.3. Cultivo y prácticas de manejo de la alfalfa	5
1.4. Hipótesis y objetivos de la tesis	10
2. Capítulo 1. Aplicación de la metodología HACCP para mejorar la eficiencia de la producción de alfalfa en el VIRCh.....	11
2.1. Introducción.....	11
2.2. Materiales y métodos.....	13
2.2.1. Metodología HACCP	15
2.2.2. Cuestionario 1: Enumeración de posibles riesgos en la producción.....	18
2.2.3. Cuestionario 2: Factores de riesgo para situaciones seleccionadas	20
2.2.4. Cuestionario 3: Factores de riesgo que determinen el HACCP.....	20
2.2.5. Cuestionario 4: Determinación de puntos de control y establecimiento de límites críticos.....	20
2.3. Resultados y discusión	21
2.3.1. Análisis HACCP para la producción de heno de alfalfa.....	22
2.3.2. Cuestionario 2: Subfactores de riesgo para situaciones seleccionadas .	26
2.3.3. Cuestionario 3: Factores de riesgo que determinan el HACCP.....	27
2.3.4. Cuestionario 4: Establecimiento de límites críticos de control.....	28
2.4. Conclusiones	29
3. Capítulo 2. Determinación del momento óptimo de corte de alfalfa para heno.....	31
3.1. Introducción.....	31



3.2.	Materiales y Métodos.....	35
3.3.	Resultados y Discusión	38
3.3.1.	Digestibilidad MS y proteína bruta	41
3.3.2.	Fibra detergente neutra y ácida, lignina detergente ácida y cenizas	42
3.4.	Conclusiones	46
4.	Capítulo 3. Determinación de la metodología de corte y empaque de alfalfa para la obtención de un heno de calidad	48
4.1.	Introducción.....	48
4.2.	Materiales y métodos.....	52
4.3.	Resultados y Discusión	56
4.4.	Conclusiones	62
5.	CONCLUSIONES GENERALES	64
	BIBLIOGRAFÍA.....	66
	APÉNDICES	71

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Descripciones de las etapas de estadios de madurez de la alfalfa.....	6
Tabla 2. Problemas de producción a puntuar en el cuestionario 1.	18
Tabla 3. Lista de factores de riesgo para la de adopción de tecnologías de precisión.	19
Tabla 4. Factores de riesgo seleccionados por severidad.....	22
Tabla 5. Frecuencia de los factores destacados por severidad correspondientes al primer cuestionario.	23
Tabla 6. Análisis del rango intercuartil (IQR) de la frecuencia de los factores de riesgo destacados correspondientes al primer cuestionario.	24
Tabla 7. Análisis del rango intercuartil (IQR) de intensidad de los factores de riesgo para la adopción de tecnologías de precisión.	25
Tabla 8. Análisis del rango intercuartil (IQR) de la frecuencia de los factores de riesgo para la adopción de tecnologías de precisión.	25
Tabla 9. Análisis del rango intercuartil (IQR) de la severidad y frecuencia de los subfactores de riesgo mencionados por los productores que afectan la producción de heno.	26
Tabla 10. Factores de riesgo identificados como determinantes donde se aplicará el HACCP.....	28
Tabla 11. Establecimiento de límites críticos para cada PCC.	28
Tabla 12. Análisis químico de suelo.....	35
Tabla 13. Comparación, significancia y desvío estándar entre cortes de las variables peso húmedo y peso seco.	38
Tabla 14. Comparación y significancia entre cortes de las variables Digestibilidad de la materia seca y Proteína bruta.	41
Tabla 15. Comparación y significancia entre cortes de las variables que complementan los datos de la composición bioquímica del forraje.	42
Tabla 16. Producción de Proteína Bruta ponderada por ha.	46
Tabla 17. Análisis químico de suelo.....	52
Tabla 18. Análisis de la composición bioquímica del heno (% sobre MS) en el corte 1.	56



Tabla 19. Análisis de la composición bioquímica de las pérdidas (% sobre MS) en el corte 1.	56
Tabla 20. Análisis de la composición bioquímica del heno (% sobre MS) en el corte 2.	58
Tabla 21. Análisis de la composición bioquímica de las pérdidas (% sobre MS) en el corte 2.	59
Tabla 22. Análisis de la composición bioquímica del heno (% sobre MS) en el corte 3.	60
Tabla 23. Análisis de la composición bioquímica de las pérdidas (% sobre MS) en el corte 3.	60
Tabla 24. Pérdida de MS y componentes bioquímicos ponderados por hectárea.	61

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Exportaciones mundiales de heno de alfalfa en miles de t en 2019.	2
Figura 2. Principales importadores mundiales de alfalfa.	3
Figura 3. Variación de las exportaciones argentinas de heno de alfalfa en t desde 2015 a 2019.	3
Figura 4. Principales países destino y porcentaje del total exportado de heno por Argentina en 2019.	4
Figura 5. Mapa parcelario por ejido municipal del Valle Inferior del Río Chubut.....	14
Figura 6. Diagrama de flujo de la producción de alfalfa para heno.....	17
Figura 7. Ordenamiento de productores por grupos de características similares.	21
Figura 8. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones. Periodo mayo-diciembre 2016.	36
Figura 9. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones, 2017.	36
Figura 10. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones. Periodo enero-abril 2018.	37
Figura 11. Producción de Biomasa por corte en los distintos momentos fenológicos..	40
Figura 12. Producción de Biomasa Total en cada momento fenológico.	40
Figura 13. Contenido de Fibra Detergente Neutra en la composición bioquímica del forraje.	43
Figura 14. Contenido de Fibra Detergente Acida en la composición bioquímica del forraje.	44
Figura 15. Contenido de Lignina Detergente Acida en la composición bioquímica del forraje.	44
Figura 16. Contenido de Cenizas en la composición bioquímica del forraje.....	45
Figura 17. Digestibilidad de la Materia Seca del forraje.	45
Figura 18. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones. Periodo mayo-diciembre 2016.	53
Figura 19. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones, 2017.	53

Figura 20. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones.
Periodo enero-abril 2018. 53



ABREVIATURAS

BPA	Buenas prácticas agrícolas
CE	Conductividad eléctrica
CEN	Cenizas
DMS	Digestibilidad de materia seca
EF	Estado Fenológico
EMC	Estado medio por conteo
EMP	Estado medio por peso
FDA	Fibra detergente ácido
FDN	Fibra detergente neutro
GDA	Grados día acumulados
GM	Genéticamente modificada
GRI	Grado de reposo invernal
HACCP	Hazard analysis and critical control point
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
IQR	Rango intercuartil
LDA	Lignina detergente ácido
MS	Materia seca
NDT	Nutrientes digestibles totales
NIRS	Near Infrared Spectroscopy
PB	Proteína bruta
PCC	Puntos críticos de control
Pro.Fe.Der	Proyecto Federal de Desarrollo Rural Sustentable
QGIS	Quantum geographic information system
t	Toneladas
VIRCh	Valle inferior del Río Chubut
VNR	Valor nutritivo relativo

RESUMEN

El mayor problema de la utilización de heno de alfalfa en fábricas de pellets radica en su variabilidad y falta de tipificación que se potencia por la forma de comercialización, donde el valor del producto se fija con base en el peso o unidades de comercialización (fardos, rollos, megafardos) y no por la calidad o composición bioquímica de los mismos. Este tipo de alimentos exige un control de calidad sistemático, ya que su valor nutritivo varía en función de la calidad de la materia prima inicial, del momento de corte, de las condiciones y la forma del proceso de conservación, recolección y almacenamiento. Para garantizar la calidad del producto final, es necesario tener una visión integral del proceso productivo. El objetivo del estudio es determinar cuáles son los puntos críticos de manejo para la obtención de un heno de alfalfa de calidad que posibilita incrementar la rentabilidad y la sustentabilidad de los sistemas productivos del Valle Inferior de Río Chubut, siendo insumo de la industria local. Se usa la metodología HACCP para identificar impulsores claves que permiten monitorear y controlar factores de riesgo para la producción, como el desarrollo fenológico del cultivo, la maquinaria de corte y empaque para la confección de heno, las condiciones ambientales y la intervención de contratistas. Los puntos críticos y peligrosos son evaluados para la zona a través de un panel de expertos e idóneos de forma permanente con el propósito de estandarizar la producción bajo un protocolo que permite incrementar el rendimiento, la calidad y la sustentabilidad. Dado que uno de los puntos críticos de control detectado y analizado es el estado fenológico del cultivo al momento de corte, se realiza un ensayo a campo en condiciones de producción donde se evalúan cinco momentos de corte (prebotón floral, botón, 10%, 50% y 100% de floración, según la escala de Kalu y Fick), realizados en cuatro cortes durante la estación de crecimiento del cultivo. Se analiza su composición bioquímica y producción de materia seca, y se identifica el momento de botón floral como el estado fenológico que mejor relaciona los valores de calidad del forraje para la obtención de heno que satisfaga los requerimientos del mercado local, además de mayor cantidad de biomasa por corte y acumulada. Al cortar en estados fenológicos

avanzados, se reduce la posibilidad de obtener un corte más en la estación de crecimiento de la alfalfa debido a que existe un retraso acumulativo que, sumado a las condiciones ambientales del otoño, imposibilita al cultivo alcanzar dicho momento. Otro punto crítico identificado es el proceso de confección del heno; se realiza un ensayo a campo con maquinaria convencional, donde se evalúan tres tipos de segadoras y dos maquinarias de empaque. La enfardadora prismática presenta menores pérdidas de materia seca y proteína bruta que la enrolladora, siendo la mejor elección para la confección de heno de calidad. Si se regula correctamente la maquinaria, no existen diferencias en calidad producida ni tampoco en cantidad de pérdida entre los tipos de segadoras.

Palabras claves: Alfalfa, heno, HACCP, calidad, confección.

ABSTRACT

The biggest problem with the use of alfalfa hay in pellet mills lies in its variability and lack of typification that is enhanced by the form of marketing, where the value of the product is set based on weight or marketing units (bales, rolls, megabales) and not by their quality or biochemical composition. This type of food requires a systematic quality control, since its nutritional value varies depending on the quality of the initial raw material, the moment of cutting, the conditions and the form of the conservation, harvesting and storage process. Therefore, to guarantee the quality of the final product, it is necessary to have a comprehensive vision of the entire production process. The objective of this study is to determine which are the critical points of management to obtain a quality alfalfa hay that makes it possible to increase the profitability and sustainability of the productive systems of the Lower Valley of the Chubut River, being an input for the local industry. The HACCP methodology is used to identify key drivers that allow monitoring and controlling risk factors for production, such as the phenological development of the crop, the cutting and packing machinery for haymaking, environmental conditions, and the intervention of contractors. The critical and dangerous points are evaluated for the area under study through a panel of experts and suitable permanently with the purpose of standardizing production under a protocol that allows increasing performance, quality and sustainability. Given that one of the critical control points detected and analyzed is the phenological state of the crop at the moment of cutting, a field trial is carried out under production conditions where five moments of cutting are evaluated (floral prebud, bud, 10%, 50 % and 100% flowering, according to the Kalu and Fick scale), made in four cuts during the growing season of the crop. Its biochemical composition and dry matter production are analyzed, and the flower bud moment is identified as the phenological state that best relates the quality values of the forage to obtain hay that satisfies the requirements of the local market, in addition to a greater quantity of cut and accumulated biomass. By cutting in advanced phenological stages, the possibility of obtaining one more cut in the alfalfa growing season is reduced because there is a cumulative delay that, added to the environmental conditions of autumn, makes it impossible for the crop to reach that moment. The other critical point identified is the hay making process, for

which a field test is carried out with conventional machinery, where three types of mowers and two packaging machines are evaluated. The prismatic baler presents lower dry matter and crude protein losses than the winder, making it the best choice for making quality hay. If the machinery is correctly regulated, there are no differences in the quality produced nor in the amount of loss between the types of mowers.

Keywords: Alfalfa, hay, HACCP, quality, making.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas ganaderos de nuestro país las pasturas ocupan un importante lugar, ya que representan el recurso alimenticio más difundido y económico. El aprovechamiento de los recursos forrajeros constituye la forma más importante de alimentar al ganado y, consecuentemente, maximizar la transferencia de nutrientes desde el forraje hacia el animal a lo largo de todo el año, y es un objetivo que asegura rentabilidad económica y estabilidad al sistema (Viglizzo, 1984). En tal sentido, la incorporación de tecnología relacionada con la base forrajera y el manejo nutricional presenta un alto impacto sobre la productividad de las empresas agropecuarias (Viglizzo, 1986).

Los forrajes conservados constituyen una herramienta fundamental para intensificar y estabilizar los sistemas de producción pastoril. Al momento de producir rollos y fardos deben tomarse todos los recaudos para producir un heno de calidad, procurando conservar la hoja, que es la fuente de nutrientes; además, el heno de alfalfa es un insumo de fibra larga, con alto valor proteico esencial para balancear dietas (Gallardo, 2012).

1.1. Panorama internacional

A nivel mundial, el comercio internacional de heno tiene un desarrollo de más de 40 años a partir de sus orígenes por su demanda japonesa, la cual ha sido cubierta históricamente por EE. UU., quien hoy es el primer exportador de heno del mundo. Los forrajes como el heno de alfalfa de calidad, ya sea bajo la forma de pellets, harinas o bien mega fardos densificados o normales, poseen un alto valor dentro del mercado interno, países limítrofes y otros mercados como Arabia Saudita y Emiratos Árabes (Bragachini, 2014).

Existe un incremento generalizado en el mercado por heno de alfalfa, que se halla sostenido por la mayor demanda de proteína de origen animal en las economías emergentes del Oriente Lejano y la imposibilidad de utilizar agua para riego en países árabes (Odorizzi, 2020). Este contexto marca la importancia global del negocio y las

enormes potencialidades de Argentina para convertirse en un actor significativo en un mercado que tiene una demanda creciente y cada vez más insatisfecha.

Dentro de los países exportadores de heno de alfalfa, el primer lugar es ocupado por EE.UU. (aprox. 60% del mercado), y luego España (aprox. 12%), Italia (5%) y Francia (3,5%). Argentina, con las 91.510 t exportadas en 2019 (Figura 1), es todavía un exportador de poca importancia (Odorizzi, 2020).

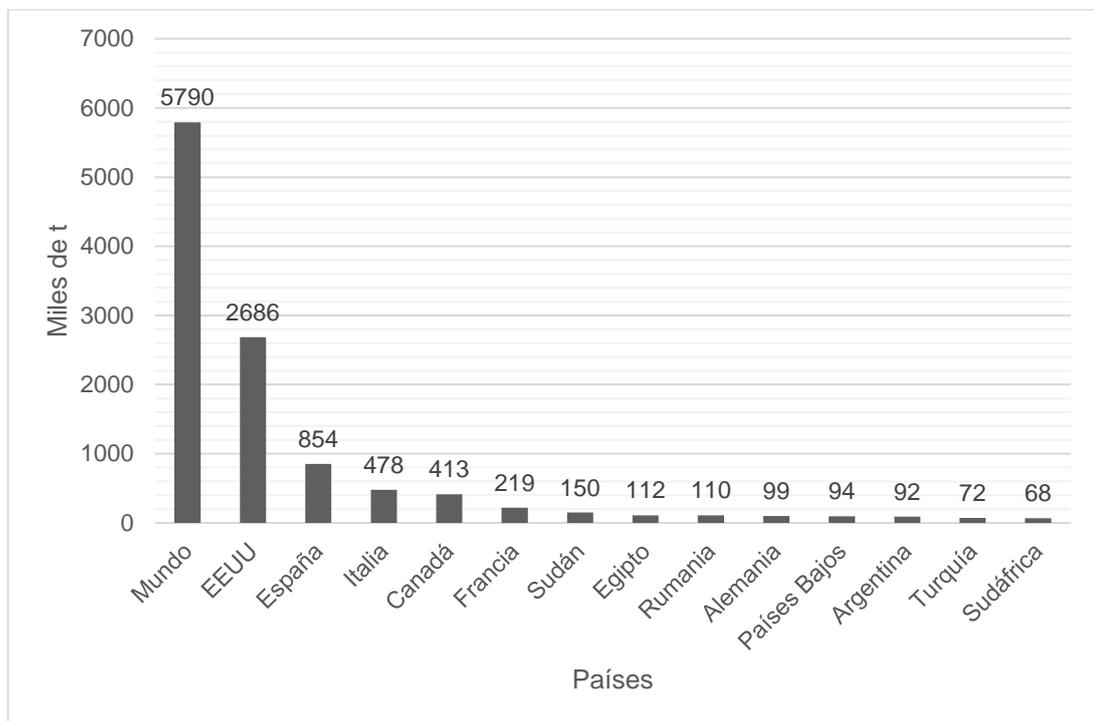


Figura 1. Exportaciones mundiales de heno de alfalfa en miles de t en 2019.

Fuente: Proyecto Desarrollo Exportador de Pymes Salteñas (ProSalta, 2020).

Japón es el país con mayor demanda de alfalfa, pero es un mercado fuertemente asociado a las importaciones desde EE. UU. Le siguen China, Corea del Sur y luego los Emiratos Árabes (Figura 2). Cada uno de estos mercados presentan diferentes barreras a la entrada de alfalfa genéticamente modificada (GM) (Odorizzi, 2020).

Respecto de 2015, las exportaciones argentinas de heno se cuadruplicaron en el 2019 (Figura 3), siendo casi el 67% del total exportado a Emiratos Árabes y casi un 26% Arabia Saudita (Figura 4), transformándose así en los principales destinos (Odorizzi, 2020).

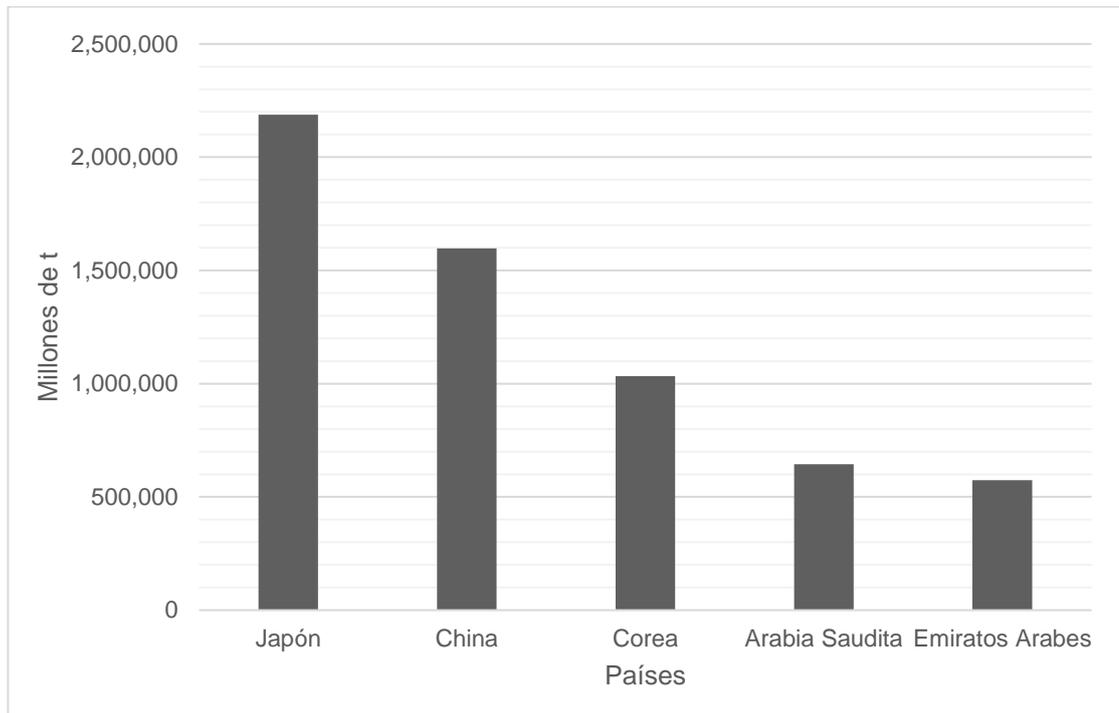


Figura 2. Principales importadores mundiales de alfalfa.
Fuente: Proyecto Desarrollo Exportador de Pymes Salteñas (ProSalta, 2020).

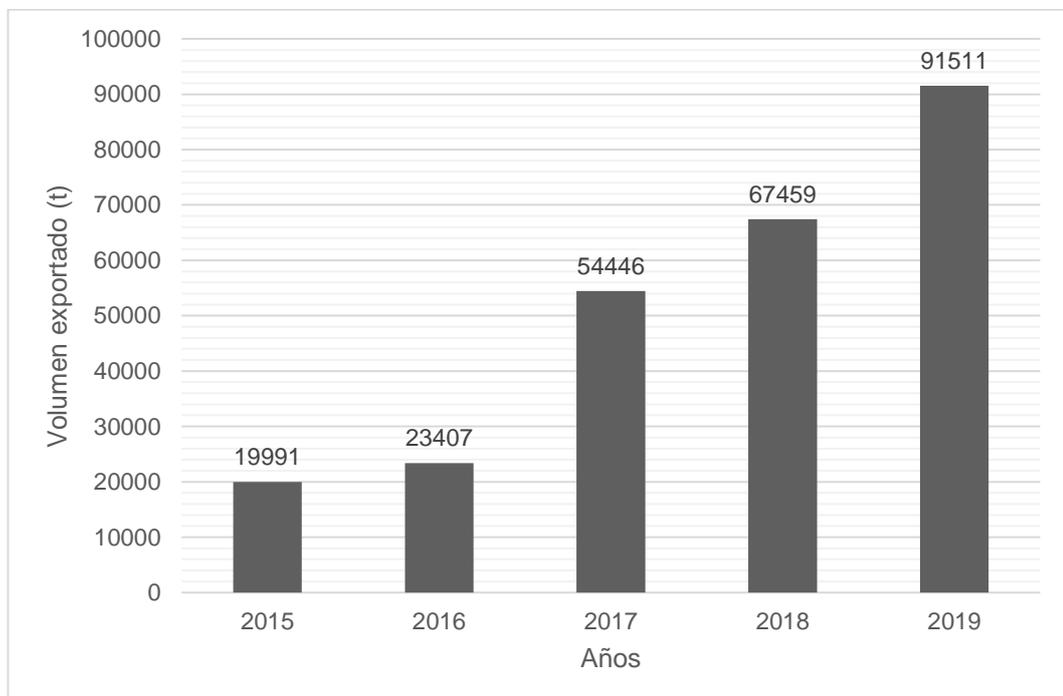


Figura 3. Variación de las exportaciones argentinas de heno de alfalfa en t desde 2015 a 2019.

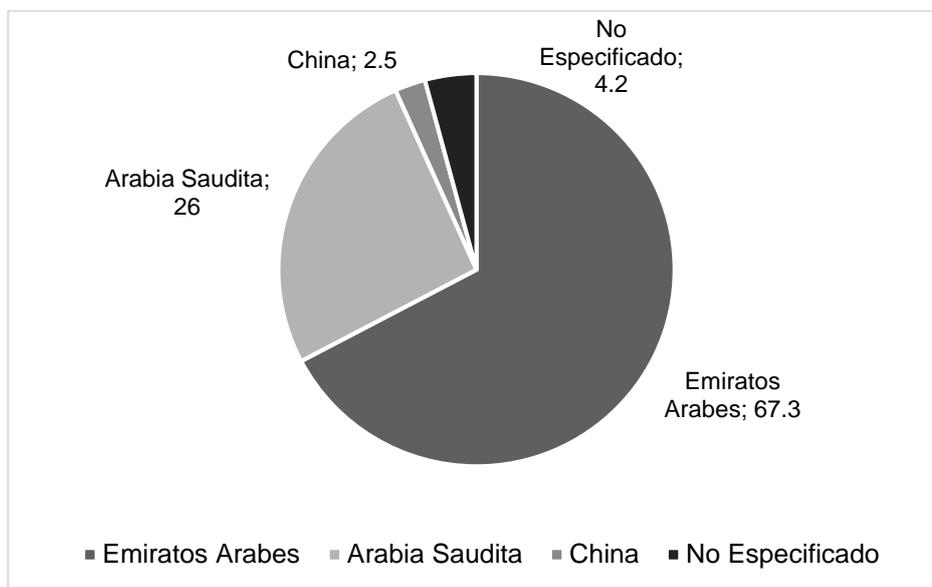


Figura 4. Principales países destino y porcentaje del total exportado de heno por Argentina en 2019.

1.2. Panorama nacional y local

Dentro de las pasturas, la alfalfa es uno de los cultivos de mayor relevancia mundial, y esto se debe a su gran adaptabilidad a diferentes regiones, capacidad de producción de MS y calidad de forraje. Actualmente en Argentina, existen sembradas aproximadamente 3,2 millones de ha de las cuales el 80% se cultivan en condiciones de secano y el 20% se destina a la producción de heno y semilla bajo riego en NOA, Cuyo y Patagonia. Del total sembrado en el país, el 60% son cultivos puros y el 40% restante en mezclas consociadas con gramíneas. La superficie destinada a reservas de cultivo puro se estima en 1 millón de ha¹.

El Valle Inferior del Río Chubut (VIRCh) se localiza al noreste de la provincia del Chubut, extendiéndose el mismo unos 90 km en dirección E-O, con una superficie aproximada de 60.000 ha, delimitado por bardas de entre 30 y 50 m de altura, determinando un ambiente con características fisiográficas definidas. Presenta un clima templado-frío con un periodo libre de heladas de 117 días. Las precipitaciones son escasas (180 mm de media anual), sin un régimen determinado. La temperatura media anual es de 13,3 °C, con registros de máximas absolutas en los meses de enero y febrero, superiores a los 38 °C y mínimas absolutas en junio y julio de -12 °C. Los vientos

¹ Información brindada por Daniel Basigalup en 2019.

predominantes son del Oeste, soplando con mayor intensidad, velocidad y frecuencia a fines del mes de agosto y todo septiembre. La velocidad de este en estos meses es considerada como fuerte a muy fuerte según escala Beaufort.

Aunque el sistema de riego permitiría irrigar hasta 41.400 ha, la baja eficiencia del sistema, las limitantes de suelo, la presencia de napa freática a una profundidad promedio de 1,5 m (0,90 m en invierno y 2,5 m en verano) y las áreas sin riego por el diseño de la red de canales, reducen la superficie aprovechable. En la actualidad se cultiva alrededor de 18.000 ha concentrándose el 50% de la actividad agropecuaria provincial (HCA y CFI, 2013). El agua del riego posee un pH que oscila entre 7,2 y 7,4, una conductividad eléctrica de 150 mmohz, un contenido de Ca y Mg de 1,3 mg/l y un valor RAS de 1,16.

La producción ganadera en los valles de la región se sustenta en la terminación de ovinos en sus diferentes categorías y de terneros, que en algunos casos surgen de la complementariedad entre secano y valle. Esta actividad ganadera se basa en la producción agrícola-forrajera, destacándose el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Además, para complementar las actividades de pastoreo se incluyen en la rotación de los sistemas agrícolas otras pasturas perennes, verdeos invernales y estivales.

La producción de heno de alfalfa en el VIRCh tiene importancia en el esquema de complementación con la zona árida circundante, dado que existe la tradición en el intercambio de heno por ovinos de refugio procedentes de campos de la meseta, siendo aprovechados en los valles para su terminación y venta a frigorífico. En los valles también se realiza el engorde de corderos que, al momento del destete, en los sistemas extensivos de producción, no lograron la condición de faena. Esta tradición continúa, incorporándose desde hace algunos años la recría y engorde de bovinos procedentes de la zona cordillerana (Bain, 2015; Pro.Fe.Der, 2011).

1.3. Cultivo y prácticas de manejo de la alfalfa

La cantidad y calidad nutricional del forraje cambian con su estado fenológico. En los primeros estadios de crecimiento la calidad es alta por su alta relación hoja/tallo, pero la producción de MS es baja. A medida que la planta crece y madura, la relación hoja/tallo comienza a descender y la producción de MS a aumentar. Por ello, el rendimiento de forraje de alta calidad se maximiza, en la mayoría de los casos, cosechando en el inicio

de la floración. La cosecha es la variable más importante del manejo, y como los productores la pueden controlar, se deberían programar prácticas de manejo para que le permitan maximizar el rendimiento de forraje y, al mismo tiempo, lograr un nivel de calidad que satisfaga los requerimientos nutricionales del ganado que lo consumirá, sin reducir la persistencia de la pastura (Orloff y Putman, 2008).

Los intervalos cortos entre cortes pueden tener ventajas al mejorar la calidad, pero deprimen la acumulación de las reservas de raíces y por lo tanto el vigor de la alfalfa y el rendimiento del corte posterior, haciendo que la vida útil efectiva pueda reducirse considerablemente (Orloff y Putman, 2008).

De acuerdo con la escala definida por Kalu y Fick (1981) (Tabla 1), mejorada por Fick y Müller (1989), se puede describir el estado de madurez de la alfalfa por el estado medio por peso (EMP) (o MSW por sus siglas en inglés: *mean stage by weight*) o el estado medio por conteo (EMC) (o MSC por sus siglas en inglés: *mean stage by count*).

Tabla 1. Descripciones de las etapas de estadios de madurez de la alfalfa.

Estadio de Madurez	Denominación	Definición Morfológica
0	Vegetativo temprano	Ausencia de hojas y yemas axilares ≤ 15 cm
1	Vegetativo medio	Presencia de primeras hojas y yemas axilares (16-30cm)
2	Vegetativo tardío	Presencia de ramificaciones axilares ≥ 31 cm
3	Botón temprano	1-2 nudos con yemas visibles, sin flores o vainas
4	Botón tardío	≥ 3 nudos con brotes visibles, sin flores o vainas
5	Floración temprana	Un nudo con una flor abierta, sin vainas
6	Floración temprana	≥ 1 nudo con flores abiertas, sin vainas
7	Fructificación temprana	1-3 nudos con vainas de semillas verdes
8	Fructificación tardía	≥ 4 nudos con vainas de semilla verde
9	Semillas maduras	Nudos con vainas de semillas maduras, en su mayoría marrones

Fuente: Adaptado de Kalu y Fick (1981).

Berger *et al.* (1985), Bariggi y Romero (1986), Beever y Thorp (1996) (citados por Cangiano, 2007) y Montes Cruz (2016), mencionaron que es aconsejable que el corte o pastoreo se realice en un estado próximo al 10% de floración con el objetivo de mantener una correcta relación entre la madurez, el valor nutritivo y el rendimiento, ya que en la medida que este momento se postergue, la calidad decrece. El rendimiento por unidad de superficie aumenta linealmente debido al incremento del peso de la fracción tallo, que a su vez se asocia a una disminución de la relación hoja/tallo y a cambios en la composición bioquímica que determinan un menor valor nutritivo. La disminución de la

calidad es más rápida en verano que en primavera, debido a la aceleración del desarrollo fenológico y a las mayores pérdidas de carbohidratos no estructurales por respiración que se producen en el periodo estival (Juan y Viviani Rossi, 2007). A partir de la floración tardía, el valor nutritivo sigue declinando y el rendimiento comienza a disminuir debido a la caída de las hojas basales.

De acuerdo con el objetivo de producción del heno, será el momento oportuno de corte. En general, se trata de buscar un equilibrio entre el rendimiento de materia seca y su valor nutritivo. Se puede expresar que el momento de mayor cantidad de nutrientes acumulados por unidad de área, para el cultivo de alfalfa, se ubica entre principios y mediados de floración, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y/o plagas o enfermedades que puedan afectar la persistencia de las hojas (Juan *et al.*, 1995). El momento de la cosecha afecta el rendimiento del forraje y la vida útil de la pastura, así como en el control de plagas y en la infestación de malezas (Wilken *et al.*, 1978 y Undersander *et al.*, 1991, citados por Juan *et al.*, 1995 y Orloff y Putman, 2008).

La henificación es un método de conservación de forraje seco producido por una rápida evaporación del agua contenida en los tejidos de la planta. Esta humedad debe estar siempre por debajo del 20% y se estabiliza alrededor del 15% durante el almacenaje (Bragachini, 2013). Bariggi y Romero (1986), Zubizarreta (1992) y Barrenechea y Pozzo (1993) indicaron que en evaluaciones realizadas en varias zonas del país el 80% de los henos de alfalfa muestreados eran de calidad media a baja y que solo el 20% eran adecuados para lograr un consumo de MS lo suficientemente alto y compatible con los planteos lecheros de alta producción (Juan *et al.*, 1995)

El corte de alfalfa en estadios tempranos, o cuando los intervalos de corte son breves, afecta la recuperación de las reservas, el vigor del rebrote y la persistencia de la pastura (Cangiano, 2007). Este hecho, en combinación con otras tensiones como el estrés hídrico, el escaldado, el estrés por plagas y el tráfico de equipos, son las razones más comunes de la pérdida de persistencia en las regiones mediterráneas y desérticas (Orloff y Putman, 2008).

En ambientes mediterráneos y áridos, el crecimiento es lineal desde las primeras etapas vegetativas hasta las tempranas de floración, pero puede variar significativamente, dependiendo de las condiciones ambientales (por ej. clima, suelo, fertilidad, humedad del suelo), la variedad y otros factores de manejo (Orloff y Putman, 2008). Tanto en primavera como en otoño la calidad es mayor que en pleno verano,

dado que la tasa de crecimiento en verano está dada por una alta acumulación de fibra y lignina determinando menor proporción de hoja/tallo (Moot, 2012; Orloff y Putman, 2008).

La programación de los cortes a fechas fijas no garantiza la calidad del heno. En general, una variedad con menor latencia, con grado de reposo invernal más corto, será más madura, presentará en una fecha determinada un estado de madurez más avanzado que una variedad con mayor latencia. Otro método para programar el momento apropiado de la cosecha de alfalfa, y por lo tanto del número de cortes por temporada, utiliza las etapas de crecimiento de la alfalfa para indicar el momento correcto para cortar. El productor selecciona una etapa específica de crecimiento (como prebotón, botón floral o 10% de floración) en la cual comenzará la cosecha. Este método toma en cuenta los efectos de las diferencias ambientales y varietales y da como resultado obtener un rendimiento y una calidad de forraje más consistente y predecible que cuando se cosecha en base a un calendario (Orloff y Putman, 2008). En general, el indicador de la etapa de crecimiento de la alfalfa para determinar el momento de la cosecha se basa en la aparición de los botones florales o inicio de floración; sin embargo, el rebrote de las yemas de la corona también se utiliza para indicar el momento adecuado para cortar (Cangiano, 2007).

El momento de un corte individual no debe considerarse en forma aislada, sino en relación con su efecto en toda la temporada de producción, considerando la persistencia de la pastura. Varios factores son importantes: la calidad del heno deseado, la época del año, las condiciones del tiempo, la vida útil deseada y las consideraciones prácticas, como el programa de riego, los costos de cosecha, si el productor utiliza maquinaria propia o mediante contratista y las condiciones del mercado (Orloff y Putman, 2008). El heno de alfalfa destinado al mercado de alta exigencia debe cortarse temprano (a más tardar en la etapa de prebotón) para obtener la calidad necesaria. A la inversa, el heno destinado a ganado de carne se puede cortar más tarde, con un 10-30% de floración, para maximizar los rendimientos con una calidad aceptable para estas categorías (Orloff y Putman, 2008). Una estrategia que pueden llevar adelante los productores es la de alternar durante el período de crecimiento, cortes de alta calidad y bajo rendimiento con período de calidad media con alto rendimiento, asociado a mantener reservas de raíces de las plantas (Ackerly, 2001; Orloff y Mueller, 2008).

El proceso de henificación se puede dividir en cuatro etapas: 1) corte; 2) secado; 3) recolección y compactación; y 4) transporte y almacenamiento. La incorporación de tecnificación en los procesos de henificación debe ser acompañada con el cuidado de la calidad obtenida. Con ello no solo se podrán lograr altos índices de conversión con el alimento suministrado, sino que se reducirán considerablemente los costos por unidad de materia seca digestible utilizada para la producción de carne y leche y el incremento del precio obtenido. La calidad del heno nunca será superior a la de la pastura que le dio origen, por lo que se debe partir de una pastura que haya recibido un manejo apropiado y cortada en el momento adecuado (Juan y Viviani Rossi, 2007).

El mayor problema de la utilización de alfalfa en fábricas de pellets radica en su variabilidad y falta de tipificación que queda potenciada por la falta de especificaciones por parte de los vendedores y de normas por parte de la administración (Alario Hernández, 2018). Este hecho se acentúa debido a la forma de comercialización de los henos en la Argentina y sobre todo en la zona del valle inferior del río Chubut, donde el valor del producto se fija en base a la cantidad de kilos o unidades de comercialización (fardos, rollos, megafardos) y no por la calidad o composición bioquímica de los mismos. Por todo ello son frecuentes las mezclas, pudiéndose encontrar productos comerciales que no llegan al 10% de proteína bruta, claro indicativo de la presencia de otras especies botánicas. En el mercado tradicional se comercializan alfalfas en un rango entre 12-19% de proteína bruta. Este tipo de alimentos fibrosos exigen un control de calidad sistemático, ya que su valor nutritivo varía en función de la calidad de la materia prima inicial, del momento de corte, de las condiciones del proceso de conservación, recolección y almacenamiento (Alario Hernández, 2018). Para garantizar la calidad del producto final, es necesario tener una visión integral de todo el proceso productivo (Laguna, 2005).

En la actualidad, en el VIRCh un grupo de productores nucleados en forma cooperativa, confeccionan pellets de alfalfa para su distribución en la zona como estrategia de agregado de valor a la producción local. Uno de los principales inconvenientes detectados es la amplia variabilidad de los contenidos proteicos en los henos para la fabricación de pellets², asociado principalmente a la proporción de hojas al momento de confección del heno, para lo que se debería ajustar el manejo agronómico durante el cultivo y la confección del heno destinado al peletizado. La

² Información brindada por la Cooperativa Coopalfa en 2015.

calidad es el primer desafío que debe abordar el sector agropecuario, ya que no solo basta con decir que se produce bajo sistemas que la aseguren, sino que hay que respaldarlos mediante la certificación (Viglizzo, 2004; Viglizzo *et al.*, 2004).

1.4. Hipótesis y objetivos de la tesis

Hipótesis general

Una visión integral de todo el proceso productivo en la producción de henos en el VIRCh que incluya la aplicación de (herramientas que permitan la determinación de los puntos críticos, el control y el seguimiento de los mismos) la metodología HACCP y el estudio de los puntos críticos identificados de ese modo será un aporte sustantivo para garantizar la calidad del producto final.

Objetivo general

Adecuar un manejo según las condiciones de producción del VIRCh para la obtención de un heno de calidad y cantidad de materia seca producida.

Objetivo específico 1

Desarrollar e implementar un análisis HACCP que en el transcurso de un proceso productivo identifique los puntos críticos y tome medidas de control para la producción de heno de alfalfa de calidad en el VIRCh.

Objetivo específico 2

Identificar el momento óptimo de corte del cultivo de alfalfa en el VIRCh para la confección de heno de alta calidad.

Objetivo específico 3

Determinar el manejo óptimo en los procesos de confección del heno en el VIRCh con destino a la fabricación de pellets de alfalfa por la industria local.

2. Capítulo 1. Aplicación de la metodología HACCP para mejorar la eficiencia de la producción de alfalfa en el VIRCh

2.1. Introducción

Productividad y producción son dos conceptos que suelen confundirse debido a su similitud. Su principal diferencia está en que la productividad se encuentra asociada a la rentabilidad, el beneficio económico y la valoración de materias primas, el equipo humano y la infraestructura, entre otros; mientras que en la producción influyen factores en donde es necesario actuar para poner en marcha un producto/servicio. Por lo tanto, la productividad no es una medida de la producción ni de la cantidad que se ha fabricado, sino de la eficiencia con que se combinaron y utilizaron los recursos para lograr los resultados específicos deseados (Zambrano Echenique, 2007).

El ambiente (el suelo, la gestión agronómica, el riego y la interacción con el clima), favorece la alta variabilidad de la productividad y, dado que interviene en los procesos de desarrollo y comercio, es que resulta clave en la adaptación activa. En este proceso de adaptación la calidad es importante, ya que es el conocimiento aplicado a productos, procesos y/o servicios focalizados en las preferencias de los clientes. Según Ordoñez (2002) la calidad es “el deseo del cliente hecho realidad en los procesos, los productos y los servicios”.

La estandarización de la calidad fue un avance fundamental en el último siglo. En este contexto, la producción industrial y de servicios fueron los sectores económicos pioneros en la aplicación de normas y protocolos, debido a las exigencias de un mercado internacional que primero trató de unificar criterios de calidad, y luego los relacionó con el desarrollo sustentable (Viglizzo, 2004, 2005).

Así surgieron cuerpos de estándares, normas y protocolos de gestión cuyo enfoque se centró en aspectos de seguridad y salud laboral, y a la gestión ética de negocios como parte de la responsabilidad social que tiene cada empresa. La diferenciación de productos es una variante utilizada por los mercados para materializar el compromiso de las exigencias planteadas por los consumidores. Es la forma de captura y generación de un nuevo valor agregado para bienes e insumos agropecuarios (Malvicino, 1998).

Por otro lado, en el análisis de los sistemas de producción agropecuaria se pueden encontrar manejos homogéneos en sistemas con características diferentes (por ej. productores de heno de alfalfa). Por ello, la incorporación de un sistema que utilice una metodología lógica, que organice y determine los problemas de producción, así como los métodos de actuación ante ciertos problemas, incidirá en una mejora de la calidad, una reducción de costos e incremento de la producción. En este contexto, las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) surgen básicamente para asegurar que los alimentos sean sanos e inocuos para el consumo humano (Gómez Riera y Hubbe, 2001), favoreciendo también la protección del ambiente y la salud de la población.

Existe una metodología que está cumpliendo casi cinco décadas en la industria alimentaria, la cual fue ideada y perfeccionada para llevar adelante el control de la producción de alimentos industrializados. El análisis de riesgos y puntos críticos de control (HACCP, por sus siglas en inglés *Hazard Analysis and Critical Control Points*) se define como un sistema científico que en el transcurso de un proceso identifica peligros y toma medidas para su control (FAO, 2001). Si bien en su origen fue concebido para un fin específico, en la actualidad es utilizado en distintos ámbitos para asegurar el control del proceso y garantizar una mayor calidad. La metodología se basa en un sistema conocido como Análisis de Fallas, Modos y Efectos, donde en cada etapa del proceso se observan los errores que pueden ocurrir, sus causas probables y sus efectos, para entonces establecer el mecanismo de control. Es además una herramienta potencial para mejorar la gestión y aumentar la productividad de los sistemas agropecuarios mediante el uso de un marco de trabajo basado en una metodología lógica, que racionalice y formalice los problemas de producción así como los métodos de actuación ante determinados problemas (García Garmendia, 2012).

El sistema HACCP está siendo utilizado para ayudar en la adopción de técnicas existentes y asegurar que los procesos más importantes que determinan la productividad y la rentabilidad estén contemplados, previendo la menor posibilidad de error (Banhazi y Black, 2009).

El sistema HACCP es utilizado en distintos ámbitos agropecuarios, como garantía de calidad en fincas para la producción sostenible (Aubry *et al.*, 2005), mejora de la salud y bienestar animal para la producción de huevos orgánicos (Hegelund y Sørensen, 2007), control de patógenos entéricos en cultivos de hortalizas en sistemas orgánicos (Leifert *et al.*, 2008) e inocuidad de los alimentos en granjas de producción porcina

(Horchner y Pointon, 2011), con el objeto de asegurar mayor control de un proceso y para garantizar una mayor calidad. También se sugiere la aplicación de este sistema en la producción porcina en granjas de precisión con el objeto de mejorar la productividad, la sostenibilidad y el rendimiento económico de la explotación (Banhazi y Black, 2009). En la revisión bibliográfica, se encontró un solo trabajo de aplicación de esta metodología en la agricultura, donde se desarrolla la aplicación del método HACCP en la producción de caña de azúcar, con el objetivo de mejorar la gestión y productividad de la misma (García Garmendia, 2012).

El objetivo de esta etapa del trabajo consiste en desarrollar una herramienta para mejorar la gestión y aumentar la productividad de la confección de heno de alfalfa, mediante el uso de un marco de trabajo basado en una metodología lógica, que racionalice y formalice los problemas de producción, así como los métodos de actuación ante determinados inconvenientes.

2.2. Materiales y métodos

Se realizó una encuesta para relevar la forma de producción de heno en el área de estudio de la localidad de 28 de Julio, uno de los cinco municipios que conforman el VIRCh que se destaca por su historial productivo de alfalfa para heno. Allí funciona una cooperativa de productores (Coopalfa) que posee una fábrica de peletizado y alimento balanceado para la alimentación animal (bovina y ovina).

Este municipio posee 185 productores distribuidos en su ejido rural. Casi el 50% vive en el establecimiento; el resto reside en otra localidad y viaja periódicamente a la finca. El 65% produce alfalfa en pasturas puras, mixtas o consociadas en pastoreo y de ellos el 45% realiza alfalfa para heno con diferentes destinos. Solo el 35% tiene compromiso pactado de entrega en la planta peletizadora, el resto opta por engorde de animales propios o comercialización en forma directa de su producción sin intermediarios.

Para identificar las chacras a encuestar, se usó el mapa parcelario del ejido municipal perteneciente a la Dirección de Catastro de la provincia del Chubut. Este mapa tiene más de 20 años de antigüedad y actualmente una cierta cantidad de chacras están subdivididas. Para actualizar este mapa, se usó el programa QGis (*Quantum Geographic Information System*, software libre de código abierto), superponiendo el parcelario a las imágenes del *Google Earth*. Este trabajo de interpretación visual permitió

eliminar los polígonos que se identificaban como rurales y que estaban dentro del área urbana (más densamente poblada). Para obtener la muestra, se dividió el parcelario por ejido municipal y se tomó el ejido de 28 de Julio (Figura 5).

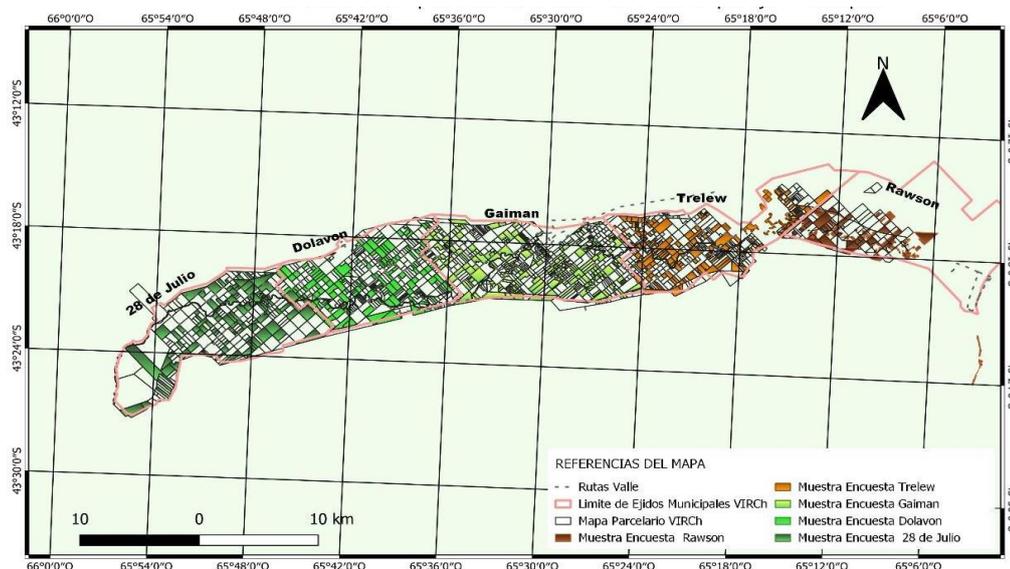


Figura 5. Mapa parcelario por ejido municipal del Valle Inferior del Río Chubut.

Se seleccionaron aleatoriamente 60 establecimientos (31,3%) del total mediante el programa QGIS, según el porcentaje preestablecido. Como primera actividad se encuestó a los productores seleccionados con el fin de caracterizar el cultivo de alfalfa según se practica en la región, de manera de obtener los insumos necesarios para armar los cuestionarios que posteriormente se utilizaron para el sistema HACCP. Se tomaron en consideración variables de manejo en lo referente a la modalidad de cultivo y los cuidados culturales (preparación de la cama de siembra, selección del cultivar, siembra, fertilizaciones, riego, control de malezas, momento de corte, tipo de corte, enfardado y/o enrollado), además de la calidad de la materia seca recolectada. Esta encuesta semi-estructurada incluyó preguntas con opciones y preguntas abiertas para poder relevar la percepción de los entrevistados en relación con la producción de alfalfa para heno (Anexo 1).

Los resultados obtenidos con la encuesta realizada entre noviembre de 2016 a junio de 2017 fueron analizados mediante análisis de correspondencias múltiples (Benzécri, 1973) y clasificación jerárquica basada en el método de ordenamiento anterior. Para

ello, se utilizó el paquete FactoMineR (Lê *et al.*, 2008) del programa R (R Core Team, 2020).

El análisis de correspondencias múltiples permite describir las relaciones entre más de dos variables categóricas evaluadas en un grupo de individuos. Las variables categóricas entran en el análisis a través de sus modalidades, mientras que las variables cuantitativas, si es que existen en los datos, se agregan al análisis como información suplementaria.

La clasificación jerárquica se realiza a partir de las coordenadas de los ejes factoriales. Se utiliza el subconjunto de los primeros k ejes factoriales tales que proyecten en conjunto un mínimo del 80% de la inercia total. Este procedimiento se realiza aplicando sobre los datos dos algoritmos: uno de clasificación jerárquica, con el objetivo de elegir en cuántos grupos deben clasificarse los individuos y otro de centros móviles, con el objetivo de mejorar la clasificación. Para los grupos formados, las modalidades influyentes de las variables se ordenan por el valor de “ p ” asociado a una prueba estadística, junto con el valor del test. Este estadístico se distribuye según una normal estándar, por lo que, cuando sea superior a 2 o inferior a -2 se considerará que es una característica influyente, con un nivel de significación de 0,05.

2.2.1. Metodología HACCP

En el presente trabajo la aplicación de esta metodología se basó en directrices establecidas por la FAO (2001) en procedimientos seguidos en otros estudios que adoptaron este nuevo enfoque (Galan *et al.*, 2003; García Garmendia, 2012; Hegelund y Sørensen, 2007; Horchner *et al.*, 2006; Leifert *et al.*, 2008). Sin embargo, se enfatiza el hecho que ciertos peligros (por ej. ambientales, costos, mercados), que estén relacionados con la forma de producir o con la producción misma, no podrán ser eliminados o solo serán reducidos a un nivel aceptable. Por ello, el procedimiento seguido en este estudio está enfocado en reducir las posibilidades de introducción de peligros o riesgos.

Aplicación de la metodología HACCP en la producción de alfalfa para heno. Este método consta de siete principios básicos, pero para aplicarlo es necesario seguir doce pasos según las directrices establecidas por la FAO (2001):

1. Establecer un equipo HACCP

2. Descripción del producto y sus parámetros claves
3. Identificar el uso esperado
4. Creación del diagrama de flujo
5. Confirmación del diagrama de flujo *in situ*
6. Principio 1: enumeración de todos los posibles riesgos relacionados con cada fase, ejecución de un análisis de peligros y estudio de las medidas para controlar los peligros identificados
7. Principio 2: determinación de los puntos críticos de control
8. Principio 3: establecimiento de límites críticos para cada punto crítico
9. Principio 4: establecimiento de un sistema de vigilancia para cada punto crítico
10. Principio 5: establecimiento de medidas correctivas
11. Principio. 6: establecimiento de procedimientos de comprobación
12. Principio 7: establecimiento de un sistema de documentación y registro

Debido a que el estudio de esta metodología es de carácter general, para observar la implicancia de su aplicación a la producción agrícola, en la ejecución de los tres primeros pasos se sumó la referencia técnica e idónea de profesionales de la región y productores históricos, por lo que se comenzó a partir de la realización del diagrama de flujo del sistema productivo.

Primer paso:

Se realizó un diagrama de flujo del sistema productivo y fue verificado luego por productores, idóneos y especialistas relacionados con la producción de alfalfa. Este diagrama permitió localizar los puntos a lo largo del proceso productivo, con aquellos peligros que pueden potencialmente limitar la producción y afectar la calidad.

Con el objeto de representar gráficamente un proceso estructurado el diagrama de flujo considera una serie de pasos vinculados que permiten visualizar todo el proceso como un conjunto. Para ello, se utiliza una serie de figuras geométricas que representan cada tipología de paso dentro del diagrama, donde cada una tiene una función y significado, y también líneas y flechas que indican el sentido de la ejecución de las operaciones (American National Standards Institute, 1985).

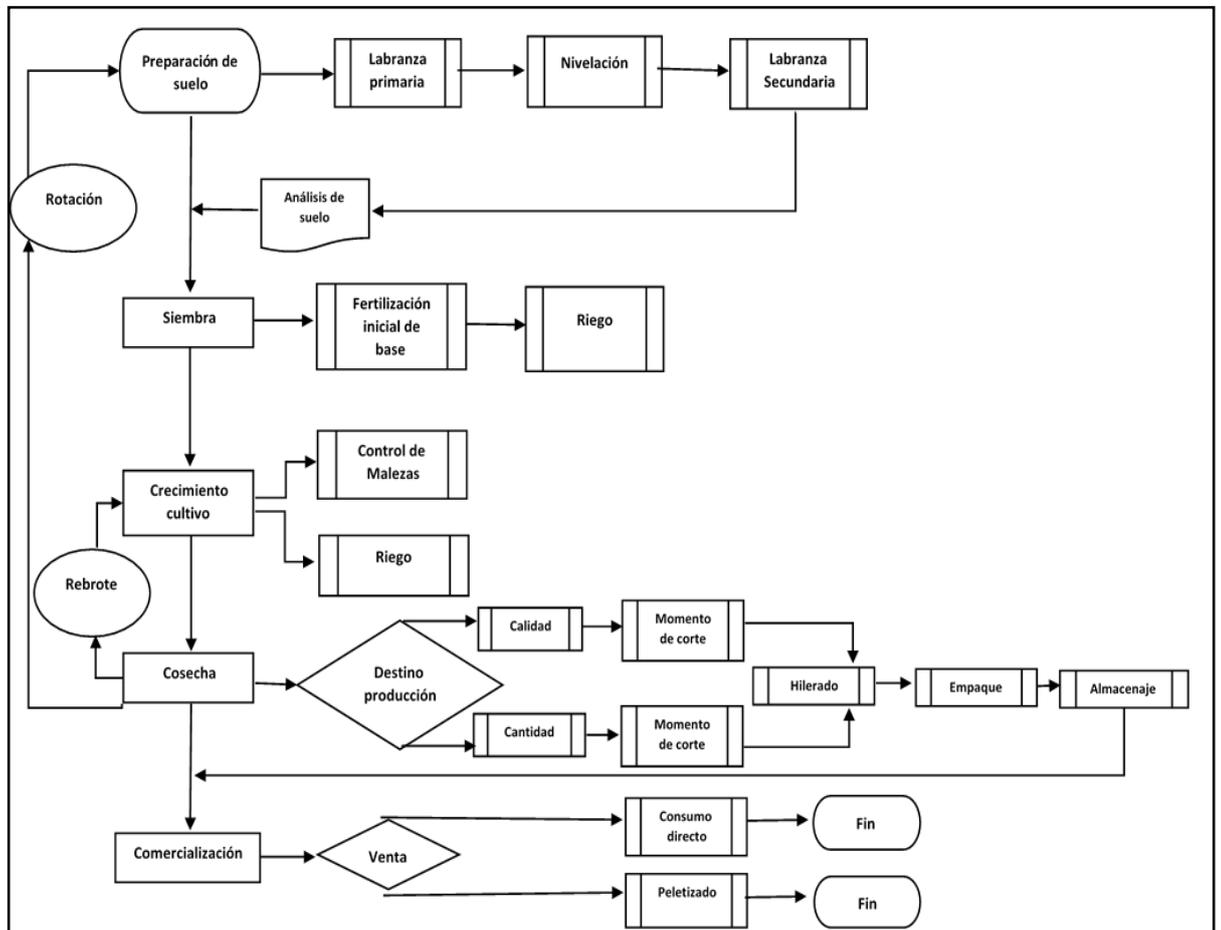


Figura 6. Diagrama de flujo de la producción de alfalfa para heno.

Teniendo en cuenta las directrices de la FAO, este diagrama debe ser evaluado y conformado en tiempo real, como se indica para las empresas de la industria alimentaria, pero según Knight (2009) “la producción vegetal es una operación basada en el tiempo, en la que no es posible observar cada paso relevante en el proceso de producción en un único punto en el tiempo, puesto que puede llevar un ciclo completo”. Debido a ello es que se optó por validarlo con expertos y productores, tal cual lo recomiendan Horchner y Pointon (2011).

Una vez conformado el diagrama de flujo (Figura 6), y teniendo en cuenta la encuesta que se realizó inicialmente para la caracterización del cultivo en el VIRCh, se procedió a la confección de los cuestionarios a los productores. Los dos primeros fueron para resolver el primer principio, y los posteriores, para los principios 2 y 3.

2.2.2. Cuestionario 1: Enumeración de posibles riesgos en la producción

Para la realización del primer cuestionario se llevaron a cabo 20 entrevistas, con los productores de los grupos 1 y 2 (ver descripción de los grupos en Resultados) de la encuesta general de producción, ya que son los que trabajan con la cooperativa de forma directa e indirecta. Este cuestionario constó de dos listados donde se enuncian 36 factores de riesgo en la producción de heno (Tabla 2) y el segundo enumera, por otro lado, 12 factores que pueden influir en la adopción de agricultura de precisión por parte de los productores (Tabla 3). Cada uno de los factores señalados en ambas listas debían ser puntuados del 1 al 5, de acuerdo a criterios de severidad (cuán grave es el factor) y frecuencia (cada cuánto ocurre), donde 1 es mínimo y 5 es máximo.

Tabla 2. Problemas de producción a puntuar en el cuestionario 1.

N°	Factores de riesgo	Severidad (1-5)	Frecuencia (1-5)
1	pH del suelo		
2	Tipo de suelo (textura)		
3	Densidad aparente (compactación)		
4	Materia orgánica del suelo		
5	Erosión/degradación del suelo (eólica/hídrica)		
6	Contaminación del suelo (pesticidas, herbicidas)		
7	Salinidad del suelo		
8	Intoxicación plantas (pesticidas/herbicidas)		
9	Contaminación del ambiente		
10	Plagas		
11	Enfermedades		
12	Malezas		
13	Disponibilidad de agua		
14	Sistema de riego		
15	Drenaje/encharcamiento		
16	Escorrentía/lavado/pérdida de nutrientes		
17	Topografía		
18	Fertilización/tipo de fertilización		
19	Fechas de corte		
20	Proceso de confección		
21	Selección de variedades		

22	Rotaciones de cultivo
23	Número de cortes
24	Densidad de siembra
25	Gestión de residuos
26	Temperatura
27	Lluvia
28	Radiación solar
29	Maquinaria adecuada
30	Barbecho
31	Tecnologías disponibles aplicadas
32	Conocimientos del productor
33	Pérdidas en el corte
34	Costos
35	Rendimientos de aplicaciones químicas
36	Desastres naturales

Tabla 3. Lista de factores de riesgo para la de adopción de tecnologías de precisión.

N°	Factores de riesgo	Severidad (1-5)	Frecuencia (1-5)
1	Maquinaria obsoleta		
2	Compatibilidad		
3	Conocimiento del potencial del equipo		
4	Conocimiento de qué hacer con la información obtenida		
5	Idoneidad del equipo		
6	Servicio técnico		
7	Costos		
8	Mapas de rendimiento		
9	Beneficios derivados del uso del equipo		
10	Registros productivos		
11	Análisis de suelo y agua		
12	Análisis de calidad de producto obtenido		

El objetivo de estas listas fue identificar, por un lado, según el criterio de los productores, los factores de mayor relevancia con efectos sobre el rendimiento y calidad del cultivo y, por el otro, los factores que más desaniman a los productores al momento de adoptar tecnologías de precisión. Estas listas fueron realizadas mediante la primera

encuesta productiva sumando revisión bibliográfica, reuniones previas con productores, expertos e idóneos, con la intención de abarcar varios puntos de vista de la situación de producción. Se identificaron los factores de riesgo más importantes mediante el rango intercuartil o IQR (Hegelund y Sørensen, 2007) obteniendo la mediana y el valor medio de todas las puntuaciones de severidad y frecuencia. Este procedimiento permitió cuantificar el nivel de consenso obtenido en las respuestas, de tal manera que un IQR menor o igual a 0,5 indicaría alto nivel de consenso, entre 0,5 y 1 consenso moderado, mayor a 1 sin consenso.

2.2.3. Cuestionario 2: Factores de riesgo para situaciones seleccionadas

Este cuestionario fue confeccionado a partir del primero, siguiendo una lista de 14 y 4 factores identificados como los más importantes que limitan el rendimiento de la producción de heno y la adopción de tecnología de precisión por parte de los productores, respectivamente. A partir de esta nueva selección de situaciones, los entrevistados sugirieron distintos factores de riesgo para cada uno de los criterios seleccionados. Para esta etapa de análisis de datos y entrevistas, solamente se trabajó con productores de punta y expertos en la producción de heno, totalizando 10 encuestados.

2.2.4. Cuestionario 3: Factores de riesgo que determinen el HACCP

Este cuestionario se realizó a partir de la información recopilada en el Cuestionario 2. Se creó una lista similar al Cuestionario 1, donde se enumeraron los factores de riesgo en la producción de heno surgidos del Cuestionario 2, evaluándolos de la misma forma con severidad y frecuencia. El fin de este tercer cuestionario fue identificar los factores de riesgo determinantes en los que habría que enfocar el HACCP. Al igual que el Cuestionario 2, se trabajó con productores de punta y expertos en la producción de heno.

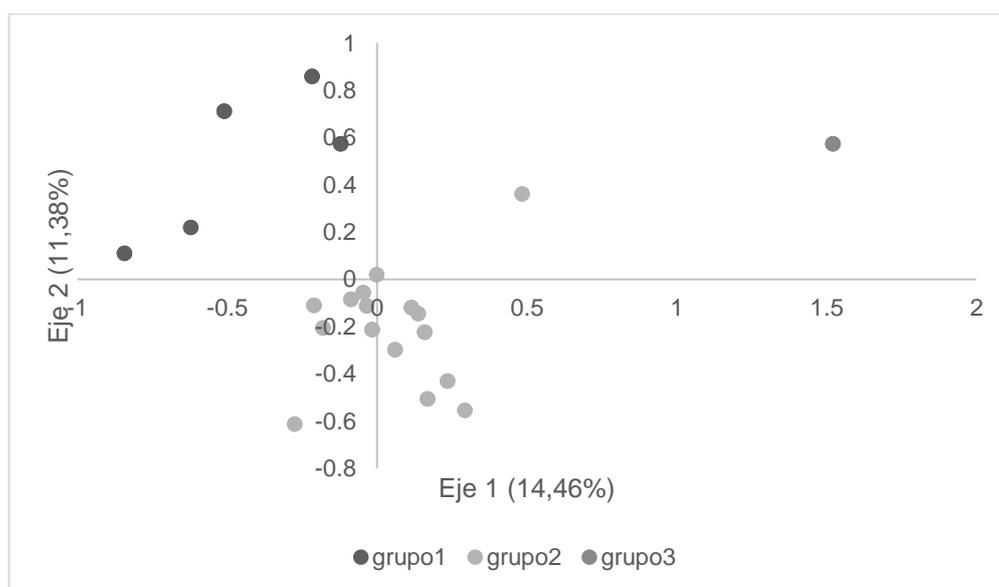
2.2.5. Cuestionario 4: Determinación de puntos de control y establecimiento de límites críticos

El último cuestionario fue preparado a partir de los resultados del Cuestionario 3. Se seleccionaron los factores de riesgo con mayores puntuaciones. El objetivo fue

completar los principios 2 (determinación de los puntos críticos de control -PCC-) y 3 (establecimiento de límites críticos para cada PCC). Para ello, se adjuntó el diagrama de flujo corregido del proceso para facilitar el entendimiento del cuestionario en la identificación de los puntos críticos. También se debían sugerir límites críticos para cada factor de riesgo. Al igual que en el Cuestionario 2, se trabajó con productores de punta y expertos en la producción de heno.

2.3. Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados de la encuesta semiestructurada, se obtuvo una caracterización de la forma de producir alfalfa por los productores del ejido de 28 de Julio, observándose tres grandes grupos (Figura 7).



empresariales y por ello sus negocios de comercialización también incluyen la venta a la cooperativa.

Grupo 2: Son el grueso de los productores de la zona, que adoptan o intercalan algunas prácticas que le permiten la mejora de sus sistemas. Fertilizan a la siembra y realizan controles de malezas, poseen maquinaria propia, generalmente de baja escala, y producen básicamente fardos, ya que sus ventas no son solo a la cooperativa. Su sistema productivo termina siendo automatizado, ya que todas las labores de manejo posteriores a la siembra son similares y con los mismos parámetros. Este manejo generalmente está asociado con el tipo de productor medio que tiene varias producciones (engorda ovinos, vacunos, realiza otras reservas, tiene animales en pastoreo, alquila otras chacras y hace de contratista).

Grupo 3: Son productores pequeños en general, cuyo sistema no le permite tomar escala en las ventas. Por ello diversifican el manejo de su producción con corte y pastoreo. Su manejo es extremadamente sencillo y sin parámetros claros. No tienen personal extra que les ayude en el manejo del establecimiento.

De acuerdo con los grupos formados, se observa que los productores que más relación tienen con la cooperativa son generalmente los integrantes del Grupo 1, los productores del Grupo 2 tienen una participación relativa de acuerdo a cómo se presente el negocio de venta, y los productores del Grupo 3 directamente no entregan a la cooperativa.

2.3.1. Análisis HACCP para la producción de heno de alfalfa

De acuerdo con los resultados analizados por severidad y frecuencia del cuestionario 1, existen 17 factores de riesgo puntuados como de importante severidad (Tabla 4), pero de acuerdo con la frecuencia de ocurrencia en un sistema de producción de alfalfa, solo 5 factores son de riesgo en la producción (Tabla 5).

Tabla 4. Factores de riesgo seleccionados por severidad.

N°	Factores de riesgo	Severidad			
		n	Promedio	Desvío	Mediana
2	Tipo de suelo (textura)	20	4,60	0,50	5
12	Malezas	20	3,90	0,72	4
13	Disponibilidad de agua	20	4,60	0,50	5

14	Sistema de riego	20	4,75	0,44	5
15	Drenaje/encharcamiento	20	4,65	0,49	5
16	Escorrentía/lavado/pérdida nutrientes	20	4,05	0,89	4
18	Fertilización/tipo fertilización	20	4,40	0,50	4
19	Fechas de corte	20	4,95	0,22	5
20	Proceso de confección	20	5,00	0,00	5
21	Selección de variedades	20	4,55	0,51	5
22	Rotaciones de cultivo	20	4,20	0,70	4
23	Número de cortes	20	5,00	0,00	5
24	Densidad de siembra	20	4,20	0,70	4
30	Barbecho	20	4,55	0,60	5
32	Conocimiento del productor	20	4,55	0,51	5
33	Pérdidas en el corte	20	4,40	0,60	4
34	Costos	20	4,45	0,51	4

n: Número de casos.

Tabla 5. Frecuencia de los factores destacados por severidad correspondientes al primer cuestionario.

		Frecuencia			
N°	Factores de riesgo	n	Promedio	Desvío	Mediana
2	Tipo de suelo (textura)	20	1,0	0,00	1
12	Malezas	20	2,9	0,67	3
13	Disponibilidad de agua	20	4,3	0,85	4
14	Sistema de riego	20	3,5	0,51	3
15	Drenaje/encharcamiento	20	1,7	0,57	2
16	Escorrentía/lavado/perdida nutrientes	20	1,4	0,60	1
18	Fertilización/tipo fertilización	20	2,0	0,69	2
19	Fechas de corte	20	4,7	0,47	5
20	Proceso de confección	20	4,9	0,37	5
21	Selección de variedades	20	2,5	0,76	2
22	Rotaciones de cultivo	20	3,1	0,55	3
23	Números de cortes	20	3,2	0,41	3
24	Densidad de siembra	20	4,2	0,88	4
30	Barbecho	20	3,1	0,55	3
32	Conocimiento del productor	20	4,2	0,89	4
33	Pérdidas en el corte	20	3,2	0,49	3
34	Costos	20	3,7	0,73	4

n: Número de casos.

A los cinco problemas seleccionados de acuerdo con su frecuencia (disponibilidad de agua, fechas de corte, proceso de confección, conocimientos del productor y costos), se le realizó el análisis de rango intercuartil. Los índices ($IQR \leq 0,5$ alto nivel de

consenso, $0,5 \leq \text{IQR} \leq 1$ consenso moderado, $\text{IQR} > 1$ sin consenso) mostraron un muy buen nivel de consenso general, destacándose el proceso de confección (desde el corte hasta el empaçado) como sobresaliente entre todos (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis del rango intercuartil (IQR) de la frecuencia de los factores de riesgo destacados correspondientes al primer cuestionario.

Factores de riesgos					
N°	Factores de Riesgo	Promedio	Desvío	Mediana	IQR
13	Disponibilidad de agua	4,3	0,85	4	1
19	Fechas de corte	4,7	0,47	5	1
20	Proceso de confección	4,9	0,37	5	0
32	Conocimiento del productor	4,2	0,89	4	1
34	Costos	3,7	0,73	4	2

IQR: Rango Intercuartil. $\text{IQR} \leq 0,5$: alto nivel de consenso, $0,5 \leq \text{IQR} \leq 1$: consenso moderado, $\text{IQR} > 1$: sin consenso.

El proceso de confección (Factor 20) fue el que tuvo el más alto consenso entre los productores, ya que interpretan que la calidad del heno recolectado es afectada por todas las etapas desde el corte, rastrillado y forma de empaque, y que no solo puede variar con insumos o maquinarias, sino también con tecnologías de procesos. El momento de corte (Factor 19) tuvo un consenso moderado, pero es un punto destacado por casi todos los productores al momento de definir el objetivo de la producción. Los restantes problemas destacados tuvieron un consenso moderado, pero que en algunos casos no coinciden en intensidad y frecuencia, ya que se detectaron como factor de riesgo, pero son manejados previamente antes que ocurran, o no se visualizan como problemas. En los casos de los factores que sí coincidieron en severidad y frecuencia, se detectaron factores que, por su naturaleza, no pueden ser manejados por los productores, o llevarían un proceso previo para adecuarse (por ej. disponibilidad de agua, conocimiento del productor y costos).

Con respecto a los factores que afectan a la adopción de tecnología para la agricultura de precisión, no existe un consenso general sobre ningún factor (Tabla 7), ya que todos opinan diferente en cuanto a estos. Existe un consenso moderado en cuanto a los costos de adquisición de tecnología y también con la maquinaria obsoleta, pero que no resulta de total coincidencia (Tabla 8).

Tabla 7. Análisis del rango intercuartil (IQR) de intensidad de los factores de riesgo para la adopción de tecnologías de precisión.

Intensidad					
N°	Factores de riesgo	Promedio	Desvío	Mediana	IQR
1	Maquinaria obsoleta	4,1	0,6	4,0	1
2	Compatibilidad	2,1	0,6	2,0	1
3	Conocimiento del potencial del equipo	3,1	0,6	3,0	1
4	Conocimiento de información obtenida	2,5	0,5	2,5	1
5	Idoneidad del equipo	1,4	0,5	1,0	1
6	Servicio técnico	3,3	0,7	3,0	1
7	Costos	4,7	0,5	5,0	1
8	Mapas de rendimiento	1,3	0,5	1,0	1
9	Beneficios uso del equipo	2,6	0,5	3,0	1
10	Registros productivos	2,8	0,6	3,0	2
11	Análisis de suelo y agua	2,4	0,6	2,0	1
12	Análisis de calidad producto	1,9	0,7	2,0	2

IQR: Índice rango Intercuartil. $IQR \leq 0,5$: alto nivel de consenso, $0,5 \leq IQR \leq 1$: consenso moderado, $IQR > 1$: sin consenso.

Tabla 8. Análisis del rango intercuartil (IQR) de la frecuencia de los factores de riesgo para la adopción de tecnologías de precisión.

Frecuencia					
N°	Factores de riesgo	Promedio	Desvío	Mediana	IQR
1	Maquinaria obsoleta	4,1	0,6	4,0	1
2	Compatibilidad	2,1	0,6	2,0	1
3	Conocimiento del potencial del equipo	3,1	0,6	3,0	1
4	Conocimiento de que hacer con la información	2,5	0,5	2,5	1
5	Idoneidad del equipo	1,4	0,5	1,0	1
6	Servicio técnico	3,3	0,7	3,0	1
7	Costos	4,7	0,5	5,0	1
8	Mapas de rendimiento	1,3	0,5	1,0	1
9	Beneficios derivados del uso del equipo	2,6	0,5	3,0	1
10	Registros productivos	2,8	0,6	3,0	2
11	Análisis de suelo y agua	2,4	0,6	2,0	1
12	Análisis del producto obtenido	1,9	0,7	2,0	2

IQR: Rango Intercuartil. $IQR \leq 0,5$: alto nivel de consenso, $0,5 \leq IQR \leq 1$: consenso moderado, $IQR > 1$: sin consenso.

2.3.2. Cuestionario 2: Subfactores de riesgo para situaciones seleccionadas

Este cuestionario fue creado a partir de los resultados del Cuestionario 1 y permitió identificar subfactores para obtener henos de calidad dentro de los problemas con mayor puntuación previa, obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 9):

Tabla 9. Análisis del rango intercuartil (IQR) de la severidad y frecuencia de los subfactores de riesgo mencionados por los productores que afectan la producción de heno.

N°	Factor	Sub-factor	Intensidad		Frecuencia	
			Mediana	IQR	Mediana	IQR
2	Tipo suelo	Franco	3,5	2,00	2,0	2,00
12	Malezas	Maquinaria	4,0	1,00	2,0	1,00
		Momento aplicación	4,5	1,00	3,0	2,00
		Disponibilidad agroquímicos	4,0	1,00	2,0	1,75
13	Disponibilidad agua	Limpieza canales	4,0	1,00	2,0	2,00
		Compañía riego	3,0	2,00	1,5	2,00
14	Sistema riego	Disponibilidad agua	4,0	1,00	2,0	2,00
		Tiempo riego	3,0	1,00	2,0	2,00
15	Drenaje	Nivelación	4,0	1,00	2,0	2,00
		Tipo suelo	4,0	1,00	2,0	1,75
		Caudal riego	4,0	0,00	1,0	2,00
16	Escorrentía	Caudal riego	4,0	0,00	2,5	2,00
18	Fertilización	Análisis suelo	3,0	1,00	2,5	2,00
		Costos	4,0	1,00	2,5	2,00
19	Fecha corte	Destino	4,5	1,00	4,0	1,00
		Determinar cuándo	5,0	0,75	5,0	0,75
20	Proceso de confección	Maquinaria	5,0	0,75	5,0	0,00
		Clima	4,0	1,00	5,0	1,00
		Contratista	4,0	1,00	3,5	1,00
21	Variedades	Latencia	3,0	1,00	2,0	1,00
		Adaptación zona	3,0	1,00	2,0	1,75
22	Rotación	Cultivos	3,0	1,00	3,0	2,00
		Abono verde	3,0	1,00	2,0	2,00
23	Número cortes	Clima	4,0	2,00	2,5	2,00
		Maquinaria	4,0	1,00	3,0	1,75
24	Densidad	Variedades	3,0	2,00	2,0	1,75
		Precio	3,0	1,00	2,0	1,75

		Suelo	3,0	2,00	2,0	2,00
		Malezas	2,0	1,00	2,0	2,00
30	Barbecho	Rotación	4,0	2,00	2,0	2,75
		Tiempo/toma	3,0	1,75	2,0	1,75
32	Saberes		4,0	1,00	3,0	1,75
33	Pérdidas en corte	Clima	4,0	1,00	3,0	1,75
34	Costos		4,0	1,00	4,0	2,00

IQR: Rango intercuartil. $IQR \leq 0,5$: alto nivel de consenso, $0,5 \leq IQR \leq 1$: consenso moderado, $IQR > 1$: sin consenso.

Del listado original de factores que afectan la producción y calidad, existen algunos que no fueron visualizados como problemas, por resultar tan obvios que sería impensable producir heno sin tenerlos en cuenta (pH suelo, tipo de suelo, compactación, salinidad, erosión, plagas y enfermedades). Por ende, en el manejo de la producción está contemplado el control de dicho factor. Con respecto a los factores que sí tuvieron alto consenso ($IQR \leq 1$) existen algunos que se destacan por la importancia que se le encuentra a la hora de la confección del heno; en primer lugar, a la determinación del momento de corte ($IQR 0,75$) y, en segundo lugar, a la maquinaria para la realización del proceso de confección ($IQR 0$). Puede afirmarse que estos dos factores de riesgo son los que en definitiva los productores señalan como los que más significativamente afectan la confección de heno de calidad coincidiendo con lo observado por Juan y Viviani Rossi (2007), Summers y Putnam (2008) y Bragachini *et al.* (2008).

2.3.3. Cuestionario 3: Factores de riesgo que determinan el HACCP

De acuerdo con los subfactores seleccionados en el Cuestionario 2, se solicitó que se mencione qué aspectos habría que enfatizar para estudiar los puntos críticos en dicho momento (Tabla 10), donde se destacaron el estado del cultivo al momento de corte ($IQR 0,75$) y la maquinaria utilizada para la confección de rollos y fardos en la producción de heno de calidad ($IQR 0,75$).

También se considera con un consenso moderado tener en cuenta las condiciones meteorológicas cuando se define el momento de corte; y si se realiza a través de un contratista, hay que considerar el momento de ingreso al lote para la realización de las labores.

Tabla 10. Factores de riesgo identificados como determinantes donde se aplicará el HACCP.

N°	Factor	Sub-factor	Mediana	IQR	
19	Fecha corte	Destino	Consumo propio	3,0	2,00
			Venta cantidad	3,0	2,00
			Venta calidad	3,5	2,00
	Determinar cuándo	Estado del cultivo	5,0	0,75	
		Clima	4,5	1,00	
		Estado de cortadora	4,0	1,00	
20	Proceso de confección	Maquinaria	Hilerado	4,0	1,00
			Fardo	5,0	0,75
			Rollo	5,0	0,75
		Clima	Pronóstico	4,5	1,00
		Contratista	Coordinar fechas	4,5	1,00

IQR: Rango Intercuartil. $IQR \leq 0,5$: alto nivel de consenso, $0,5 \leq IQR \leq 1$: consenso moderado, $IQR > 1$: sin consenso.

2.3.4. Cuestionario 4: Establecimiento de límites críticos de control

De acuerdo con el objetivo de este cuestionario se debían mencionar los límites críticos para actuar de modo de prevenir los efectos adversos en la producción de heno, a fin de lograr incrementar las posibilidades de éxito y el rendimiento económico (Tabla 11). Ante un factor de riesgo que supere el límite establecido se deberá optar por devolverlo al nivel adecuado o tomar la decisión de desviar el producto a otro destino.

Tabla 11. Establecimiento de límites críticos para cada PCC.

N°	Factores de riesgo	Punto de control	Parámetro de alarma	
19	Fecha corte	Destino	Consumo propio	Si tiene malezas y pasado en flores
			Venta cantidad	Hasta 20 % floración
			Venta calidad	Corte en botón floral
	Determinar cuándo	Estado del cultivo	Según estado fenológico.	
		Clima	Si el pronóstico para 5 días está correcto	
		Estado de cortadora	Mantener cuchillas afiladas	
20	Proceso de confección	Maquinaria	Hilerado	Que no arrastre en el suelo y que forme andanas grandes

	Fardo	Buena compactación, bien regulado el atador
	Rollo	Llenado rápido y parejo, buena compactación
Clima	Pronóstico	Condición de humedad para poder trabajar
Contratista	Coordinación fechas	Coordinar fecha según pronóstico y estado cultivo

De acuerdo con los resultados obtenidos se establecieron como parámetro de alarma los momentos del estado fenológico para la determinación del corte según el destino de la producción, incluyendo un autoconsumo como medida extra para evitar vender a un bajo precio. Del mismo modo, también se tuvo en cuenta la condición meteorológica al momento de la toma de decisión de cortar, a fin de asegurar que los eventos meteorológicos no afecten al producto cortado y prevenir las pérdidas, como así también el estado de la maquinaria al momento de determinar el corte.

Con respecto al proceso de confección, se establecieron parámetros de alarma según el uso y la regulación de la maquinaria a utilizar, como también factores meteorológicos en el momento de la confección del empaque. Un factor también destacado fue la participación de un contratista cuando no se cuenta con maquinaria propia, ya que se menciona como factor de riesgo la coordinación con el mismo de fecha, pronóstico y estado del cultivo para la obtención de un heno de calidad.

2.4. Conclusiones

El método HACCP permitió identificar los puntos críticos en la producción de heno de alfalfa en el VIRCh para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad del sistema.

La cosecha de forraje, la maquinaria agrícola utilizada en el proceso, el clima, la intervención de contratistas en las labores, el destino de la producción y los costos son impulsores claves identificados donde enfocar potencialmente la metodología para incrementar y mejorar la productividad.

Este capítulo debe considerarse como un marco general donde se identifican problemas comunes. Se reconoce que los peligros más importantes están sesgados de acuerdo con la región donde se realice el análisis, ya que las características de las distintas zonas productivas pueden afectar la forma de producción. Por lo que, deberán

ser evaluados para cada zona en particular donde se desea estandarizar la producción bajo un protocolo que permita incrementar el rendimiento y la sustentabilidad.

Surgen como factores de riesgo, que deben ser monitoreados y controlados, el desarrollo fenológico del cultivo, la metodología de proceso de confección, las condiciones ambientales y la intervención de contratistas.

Algunos factores de riesgo identificados en este estudio, como la disponibilidad de agua en los canales o los costos, no pueden ser controlados durante el proceso por parte de los productores, por lo que no debería aplicarse el plan en estos factores.

El método es subjetivo y, por lo tanto, está expuesto a datos sesgados si no se realiza una supervisión adecuada. Este plan, una vez que se haya implementado, deberá permanecer abierto a modificaciones y actualizaciones en forma permanente. Así podrá retroalimentarse y perfeccionarse con toda la información recopilada y tomar solidez en los parámetros y controles buscados de los distintos peligros. Para que el análisis sea exitoso, deben participar integrantes del panel de expertos y productores idóneos en la temática, con el objetivo de ajustar los parámetros de control y análisis de los avances observados.

Debido a que el momento de corte y el proceso de confección han sido identificados como los aspectos más importantes en la producción de heno, en los próximos capítulos se analizarán dichos aspectos.

3. Capítulo 2. Determinación del momento óptimo de corte de alfalfa para heno

3.1. Introducción

La alfalfa es la principal especie forrajera del país y la base de la producción de carne y leche en la Región Pampeana. La difusión del cultivo se apoya en sus altos rendimientos en materia seca por hectárea, su excelente calidad forrajera y su gran adaptabilidad a diversas condiciones ambientales (suelo, clima y manejo). Por otro lado, su capacidad para la fijación del nitrógeno atmosférico a través de la simbiosis con *Sinorhizobium meliloti* la convierte en un componente importante de la estabilidad de los sistemas productivos (Basigalup, 2007; 2014).

El cultivo de esta especie tiene un alto valor para el sector forrajero del VIRCh y la provincia, al igual que para el resto del país. El VIRCh es el principal proveedor de insumos agrícolas en la región Patagónica Austral, sobre todo en lo concerniente a forrajes conservados como heno. Su ubicación lo posiciona equidistante de distintos puntos de la meseta patagónica en toda su extensión. Si bien en estos últimos años el valle del Río Negro ha cobrado mayor importancia por la extensión de su superficie, nivel de producción y desarrollo tecnológico alcanzado, la comercialización de sus productos se restringe a dicha provincia por el elevado costo de los fletes.

La calidad nutricional del forraje cambia con el crecimiento y la madurez de las plantas. Los rendimientos de materia seca aumentan a medida que los cultivos se desarrollan, mientras que los valores nutricionales del forraje disminuyen significativamente (Orloff y Putman, 2008). En los primeros estadios de crecimiento la calidad es alta debido a la mayor proporción de hojas, pero el rendimiento es bajo. A medida que la planta crece y madura, la proporción y calidad nutricional de hojas y tallos se modifica. Los tallos se alargan y se vuelven más fibrosos, aumentando sus proporciones en el forraje (Juan *et al.*, 1995; Fontana y Cabo, 2019). El productor debería programar prácticas de manejo para incrementar el rendimiento de forraje y, al mismo tiempo, lograr un nivel de calidad que satisfaga los requerimientos nutricionales del ganado que lo consumirá, sin reducir la persistencia de la pastura.

El rendimiento de forraje de alta calidad se maximiza, en la mayoría de los casos, cosechando al inicio de la floración. Durante el período vegetativo el rendimiento en general aumenta más rápidamente que la disminución de la calidad. Sin embargo, durante el período de floración, las reducciones de calidad son muy rápidas, debido principalmente al aumento de la concentración de fibra (celulosa y lignina) en los tallos. Sin embargo, estas tendencias en el rendimiento y la calidad pueden modificarse por las condiciones ambientales prevalecientes, como los cambios en la temperatura (Orloff y Putman, 2008).

El estado de madurez al momento de la cosecha es la variable de manejo con mayor incidencia sobre la calidad del forraje y la más fácil de controlar por parte de los productores. La utilización de la etapa de desarrollo del cultivo para la determinación del momento oportuno de corte permite estabilizar el rendimiento y reduce diferencias entre variedades, años y lugares en comparación con otras estrategias de cosecha como, por ejemplo, corte por fechas (Mueller y Teuber, 2008).

La calidad nutricional se define en términos del contenido de fibra detergente ácida (FDA) y fibra detergente neutra (FDN), parámetros usados para estimar la concentración de nutrientes digestibles totales (NDT) y valores relativos de alimentación (RFV) o valor nutritivo relativo (VNR) (Juan *et al.*, 1995, Díaz Jaimes, 2020). Existen varios parámetros de calidad que van a condicionar la respuesta del ganado y el nivel de ingestión se reflejará en la misma según la función y destino (Díaz Jaimes, 2020). La búsqueda de un equilibrio entre rendimiento y calidad requiere atención, ya que al intentar disminuir los contenidos de fibra reduciendo los intervalos de corte, se puede afectar la persistencia del alfalfar. Intervalos de corte breves deprimen la acumulación de reservas en raíces y por lo tanto el vigor y el rendimiento del corte posterior, y la vida útil efectiva puede reducirse considerablemente. Además, la recolección en etapas inmaduras de desarrollo, especialmente en climas de primaveras frías, resultaría en un nivel de fibra inadecuado para los rumiantes, que podría ser crítico en el estado de reproducción y lactancia, y requeriría agregar otras fuentes de fibra a la dieta (Mueller y Teuber, 2008).

Históricamente, las etapas del desarrollo de la alfalfa se estimaron con base en el crecimiento alcanzado por los tallos más maduros del cultivo. El momento de corte se establecía en una etapa de crecimiento de "vegetativo tardío" o de "floración temprana", definiéndose en términos de la presencia y la longitud de los tallos del rebrote. De acuerdo con la escala definida por Kalu y Fick (1981) y mejorada por Fick y Müller

(1989), existen dos métodos que pueden describir el estado de desarrollo de la alfalfa: estado medio por peso (EMP o MSW por sus siglas en inglés: *mean stage by weight*), que se basa en el peso seco de los tallos en cada etapa, y estado medio por conteo (EMC o MSC por sus siglas en inglés: *mean stage by count*), que utiliza el número de tallos en cada estado. Debido a que la etapa de su desarrollo está estrechamente asociada con la calidad, esta se puede predecir calculando el estado medio, ayudando a programar la cosecha. Si bien tanto el EMP como el EMC cuantifican el desarrollo morfológico, la mayoría de los usuarios prefieren el EMC porque es menos tedioso. Sin embargo, solo el EMP se relaciona estrechamente con la calidad del forraje, ya que el EMC en las etapas avanzadas de desarrollo incorpora los brotes del rebrote en un canopeo maduro. En general, las predicciones de la calidad basadas en el estado de madurez del cultivo funcionan bien, debido a que el efecto acumulativo del factor ambiental sobre el crecimiento y la calidad se asocia con el desarrollo morfológico.

Müller y Fick (1989) propusieron una ecuación de regresión lineal que permite la conversión de EMC a EMP, pero que es precisa solo en un determinado rango de EMC. Bernáldez *et al.* (2006) compararon ambos índices concluyendo que describen en forma similar el estado de desarrollo de cultivares de alfalfa con reposo invernal extremadamente corto. En estados de madurez temprano de la pastura (por ej. inicio de floración o previo a la aparición de los rebrotes de la corona) es preferible utilizar EMC, en lugar de EMP, debido a su simplicidad y menor tiempo operativo.

Orloff y Putnam (2008) mencionan que varios trabajos han demostrado los cambios que se producen tanto en la composición bioquímica asociados a la maduración, como en la alta correlación que existe entre la calidad del forraje en pie y henificado. En estados maduros la alfalfa es menos digestible que en estados inmaduros, lo que está asociado a una declinación del contenido de proteína bruta y un incremento de la concentración de fibras (FDA y FDN) y lignina. Kalu y Fick (1981) estimaron una disminución promedio del 4% en la DMS por cada unidad según su escala. En general, la disminución de la calidad es más rápida en verano que en primavera, debido a la aceleración del desarrollo fenológico y a las mayores pérdidas de carbohidratos no estructurales por respiración que se producen en el periodo estival (Juan y Viviani Rossi, 2007)

La relación que existe entre madurez, valor nutritivo y rendimiento ya ha sido demostrada por numerosos investigadores (Bariggi y Romero, 1986; Berger *et al.*, 1986;

Cangiano, 2007). A medida que se posterga el corte del cultivo hacia el estado de floración, el rendimiento por unidad de superficie aumenta linealmente debido al incremento del peso de su fracción tallo; que a su vez se asocia a una disminución de la relación hoja/tallo y a cambios en la composición bioquímica que determinan un menor valor nutritivo. A partir de la floración tardía, el valor nutritivo sigue declinando y el rendimiento también comienza a disminuir debido a la caída de las hojas basales. Cortes en estados inmaduros (vegetativos a prebotón) producen forraje de alta calidad, pero con menor cantidad en kg MS, además de comprometer la supervivencia de la planta, ya que no permiten la necesaria acumulación de reservas en las raíces. El porcentaje de hojas puede alcanzar el 70% en estado de prebotón o disminuir al 30% en semillazón temprana. Esta disminución de la relación hoja/tallo con el avance de la madurez tiene un alto impacto sobre el valor nutritivo, ya que las hojas son más digestibles, tienen un contenido de proteína dos a tres veces mayor que los tallos aún en estadios inmaduros, y su calidad se deteriora mucho más lentamente con la madurez que la de los tallos (Orloff y Putman, 2008).

Los momentos de corte tienen un profundo impacto en la calidad y rendimiento del forraje, el precio de comercialización y los rendimientos económicos (Mueller y Teuber, 2008). Las pruebas de campo han examinado cambios en el rendimiento y la calidad a lo largo del tiempo, que ayudan con las decisiones de cosecha dentro de un período de crecimiento. Esto indica una ventana de oportunidad estrecha para obtener heno de calidad suficiente para el mercado con un rendimiento satisfactorio, que se incrementa en climas cálidos y en épocas calurosas del año, donde los cambios en el rendimiento y la calidad del forraje ocurren a un ritmo mucho más rápido que con temperaturas más frías. Por lo tanto, es muy difícil obtener alfalfa de alta calidad en cada cosecha, de todas las pasturas o potreros en un mismo sistema de producción, dada la cantidad de tiempo que generalmente insume la cosecha para la confección de heno. Los productores deberían considerar el concepto de un enfoque de corte escalonado (alternando las cosechas de “rendimiento” y “calidad”) en sus alfalfares (Orloff y Putman, 2008).

Hasta la realización del presente, no existen en la región estudios oficiales previos de momento de corte, producción de materia seca y tipo de corte. Recién en el año 2016, se comenzaron con los datos de evaluación de la red de alfalfa de INTA en Chubut.

El objetivo de esta sección es identificar el momento óptimo de corte del cultivo de alfalfa en el VIRCh para la confección de heno de alta calidad, de acuerdo con lo establecido previamente como uno de los puntos críticos del sistema del proceso de confección.

3.2. Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en un establecimiento ubicado en el VIRCh, en la localidad de 28 de Julio (43°22'19"S y 65°53'17"O), en un lote (5 ha) con alfalfa Venus (GRI: 6) implantado en 2010 sobre un suelo Torrifluvent típico (Laya, 1981). En la Tabla 12 se presentan los resultados del análisis de suelo del lote. A partir de los mismos, se realizó una fertilización con 75 Kg/ha de fosfato diamónico al inicio de la temporada de crecimiento, y una fertilización foliar con micronutrientes en estado vegetativo.

Tabla 12. Análisis químico de suelo.

Prof. Cm	pH 01:02.5	C.E Mmhos	Fósforo disponible (ppm)	Materia orgánica (%)	Zinc ppm	Cobre ppm	Boro ppm	S-SO4 ppm
0-30	7,5	0,22	28,8	2,5	0,7	0,48	0,96	10,77

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos INTA Balcarce.

Al momento de iniciar el ensayo se controlaron las malezas latifoliadas (cardos y otras especies como *Capsella bursa pastori*, *Stellaria media*, *Amaranthus quitensis*, *Chenopodium album*, *Sisymbrium irio*, *Coronopus didymus*, *Brassica campestris*, *Raphanus spp.*, etc.) aplicando 450 cm³/ha de 2,4 DB y 350 cm³/ha de Flumetsulam.

Durante el período experimental se registraron los datos meteorológicos con la estación perteneciente a la empresa Hidroeléctrica Ameghino S.A., ubicada en 43°26'41,5"S 65°56'46,2"O en la localidad de 28 de Julio (Bocatoma), con sensores de temperatura y humedad marca VAISALA HMD60Y y pluviómetro CASELLA CEL Ltd. (Figuras 8, 9 y 10).

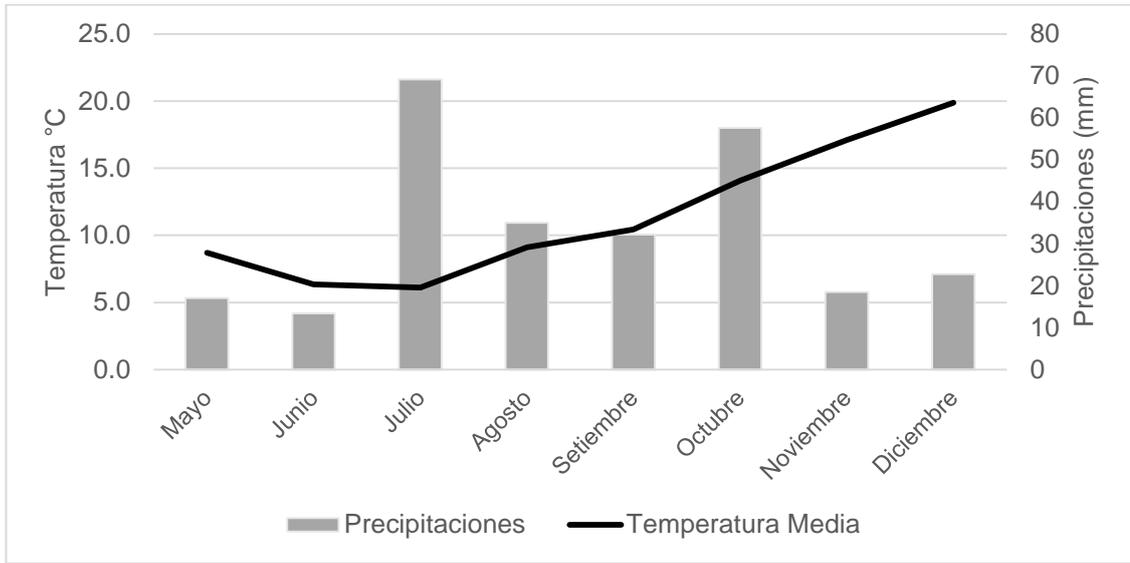


Figura 8. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones. Periodo mayo-diciembre 2016.

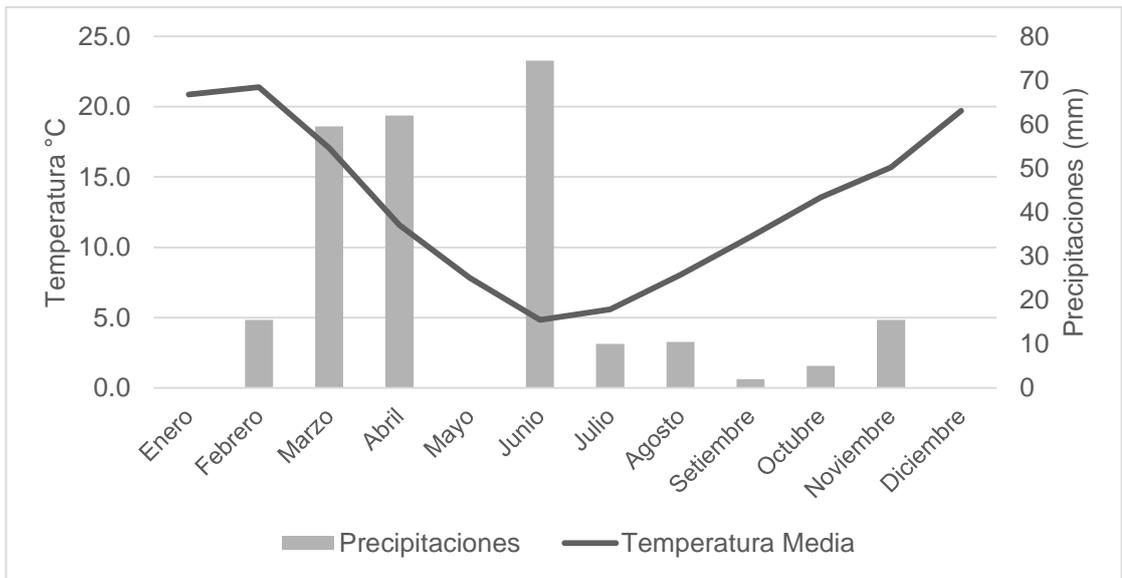


Figura 9. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones, 2017.

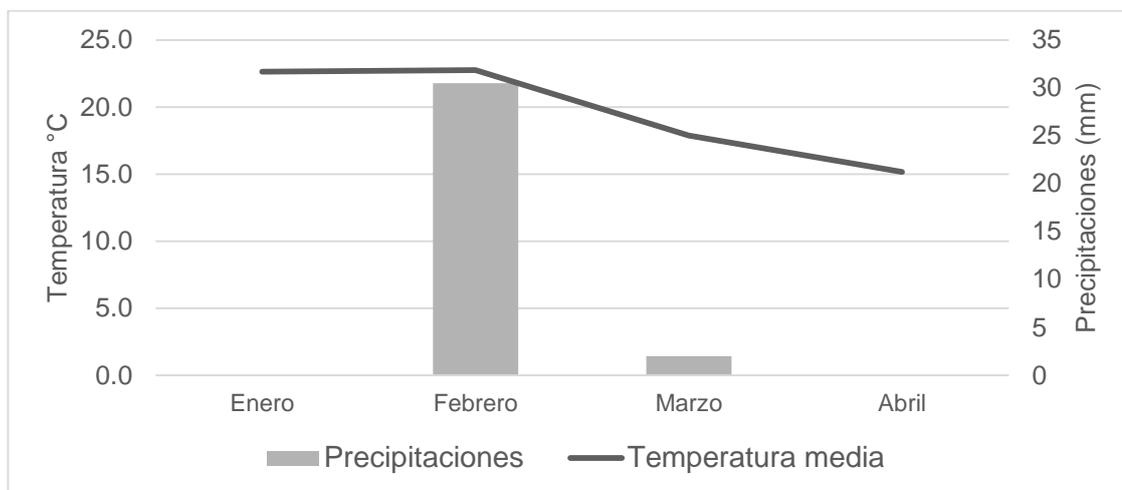


Figura 10. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones. Periodo enero-abril 2018.

Los tratamientos evaluados fueron cinco momentos de corte según estados fenológicos (prebotón, botón floral, 10%, 50% y 100% de floración), con base en la escala de Kalu y Fick (1981), practicados en cuatro cosechas a lo largo del período de crecimiento (noviembre 2016 a mayo 2017) del cultivo. Cada tratamiento se aplicó a seis parcelas de 5m², dispuestas en seis bloques aleatorizados completos. El bloqueo se realizó en función del sentido de riego y distancia al canal.

Para la determinación del estadio de desarrollo según el EMC, se seleccionaron aleatoriamente nueve plantas por parcela usando una varilla de 1 m de largo con tres tramos inferiores distanciados a 10 cm y con un asa, colocada al azar en la parcela en estudio. Esta determinación se realizó por triplicado en cada parcela (en cada determinación se seleccionaban tres plantas).

Los cortes se realizaron con una segadora de corte alternativo (cizalla) fabricada adecuando un rotocultivador, con un ancho de 1 metro y altura de corte de 5 cm. La superficie cosechada fue de 5 m² por parcela. Todo el material cortado se recolectó en un lienzo, se pesó en húmedo y se extrajo una muestra de aproximadamente 400 g para la determinación de materia seca (MS). Las muestras fueron secadas en estufa a 60 °C hasta peso constante, se molieron mediante molino tipo Wiley de malla de 1 mm a fin de acondicionar la muestra para el laboratorio, donde se determinó la composición bioquímica de la MS, estimando las concentraciones de proteína bruta (PB), fibra en detergente neutro (FDN) y ácido (FDA), lignina en detergente ácido (LDA), digestibilidad

de la materia seca (DMS), contenido mineral como cenizas (CEN) y energía metabolizable (EM), utilizando tecnología NIRS complementada con los métodos convencionales en el laboratorio de la Estación Experimental Agropecuaria Anguil del INTA. Las variables se ponderaron por la MS aérea obtenida en cada corte.

Los datos se analizaron con un modelo mixto para medidas repetidas con efectos fijos de momentos de cortes y fecha y la interacción de momento por fecha, y aleatorios de bloque, probando varias estructuras de covarianza (Winter, 2013). Las interacciones se partitionaron por fechas y dentro de ellas se compararon las medias de momentos por una prueba t protegida. Se usó un valor de alfa=0.05 para declarar los efectos y comparaciones como significativos.

3.3. Resultados y Discusión

El cultivo logro su desarrollo sin ningún inconveniente durante todo el periodo de toma de datos, habiendo contemplado todos los factores productivos, climáticos y de riego según fuera descrito, realizándose las evaluaciones según lo planificado y mencionado en Materiales y Métodos. La comparación y significancia entre cortes de las variables analizadas en los cinco tratamientos y cuatro cortes en cada momento fenológico se detallan en las Tablas 13, 14 y 15.

Tabla 13. Comparación, significancia y desvío estándar entre cortes de las variables peso húmedo y peso seco.

C	F	N	Peso H (kg)			Peso S (kg)			
1	1	8	6,57	± 0,56	a	5,13	± 0,44	a	
1	2	8	7,98	± 0,62	a	6,23	± 0,48	a	
1	3	8	6,68	± 0,75	a	5,21	± 0,58	a	
1	4	8	8,02	± 0,39	a	6,26	± 0,3	a	
1	5	8	6,73	± 0,57	a	5,25	± 0,44	a	
<hr/>									
2	1	8	6,51	± 0,47	a	5,08	± 0,37	a	
2	2	8	6,58	± 0,57	a	5,13	± 0,44	a	
2	3	7	5,32	± 0,46	b	4,15	± 0,36	b	
2	4	8	6,29	± 0,33	a	b	4,9	± 0,26	a
2	5	8	5,8	± 0,33	a	b	4,52	± 0,25	a
<hr/>									
3	1	8	2,65	± 0,35	b	2,07	± 0,27	b	
3	2	8	4,08	± 0,46	a	3,18	± 0,36	a	

3	3	8	3,8	±	0,46	a		2,96	±	0,36	a
3	4	8	4,06	±	0,34	a		3,17	±	0,26	a
3	5	8	3,69	±	0,32	a		2,87	±	0,25	a
4	1	7	1,22	±	0,24		b	0,95	±	0,18	b
4	2	5	1,97	±	0,35	a	b	1,54	±	0,28	a b
4	3	5	2,1	±	0,3	a		1,64	±	0,23	a

C: Corte. N: Cantidad de muestras. EF: Estado Fenológico 1: Prebotón. 2: Botón floral. 3: 10% Floración. 4: 50% Floración. 5: 100% Floración. Peso H.: Peso Húmedo (kg/parcela). Peso S: Peso Seco (kg/parcela). Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

Existe efecto significativo de momento ($p=0,02$), con diferencias significativas entre el momento 2 con 1, 3 y 5. Los restantes no difirieron significativamente entre sí, tanto en su cantidad de biomasa por corte como en la biomasa acumulada (Figura 12), similar a lo obtenido por Soto y Chahín (1992). Los cortes de prebotón y 10% no presentan diferencias entre sí, pero sí poseen con los otros EF, principalmente con los de 50 y 100%. Las diferencias se acentúan en los últimos cortes de la temporada, ya que el cultivo no llega al desarrollo final y por lo tanto los cortes más tardíos poseen menor producción de biomasa (Figuras 11 y 12). Cuando se compara la biomasa en botón floral con los estados fenológicos más avanzados, existe una diferencia de días entre los momentos de corte, que se traduce en efectos de retraso acumulativo sobre el estado de desarrollo del cultivo al momento del corte a fin de temporada (Figura 11).

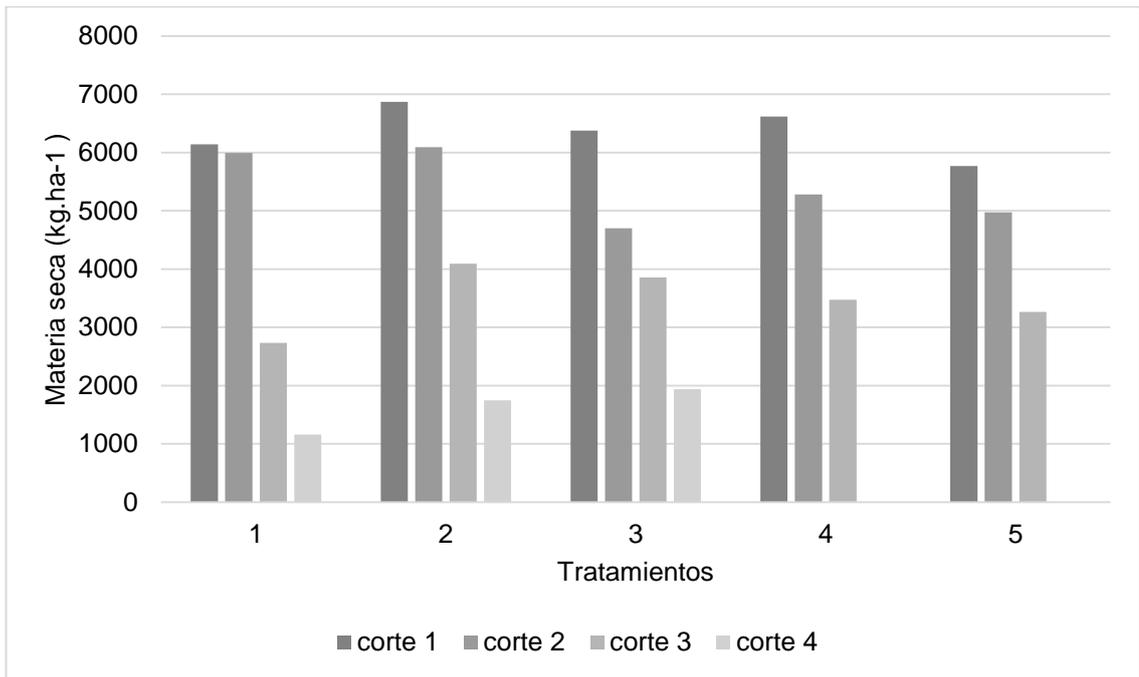


Figura 11. Producción de Biomasa por corte en los distintos momentos fenológicos. 1: Prebotón. 2: Botón floral. 3: 10% floración. 4: 50% floración. 5: 100% floración.

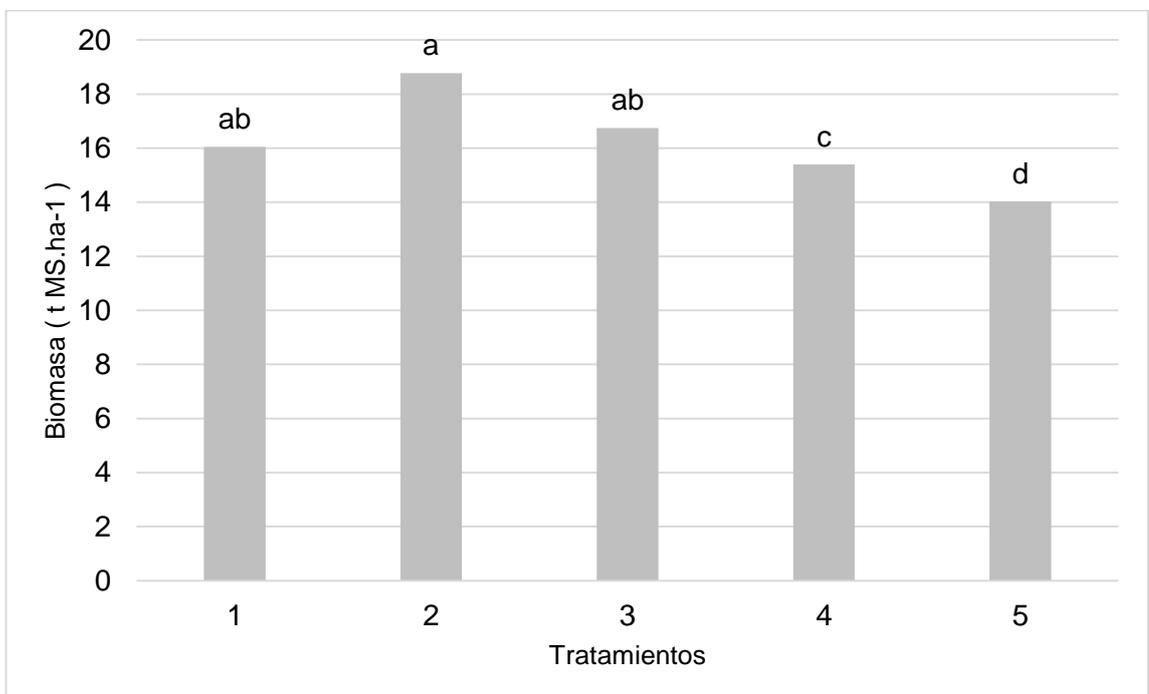


Figura 12. Producción de Biomasa Total en cada momento fenológico. 1: Prebotón. 2: Botón floral. 3: 10% floración. 4: 50% floración. 5: 100% floración. Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

3.3.1. Digestibilidad MS y proteína bruta

Tabla 14. Comparación y significancia entre cortes de las variables Digestibilidad de la materia seca y Proteína bruta.

C	EF	N	DMS (%)			PB (%)		
1	1	8	61,8	± 0,74	a	18,31	± 0,44	a
1	2	8	62,5	± 0,62	a	19,04	± 0,63	a
1	3	8	61,3	± 0,58	a	18,14	± 0,72	a
1	4	8	60	± 0,61	a b	16,33	± 0,2	b
1	5	8	58,7	± 0,75	b	14,31	± 0,4	b
2	1	8	62	± 0,82	a	18,65	± 0,62	a
2	2	8	62,1	± 0,3	a	17,99	± 0,59	a
2	3	7	62	± 0,82	a	18,82	± 0,79	a
2	4	8	61,4	± 0,57	a	16,41	± 0,28	b
2	5	8	58,8	± 0,44	b	15,86	± 0,28	b
3	1	8	62,8	± 0,86	a	20,35	± 1,28	a
3	2	8	62,4	± 0,55	a b	19,09	± 0,96	a
3	3	8	60,6	± 0,9	b c	18,51	± 0,85	a b
3	4	8	60,1	± 0,97	c d	16,42	± 0,3	b
3	5	8	58,4	± 0,58	d	16,36	± 0,59	b
4	1	7	63,9	± 0,54	a	21,74	± 0,37	a
4	2	5	61,8	± 1,05	b	20,94	± 0,51	a
4	3	5	59,9	± 0,54	c	20,85	± 0,19	a

C: Corte. N: Cantidad de muestras. EF: Estado Fenológico 1: Prebotón. 2: Botón floral. 3: 10% Floración. 4: 50% Floración. 5: 100% Floración. DMS: Digestibilidad materia seca. PB: Proteína bruta. Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

Cuando se considera la composición bioquímica de la MS (Tabla 14), se observa que hubo efectos significativos de momento y corte ($p<0,01$), y la interacción no fue significativa ($p=0,11$), pero los momentos difirieron significativamente en los cortes 1 ($p<0,01$) y 2 ($p=0,04$). En el primer corte, el momento 2 superó significativamente a los demás a excepción del 4. Este último superó significativamente al momento 5, y las restantes diferencias no fueron significativas. En el corte 2, el momento 1 superó a los demás, pero la diferencia con el 2 no fue significativa. Estas diferencias significativas entre el corte en prebotón floral con respecto de los momentos de 50 y 100% de floración, son coincidentes y observadas en el mismo sentido por Orloff y Putnam

(2008). El momento 2 superó significativamente al 5 ($p=0,02$); las restantes diferencias no fueron significativas. Las diferencias entre momentos en los restantes cortes no se consideraron significativas. Los datos obtenidos, coincidentes con lo que presenta Cangiano (2007), muestran que el cultivo de alfalfa disminuye su calidad con el avance de la madurez porque decrece la digestibilidad y el contenido proteico, y aumentan los contenidos de pared celular y lignina. A medida que avanzan los estadios fenológicos se acrecienta la proporción relativa de los tallos —de menor digestibilidad— por sobre los de las hojas, a pesar de que la alta calidad de éstas se mantiene en el tiempo.

3.3.2. Fibra detergente neutra y ácida, lignina detergente ácida y cenizas

Tabla 15. Comparación y significancia entre cortes de las variables que complementan los datos de la composición bioquímica del forraje.

C	EF	N		FDN		FDA		LDA		CEN	
1	1	8	48		c	34,8	b c	5,73	c	10	a
1	2	8	47,54		c	33,8		5,67	c	10,2	a
1	3	8	48,36	b c		35,5	b c	5,88	b c	10,1	a -
1	4	8	50,97	a b		37,1	a b	6,35	b	9,88	a b
1	5	8	53,04	a		38,7	a	7,22	a	9,01	b
2	1	8	48,34	b		34,6	b	5,63	c	10,2	a
2	2	8	47,98	b		34,4	b	5,65	c	10,4	a
2	3	7	48,93	b		34,5	b	5,87	b c	10,3	a
2	4	8	49,62	b		35,3	b	6,22	b	9,26	b
2	5	8	52,89	a		38,7	a	7,01	a	8,65	b
3	1	8	48,07	b		33,5		5,88	b	10,6	a b
3	2	8	48,02	b		34		5,89	b	10,7	a
3	3	8	50,99	a b		36,4	b c	6,4	a b	10,6	a b
3	4	8	51,09	a b		37	a b	6,48	a b	9,49	a b
3	5	8	53,25	a		39,2	a	6,91	a	9,89	a b
4	1	7	46,04	b		32,1		5,64	b	11,5	b
4	2	5	48,92	a		34,8	b	6,37	a	12,4	a
4	3	5	51,27	a		37,3	a	6,54	a	12,6	a

C: Corte. N: Cantidad de muestras. EF: Estado Fenológico 1: Prebotón. 2: Botón floral. 3: 10% Floración. 4: 50% Floración. 5: 100% Floración. FDN: Fibra Detergente Neutra. FDA: Fibra

Detergente Acida. LDA: Lignina Detergente Acida. CEN: Cenizas. Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

Los valores expresados en la Tabla 15 son el promedio de las mismas parcelas analizadas en lote de producción real, donde existen algunos valores que se separan del valor y tienen un desvío estándar, mencionado en el Anexo 2. Considerando los datos obtenidos, FDN, FDA, LDA, son coincidentes e inversamente proporcionales con los valores de DMS, ya que estos evolucionan según el desarrollo del cultivo, y en la medida que se avanza en su estado de desarrollo la DMS decae y los otros valores se incrementan, tal cual lo mencionaran Cangiano (2007) y Orloff y Putnam (2008). Debido a esto, el mejor momento de corte según el estado fenológico del cultivo es en botón floral, ya que presenta los mejores valores de DMS y menores valores de FDN, FDA y LDA (Figura 13).

El contenido mineral de la alfalfa se expresa mediante cenizas y se considera alta desde 6 a 15% de la MS (Robinson *et al.*, 2007). El contenido de cenizas disminuye a medida que avanza el estado fenológico del cultivo, tal cual lo menciona Vargas Vargas (2018), y dado que se asocia con los componentes minerales principalmente de la fracción hoja (Montañés *et al.*, 1972), a medida que el estado fenológico avanza declina al mismo tiempo que la relación hoja/tallo (Figura 13).

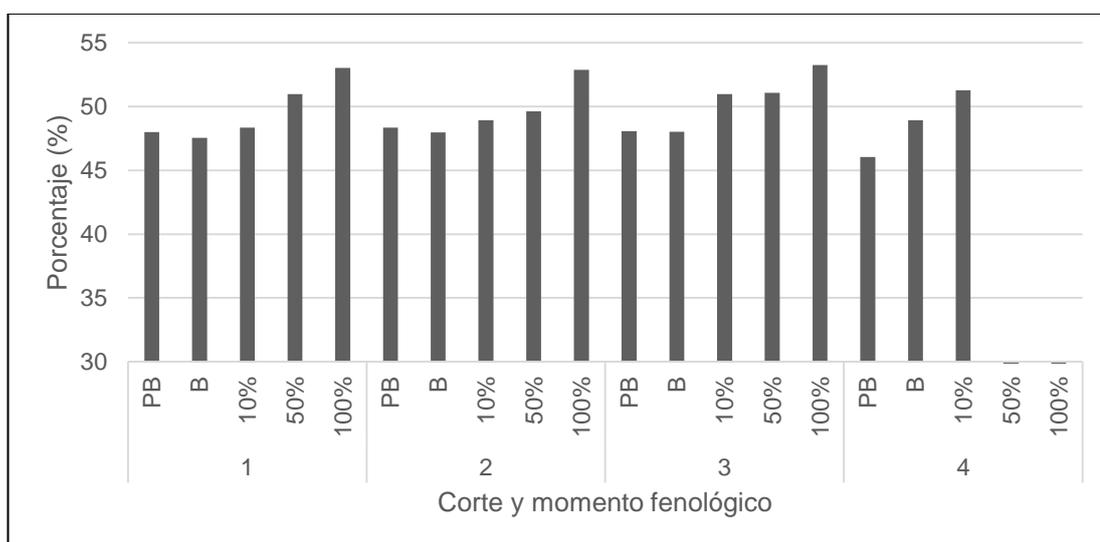


Figura 13. Contenido de Fibra Detergente Neutra en la composición bioquímica del forraje.

1, 2, 3, 4: Cortes de la temporada. PB: Prebotón. B: Botón floral. 10% Floración. 50% Floración. 100% Floración.

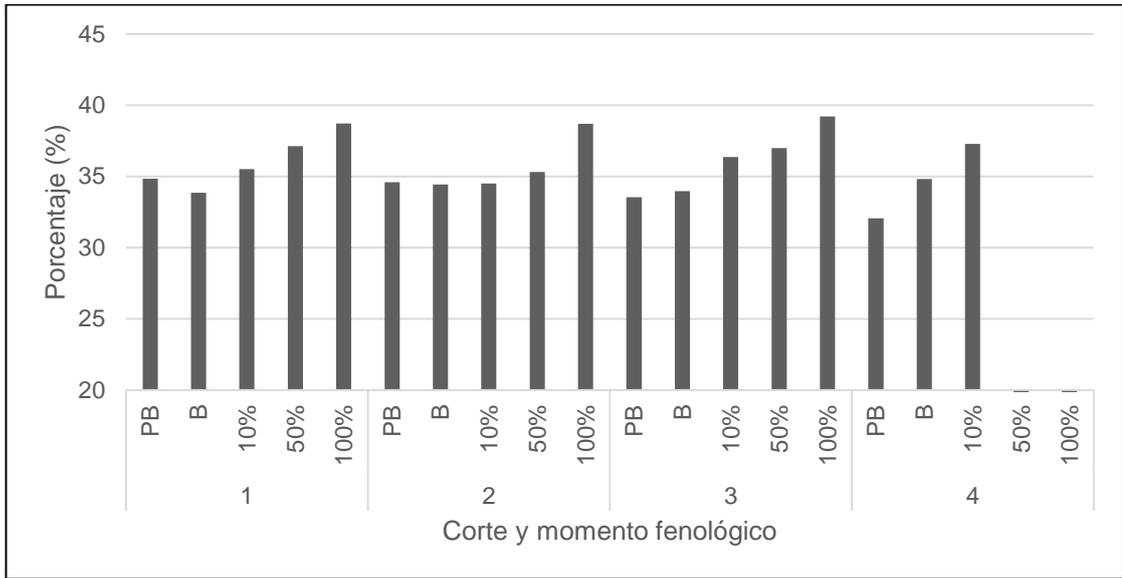


Figura 14. Contenido de Fibra Detergente Acida en la composición bioquímica del forraje.

1, 2, 3, 4: Cortes de la temporada. PB: Prebotón. B: Botón floral. 10% Floración. 50% Floración. 100% Floración.

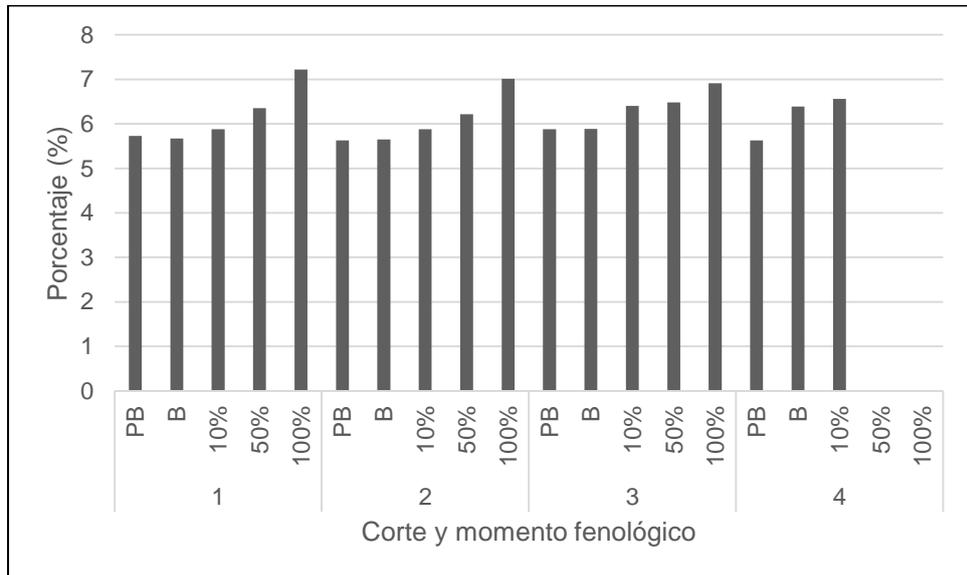


Figura 15. Contenido de Lignina Detergente Acida en la composición bioquímica del forraje.

1, 2, 3, 4: Cortes de la temporada. PB: Prebotón. B: Botón floral. 10% Floración. 50% Floración. 100% Floración.

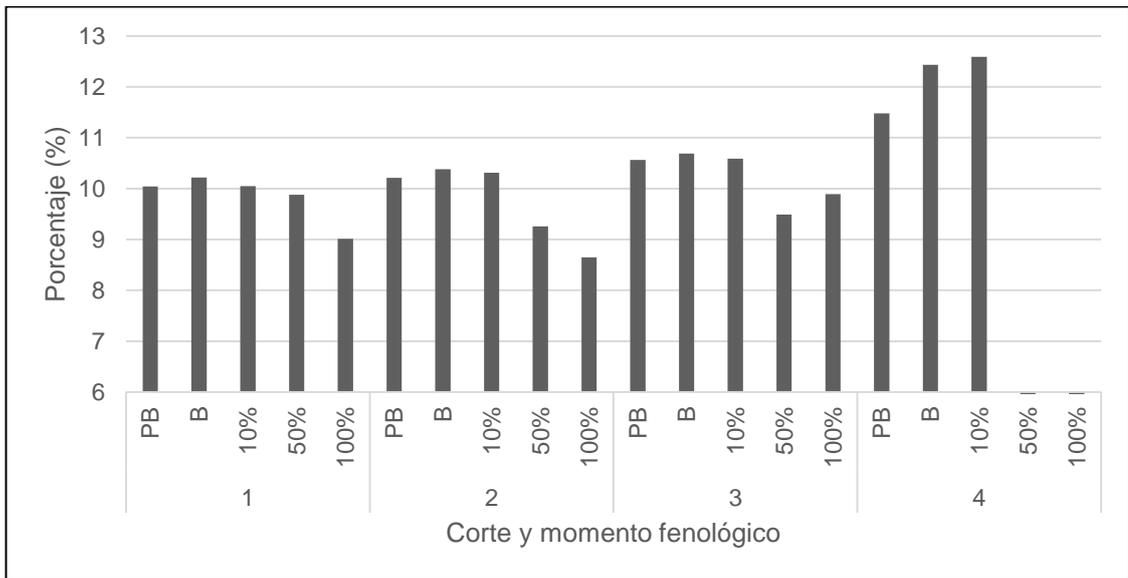


Figura 16. Contenido de Cenizas en la composición bioquímica del forraje.

1, 2, 3, 4: Cortes de la temporada. PB: Prebotón. B: Botón floral. 10% Floración. 50% Floración. 100% Floración.

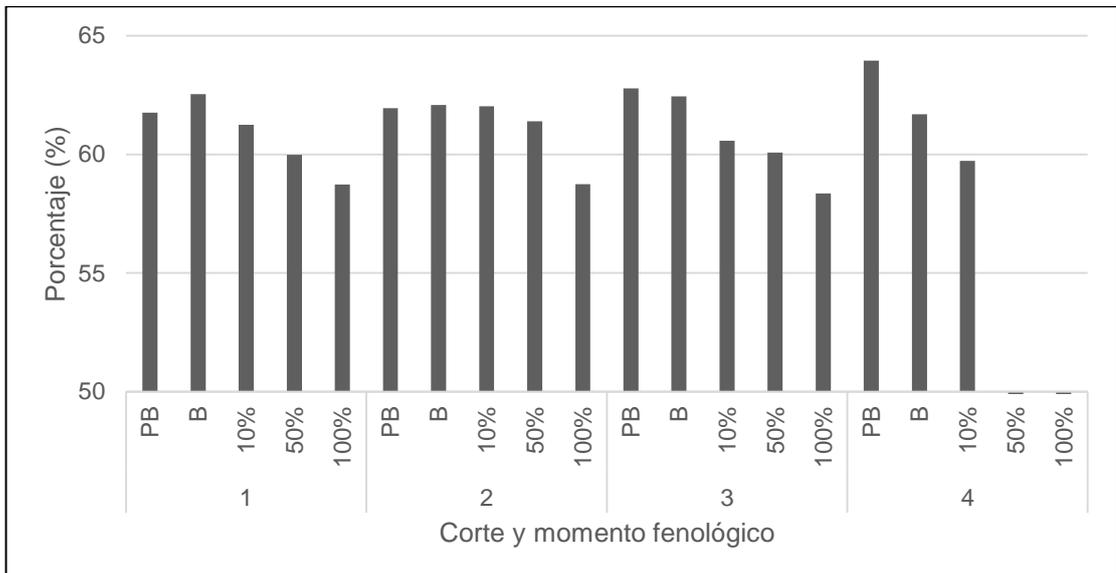


Figura 17. Digestibilidad de la Materia Seca del forraje.

1, 2, 3, 4: Cortes de la temporada. PB: Prebotón. B: Botón floral. 10% Floración. 50% Floración. 100% Floración.

Para evaluar cuál sería el estado fenológico oportuno que mejore la composición bioquímica del material para confeccionar heno se calculó la producción de PB ponderada por hectárea (Tabla 16).

Tabla 16. Producción de Proteína Bruta ponderada por ha.

	PB*MS (g)	Suma MS(kg)	Xpond PB (%)
Corte Prebotón	1998,66	104,81	19,07 a b
Corte Botón	2335,39	115,20	20,27 a
Corte 10%	1993,27	106,91	18,64 a b
Corte 50%	1876,14	114,63	16,37 c
Corte 100%	1517,14	98,90	15,4 d

PB*MS: Cantidad de Proteína Bruta producida en los cuatro cortes por parcela (5 m²). Sum MS: Cantidad de materia seca producida en los cuatro cortes por parcela. Xpond PB: proteína bruta ponderada (%). Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

Coincidentemente con los anteriores resultados, se observa que la cantidad de PB cosechada durante la estación de crecimiento es mayor en el estadio de botón floral, y sin diferencias significativas con los momentos de prebotón y 10% de floración. Sí existen diferencias significativas con respecto a los momentos más avanzados, donde se incrementa el porcentaje de tallo (con mayor contenido de fibras) y disminuye el porcentaje de hojas (con mayor contenido de PB), como se ha descrito en estudios anteriores (Ackerly, 2001; Ball *et al.*, 2001; Cangiano, 2007; Orloff y Putman, 2008).

En este capítulo solo se evaluó un año de producción sobre un alfalfar implantado, con el objeto de determinar en qué estado fenológico se obtendría mayor contenido de proteína bruta, con destino a la industria local como insumo para la fabricación de pellets. Sería conveniente, además, continuar con el estudio para la determinación de cómo afectaría el corte sucesivo en dicho estado fenológico con respecto a la persistencia del cultivo y compararlo con las alternativas citadas por Orloff y Putnam (2008) teniendo en cuenta también el resto de los parámetros que componen la calidad.

3.4. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, el momento de botón floral es el estado fenológico que mejor relaciona los valores de calidad del forraje para la obtención de heno en los primeros cortes de la temporada luego del reposo invernal, debido a que expresa los mejores índices de proteína bruta y digestibilidad de la materia seca. En cambio, en los cortes hacia el final de la estación de crecimiento, el momento fenológico de prebotón floral es el que posee los mejores valores de proteína bruta y digestibilidad. Estos resultados se deberían complementar con estudios posteriores donde se pueda evaluar la persistencia del alfalfar, combinando además la alternativa de una cosecha

en cortes tempranos y otra en momento más avanzados a fin de asegurar la correcta acumulación de reservas en raíz y favorecer el posterior rebrote.

También se observa un incremento del contenido de fibra hacia los estados más avanzados de madurez del cultivo, como consecuencia del desarrollo de los tallos, dado que la cantidad de hojas se mantiene casi constante, o tiende a reducirse por muertes de las hojas basales en el canopeo (Ball *et al.*, 2001).

Considerando la cantidad de biomasa producida por corte y acumulada, también el momento fenológico de botón floral, es el que presenta mejor desempeño, dado que acumula un corte más en la estación de crecimiento. Existe una diferencia de días entre los momentos de corte, que se traduce en efectos de retraso acumulativo sobre el estado de desarrollo del cultivo al momento del corte a fin de temporada. El atraso por haber cortado tarde en las tres cosechas anteriores (en los cortes en floración avanzada), el cultivo no alcanza un desarrollo compatible con alto rendimiento de MS, por tratarse de plantas con escaso desarrollo y sin rebrotes basales, lo que sumado a las condiciones ambientales de otoño reduce el rendimiento final.

No existe un estado de madurez óptimo para cortar la alfalfa, sino que éste dependerá del objetivo de producción al que se destina el forraje y de los requerimientos de los animales. Por ello, se trata de alcanzar un equilibrio entre el rendimiento de materia seca y su valor nutritivo, que se expresa como el rendimiento de nutrientes por unidad de superficie. Por lo tanto, y relacionando con el Capítulo 1, se determina que el momento de corte para obtener un heno de calidad acorde a lo requerido por la industria, manteniendo una producción aceptable es en botón floral. Como complemento necesario de este trabajo, se debería evaluar a posterior la persistencia del alfalfar utilizando esta metodología, además de la alternativa de las cosechas alternadas de cantidad y calidad.

4. Capítulo 3. Determinación de la metodología de corte y empaque de alfalfa para la obtención de un heno de calidad

4.1. Introducción

La alfalfa es uno de los principales recursos forrajeros sobre los que se asienta la ganadería argentina, debido al gran potencial de producción con niveles altos de proteína y energía. A esto se suma su elevado contenido de vitaminas A, E y K, y de la mayoría de los minerales requeridos por el ganado. Esto justifica los esfuerzos para conservar un forraje permitiendo transferir la producción primavera-estivo-otoñal a otra época del año y/o a otras regiones fuera del lugar de cultivo (Juan y Viviani Rossi, 2007).

Los forrajes conservados se utilizan en los sistemas de producción ganadera como componente esencial para aumentar la producción a través del incremento de la carga animal y/o la producción individual. Constituyen además una herramienta para intensificar y estabilizar los sistemas de producción pastoriles. El potencial de producción y la calidad nutricional del cultivo y a la vez del forraje conservado dependen fundamentalmente del manejo agronómico, del ambiente y de la confección del heno (Juan *et al.*, 1995).

La henificación es un método de conservación en seco de forraje a través de una rápida evaporación del agua contenida en los tejidos de la planta. Esta humedad debe estar por debajo del 20% y se estabiliza alrededor del 15% durante el almacenaje (Bragachini, 2013). Una gran cantidad de factores manejables en mayor o menor medida por el productor, influyen sobre el proceso de henificado y son la causa de los resultados tan variables que se observan en cuanto a la calidad final del material (Juan y Viviani Rossi, 2007).

La composición bioquímica, la persistencia y la rentabilidad del material a conservar dependen del manejo de la cosecha. El momento en que se realiza es el factor principal por el cual los productores pueden influir en la calidad nutricional del heno (Orloff y Putman, 2008). Además, afecta el rendimiento del forraje y la vida útil de la pastura, así como el control de plagas y la presencia de malezas.

Determinar el momento de cosecha es una decisión difícil. El rendimiento de la alfalfa y la calidad del forraje están relacionados de manera inversa dentro de un ciclo de crecimiento. Se producen pérdidas significativas de rendimiento y calidad cuando la alfalfa no se maneja, conserva y almacena adecuadamente. El objetivo de la cosecha es cortar en la etapa de crecimiento que proporcione la combinación óptima de rendimiento y calidad, y minimice las pérdidas mediante una conservación adecuada (Orloff y Mueller, 2008).

En contraste con el rendimiento, la calidad del forraje y la digestibilidad disminuyen drásticamente con el avance de la madurez del cultivo. Hay dos razones principales para esta disminución. Primero, la proporción de hoja en la materia seca disminuye rápidamente; durante las etapas vegetativas, el peso de las hojas puede representar hasta el 70% de la MS total. A medida que la planta envejece, los tallos continúan creciendo mientras que la biomasa de hoja permanece relativamente constante, por lo que el porcentaje de las mismas disminuye al 40-45% a mediados de floración, y por lo tanto la calidad del forraje también disminuye. Además, la calidad de los tallos disminuye rápidamente a medida que la planta crece y madura, mientras que la calidad de las hojas no varía. Es decir, el efecto combinado de la disminución del porcentaje de hojas y el aumento de la fibra en los tallos afecta la calidad del forraje a medida que la planta madura. La comprensión de los cambios morfológicos que ocurren durante el período de crecimiento del forraje es importante para decidir los momentos de corte (Orloff y Mueller, 2008).

En ambientes mediterráneos y áridos, el aumento del rendimiento desde las primeras etapas vegetativas hasta la floración temprana es lineal, pero puede variar significativamente según las condiciones ambientales, la variedad y el manejo (Mueller y Teuber, 2008). Tanto en primavera como en otoño la calidad es mayor que en pleno verano, dado que la tasa de crecimiento en verano lleva a una más rápida acumulación de fibra y lignina y una menor proporción hoja/tallo (Moot, 2012; Orloff y Mueller, 2008).

Dado que la obtención de alta calidad en los cortes durante los meses de verano puede ser difícil, en especial en las regiones cálidas desérticas y mediterráneas, los productores pueden considerar como estrategia la posibilidad de realizar algunas cosechas con alto rendimiento, pero de baja calidad, y cosechas tempranas para una mayor calidad con menor rendimiento para asegurar la persistencia de la pastura. Esta alternancia proporciona la posibilidad de establecer períodos de descanso más

prolongados luego de cosechas tempranas, permitiendo reponer las reservas de las plantas (Mueller y Teuber, 2008).

El momento de un corte individual no debe considerarse de manera aislada sino también relacionado con su efecto en toda la temporada de producción, teniendo en cuenta la vida útil de la pastura y aspectos económicos. Varios factores son importantes: la calidad del heno deseado, la época del año, las condiciones del tiempo, la vida útil deseada y las consideraciones prácticas, como el programa de riego, los costos de cosecha, el empleo de maquinaria propia o contratada y las condiciones del mercado. La etapa de crecimiento en que se corta la alfalfa debe reflejar el uso previsto del heno. La alfalfa destinada a la alimentación de ganado de carne puede ser de una calidad inferior que para ganado lechero de alta producción. El heno de alfalfa destinado al mercado de alta exigencia debe cortarse temprano (a más tardar en la etapa de botón floral) para obtener la calidad necesaria. A la inversa, el heno destinado a ganado de carne se puede cortar más tarde, con un 10-30% de floración, para maximizar los rendimientos con una calidad aceptable (Orloff y Putman, 2008).

Programar los cortes a fechas fijas no garantiza la calidad del heno. Generalmente, en una fecha determinada variedades con grados de reposo invernal más corto presentarán un estado de madurez más avanzado que otras con mayor latencia. Para determinar el momento y cantidad de cortes por temporada se pueden considerar las etapas de crecimiento del cultivo. Se toman en cuenta así los efectos de las diferencias ambientales y varietales y se puede obtener un rendimiento y calidad de forraje más consistente y predecible que cosechando en base a un calendario (Orloff y Mueller, 2008).

La henificación se puede dividir en cuatro etapas:

1. Corte: La importancia de este paso es fundamental para la velocidad del rebrote posterior, y a su vez que no produzca repicado del material cortado. Se realiza con una maquinaria que combine alta capacidad de trabajo con una buena adaptación a distintas situaciones de rendimiento de forraje, presencia de malezas, tipo de cultivo, etc. Debe realizar un corte neto, sin deshilar y que no haga repicado, a fin de evitar la pérdida de hojas y con una altura de corte entre 5-7 cm. Al mismo tiempo debe permitir formar una andana esponjosa, aireada y de un ancho uniforme a fin de favorecer un rápido secado.

2. Secado: Es la eliminación de agua en el menor tiempo posible, evitando las pérdidas de MS y nutrientes. Esta etapa dura entre 2 y 4 días pero, dependiendo de las prácticas de manejo (densidad de la andana), de las condiciones climáticas (radiación, evapotranspiración) y de la humedad del suelo, puede extenderse de uno hasta más de 15 días (Collins, 1990; Rotz y Muck, 2015). Durante este proceso se distinguen tres fases: a) desde el corte hasta el 60% de humedad del forraje, b) del 60 al 30% de humedad y c) desde el 30 al 18-20% de humedad final (Macdonald y Clarck, 1987). En esta etapa, la pérdida de materia seca y nutrientes que afectan al forraje cortado pueden ser por respiración, lixiviación y causas mecánicas. Existen técnicas para evitarlas y acelerar el proceso de secado, como el uso de acondicionadores mecánicos y/o químicos, dependiendo de la humedad relativa. La combinación de los dos métodos es más efectiva

3. Recolección y compactación: Una vez finalizado el proceso de secado, existen condicionantes que determinan la calidad final del producto, como la humedad del forraje al momento de recolectar, la utilización de aditivos conservantes para evitar la pérdida de hojas y las condiciones ambientales. Las maquinarias utilizadas pueden ser enfardadoras prismáticas o roto-enfardadoras, las cuales se diferencian por el tipo de producto final (fardos prismáticos chicos, grandes o megafardos, en un caso; y rollos en el otro). De acuerdo con el tipo de empaqueo final son las preferencias de los productores, sobre todo por la simplicidad de almacenaje, manipulación y formas de comercialización.

4. Transporte y almacenamiento: El heno es un producto perecedero y, como tal, su manejo durante el transporte y almacenamiento influirá en la calidad final del producto que se suministra al ganado. Los fardos prismáticos chicos generalmente son almacenados bajo techo (tinglado o galpón), lo que garantiza pérdidas mínimas de calidad. En cambio, los rollos y/o mega fardos, son almacenados a la intemperie por sus grandes dimensiones, lo que conlleva a pérdidas de materia seca y valor nutritivo por efecto de las condiciones climáticas.

De acuerdo con lo desarrollado en el Capítulo 1, luego de la aplicación de la metodología HACCP, donde se determinó que el momento de corte y el proceso de confección son los aspectos clave para la obtención de un heno de calidad, y lo obtenido en el Capítulo 2 que determinó el momento de botón floral cuando el cultivo posee mayor contenido de proteína bruta, se propuso como objetivo en esta sección determinar el

manejo óptimo en los procesos de confección del heno en el VIRCh con destino a la fabricación de pellets de alfalfa por la industria local, que optimice y mejore tanto la calidad como la cantidad de MS producida.

4.2. Materiales y métodos

El trabajo se realizó en un establecimiento ubicado en el VIRCh, en la localidad de 28 de Julio (43°22'19"S y 65°53'17"O), en un lote de 5 ha con alfalfa Venus (GRI: 6) implantado en 2010 sobre un suelo Torrifuvent típico (Laya, 1981). En la Tabla 17 se presentan los resultados del análisis de suelo del lote. A partir de los mismos, se realizó una fertilización con 75 Kg/ha de fosfato diamónico al inicio de la temporada de crecimiento, y una fertilización foliar con micronutrientes en estado vegetativo.

Tabla 17. Análisis químico de suelo.

Prof. Cm	pH 01:02.5	C.E Mmhos	Fósforo disponible (ppm)	Materia orgánica (%)	Zinc ppm	Cobre ppm	Boro ppm	S-SO4 ppm
0-30	7,5	0,22	28,8	2,5	0,7	0,48	0,96	10,77

Fuente: Laboratorio de Análisis de suelo INTA Balcarce.

Al momento de iniciar el ensayo se controlaron las malezas latifoliadas (cardos y otras especies como *Capsella bursa pastori*, *Stellaria media*, *Amaranthus quitensis*, *Chenopodium album*, *Sisymbrium irio*, *Coronopus didymus*, *Brassica campestris*, *Raphanus spp.*, etc.) aplicando 450 cm³/ha de 2,4 DB y 350 cm³/ha de Flumetsulam.

Durante el período experimental se registraron los datos meteorológicos con la estación perteneciente a la empresa Hidroeléctrica Ameghino S.A., ubicada en 43°26'41,5"S 65°56'46,2"O en la localidad de 28 de Julio (Bocatoma), con sensores de temperatura y humedad marca VAISALA HMD60Y y pluviómetro CASELLA CEL Ltd. (Figuras 18, 19 y 20).

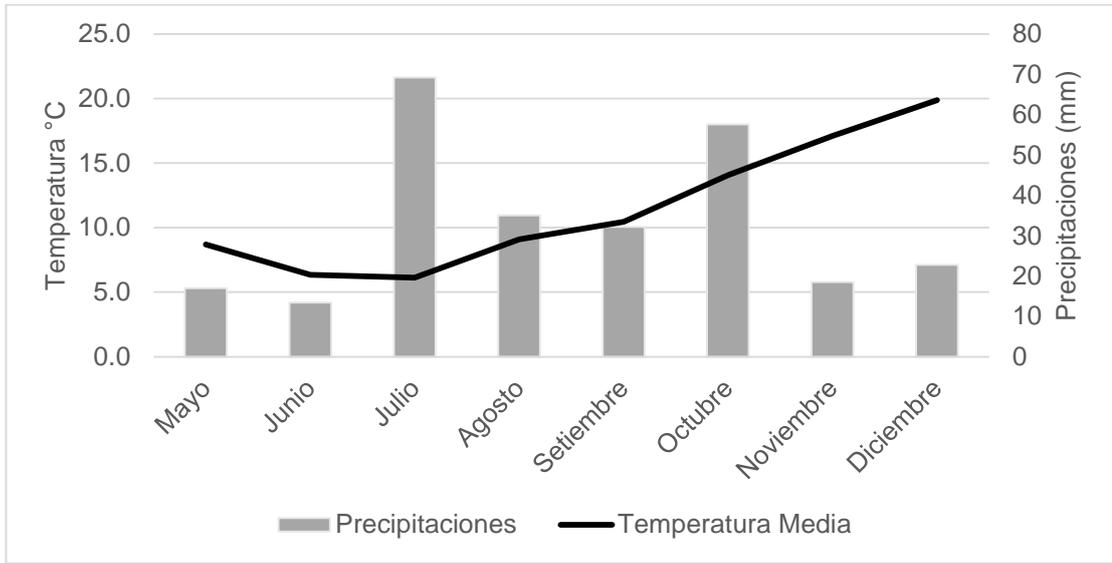


Figura 18. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones. Periodo mayo-diciembre 2016.

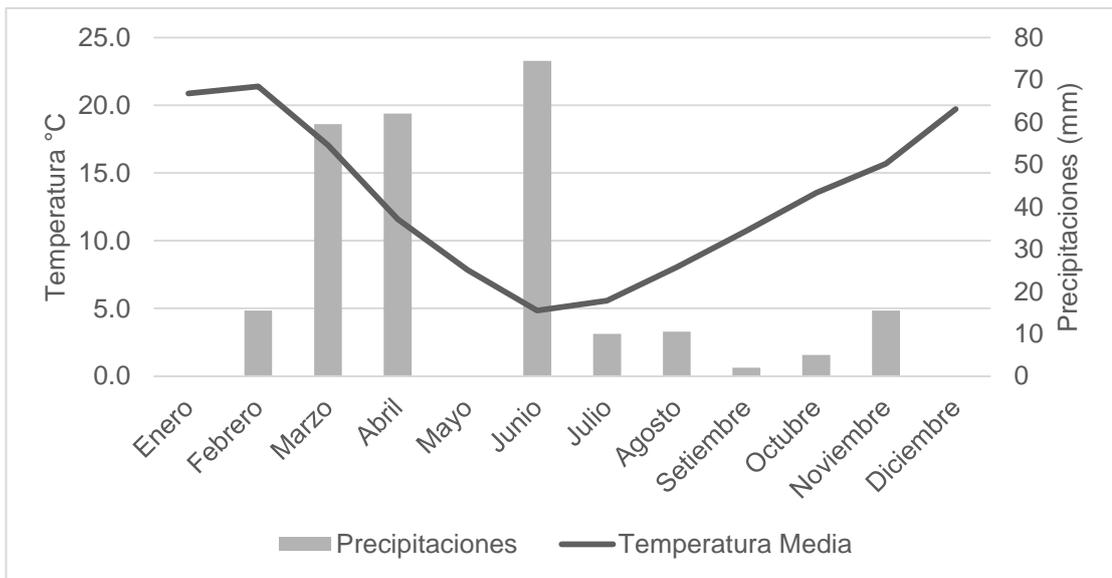


Figura 19. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones, 2017.

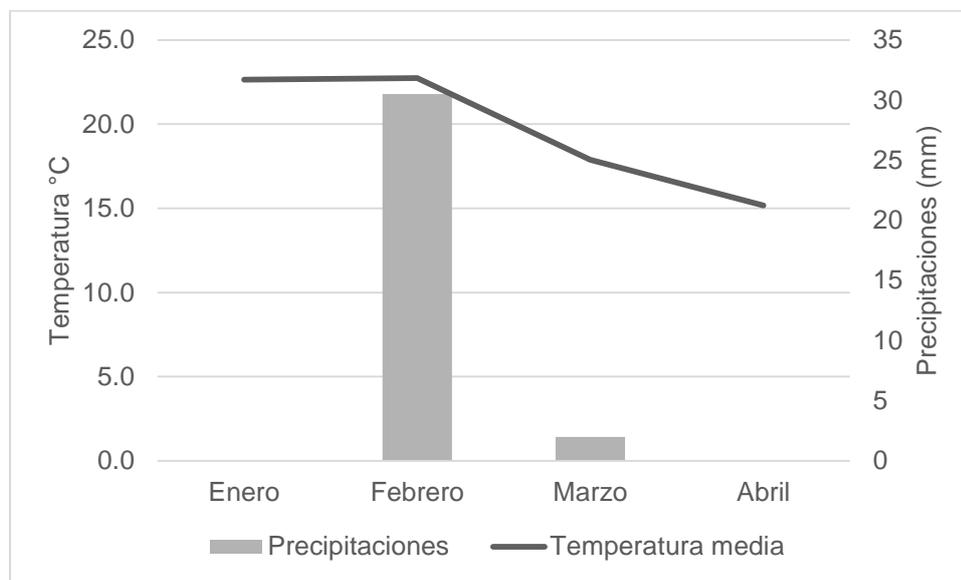


Figura 20. Datos climatológicos en localidad 28 de Julio. Temperatura y precipitaciones. Periodo enero-abril 2018.

El lote fue regado según demanda del cultivo durante la estación de crecimiento, teniendo en cuenta las precipitaciones. La lámina de riego aplicada en cada ocasión fue aproximadamente de 120 mm.

El momento oportuno de corte se estableció de acuerdo con los resultados del Capítulo 2, iniciándose en botón floral. Se hicieron tres cortes durante toda la temporada de crecimiento. Se usaron parcelas de 22,5 m x 100 m, resultando una superficie 2250 m² para poder operar con la maquinaria convencional de mercado utilizada por los productores del valle cotidianamente. Se usó un diseño experimental en bloques divididos con tres repeticiones (Split-block) (Kuehl, 2000) y dos factores cruzados: tipo de corte con tres niveles (tambores y discos, rastrillado, y segadora con acondicionador sin rastrillar), y tipo de confección de heno (enfardadora o enrolladora).

La enfardadora se reguló para llegar a un peso de 25 kg por fardo y en la enrolladora se reguló la presión de compactación de los rodillos para lograr rollos de 300 kg. Con el objeto de que los datos de procesamiento de MS fueran comparables, se estableció que cada tipo de maquinaria (enfardadora o enrolladora) procesara una cantidad aproximada de 300 kg MS en cada parcela. Esto resultó en la confección de un rollo para los tratamientos con enrolladora y de 15 fardos para la enfardadora.

La operación de empacado se inició cuando la andana alcanzó 20% de humedad determinada con higrómetro de forraje marca John Deere SW 07140. Los fardos y rollos fueron pesados con una balanza marca Hook AT 150, con barrales de 0,90 m. Para la obtención de muestras del forraje empacado, se obtuvo una muestra de cada rollo, y en el caso de los fardos, se extrajo una muestra de tres fardos seleccionados al azar entre los producidos de cada parcela formando una muestra compuesta. Las pérdidas de cosecha se determinaron en el momento del empacado, recolectando el material desprendido mediante un faldón de lona colocado debajo de la cámara de compactación de cada maquinaria. En cada parcela se obtuvo la muestra correspondiente para la posterior remisión a laboratorio.

La composición bioquímica del material producido y de las pérdidas de cosecha — proteína bruta (PB), fibra en detergente neutro (FDN) y ácido (FDA), lignina en detergente ácido (LDA), digestibilidad de la materia seca (DMS), energía metabolizable (EM) y cenizas (CEN)— fue determinada con tecnología NIRS, complementada con los métodos convencionales, en el laboratorio de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil. Los resultados se expresaron en % sobre MS de cada fracción.

Para el análisis de los datos de composición bioquímica del heno se utilizó un modelo mixto para medidas repetidas en un ensayo en bloques divididos, que incluyó efectos fijos de fecha, tipo de corte y tipo de empaque, los términos de error respectivos y varianzas diferentes por parcela. Como los efectos de fecha de corte y sus interacciones con tipo de corte y empacado no fueron significativos, se compararon solo las medias de tipo de empacado para cada una de las formas de corte con una prueba F de 1 grado de libertad (Schabenberger *et al.*, 2000). Para el análisis de las pérdidas producidas y dado que no se pudo ajustar un modelo mixto similar al anterior, se ajustó para cada fecha un modelo lineal para un ensayo en bloques divididos, con efectos fijos de tipos de empacado y corte y aleatorios de bloque, y las correspondientes interacciones con los tratamientos (términos de error), que se usaron para las correspondientes pruebas F de 1 grado de libertad (Schabenberger *et al.*, 2000). En todos los casos se empleó un nivel de significancia de 5%.

4.3. Resultados y Discusión

El ensayo se realizó en el transcurso de la temporada 2017-2018, de acuerdo con lo previsto. La composición bioquímica del heno se analizó corte por corte (fecha por fecha). En la Tabla 18 se presenta la composición bioquímica del heno producido, y en la Tabla 19, la composición bioquímica de las pérdidas producidas en la confección.

Tabla 18. Análisis de la composición bioquímica del heno (% sobre MS) en el corte 1.

Corte	Empaque	PB	FDN	FDA	DMS	EM	LDA	CEN
Seg+ Acond	Fardo	13,9 b	56 a	40,3a	57,5 b	2,1 a	6,6 a	8,6 b
Seg+ Acond	Rollo	15,6a	49,2 b	35,5 b	61,3a	2,2 a	5,7 b	9,4 a
Discos	Fardo	17,6a	49,9a	36,3a	60,6a	2,2 a	5,8 a	10,5 b
Discos	Rollo	16,1 b	51,7a	37 a	60,1a	2,2 a	6 a	12,1 a
Tambor	Fardo	15,6a	51 b	36,6a	60,4a	2,2 a	6,1 a	10,6 a
Tambor	Rollo	15,1a	51,9a	36,7a	60,3a	2,2 a	6,3 a	9,9 a

Seg+Acond: Segadora con acondicionador sin rastrillar. Discos: Segadora de discos, rastrillado. Tambor: Segadora de tambores, Rastrillado. Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

Tabla 19. Análisis de la composición bioquímica de las pérdidas (% sobre MS) en el corte 1.

Corte	Empaque	PB	FDN	FDA	DMS	EM	LDA	CEN
Seg+ Acond	Fardo	15,8 b	55,3 a	38,4 a	59 b	2,1 a	6,5 a	15,7 a
Seg+ Acond	Rollo	19,5 a	46,4 b	33,8 b	62,6 a	2,3 a	5,4 b	16,3 a
Discos	Fardo	18,5 a	46 b	33,2 b	63,1 a	2,3 a	5,3 a	12,7 b
Discos	Rollo	17,5 b	49,3 a	35,4 a	61,3 b	2,2 a	5,6 a	15,8 a
Tambor	Fardo	15,3 b	53,7 a	39,2 a	58,4 b	2,1 a	6,3 a	25,9 a
Tambor	Rollo	16,6 a	51,6 b	36,8 b	60,3 a	2,2 a	5,8 b	21,2 b

Seg+Acond: Segadora con acondicionador sin rastrillar. Discos: Segadora de discos, rastrillado. Tambor: Segadora de tambores, Rastrillado. Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

Para la fecha 1 en ninguna de las variables analizadas hubo efecto significativo de sistema de corte ni de forma de empaçado, ni la interacción empaçada por corte tampoco fue significativa. Pero cuando se analiza cada tipo de empaque según la metodología de corte, si existen diferencias según la variable considerada. En el caso de PB cuando se analiza el producto obtenido (rollo o fardo) para el primer corte, la cortadora con disco obtuvo mejor contenido de PB que en las otras dos metodologías de corte, y cuando se observa la forma de empaque, el fardo es el que mejor contenido de PB presenta (PB en fardos: 17,6 con cortadora de discos, 13,9 segadora con acondicionador y 15,6 para cortadora de tambores). Si bien los datos de la segadora con acondicionador según la forma de empaque muestran los resultados inversos, esta diferencia, en comparación con los cortes posteriores, se explica principalmente debido a las condiciones ambientales de viento (38 km/h), baja humedad relativa (15 %) y alta temperatura (28 °C) durante los días previos a la obtención de datos del ensayo.

Observando las otras variables de la composición bioquímica, para FDN hay diferencias significativas entre las dos formas de empaçado. En cambio, para cenizas hay diferencias significativas entre las formas de empaçado cuando se utilizan discos. En el resto de las variables analizadas no hubo diferencias significativas entre las dos formas de empaçado para ninguno de los sistemas de corte.

Los demás componentes de la composición bioquímica de la materia seca del producto empaçado, se comportaron de forma similar, pero para todos los casos del análisis, se observa que la segadora con acondicionador incrementó las diferencias en las formas de empaque, básicamente por su principio de funcionamiento el cual favorece la pérdida de humedad del material, debido a las condiciones ambientales reinantes al momento del ensayo en el primer corte y sobre todo en la primera melga en sentido del viento.

En la Tabla 19, el análisis de las pérdidas producidas por efecto del empaque según la metodología de corte se observa que con respecto al contenido de PB es altamente significativo (19,6) en la segadora con acondicionador cuando se enrolla con respecto a la confección por fardo (15,8). Esta diferencia coincide con lo expuesto anteriormente, ya que en la forma de empaque por rollo, el material que se procesa gira muchas veces dentro de la cámara de compactación, incrementando la pérdida de hojas en el amasado, que se caen al suelo sin poder ser recolectadas, sobre todo cuando el material pierde humedad bajo condiciones ambientales extremas como las mencionadas.

También existe diferencia significativa cuando se enrolla habiendo cortado con tambores, y no ocurre lo mismo con discos. El material perdido debido a la forma de empaque según la metodología de corte, salvo algún dato puntual, se acentúa en la forma donde el material permanece mayor cantidad de tiempo en procesamiento de confección (tiempo en que tarda el confeccionarse el rollo o el fardo). Según los análisis bioquímicos de las pérdidas, la fracción de la planta es básicamente hojas, y no tanto componente de fibra, como lo expresa los contenidos de FDN. Cuando se analiza la DMS de las pérdidas, y se las compara con la DMS del producto confeccionado, se puede inferir y confirmar que la mayor cantidad de material perdido en el proceso de confección son hojas. Con respecto a CEN, se observa que las pérdidas son mayores en la confección de rollo que en fardo, justamente por el mismo motivo de procesamiento.

La composición bioquímica del heno para la segunda fecha de corte y las pérdidas se observan en las Tablas 20 y 21.

Tabla 20. Análisis de la composición bioquímica del heno (% sobre MS) en el corte 2.

Corte	Empaque	PB	FDN	FDA	DMS	EM	LDA	CEN
Seg+ Acond	Fardo	17,7 a	51,8 a	36,7a	60,3 b	2,2 a	5,9 a	9,4 a
Seg+ Acond	Rollo	16,9 b	50,1 b	34,2 b	62,3 a	2,2 a	5,9 a	9,9 a
Discos	Fardo	15 b	54,7 a	40 a	57,7 a	2,1 a	6,5 a	9 a
Discos	Rollo	16,1 a	53,1 b	39 b	58,5 a	2,1 a	6 a	9 a
Tambor	Fardo	15,9 a	52,2 a	37,3 b	59,8 a	2,2 a	6,1 a	10,6 a
Tambor	Rollo	15 a	53 a	38,6a	58,8 b	2,1 a	6,2 a	8,6 b

Seg+Acond: Segadora con acondicionador sin rastrillar. Discos: Segadora de discos, rastrillado. Tambor: Segadora de tambores, Rastrillado. Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

Tabla 21. Análisis de la composición bioquímica de las pérdidas (% sobre MS) en el corte 2.

Corte	Empaque	PB	FDN	FDA	DMS	EM	LDA	CEN
Seg+ Acond	Fardo	18,8 b	47,9 a	33,6 a	62,8 b	2,3 a	5,4 a	16,3 a
Seg+ Acond	Rollo	19,7 a	46 b	32,6 b	63,5a	2,3 a	5,3 a	13,6 b
Discos	Fardo	19,3 a	47,6 a	34,9 a	61,7 b	2,2 a	5,6 a	14,7 a
Discos	Rollo	18 b	46,5 b	33,6 b	62,7 a	2,3 a	5,3 a	11,9 b
Tambor	Fardo	18,9 a	45,8 b	33,5 b	62,8 a	2,3 a	5,4 a	17,7 a
Tambor	Rollo	18 b	49,1 a	34,6 a	61,9 b	2,2 a	5,5 a	18 a

Seg+Acond: Segadora con acondicionador sin rastrillar. Discos: Segadora de discos, rastrillado. Tambor: Segadora de tambores, Rastrillado. Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

En la fecha siguiente tampoco hubo efecto significativo en forma de empaque ni en sistema de corte; ni en la interacción empaque por corte. En esta fecha no se registró diferencias significativas entre las dos formas de empaque para los tres sistemas de corte. En la composición bioquímica del heno del segundo corte si bien existe significancia entre las modalidades de empaque, las diferencias se mantienen en un rango estrecho (corte con segadora: 17,7 en fardo y 16,9 rollo, corte con discos: 15 en fardo y 16,1 en rollo, corte con tambores: 15,9 fardo 15 en rollo), pero a favor de la forma en fardo, coincidiendo con lo que sucedió en el corte 1. La variabilidad entre los contenidos de DMS, FDN y FDA se alterna entre las distintas modalidades. Con respecto a las pérdidas, sucede de igual manera, ya que los contenidos de PB, DMS poseen mayores significancias, y en menor proporción FDA. LDA son similares independientemente de la metodología de corte o empaque. La DMS de las pérdidas es mayor que la del heno, lo que indica que el material que se pierde es principalmente hojas, y que concuerda con los valores más bajos de LDA y FDA.

La composición bioquímica del heno para la tercera fecha de corte y las pérdidas se observan en las Tablas 22 y 23.

Tabla 22. Análisis de la composición bioquímica del heno (% sobre MS) en el corte 3.

Corte	Empaque	PB	FDN	FDA	DMS	EM	LDA	CEN
Seg+ Acond	Fardo	17 a	51,1 a	36,9 a	60,1 b	2,2 a	6,1 a	10,1 a
Seg+ Acond	Rollo	17,6 a	49,5 a	35,6 b	61,1 a	2,2 a	5,8 b	10,3 a
Discos	Fardo	14,7 b	53 a	38,6 a	58,8 b	2,1 a	6,2 a	10,1 a
Discos	Rollo	17,9 a	48,7 b	34,6 b	62 a	2,2 a	5,6 b	9,9 a
Tambor	Fardo	16,5 a	51,1 a	37,2 a	59,9 b	2,2 a	6 a	10,1 a
Tambor	Rollo	17,2 a	50,4 b	36,2 b	60,7 a	2,2 a	6 a	9,9 a

Seg+Acond: Segadora con acondicionador sin rastrillar. Discos: Segadora de discos, rastrillado. Tambor: Segadora de tambores, Rastrillado. Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

Tabla 23. Análisis de la composición bioquímica de las pérdidas (% sobre MS) en el corte 3.

Corte	Empaque	PB	FDN	FDA	DMS	EM	LDA	CEN
Seg+ Acond	Fardo	19 a	47,3 a	33,3 a	62,9 a	2,3 a	5,5 a	13,7 b
Seg+ Acond	Rollo	19,7 a	45,9 b	33,8 a	62,6 a	2,3 a	5,5 a	15 a
Discos	Fardo	18,7 a	46,3 a	33,6 a	62,7 b	2,3 a	5,5 a	12,7 b
Discos	Rollo	19,2 a	44,8 b	32,4 b	63,7 a	2,3 a	5,3 a	13,4 a
Tambor	Fardo	19,8 a	45,8 b	32,5 b	63,6 a	2,3 a	5,1 b	17 a
Tambor	Rollo	18,7 b	48 a	34,6 a	61,9 b	2,2 a	5,6 a	16,5 a

Seg+Acond: Segadora con acondicionador sin rastrillar. Discos: Segadora de discos, rastrillado. Tambor: Segadora de tambores, Rastrillado. Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

En esta tercera fecha tampoco hubo efecto significativo en forma de empaque ni en sistema de corte; ni en la interacción empaque por corte. En esta fecha no se registró diferencias significativas entre las dos formas de empaque para los tres sistemas de corte. Con respecto al contenido de PB del heno producido, no hubo diferencias significativas entre las modalidades de corte, solo mostró un valor más bajo en la forma de fardo cuando se cortó con discos. Tanto los valores de FDN y FDA fueron similares y en la misma proporción que el contenido de PB. Sí existen diferencias significativas en las pérdidas para PB y FDN, con valores mayores que en el heno producido, y en menor proporción en FDA, DMS y cenizas. Este hecho, vuelve a confirmar que las pérdidas están conformadas principalmente por hojas.

Para analizar las pérdidas producidas en el momento de confección del heno de acuerdo con la modalidad de empaque (Tablas 18, 20 y 22), se las ponderó por hectárea tanto en materia seca como en los componentes bioquímicos de las pérdidas. Los datos se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24. Pérdida de MS y componentes bioquímicos ponderados por hectárea.

Corte+ Empaq.	Promedio ponderado Ha (kg/ha)	Promedio Producción PB (kg/ha)	Promedio Pérdida PB (kg/ha)	PB Perdida %	FDN %	DMS %	FDA %	CEN %
S+A+R	35,8 a	74,3 a	7,0 a	9,5 a	45,9 b	62,9 a	33,4 a	14,4a
S+A+F	7,8 b	71,9 b	1,4 b	2,0 b	50,1 a	61,5 b	35,1 a	15,2 b
T+R	34,1 a	70,1 a	5,9 a	8,4 a	49,5 a	61,4 a	35,3 a	18,6 b
T+F	7,8 b	71,1 b	1,4 b	2,0 b	48,4 b	61,6 a	35,1 a	20,2a
D+R	32,1 a	74,2 a	5,9 a	7,9 a	46,9 a	62,6 a	33,8 a	13,7a
D+F	7,0 b	70,2 b	1,3 b	1,9 b	46,6 a	62,5 a	33,8 a	13,2a

S+A+R: Segadora con acondicionador enrollado. S+A+F: Segadora con acondicionador enfardado. T+R: Segadora de tambores enrollado. T+F: Segadora de tambores enfardado. D+R: Segadora de discos enrollado. D+F: Segadoras de disco enfardado. Letras distintas indican diferencias significativas $\alpha=0,05$.

Independientemente de la forma de corte, se observan diferencias significativas con respecto a la cantidad de materia seca perdida por cada modalidad de empaque, ya que la enrolladora (34 kg promedio de pérdida) pierde 63% más que la enfardadora (7,5 kg promedio), trabajando sobre un material con igual contenido de MS y la misma cantidad de material procesado. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Bragachini *et al.* (2013) cuando compararon una roto-enfardadora con una mega-enfardadora.

La cantidad de PB recolectada en los fardos y rollos por hectárea es homogénea y similar para cada tratamiento de corte y empaque, pero la cantidad perdida en el campo de acuerdo con la modalidad de empaque, el enrollado posee un promedio más alto de pérdida (8,6%) con respecto al enfardado (2%). Estos datos son coincidentes con los obtenidos por Juan *et al.* (1995) y Rotz (2003), quienes mencionan que la pérdida puede ser tres veces mayor con una enrolladora de cámara fija que con una enfardadora, ya que la pérdida de la cámara es principalmente material de hoja de alta calidad, la cual

afecta más la calidad del forraje restante que la mayoría de las otras pérdidas de la máquina. Si se pudiera mantener la pérdida de cámara por debajo del 3%, el efecto sobre la calidad del forraje sería relativamente pequeño.

El elevado valor de la DMS de las pérdidas evidencia que la fracción vegetal recogida estaba constituida por brotes y hojas de alto valor nutritivo que se desprenden del material recolectado, lo cual se corrobora con la baja concentración de FDA. Estos datos son coincidentes con los que hallaron Sánchez y Urretz Zabalía (2016) en la evaluación de una enrolladora con un heno de 18% de humedad, comparada con una megafardadora.

Los valores de cenizas que indican los análisis de calidad en las pérdidas recolectadas superaron en todos los casos el 15%, lo que muestra el considerable volumen de material indeseable presente en la gavilla al momento de la confección del heno. Se destaca, a su vez, que una parte se pierde en el momento de la henificación, dado que todos los henos elaborados poseen la mitad del porcentaje que lo observado en las pérdidas. Esto indica que cuando el material ingresa al circuito de la máquina henificadora, ya sea de enrollado o enfardado, sufre un movimiento en el cual libera gran parte de la fracción tierra con la que está contaminada, lo que es coincidente con los datos obtenidos por Bragachini *et al.* (2008).

Con base en este análisis de calidad se puede afirmar que el material recolectado como pérdida en las máquinas evaluadas es de gran calidad, pero posee un 15% o más de elementos minerales extras que no deberían ser considerados como pérdidas.

4.4. Conclusiones

Las formas de corte no influyeron significativamente en la composición bioquímica del heno producido en ninguna de las fechas de corte. Las diferencias que se pueden hallar entre las segadoras son las diferencias constructivas y su capacidad operativa, ya que los tres modelos de corte lo realizan por impacto en el forraje con su cuchilla con buen filo. La única que se diferencia es la segadora con acondicionador ya que agrega un paso más en el momento de corte que es el quebrado y aplastado de los tallos a intervalos regulares para favorecer y acelerar el tiempo de secado de la andana en el campo, por esta circunstancia, si las máquinas están bien reguladas en su altura, velocidad de giro, y filo de las cuchillas, y manteniendo una velocidad de avance acorde

a la maquinaria y estado del cultivo, no deberían presentar diferencias. En cambio, la forma de realizar el empacado del heno sí influye significativamente en las pérdidas de materia seca y en el contenido de proteína bruta, siendo mayores en una enrolladora que en una enfardadora prismática.

En el caso de la enrolladora, el material ingresa en la cámara de compactación y se amasa continuamente durante la confección del rollo. Esto provoca la molienda constante de hojas, pecíolos y brotes, que se desprenden fácilmente y pueden ser eliminados, incrementando las pérdidas. En cambio, en la enfardadora, la compactación del material se realiza en tandas o golpes en la cámara de compactación. Por lo tanto, no existe amasado del material, siendo la presión de compactación constante en todo su volumen, lo que hace que en consecuencia la pérdida de materia seca es menor.

Por lo tanto, para la obtención de un heno de calidad, el corte se puede realizar con las maquinarias que hoy se encuentran en el ámbito local, independientemente de su principio de funcionamiento, siempre y cuando se les practique una correcta regulación y mantenimiento. Los fardos prismáticos son los que pierden menos cantidad de componentes digestibles en el campo y los que permiten obtener un heno de alta calidad, que en definitiva, mejora la rentabilidad de producción.

5. CONCLUSIONES GENERALES

La metodología HACCP permitió incrementar la rentabilidad y sostenibilidad del sistema de producción de alfalfa para heno en el VIRCh, a través de la identificación del momento oportuno de corte en botón floral y del empacado con enfardadora prismática, ambos puntos críticos que afectan a la producción y productividad del sistema. Si bien el HACCP es un método claramente subjetivo y puede estar sesgado por la región donde se realice, permite la participación de expertos e idóneos en la temática que permanentemente pueden monitorear y ajustar los parámetros de control y análisis de los avances observados. La metodología debe ser evaluada en particular para cada zona donde se desee estandarizar la producción bajo un protocolo que permita incrementar el rendimiento y la sustentabilidad. En nuestro caso, los factores de riesgo que deberían ser monitoreados y controlados son el desarrollo fenológico del cultivo — para la determinación del momento de corte— y el proceso de confección del heno.

Como la producción y la calidad siempre están inversamente relacionadas durante el ciclo de crecimiento del cultivo, la determinación del momento de corte para la obtención de heno es una decisión de manejo difícil. De acuerdo con los resultados obtenidos, el momento de botón floral es el estado fenológico que mejor relaciona los valores de calidad del forraje, debido a que expresa los mejores índices de proteína bruta y digestibilidad de la materia seca. Estos resultados se deberían complementar con estudios posteriores donde se pueda evaluar la persistencia del alfalar, combinando además la alternativa de una cosecha en cortes tempranos y otra en momento más avanzados a fin de asegurar la correcta acumulación de reservas en raíz y favorecer el posterior rebrote.

Desde el punto de vista de la cantidad de biomasa producida, tanto por corte como acumulada, el momento de botón floral presenta los mejores valores dado que acumula un corte más a lo largo de la estación de crecimiento. Tomar la decisión de cortar en estados fenológicos avanzados reduce la posibilidad de obtener un corte más durante la estación de crecimiento, debido a que se produce un retraso acumulativo en el desarrollo de las plantas que, sumado a las condiciones ambientales del otoño, imposibilita obtener un corte más.

En cuanto al empaquetamiento del heno, la enfardadora prismática tiene menores pérdidas de materia seca y de proteína bruta que una enrolladora, por lo que es la mejor elección para la confección de heno de calidad. Si se regula correctamente la maquinaria, la forma de corte no afecta la calidad del heno producido ni tampoco las pérdidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Ackerly, T. L. (2001). *Characterizing and predicting the yield/quality tradeoff in alfalfa*. University of California, Davis.
- Alario Hernández, A. (2018). *Implantación de un sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control en una fábrica de piensos compuestos* [Grado en Ingeniería de Organización Industrial, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/30896>
- American National Standards Institute. (1985). *Information Processing—Documentation Symbols and Conventions for Data, Program And Systems Flowcharts, Program Network Charts, And System Resources Charts*. <https://webstore.ansi.org/standards/incits/ansiiso58071985>
- Aubry, C., Galan, M. B., y Mazé, A. (2005). Garanties de qualité dans les exploitations agricoles: Exemple de l'élaboration du référentiel Quali'Terre® en Picardie. *Cahiers Agricultures*, 14(3), 313-322.
- Bain, I. (2015). *La ganadería en el Valle Inferior del Río Chubut. Características, visión y potenciales acciones para la producción primaria y el agregado de valor* (Seminario «Visión de la ganadería: tendencias nacionales y en VIRCh»). INTA. <https://inta.gob.ar/documentos/la-ganaderia-en-el-valle-inferior-del-rio-chubut-caracteristicas-vision-y-potenciales-acciones-para-la-produccion-primaria-y-el-agregado-de-valor>
- Ball, D. M., Collins, M., Lacefield, G. D., Martin, N. P., Mertens, D. A., Olson, K. E., y Wolf, M. W. (2001). Understanding forage quality. *American Farm Bureau Federation Publication*, 1(1), 1-15.
- Banhazi, T. M., y Black, J. L. (2009). Precision Livestock Farming: A Suite of Electronic Systems to Ensure the Application of Best Practice Management on Livestock Farms. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*, 7(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/14488388.2009.11464794>
- Bariggi, C., y Romero, N. (1986). Crecimiento de la alfalfa y utilización en la Región Pampeana. En C. Bariggi, V. L. Marble, C. D. Itria, y J. M. Brun (Eds.), *Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa* (pp. 251-323). INTA.
- Barrenechea, A., y Pozzo, L. (1993). *Reservas de Forraje: Alfalfa para animales lecheros* (Proyecto MEPROLE). INTA EEA Manfredi.
- Basigalup, D. (2007). Panorama actual de la alfalfa en la Argentina. En: D. Basigalup (Ed.) *El cultivo de alfalfa en la Argentina* (pp. 13-25). INTA.
- Basigalup, D. (2014). Situación de la alfalfa en Argentina. 5ta. Jornada Nacional de Forrajes Conservados. 9 y 10 de abril de 2014, EEA INTA Manfredi, Manfredi, Córdoba (Argentina). https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_5_jornada_nacional_de_forrajes_conservados_-_s.pdf

- Benzécri, J. P. (1973). *L'analyse des données* (Vol. 2). Dunod.
- Berger, M. E., León, R. S., y Fenoglio, H. F. (1985). Cambios en la concentración de elementos minerales en alfalfa (*Medicago sativa* L.) con el avance a madurez. *Rev. Arg. Prod. Anim*, 5(3-4), 149.
- Bernaldez, M. L., Basigalup, D., Martínez Ferrer, J., Balzarini, M., y Alomar, D. (2006). Comparación de dos índices cuantitativos de estimación del estado de desarrollo de la alfalfa. *Agriscientia*, 23(2), 77-82.
- Bragachini, M. A. (2013). *Tecnología de henificación en residuo de la caña de azúcar* (Actualización técnica N°80). INTA.
- Bragachini, M. (2014). Rol de la agricultura y ganadería de precisión en el desarrollo del sector agroalimentario y agroindustrial argentino. *Recopilación de presentaciones Técnicas*. 12° Curso Internacional de Agricultura de Precisión: Expo de Máquinas Precisas, Manfredi, Córdoba. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_rol_de_la_agric_y_ganad_de_precis_en_el_desarrol.pdf
- Bragachini, M. A., Cattani, P., Gallardo, M., y Peiretti, J. (2008). *Forrajes conservados de alta calidad y aspectos relacionados al manejo nutricional*. Manual Técnico N° 6. INTA.
- Bragachini, M. Peiretti, J., Sanchez, F., y Giordano, J. (2013). *Tecnologías de Henificación. Megaenfardadoras*. Actualización Técnica N° 78. Ediciones INTA.
- Cangiano, C. (2007). Crecimiento y manejo de la defoliación. En D. Basigalup (Ed.), *El cultivo de alfalfa en la Argentina* (pp. 249-276). INTA.
- Collins, M. (1990). Composition and yields of alfalfa fresh forage, field cured hay, and pressed forage. *Agronomy journal*, 82(1), 91-95.
- Costa Rica. (2009). *Guía para la Elaboración de Diagramas de Flujo*. Ministerio de Planificación Nacional Y Política Económica - Área de Modernización de Estado. file:///C:/Users/mcmor/Downloads/guia-elaboracion-diagramas-flujo-2009%20(1).pdf
- Díaz Jaimes, A. (2020). *Factores implicados en la calidad del forraje de alfalfa: Medicago sativa* [Tesis de Grado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/11222>
- FAO. (2001). Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP), system and guidelines for its application. En *Codex Alimentarius—Food Hygiene—Basic Texts* (2°). FAO. <https://www.fao.org/3/Y1579E/Y1579E00.htm>
- Fick, G. W., y Müller, S. C. (1989). *Alfalfa: Quality, maturity, and mean stage of development*. *Information Bulletin 217*. Department of Agronomy, Cornell University.
- Fontana, L. M. C., y Cabo, S. E. (2019). Alfalfa. En F. S. Kent (Ed.), *Forrajeras cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La Pampa* (pp. 11-16). INTA.
- Galan, M. B., Aubry, C., y Maze, A. (2003, 30/07). *Farm Certification and the implementation of HACCP in agriculture: A cost/benefit analysis*. Annual meeting

- of the American Agricultural Economics Association, Montreal, Canadá.
<https://ageconsearch.umn.edu/record/22094>
- Gallardo, M. (2012, 20/07). *Alfalfa. Valor agregado para realizar las dietas de los sistemas ganaderos más exigentes*. 1° Congreso de Valor Agregado en Origen, Manfredi, Córdoba.
- García Garmendia, A. (2012). *Aplicación del sistema HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) en Agricultura de Precisión* [Tesis de Maestría, Universidad Pública de Navarra]. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/6606/577928.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez Riera, P., y Hubbe, S. (2001). *Manual de buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas de manejo y empaque, para frutas y hortalizas*. INTA.
- HCA, y CFI. (2013). *Plan Director de Recursos Hídricos del Río Chubut* (Informe final. Tomo I. Documento Principal).
- Hegelund, L., y Sørensen, J. (2007). Developing a HACCP-like system for improving animal health and welfare in organic egg production – based on an expert panel analysis. *Animal*, 1(7), 1018-1025.
- Horchner, P. M., Brett, D., Gormley, B., Jenson, I., y Pointon, A. M. (2006). HACCP-based approach to the derivation of an on-farm food safety program for the Australian red meat industry. *Food Control*, 17(7), 497-510. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.02.012>
- Horchner, P. M., y Pointon, A. M. (2011). HACCP-based program for on-farm food safety for pig production in Australia. *Food Control*, 22(10), 1674-1688. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.03.028>
- INDEC. (2021). *Sistema de consulta de comercio exterior de bienes* [<https://comex.indec.gob.ar/>].
- Juan, N., Romero, L. A., y Bruno, O. A. (1995). Conservación del forraje de alfalfa. En E. H. Hijano y A. Navarro (Eds.), *La alfalfa en la Argentina* (pp. 173-192). INTA.
- Juan, N., y Viviani Rossi, E. (2007). Producción de heno, silaje y henolaje de alfalfa. En D. Basigalup (Ed.), *El cultivo de alfalfa en la Argentina* (pp. 357-387). INTA.
- Kalu, B. A., y Fick, G. W. (1981). Quantifying Morphological Development of Alfalfa for Studies of Herbage Quality. *Crop Science*, 21(2), 267-271. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100020016x>
- Knight, C. (2009). *HACCP in agriculture: A practical guide* (3°). Campden and Chorleywood Food Research Association Group.
- Kuehl, R. O. (2000). *Diseño de experimentos. Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones*. (2da ed.). Thomson Learning.
- Laguna, A. V. (2005). Calidad en la fabricación actual de piensos. *Ganadería*, 37, 48-54.
- Laya, H. (1981). *Levantamiento semidetallado de suelos. Formulación de un plan integral de manejo hídrico para el VIRCh*. (Convenio VIRCh, 2). CFI - Chubut.

- Lê, S., Josse, J., y Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Leifert, C., Ball, K., Volakakis, N., y Cooper, J. M. (2008). Control of enteric pathogens in ready-to-eat vegetable crops in organic and 'low input' production systems: A HACCP-based approach. *Journal of Applied Microbiology*, 105(4), 931-950. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03794.x>
- Macdonald, A., y Clark, E. (1987). Water and quality loss during field drying of hay. *Advances in Agronomy*, 41, 407-437.
- Malvicino, G. (1998). *Sistema de Certificación de Productos Agrícolas Diferenciados*. Carpeta Seminario-Taller: Prevención del riesgo de contaminación agrícola, Buenos Aires.
- Montañés, L., Abadia, A., y Heras, L. (1972). Composición de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) a lo largo del ciclo de explotación. *An. Estac. Exp. Aula Dei*, 11(3-4), 357-365.
- Montes Cruz, F. J., Castro Rivera, R., Aguilar Benítez, G., Sandoval Torres, S., y Solís Oba, M. M. (2016). Acumulación estacional de biomasa aérea de alfalfa Var. Oaxaca criolla (*Medicago sativa* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(4), 539-552.
- Moot, D. (2012). Alfalfa. En P. Steduto, T. C. Hsiao, E. Fereres, y D. Raes (Eds.), *Crop Yield Response to Water* (pp. 212-219). FAO. <https://www.fao.org/3/i2800e/i2800e.pdf>
- Mueller, S. C., y Teuber, L. R. (2008). Alfalfa Growth and Development. En P. Summerfield y D. Putnam (Eds.), *Irrigated Alfalfa management for Mediterranean and Desert Zones* (pp. 31-38). University of California.
- Müller, S. C., y Fick, G. W. (1989). Converting Alfalfa Development Measurements from Mean Stage by Count to Mean Stage by Weight. *Crop Science*, 29(3), 821-823.
- Odorizzi, A. (2020). *Desafíos, perspectivas y oportunidades de la cadena de la alfalfa en Argentina* (Infotme noviembre 2020). INTA. <https://inta.gob.ar/documentos/desafios-perspectivas-y-oportunidades-de-la-cadena-de-la-alfalfa-en-argentina-informe-noviembre-2020>
- Ordoñez, H. (2002). *La calidad y los agroalimentos*. 27-40.
- Orloff, S. B., y Mueller, S. C. (2008). Harvesting, Curing and Preservation of Alfalfa. En C. Summers y D. Putnam (Eds.), *Irrigated Alfalfa management for Mediterranean and Desert Zones* (pp. 209-225). University of California.
- Orloff, S. B., y Putman, D. (2008). Harvest Strategies for Alfalfa. En C. Summers y D. Putman (Eds.), *Irrigated Alfalfa management for Mediterranean and Desert Zones* (pp. 197-207). University of California.
- Pro.Fe.Der. (2011). *Mejora de la competitividad de los sistemas agrícolas ganaderos del valle inferior del Río Chubut*. INTA Chubut.
- ProSalta. (2020). *Informe de Comercio Exterior de Alfalfa y pellet de Alfalfa*. Observatorio de Comercio Exterior. <https://prosalta.org.ar>
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.

- Robinson, P. H., Putnam, D., y DePeters, E. J. (2007, 19/12). *Fundamentals of alfalfa quality*. 37th California Alfalfa y Forage Symposium, Monterey, California. <https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/2007/07-80.pdf>
- Rotz, C. A. (2003). How to maintain forage quality during harvest and storage. *Advances in Dairy Technology*, 15, 227-239.
- Rotz, C. A., y Muck, R. E. (2015). Changes in Forage Quality During Harvest and Storage. En G. C. Fahey (Ed.), *Forage quality, evaluation, and utilization* (pp. 828-868). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c20>
- Sánchez, F., y Urretz Zabalía, G. (2016). *Heno de alfalfa de calidad. Cosecha eficiente de nutrientes*. INTA.
- Schabenberger, O., Gregoire, T. G., y Kong, F. (2000). Collections of Simple Effects and Their Relationship to Main Effects and Interactions in Factorials. *The American Statistician.*, 54(3), 210-214.
- Soto, P. O., y Chahín, M. G. A. (1992). *Bases fisiológicas para la utilización de la alfalfa*. Serie Carillanca. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/27012>
- Summers, C., y Putnam, D. (2008). *Irrigated Alfalfa Management for Mediterranean and Desert Zones*. University of California.
- Vargas Vargas, R. E. (2018). *Determinación de la composición química y concentración de ácido tánico en alfalfa (Medicago sativa) en diferentes edades de corte en la Región Junín* [Tesis de Grado, Universidad Alas Peruanas]. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/3818>
- Viglizzo, E. (1984). Limitaciones agroecológicas al desarrollo de sistemas de producción. *Revista Argentina de Producción Animal*, 4(10), 1049-1079.
- Viglizzo, E. (1986). Agroecosystems stability in the Argentine pampas. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 16(1), 1-12.
- Viglizzo, E. F. (2004). *Desarrollo de una metodología compatible con la norma ISO 14000 para la eco-certificación de predios rurales* (Programa Nacional de Gestión Ambiental). INTA.
- Viglizzo, E. F. (2005, diciembre 6). *Estrategias Nacionales: Sustentabilidad Ambiental*. Seminario: Innovación Tecnológica para la Competitividad y el Desarrollo Rural Sustentable, INTA. <https://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/65-viglizzo.pdf>
- Winter, B. (2013). *Linear models and linear mixed effects models in R with linguistic applications*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.1308.5499>
- Zambrano Echenique, M. L. (2007). El aumento de la productividad y la mejora del nivel de vida. *Cuadernos de Ingeniería*, 2.
- Zubizarreta, J. (1992). Reservas: Uso y análisis. *Revista CREA*, 155, 90-97.

APÉNDICES

Apéndice 1. Encuesta productiva que se realizó en el ejido de la localidad de 28 de Julio para la caracterización de los productores.

Encuesta productiva de alfalfa en el VIRCh						
numero:			fecha:			
a. Preparación de suelo:						
1 Cuando comienza con la preparación del lote?						
			1.otoño	2.primavera		
2 Que parámetros toma en cuenta para preparar?						
1.antecesor	2.nivelacion	3epoca	4.maquiaria	5.otra		
3 Cultivo antecesor para alfalfa?						
1.cpo natural	2.pastura	3.maiz	4.verdeo	5.alfalfa	6.otra	
4Ara con:	1.Reja	2.Cinzel	3.No	4.otra		
5 Rastra de discos:						
		1.pesada	2.Convencional			
6 Nivelación						
			7 Pendiente que utiliza			
1.si	2.no					
8 Rastrea nuevamente						
1.si			2.no			
9 Alguna otra labor posterior a la nivelación o previa no contemplada						
1.r.dientes	2.rolos	3.disco+diente	4.otra			
10 Realiza análisis de suelo						
1.si			2.no			
b. Siembra:						
1 Época de siembra: (mes)						
			2por que?	1.inicia mejor		
			2. menos malezas			
			3.otra			
3 Como evalúa la variedad a sembrar						
1.inf. Vended	2.inf. Tecnica	3.inf.propia	4.inf.product	5.otra		
4 Modalidad de siembra:						
1.Voleo		2.Líneas		5 Densidad utilizada?		
Distanciamiento entre líneas						
c. Cuidados culturales:						
1 Fertiliza						
1.si.	2 Con qué		1.18-46-0	3cuándo	1.siembra	4dosis
2.no	2.18-23-0		3.otro	2.prim/otoño	3.otra	
5 Controla malezas						
6 Con que		1.hoja ancha	7cuando	1.siembra	dosis	
1.si	2.no	2. graminea	3.combinado	4.otra	2.emerg.	3.otra
8 Repite las operaciones en algún otro momento						
1.si fertilizo	2.si malezas	3.si ambas	4.no			
9 Como riega						
1.manto		3.otra		4. no		
2.aspersión						
10 Cúantas veces						
11 por qué parámetro se guía para iniciar el riego			1.suelo			
1.2 e/ cortes	2. 3 e/cortes	3. demanda		2.cultivo		
12 Estima su producción						
13 Como			3.otra			
1.si	2.no	1.fardos	2.corte y peso	3.otra		
14 Determina el stand de plantas						
15 posee registro			16 cual es el promedio			

1.si	2.no		1.si	2.no		
17Cuantos años tiene los alfalfares en su chacra						
1.nuevos	2.+3	3.+5	4.+7	5.otra		
d. Corte:						
1Como determina cuando realizar el corte						
			1.floracion	2.rebrote	3.clima	4.otra
2Que maquinaria utiliza						
	1.segadora	2.platos	3maquinaria propia o contrata		1.si	2.no
3.corte altern	4.seg+acond	5.otra	controla el trabajo del contratista			
4En que horario lo realiza						
	1.mañana			1.si	2.no	
	2.todo el dia	3.indistinto				
5Calcula cuanto cortar por día						
		1.si	2.no			
6Que mantenimiento le realiza a la maquinaria antes de iniciar el corte						
1.engrase	2.engr+cuchilla	3.afilado	4.no	5.otra		
7lo repite siempre						
	1.si	2.a veces	3.no	4.otra		
8cual es su siguiente labor después del corte						
1.rastrillo	2.nada	3.enfardado				
e. Rastrillado:						
Cuando inicia el rastrillado						
1.final corte	2.día siguiente	3.cuando seca	4.no	5.otra		
Que tiene en cuenta para dar inicio al rastrillado						
1.humedad	2.nada	3.clima	4.otra			
Como lo realiza						
1. dos a 1	2.3 a 1	3.4 a 1	4.simple	5.otra		
Qué tipo de rastrillo posee						
1. de 3ptos	2.arrastre 4sol	3.arras.6soles	4.girosopico	5.otro		
f. Empacado:						
1maquinaria propia o contrata						
1.propia	2.contratada					
2Enfarda o enrolla						
1.fardo	2.rollo					
3Qué le parece mejor						
	4.por que?					
1.fardo	2.rollo	1.por venta	2.m.o.	3.ambas	4.otra	
5Estima perdidas por empaque?						
1.si	2.no					
6Cuando inicia el proceso final de empackado del heno						
1.cond.heno	2.díasde corte	3.otra				
7Cuantas unidades realiza por hora						
1. hsata 10	2. e/10 y 20	3. e/20 y 40	4.e/40 y 60	5.otra		
8Tiene en cuenta algún factor para dar inicio al proceso						
1.humedad	2.viento	3.hum y vient	4.horario	5.otra		
9Una vez finalizado, cuanto tiempo le lleva retirar las unidades del potrero						
1.2 dias	2.3 dias	3.+ de 3				

10 En general, desde que corta hasta que retira las unidades, cuanto tiempo le lleva el proceso?						
1.- de 5 dias	2.e/5 y 7 dias	3.e/7 y 10 dias	4. +10 dias			
11 Cuanto tiempo transcurre entre que retiro las unidades productivas y el riego?						
1.1 dia	2.hasta 5 dias	3.e/5 y 10 dias	4.+10dias			
12 cuantos cortes realiza por temporada?						
1.hasta 3	2.hasta 4	3. hasta 5				
13 Siempre igual o varia?			14 Por qué?			
1. igual	2.varia		1.clima	2.atraso	3.otra	
15 Los cortes sucesivos los inicia tomando en cuenta los mismos parámetros que el primero?						
1.si	2.a veces	3.no	4.otra			
16 El último corte llega completo?						
1.si	2.a veces	3.no				
17 Que lo hace?						
1.lo corto	2.lo dejo	3.lo pastoreo	4.otra			
18 Permite el ingreso de animales a pastorear en algún momento?						
1.si	2.a veces	3.no				
g. Estibado:						
1 Como y donde estiba las unidades productivas						
1.pila exterior	2.galpon	3.ext tapado	4.otra			
h. Calidad:						
1 Ha realizado análisis del producto terminado						
1.si	2.no	3.otra				
2 Como determina la calidad del producto que ha confeccionado						
1.visual	2.analisis	3.otra				
3 Lo ha mantenido siempre o varia en algún momento						
1.si	2.a veces	3.otra				
i. Comercialización:						
1 Que destino le da a su producción						
1.venta	2.venta y cons	3.canje	4.otra			
2 Entrega en la cooperativa						
1.si	2. aveces	3.no				
3 Cuantas unidades						
1.-1000	2.1000-3000	3.+3000	4.-100	5.100-300	6.+300	7.otra
Como es la unidad de venta						
1.fardo	2.rollo	3.kg	4.otra			

Apéndice 2. Tabla: Medias y desvío estándar de las muestras analizadas.

C	EF	N	FDN	FDA	LDA	CEN
1	1	8	48 ± 1,11	34,8 ± 0,95	5,73 ± 0,27	10 ± 0,24
1	2	8	47,54 ± 1,02	33,8 ± 0,79	5,67 ± 0,19	10,2 ± 0,17
1	3	8	48,36 ± 0,81	35,5 ± 0,74	5,88 ± 0,1	10,1 ± 0,33
1	4	8	50,97 ± 0,94	37,1 ± 0,79	6,35 ± 0,2	9,88 ± 0,31
1	5	8	53,04 ± 1,23	38,7 ± 0,97	7,22 ± 0,16	9,01 ± 0,44
2	1	8	48,34 ± 1,16	34,6 ± 1,05	5,63 ± 0,17	10,2 ± 0,27
2	2	8	47,98 ± 0,67	34,4 ± 0,38	5,65 ± 0,1	10,4 ± 0,37
2	3	7	48,93 ± 1,08	34,5 ± 1,06	5,87 ± 0,17	10,3 ± 0,3
2	4	8	49,62 ± 0,87	35,3 ± 0,74	6,22 ± 0,16	9,26 ± 0,14
2	5	8	52,89 ± 0,71	38,7 ± 0,57	7,01 ± 0,14	8,65 ± 0,29
3	1	8	48,07 ± 1,63	33,5 ± 1,11	5,88 ± 0,26	10,6 ± 0,41
3	2	8	48,02 ± 1,05	34 ± 0,7	5,89 ± 0,13	10,7 ± 0,38
3	3	8	50,99 ± 1,81	36,4 ± 1,15	6,4 ± 0,24	10,6 ± 0,65
3	4	8	51,09 ± 1,39	37 ± 1,25	6,48 ± 0,26	9,49 ± 0,25
3	5	8	53,25 ± 0,93	39,2 ± 0,74	6,91 ± 0,24	9,89 ± 0,36
4	1	7	46,04 ± 0,86	32,1 ± 0,69	5,64 ± 0,15	11,5 ± 0,21
4	2	5	48,92 ± 1,02	34,8 ± 1,35	6,37 ± 0,22	12,4 ± 0,3
4	3	5	51,27 ± 0,73	37,3 ± 0,7	6,54 ± 0,16	12,6 ± 0,31