



**Universidad
Zaragoza**



TRABAJO FIN DE MÁSTER

Evaluación agronómica de 9 variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Agronomic evaluation of 9 varieties of lucerne (*Medicago sativa* L.)

Autor:

Daniel Rodellar Pico

Director:

Joaquín Aibar Lete

Máster en Ingeniería Agronómica

Escuela Politécnica Superior de Huesca

Universidad de Zaragoza

Huesca, 2019

AGRADECIMIENTOS

A Joaquín Aibar, profesor de la Escuela Politécnica Superior de Huesca (EPSH) en el área de Producción Vegetal, por su excelente labor como director de este proyecto y por estar siempre disponible en cuanto a resolver dudas como para mostrar su ayuda y apoyo. Además del resto de profesores de la EPSH, que me han formado en mis estudios del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural y en el Máster en Ingeniería Agronómica.

A MAS Seeds Iberia por dejarme formar parte de este proyecto y facilitarme en todo lo posible la realización del mismo. En especial a David Roca con el que he estado más tiempo, delegado comercial de la alfalfa en la zona, por transmitirme sus conocimientos y profesionalidad, tanto de la alfalfa como de la vida, ya que en la toma de datos nos dio tiempo a todo. También a Juan Diego Cuenca, director comercial de MAS Seeds Iberia, por su ayuda y gestión de este proyecto.

A la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), por facilitarnos en el Centro Agronómico de La Melusa una parcela donde poder llevar a cabo el ensayo. Destacando a Carlos Pérez, el jefe de servicio técnico, por la organización y dirección de todo lo necesario en el ensayo. También a José María Moreno, encargado en La Melusa, por estar a pie de campo y ayudarnos en todo lo posible con su experiencia en el cultivo de la alfalfa y, con materiales y herramientas adecuados para que el ensayo se llevara a cabo con éxito.

A mi novia Ana, por mostrarme su apoyo incondicional, animarme en los momentos que más lo necesitaba y su tremenda paciencia. Además, ha sido una pieza clave en la ejecución de este proyecto, ya que me ha ayudado de manera desinteresada a tomar datos en campo incluso en los momentos con condiciones climáticas adversas.

A mi familia, mis padres y mi hermana, que me han apoyado y animado para llevar a cabo este proyecto de la mejor manera posible.

RESUMEN

En la campaña 2019, de la mano de la empresa MAS Seeds Iberia, la Confederación Hidrográfica del Ebro y la Escuela Politécnica Superior de Huesca, se ha llevado a cabo un ensayo de 9 variedades de alfalfa.

La finalidad de realizar este trabajo es comparar las variedades de alfalfa con un novedoso recubrimiento en la semilla desarrollado por MAS Seeds, con otras variedades convencionales. Este recubrimiento proporciona una mejor implantación del cultivo de la alfalfa en las primeras fases y, además, aumenta la producción y la cantidad de proteína.

El ensayo se ubica en el Centro agronómico de La Melusa (CHE), donde se proporcionó una parcela de riego fijo por aspersión, donde se sembraron las 9 variedades, dispuestas aleatoriamente en 3 repeticiones en microparcels de unos 6 m².

MAS Seeds Iberia proporcionó la semilla de las variedades de alfalfa que quería implantar para el ensayo, comerciales, en fase de desarrollo y testigo. Por motivos de confidencialidad a cada variedad se la ha asignado una letra de la A-I.

En el ensayo se evaluaron los parámetros de altura de planta, clorofila, producción, proteína, humedad y materia seca. Estos datos se recogieron para cada corte, con un total de 4 cortes. Además, en el momento de la nascencia se tomó el dato de la densidad de plantas por metro cuadrado.

Tras la recogida de datos se ha realizado un análisis estadístico, donde se ha comprobado la normalidad de los datos recogidos y seguidamente se ha realizado un análisis de la varianza (Anova) para comprobar si existen diferencias significativas entre las variedades.

Los resultados obtenidos se han representado de manera gráfica en función de cada variedad y corte, para poder discutir los resultados a simple vista.

En cuanto a las conclusiones que se han obtenido, podemos decir que no se aprecian diferencias significativas entre las variedades. Esto es posiblemente debido a que es el primer año y solo se ha hecho el estudio de un año. Lo correcto sería estudiar los años siguientes para ver si se pueden extraer conclusiones claras.

ABSTRACT

In the 2019 campaign, together with the MAS Seeds Iberian company, the Ebro Hydrographic Confederation and the Huesca Polytechnic School, a trial of 9 alfalfa varieties has been carried out.

The purpose of this work is to compare alfalfa varieties with a novel seed coating developed by MAS Seeds, with other conventional varieties. This coating provides better implantation of alfalfa cultivation in the early stages and also increases the production and quantity of protein.

The trial is located in the Agronomic Center of La Melusa (CHE), where a fixed sprinkler irrigation plot was provided, where the 9 varieties were planted, randomly arranged in 3 repetitions in micro-plots of about 6 m².

MAS Seeds provided the seed of the alfalfa varieties that he wanted to implant for the trial, commercial, under development and witness. For reasons of confidentiality, each variety has been assigned an A-I letter.

In the test the parameters of plant height, chlorophyll, production, protein, moisture and dry matter were evaluated. These data were collected for each cut, with a total of 4 cuts. In addition, at the time of nascence, the plant density data per square meter was taken.

After the data collection, a statistical analysis has been carried out, where the normality of the data collected has been checked and then an analysis of the variance (Anova) has been carried out to check if there are significant differences between the varieties.

The results obtained have been represented graphically according to each variety and cut, in order to discuss the results with the naked eye.

Regarding the conclusions that have been obtained, we can say that there are no significant differences between the varieties. This is possibly because it is the first year and only one year study has been done. The right thing would be to study the following years to see if clear conclusions can be drawn

AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	III
INDICE GENERAL.....	IV
INDICE DE TABLAS.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VII

INDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN	13
1.1 EL CULTIVO DE LA ALFALFA	13
1.1.1 ORIGEN	13
1.1.2 ESTADÍSTICAS DEL CULTIVO	13
1.1.3 INTERÉS AGRONÓMICO	14
1.1.4 VALOR NUTRITIVO.....	14
1.1.5 LA ALFALFA EN ESPAÑA.....	17
1.1.6 LA ALFALFA EN ARAGÓN	21
1.1.7 CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS	25
1.1.8 PRODUCCIÓN Y MANEJO.....	26
1.1.9 CALIDAD DEL FORRAJE	31
1.1.10 PARTICULARIDADES DEL CULTIVO	33
1.1.11 REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS	35
1.1.12 PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	37
2 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	44
2.1 ANTECEDENTES	44
2.2 OBJETIVOS.....	44
3 MATERIAL Y MÉTODOS.....	48
3.1 EMPLAZAMIENTO DEL ENSAYO.....	49
3.2 ANÁLISIS DE SUELOS.....	51
3.3 METEOROLOGÍA.....	52
3.3.1 TEMPERATURA	52
3.3.2 PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACION	53
3.4 AGUA DE RIEGO.....	54
3.4.1 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS	55

3.5	FERTILIZACIÓN.....	56
3.6	TRABAJO REALIZADO EN LAS PARCELAS	57
3.6.1	DISEÑO DE PARCELAS.....	57
3.6.2	SIEMBRA DE LAS PARCELAS.....	58
3.6.3	TOMA DE DATOS	60
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
4.1	DENSIDAD DE PLANTAS.....	69
4.2	ALTURA DE LA PLANTA.....	70
4.3	CLOROFILA.....	73
4.4	PRODUCCIÓN	76
4.5	PROTEÍNA	80
4.6	HUMEDAD	84
4.7	MATERIA SECA.....	87
5	CONCLUSIONES	93
6	BIBLIORAFÍA	97
7	ANEJOS.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Superficie de cultivo de alfalfa en países mediterráneos.....	12
Tabla 2: Composición de la materia seca (Bolton, 1962)	13
Tabla 3: Contenido proteico de la alfalfa deshidratada (Journet, 1993)	13
Tabla 4: Producción por comunidades en España (AEFA,2019	17
Tabla 5: Superficie total de plantas forrajeras en España (MAPA, 2018)	17
Tabla 6: Superficie de cultivo (ha) de alfalfa por comunidades en España (MAPA, 2018)	18
Tabla7: Superficie de plantas forrajeras en Aragón (MAPA, 2018)	21
Tabla 8: Distribución de forrajeras por provincias en Aragón (MAPA, 2018)	22
Tabla 9: Calidad de hojas y tallos de la alfalfa Aragón (CITA, 2005)	29
Tabla 10: Variación de la calidad del forraje según el estado fenológico (CITA, 2005)	29
Tabla 11: Reducción de las necesidades de N después de un cultivo de alfalfa o soja (Power, 1990)	31
Tabla 12: Relación hojas/tallos según el nº de corte (CITA, 2005)	32
Tabla 13: Valor nutritivo de la alfalfa (CITA, 2005)	35
Tabla 14: Variedades del ensayo	41
Tabla 15: Temperaturas mensuales año agrícola 2018-2019 (CHE, 2019)	45
Tabla 16: Precipitación y evapotranspiración año agrícola 2018-2019 (CHE, 2019)	46
Tabla 17: Lectura del contador de agua del ensayo	47
Tabla 18: Análisis fisicoquímico del agua de riego del CAYC (CHE, 2019)	48
Tabla 19: Asociación de números a variedades en el ensayo	50
Tabla 20: Distribución de las variedades en el ensayo	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Parcelas del ensayo de variedades de alfalfa	13
Figura 2: Remolques autocargadores de alfalfa (Capistros, 2017)	19
Figura 3: Flor de la alfalfa (Universidad de Navarra, 2019)	23
Figura 4: Segadora autopropulsada (Capistros, 2017)	24
Figura 1: Influencia del tipo de segadora utilizada (Drillaud, 2016)	28
Figura 2: Valor del forraje según el tipo de segado (Drillaud,2016)	28
Figura 3: Semillas con recubrimiento (MAS Seeds, 2019)	34
Figura 4: Franja sin cortar para control biológico (Delgado <i>et al</i> , 2015)	36
Figura 9: Ubicación provincia de Huesca en la península Ibérica	42
Figura 10: Comarcas provincia de Huesca	42
Figura 11: Emplazamiento finca La Melusa	43
Figura 12: Ortofoto de la parcela del ensayo (SIGPAC, 2019)	43
Figura 13: Temperaturas mensuales año agrícola 2018-2019	46
Figura 14: Precipitaciones y Evapotranspiraciones mensuales año agrícola 2018-2019	47
Figura 15: Sobres enumerados para siembra	51
Figura 16: Botas sembradora experimental	52
Figura 17: Sembradora experimental	52
Figura 18: Operario introduciendo los sobres con la semilla	52
Figura 19: Marco de 0,2m ²	53
Figura 20: Medida de altura de alfalfa	53
Figura 21: Konica Minolta SPAD 502 para medir clorofila	54
Figura 22: Recogida de muestras con el marco de 0.2m ²	55
Figura 23: Desechado de las muestras en la estufa de la ESPH	55
Figura 24: AgriNIR	56
Figura 25: Introducción de la alfalfa en la cubeta de medida	56
Figura 26: Cubeta de medida preparada para la medición	57
Figura 27: Muestras de alfalfa para el análisis de laboratorio	57
Figura 28: Ticket de resultados del AgriNIR	58

Figura 29: Densidad de plantas/m ²	61
Figura 30: Altura de la planta (cm), corte 1	62
Figura 31: Altura de la planta (cm), corte 2	63
Figura 32: Altura de la planta (cm), corte 3	64
Figura 33: Altura de la planta (cm), corte 4	64
Figura 34: Clorofila corte 2	65
Figura 35: Clorofila corte 3	66
Figura 36: Clorofila corte 4	67
Figura 37: Clorofila total	67
Figura 38: Producción corte 1	68
Figura 39: Producción corte 2	69
Figura 40: Producción corte 3	69
Figura 41: Producción corte 4	70
Figura 41: Producción total	70
Figura 43: Proteína corte 1	71
Figura 44: Proteína corte 2	72
Figura 45: Proteína corte 3	73
Figura 46: Proteína corte 4	73
Figura 47: Proteína acumulada total	74
Figura 48: Proteína por metro cuadrado total	74
Figura 49: Humedad corte 1	75
Figura 50: Humedad corte 2	76
Figura 51: Humedad corte 3	77
Figura 52: Humedad corte 4	77
Figura 53: Humedad acumulada total	78
Figura 24: Materia seca corte 1	79
Figura 55: Materia seca corte 2	80
Figura 56: Materia seca corte 3	81
Figura 57: Materia seca corte 4	81
Figura 58: Materia seca acumulada total	

1- INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

1.1 EL CULTIVO DE LA ALFALFA

1.1.1 ORIGEN

La alfalfa tiene su área de origen en Asia Menor y sur del Cáucaso, abarcando países como Turquía, Irak, Irán, Siria, Afganistán y Pakistán.

Los persas introdujeron la alfalfa en Grecia y de ahí pasó a Italia en el siglo IV a. C, los cuales la utilizaban como alimento para los caballos.

Además, existen escritos romanos que relatan la gran importancia de este cultivo para mantener a sus animales, sin embargo, al caer el imperio romano su cultivo desapareció en Europa.

A España llegó por manos de Junio Moderato Columela, primer agrónomo español (de Cádiz), que la trajo en el siglo I d.C. desde lo que es hoy la actual Italia

Pero la gran difusión de nuevo de su cultivo fue llevada a cabo por los árabes a través del norte de África en el siglo VIII d.C., los cuales ya la bautizaron como “al-fac-facah”, lo que significa “la madre de todos los alimentos”, llegando primero al sur de España desde donde se extendió al resto de la península y a toda Europa (Bouton, 2001).

1.1.2 ESTADÍSTICAS DEL CULTIVO

Se trata de un cultivo muy extendido en los países de clima templado, cuyo principal objetivo es servir de alimento para la ganadería intensiva. Es la que ha demandado de forma regular los alimentos que ha tenido que proveer la industria, dando lugar al cultivo de la alfalfa, cuya finalidad es abastecer a la industria de piensos.

La importancia del cultivo de la alfalfa va desde su interés como fuente natural de proteínas, fibra, vitaminas y minerales; así como su contribución paisajística y su utilidad como cultivo conservacionista de la fauna. Además de la importante reducción energética que supone la fijación simbiótica del nitrógeno para el propio cultivo y para los siguientes en las rotaciones de las que forma parte.

Por ser una especie pratense y perenne, su cultivo aporta elementos de interés como limitador y reductor de la erosión y de ciertas plagas y enfermedades de los cultivos que le siguen en la rotación (Cadena y Clavijo, 2011).

En la tabla 1 se muestra la superficie (miles de hectáreas) y las condiciones de cultivo de la alfalfa en los países mediterráneos:

Tabla 1: Superficie de cultivo de alfalfa en países mediterráneos

País	Superficie (miles de ha)	Condiciones de cultivo
Francia	1500	Secano principalmente
Italia	2000	Secano o regadío eventual
España	329	Dos tercios regadío y un tercio secano
Grecia	180	Regadío fundamentalmente
Turquía	74	Principalmente regadío; en secano en las montañas
Argelia	6	Secano y regadío
Israel	3	Regadío

1.1.3 INTERÉS AGRONÓMICO

La alfalfa está considerada la reina de las forrajeras por su capacidad productiva y adaptación al medio. Actualmente se cultivan 32 millones de hectáreas en el mundo, desde Finlandia hasta Sudáfrica, destacando por países: Estados Unidos con el 32,7% de la superficie, Argentina con el 23,4%, Rusia con el 10,5% y Canadá con el 7,9%. España cultiva el 1,0% de la superficie mundial (Michaud *et al.*, 1988).

La principal cualidad de la alfalfa es su alta capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico, de hasta 463 kg por hectárea y año. El nitrógeno es un elemento esencial para la vida. Este elemento es muy abundante en la atmósfera y en las rocas, pero apenas se encuentra accesible para la mayoría de los seres vivos. Sólo algunos microorganismos son capaces de transformar el nitrógeno atmosférico o mineral en orgánico facilitando, así, su utilización por el resto de los seres vivos. Estos microorganismos se desarrollan en las raíces de las leguminosas, entre las que se encuentra la alfalfa; fijan el nitrógeno atmosférico para su propio crecimiento y después la alfalfa lo asimila. El nitrógeno atmosférico pasa posteriormente al resto de los organismos vivos cuando se consume el forraje o es absorbido por el siguiente cultivo (Vance *et al.*, 1988).

1.1.4 VALOR NUTRITIVO

La alfalfa es posiblemente, también, la planta forrajera con mayor aplicación en la producción animal. Se la considera como uno de los forrajes más completos, desde el punto de vista nutritivo, en la alimentación de los rumiantes.

La calidad de la alfalfa no solamente varía según el estado fenológico en el momento del corte, sino que también está muy influenciado por los métodos de conservación y las inclemencias meteorológicas en el momento del secado. Cabe recordar, así mismo, los altos niveles de b-carotenos y xantófilas que proporciona la alfalfa. Respecto a los b-carotenos, precursores de la vitamina A, tienen una clara influencia en la reproducción de los bovinos, mientras que las xantófilas se han utilizado ampliamente en nutrición aviar (Journet, 1992).

En la Tabla 2 se muestra la composición de la materia seca de hojas y tallos de la alfalfa (Bolton, 62).

Tabla 2: Composición de la materia seca (Bolton, 1962)

%	Hojas	Tallos
Proteína bruta	24	10.7
Grasa bruta	3.1	1.3
Extracto no nitrogenado	45.8	37.3
Fibra bruta	16.4	44.4
Cenizas	10.7	6.3

Se muestra el contenido proteico y valor energético de la alfalfa deshidratada en la Tabla 3 (Journet, 93).

Tabla 3: Contenido proteico de la alfalfa deshidratada (Journet, 1993)

% PB (s.s.s.)	UFL (/kg ms)	UFV (/kg ms)
17	0.75	0.64
19	0.81	0.71
21	0.88	0.79
23	0.95	0.87
25	1.02	0.96

PB (s.s.s.): Proteína bruta sobre la sustancia seca.

UFL: Energía neta para lactación.

UFV: Energía neta para la producción de carne.

La fracción de mayor interés del forraje es la proteína bruta. Esta fracción nitrogenada incluye, no obstante, sustancias de muy diversas características, ya que hasta un 30% de la fracción se considera no proteica, aunque puede ser utilizada por los rumiantes gracias a las transformaciones que dichas sustancias sufren en la panza de los animales.

La parte proteica de la alfalfa es altamente soluble, de ahí que sea posible también su utilización por los monogástricos. Esta parte puede ser fraccionada fácilmente por la flora ruminal de los rumiantes, llevándola hasta formas amoniacales, que son directamente eliminadas por la orina, sin ser entonces aprovechadas por el animal.

El forraje de alfalfa, en la Figura 1 podemos ver el de nuestro ensayo, contiene también abundante fibra, especialmente en los tallos, cuya importancia es cada vez mayor en la alimentación de los rumiantes, y es relativamente pobre en energía.



Figura 1: Parcelas del ensayo de variedades de alfalfa

En cuanto al valor nutritivo, la alfalfa está considerada como una excelente especie forrajera ya que proporciona elevados niveles de proteínas, minerales y vitaminas de calidad (Klopfenstein, 1991; Garrett, 1994). Una ración sobre la base de alfalfa satisfaría plenamente las necesidades nutritivas del ganado en minerales.

Sin embargo, hay que tener presente que una gran parte de su proteína es fácilmente degradable en el rumen, como son: Los carotenos, que son la provitamina de la vitamina A, se encuentran en todos los forrajes verdes y muy particularmente en el de alfalfa. El ácido ascórbico o vitamina C también está presente en proporciones no despreciables. Dificultando el cálculo de la ración e impidiendo satisfacer totalmente las necesidades proteicas de los rumiantes de alta producción, que requieren importantes aportes de proteína digestible en el intestino delgado (proteína 'by-pass') (Cherney, 1995). Sin embargo, el tipo y niveles de proteína puede valer para rumiantes con menores necesidades (Klopfenstein, 1991; Garrett, 1994)

Por otro lado, los niveles de proteína 'by-pass' (vitamina D o factor antirraquítico) de la alfalfa pueden, sin embargo, incrementarse fácilmente mediante procesos térmicos como el deshidratado, que permiten reducir el nivel de degradabilidad ruminal de su proteína e incrementar su valor nutritivo para rumiantes de alta producción. Hay que tener presente que la proteína 'bypass' es el tipo de proteína más cara y que se suele proporcionar mediante suplementos proteicos tales como: torta de soja, harina de carne, harina de pescado, etc. (Klopfenstein, 1991). Teniendo presente este tipo de suplementación, la alfalfa de alta calidad, con niveles de proteína, entre el 19 y el 24% y con valores de fibra neutro detergente (FND) entre el 38 y el 42%, pueden utilizarse también en animales con altas producciones (Undersander *et al.*, 1993).

La alfalfa merced a su elevada ingestibilidad, al pasar través del rumen con mayor rapidez que otros forrajes, sobre todo en estado vegetativo, aumenta la apetencia en los rumiantes, con lo que equilibra, al menos parcialmente su pobre nivel de energía (Garrett, 1994).

Asimismo, la alfalfa es muy rica en vitamina E, la cual está relacionada, principalmente, con los procesos de reproducción.

1.1.5 LA ALFALFA EN ESPAÑA

Las leguminosas forrajeras han formado parte siempre de las hojas de cultivo en las alternativas agrícolas, tanto las anuales (veza, haba) como las plurianuales (alfalfa sobre todo). La rotación de los cultivos entre los que se encuentra una leguminosa forrajera se ha mostrado siempre eficaz en sus diferentes aspectos medioambientales: conservación del suelo y lucha contra la erosión, conservación de los recursos hídricos, reducción de labores de cultivo, sustento de ecosistemas, lucha biológica contra plagas y enfermedades, disminución de la fertilización nitrogenada en el propio cultivo (si se trata de alfalfa) y en el siguiente en la rotación y el efecto de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), incremento de la materia orgánica en el suelo y su consiguiente efecto sumidero de carbono, y su positivo efecto paisajístico en las especies vivaces (territorio verde todo el año, durante varios años). Todos estos efectos positivos constituyen un abundante y rico paquete de bienes públicos medio ambientales.

El cultivo de la alfalfa ligado a la transformación como instrumento para distribuir en el tiempo una producción estacional, genera un considerable valor añadido al entorno rural donde se encuentra por el arraigo del binomio cultivo-industria.

Las leguminosas forrajeras (y en especial la alfalfa) contribuyen eficazmente a paliar el déficit de proteína vegetal para alimentación animal de la cabaña española y europea (MAPA, 2019).

1.1.5.1 DIMENSIÓN ECONÓMICA

Las plantas forrajeras (en concreto alfalfa y veza) aportaron en 2013, según datos del Anuario de Estadística del MAPA, aproximadamente el 1,1% de la Producción Rama Agraria (PRA) y el 1,8% a la Producción Rama Vegetal (PRV) en España.

Siguiendo las mismas fuentes, en 2013 el valor de la producción de alfalfa ascendió a 418 millones de euros para 10,8 millones de toneladas de alfalfa fresca. Además, el valor de la producción de 1,4 millones de toneladas de veza forrajera producida en verde fue de 48 millones de euros (MAPA, 2019).

1.1.5.2 PRODUCCIÓN, SUPERFICIE Y EXPLOTACIONES.

Producción primaria: Según el último Anuario de Estadística Agraria del MAPA del año 2014 (datos 2013), en España la producción se ha elevado a 21.434.700 t de forraje en verde, de las que el 50,4 % ha sido alfalfa, el 20,4 % maíz forrajero y el 6,7 % veza forrajera. El 35,2% de esa producción se transforma en forraje desecado, se henifica el 29,6%, para ensilado se destina el 24,8%, y el 10,4% restante se consume en verde.

Producción industrial: En España la alfalfa sigue siendo la especie mayoritaria. De hecho, en las campañas 2012/13 a 2015/16, la alfalfa representa entre el 85% en 2012/13 y 2013/14, y el 90% en 2014/15 y 2015/16 de la superficie contratada. Según datos de la Asociación Española de Fabricantes de Alfalfa Deshidratada (AEFA), se estima que la producción de transformados (deshidratados y secados de otra forma y molidos) en la campaña 2015/2016 sea de 1.486.687 toneladas. En 2015/16 la producción ha descendido un 14,2% con respecto a 2009/10 (1.732.000 t.). Cabe recordar que la campaña 2015/2016 es la 4ª con la ayuda totalmente desacoplada.

Según datos del Anuario de Estadística Agraria del MAPA del año 2014 (datos del año 2013), en España se han cultivado 801.062 hectáreas de forrajeras. Según datos de la AEFA, del total de superficie cultivada en la campaña 2015/16, se han destinado a transformación 130.736 hectáreas, de las que el 90% corresponde a alfalfa.

España es la primera productora de la UE. Desde la campaña 1996/97 que sobrepasó a Francia, ha sido un continuo crecer hasta la última campaña antes del desacoplamiento total del proceso transformador (2011/12). Entre las campañas 2008/09 a 2014/15 la producción española representa entre el 42% y el 50% (en 2013/14), sobre el total de la UE, seguido de Francia, Italia, Alemania y Países Bajos.

En la campaña 2011/12 la UE, con 4.483.252 t de forrajes transformados, aumenta su producción un 10,5% respecto de la anterior. Sin embargo, en 2014/15 desciende hasta 3.173.150 t. lo que supone un descenso del 29,2%, respecto a la campaña 2011/12 (MAPA, 2019).

1.1.5.3 CAMPAÑA 2018/2019 EN ESPAÑA

El pasado 31 de marzo de 2019 se dio por finalizada la campaña oficial de la alfalfa deshidratada 2018/19.

A continuación, se detallan los datos más importantes obtenidos por AEFA, Asociación Española de Fabricantes de Alfalfa Deshidratada. Esta campaña se ha cerrado con una producción de forrajes deshidratados de 1.352.505 toneladas, que representa un descenso en la producción de un 7% en comparación con la 2017/18.

En casi todas las CC.AA. la producción ha disminuido, con un significativo descenso en las industrias de Cataluña y Aragón, con unas caídas del 16 y 14 % respectivamente. Andalucía con un -9 % y Navarra con una bajada del 8% confirman el descenso de la producción en esta campaña 2018/19.

En el lado positivo, Castilla y León ha recuperado unas cifras de producción muy interesantes y crece un 105% respecto a la última campaña, lo que ha ayudado a paliar el descenso en el global del sector.

El sector ha destinado el 78% de la producción al formato paca, quedando el 22% restante para granulado.

Si nos fijamos en el plano comercial, la exportación sigue siendo el motor de las ventas, con un porcentaje superior al 78% del total de producción.

El mercado interior sigue atravesando un momento complicado y reduce su peso al 22% de la producción del sector. En la Tabla 4 de la siguiente página se muestra la producción por comunidades en España (AEFA, 2019).

Tabla 4: Producción por comunidades en España (AEFA, 2019)

CCAA	SUPERFICIE (HA)			PRODUCCIÓN (Tn)
	REGADIO	SECANO	TOTAL	2018/2019
ANDALUCIA	2947	200	3147	69917
ARAGON	53125	743	53888	715151
BALEARES	150	-	150	1500
CASTILLA LA MANCHA	5635	-	5685	59286
CASTILLA Y LEON	8203	11235	19438	157215
CATALUÑA	21466	300	21766	281009
EXTREMADURA	410	-	410	6000
NAVARRA	4316	-	4316	63427
TOTAL ESPAÑA	96302	12478	108780	1352505

1.1.5.4 SUPERFICIE TOTAL DE PLANTAS FORRAJERAS EN ESPAÑA

En la Tabla 5 podemos ver el amplio grupo de plantas forrajeras que se cultivan en España, así como su distribución tanto en secano como en regadío y la superficie total que ocupan cada una de ellas.

Tabla 5: Superficie total de plantas forrajeras en España (MAPA, 2018)

Cultivo	Secano (ha)	Regadío (ha)	Total (ha)
MAIZ FORRAJERO	80.655	9.995	90.650
ALFALFA	94.406	159.844	254.250
VEZA (veza+avena) PARA FORRAJE	41.113	4.096	45.209
OTROS FORRAJES (CEREAL INV, SORGO, TREBOL)	275.447	30.666	306.114
PRADERAS POLIFITAS	188.871	40.447	229.318
NABO FORRAJERO	136		136
REMOLACHA FORRAJERA	374	393	767
COLES Y BERZAS FORRAJERAS	1.990	597	2.586
OTRAS PLANTAS DE ESCARDA FORRAJERA	310	182	492
TOTAL FORRAJERAS	683.303	246.220	929.522

1.1.5.5 SUPERFICIE DE CULTIVO DE ALFALFA POR COMUNIDADES EN ESPAÑA

Aragón, Castilla y León, Galicia, Cataluña, Andalucía, Castilla-la Mancha y Baleares compendian el 86,8% en secano y 90,2% de la superficie en regadío.

En la Tabla 6, podemos observar cómo se distribuye la superficie de cultivo de alfalfa, en hectáreas, que se cultiva en las diferentes comunidades españolas, así como en un periodo de años que va desde el año 2012 al 2018.

Tabla 6: Superficie de cultivo (ha) de alfalfa por comunidades en España (MAPA, 2018).

CCAA	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CASTILLA Y LEON	88.137	84.966	86.201	93.372	97.999	98.055	98.465
MADRID	1.551	708	1.146	1.493	1.729	1.676	2.051
CATILLA LA MANCHA	10.142	11.124	15.327	14.301	14.657	13.082	13.678
ANDALUCIA	11.608	10.246	11.660	14.137	14.314	14.152	12.026
ARAGON	99.079	97.031	92.199	91.425	90.484	87.829	82.130
EXTREMADURA	2.620	2.192	2.796	2.874	2.729	2.844	2.646
LA RIOJA	470	958	1.024	2.818	1.473	1.187	979
C.VALENCIANA	2.871	2.286	3.049	3.436	3.054	3.239	3.261
MURCIA	356	518	641	591	350	506	411
GALICIA	54	64	62	65	71	83	102
NAVARRA	10.004	8.258	7.585	7.660	7.045	6.560	5.944
BALEARES	780	678	652	518	686	248	68
CATALUÑA	34.035	30.508	32.017	31.867	31.649	32.353	31.648
CANARIAS	3	42	54				
ASTURIAS	13	8	8	12	8	8	
CANTABRIA	133	123	46	167	225	150	213
PAIS VASCO	189	144	101	7	7	8	8
TOTAL ESPAÑA	262.047	249.855	254.577	264.743	266.481	261.978	254.250

1.1.5.6 VARIEDADES CULTIVADAS EN ESPAÑA

El empleo de variedades adaptadas a la zona de cultivo es esencial para el desarrollo y la productividad del alfalar. La elección de la variedad dependerá fundamentalmente del acoplamiento de su precocidad y ciclo vegetativo a las condiciones climáticas del lugar, siendo, por ello, que la variedad más comúnmente utilizada en el Valle Medio del Ebro es 'Aragón'. No obstante, la tendencia actual hacia la intensificación del cultivo, con la utilización de variedades más precoces, y hacia la producción por calidad ha motivado a las empresas de semillas a la búsqueda de nuevas variedades más interesantes. Son escasos los ensayos llevados a cabo hasta la fecha en España que estudien en nuestro medio el comportamiento de las diferentes variedades del mercado en cuanto a calidad y su optimización, en función del ritmo de crecimiento propio de la variedad (Delgado *et al*, 2005).

El estado de la floración en el momento del corte junto a la elección de la variedad es el factor más importante de la productividad de la alfalfa, ya que afecta directamente a la

producción, a la calidad y a la persistencia del cultivo. En general, para lograr una mayor calidad del forraje se adelanta la fecha de corte dando lugar a la pérdida de biomasa y a un aumento de la mortalidad de las plantas. El óptimo de la relación calidad/cantidad de forraje se alcanza con el 10% de los tallos floridos, aunque el óptimo de calidad sin pérdida de persistencia se alcanza cuando el cultivo presenta el 50% de las plantas floridas (Rotili *et al.*, 1996). Pero ello no siempre se cumple y recientes estudios muestran que hay plantas que permiten adelantar el corte sin pérdida de persistencia.

Por tanto, una forma de mejorar la calidad es utilizar variedades que permitan adelantar el corte (Rotili *et al.*, 1989). Por otra parte, la industria deshidratadora puede requerir la siembra de variedades que presenten un mayor alargamiento del ciclo productivo, con el fin de facilitar y rentabilizar los procesos industriales.

El incremento del interés de este cultivo implicado que aumente la superficie sembrada y, por lo tanto, hace más atractiva la introducción de nuevas variedades de alfalfa. En la actualidad hay inscritas 23 variedades en el Registro del Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero, las cuales son las siguientes y comercializadas en España: (MAPA, 2019)

Alfamed, Almar, Altiva, Ampurdán, Antares, Aragón, Baraka, Campera, Capitana, Castilla, Diablo Verde, Gilboa, Melissa, Nogara, San Isidro, Sprinter, Sutter, Tierra de Campos, Verdal, Verdor y Victoria. (MAPA, 2019)

A estas variedades comerciales hay que añadirles dos variedades protegidas que son Almar y Castilla.

1.1.6 LA ALFALFA EN ARAGÓN

En Aragón se trata de un cultivo con tradición debido a que se puede afirmar que lleva en la comunidad más de doce siglos. Debido a ello y a las características del suelo y a las condiciones climáticas que tenemos, hacen que la cuenca del Ebro sea una zona de cultivo ideal para la alfalfa. Así se ha creado un ecotipo propio llamado Aragón que se adapta perfectamente a su lugar de origen y a muchas otras zonas de la península ibérica. Tanto es así, que se puede afirmar que el 90% de la alfalfa que se siembra en España pertenece al ecotipo Aragón.

Fue en el siglo VIII con la dominación árabe cuando se implantó por primera vez la alfalfa en Zaragoza y su entorno. Desde entonces siempre se ha mantenido su cultivo pudiendo decirse que no hay agricultor que en uno u otro momento no la haya cultivado y ganadero del norte que no conozca pueblos o zonas de nuestra región que llevaron fama por su calidad (Capistros, 2017).

Podemos ver una estampa típica del campo aragonés, en la Figura 2, donde los tractores recogen la alfalfa, previamente cortada en el campo, con unos remolques autocargadores para llevarla a la industria deshidratadora.



Figura 2: Remolques autocargadores de alfalfa (Capistros, 2017)

La importancia del cultivo no ha sido casual, sino que ha venido de la mano de ser Aragón una región privilegiada para el mismo, ya que:

- a) La mayoría de las tierras de regadío disponen de pH básico, que necesita la alfalfa
- b) Estamos en una zona árida y de muy baja pluviometría en los meses de verano
- c) Contamos con alta disponibilidad de agua para el riego, basada en nuestra red de embalses y canales.

Acercándonos en el tiempo, fue en 1986 cuando con la entrada de España en la CEE dispusimos de una ayuda para incentivar la producción de alfalfa deshidratada, y tratar de reducir las importaciones de soja. Este apoyo dio un fuerte impulso al sector, pues muchas industrias de la deshidratación se instalaron en nuestra región buscando la cercanía de un cultivo fuertemente implantado.

Con todo ello, si el cultivo de la alfalfa y su calidad aquí tenían un plus, éste se reafirmó con la existencia de una potente industria de la deshidratación, que ha hecho que se convierta en un cultivo industrial, donde el 90% se vende a la industria; y se haya puesto en valor el cultivo, al crearse la posibilidad de ser exportado a muchos países, algunos tan lejanos como China, Japón y Corea del Sur. (Capistros, 2017).

La superficie de alfalfa en regadío ha llegado a ser de casi 100.000 has (25% de nuestros regadíos) y actualmente existen en actividad 34 industrias deshidratadoras de alfalfa (instaladas en el entono del río Ebro y Gállego y de los grandes sistemas de regadío: Canal de Bardenas, Canal de Monegros y Canal de Aragón y Cataluña) que con producción anual cercana a los 900.000t, supera la producción de Francia, segundo país tras España en la UE. Aragón, con su producción de deshidratados desde hace años, representa el 55% de la producción española.

Desde otro plano, y en un tema hoy tan en boga, también es un privilegio de nuestra región el disponer de este cultivo, ya que se considera que en el plano medioambiental no hay otro cultivo extensivo con tantas “virtudes”:

- Cultivo que se implanta para cinco años, no requiere laboreo y por tanto disminuye la erosión.
- Es una leguminosa que sintetiza el nitrógeno atmosférico, no precisa aportes de nitratos y por tanto no contamina las aguas.
- Es un sumidero de CO₂, en cuantía de 9 t/ha/año.
- Sirve de alimentación, refugio o lugar de cría para 117 especies de aves.
- Cultivo siempre verde, mejora el paisaje.

- Importante aporte de para la alimentación animal de proteína autóctona, no OGM.

Este cultivo da a Aragón protagonismo en cualquier esfera, con una industria asentada en el medio rural que se agrupa en AEFA (Asociación Española de Fabricantes de Alfalfa Deshidratada), entidad de ámbito nacional que se creó y constituyó en 1984 en Zaragoza y donde siempre ha tenido su sede (Capistros, 2017).

Aragón es, con mucha diferencia, el principal productor de alfalfa deshidratada de España, un cultivo que ha arraigado con fuerza en la comunidad gracias al tirón de las exportaciones. De hecho, la comunidad vende cerca del 80% de su producción a unos 40 países. Además de por la demanda del mercado exterior, también se ha extendido porque aguanta bien las situaciones climatológicas adversas y porque el tiempo seco de la comunidad es propicio para este cultivo. Así, Aragón representa más de la mitad de la producción nacional. El año pasado se alcanzaron las 829.348 toneladas de alfalfa deshidratada, frente a las 1.453.076 del conjunto del país. Estas cifras sitúan a España como el segundo mayor productor de este cultivo solo por detrás de EEUU, duplicando el volumen de Francia e Italia (López, 2018).

Y eso que en las tres últimas campañas ha bajado un poco la producción; estábamos en 1,7 millones de toneladas y este año cerraremos con 1,3, la cosecha de este año también será algo inferior, hasta cerrar en torno a las 700.000 toneladas. Esta campaña se sembró menos porque los precios cotizaban a la baja; eso, unido a las inundaciones por la crecida del Ebro, explican la bajada (AEFA, 2018).

Con todo, el sector confía en un cambio de tendencia en los próximos años y en un aumento de la producción. EEUU ha vetado las exportaciones a China, lo que ha provocado que en el último año los precios suban en torno a un 7% y que nuestras ventas al gigante asiático crezcan (UAGA, 2018). Hace años muchos profesionales apostaron fuerte por este cultivo por las buenas rentabilidades derivadas del mercado exterior (López, 2018).

Que el sector siga arraigando con fuerza en la comunidad también será clave para el empleo del campo aragonés. De los cultivos extensivos es el que más trabajo genera, hay que tener en cuenta que cada año se realizan cinco cortes y que cada planta deshidratadora demanda entre abril y noviembre unos nueve empleados fijos. En Aragón hay unas 18 deshidratadoras privadas y otras 25 de cooperativas (López, 2018).

No en vano, la asociación Aefa estima que en toda España el sector emplea a unas 4.000 personas. La actividad juega un gran papel a la hora de fijar población al territorio y al medio rural.

Uno de los principales objetivos a corto plazo de la asociación es diversificar sus mercados exteriores. Este año, por ejemplo, va a centrar sus esfuerzos en Arabia Saudí y Argentina, donde realizará acciones promocionales para elevar las ventas (López, 2018).

1.1.6.1 SUPERFICIE TOTAL DE PLANTAS FORRAJERAS EN ARAGÓN

En la Tabla 7 inferior podemos ver todas las plantas forrajeras que se cultivan en Aragón, así como si se cultivan en secano o en regadío y la superficie que ocupan.

Tabla7: Superficie de plantas forrajeras en Aragón (MAPA, 2018)

Cultivo	Secano (ha)	Regadío (ha)	Total (ha)
MAIZ FORRAJERO	867	1.577	2.444
ALFALFA	15.951	66.179	82.130
VEZA (veza+avena) PARA FORRAJE	434	1.202	1.636
OTROS FORRAJES (CEREAL INV, SORGO, TREBOL)	17.999	11.948	29.947
PRADERAS POLIFITAS	9.078	1.363	10.441
NABO FORRAJERO	-	-	-
REMOLACHA FORRAJERA	-	-	-
COLES Y BERZAS FORRAJERAS	30	255	286
OTRAS PLANTAS DE ESCARDA FORRAJERA	-	-	-
TOTAL FORRAJERAS	44.359	82.525	126.884

1.1.6.2 DISTRIBUCIÓN DE FORRAJERAS POR PROVINCIAS ARAGONESAS

En la Tabla 8 que se muestra a continuación tenemos todas las plantas forrajeras que se cultivan en Aragón y como se distribuyen en sus tres provincias: Huesca, Zaragoza y Teruel.

Tabla 8: Distribución de forrajeras por provincias en Aragón (MAPA, 2018)

Cultivo	Huesca (ha)	Teruel (ha)	Zaragoza (ha)
MAIZ FORRAJERO	1.509	871	65
ALFALFA	33.998	8.096	40.037
VEZA (veza+avena) PARA FORRAJE	484	25	1.126
OTROS FORRAJES (CEREAL INV, SORGO, TREBOL)	10.2.8	11.205	8.184
PRADERAS POLIFITAS	7.480	1.928	1.033
NABO FORRAJERO	-	-	-
REMOLACHA FORRAJERA	-	-	-
COLES Y BERZAS FORRAJERAS	-	-	286
OTRAS PLANTAS DE ESCARDA FORRAJERA	-	-	-
TOTAL FORRAJERAS	53.678	22.125	51.081

1.1.7 CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

Medicago sativa L de nombres comúnmente conocidos como Alfalfa, Alfalce, Alfalz, Mielga... y en inglés Lucerne. Pertenece a la familia de las fabáceas o leguminosas y, se trata de una planta vivaz de larga duración con porte erecto. Crece entre los 30 y 60 cm de altura y lo hace en forma mateada con multitud de ramificaciones que parten de una corona semileñosa. Su color es verde grisáceo. Sus características son las siguientes:

- Raíz: la principal es pivotante, robusta y profunda, con numerosas raíces secundarias.
- Tallo: delgado y erecto.
- Hojas: trifoliadas, folíolos obovados, más o menos estrechos, con el margen aserrado en su extremo, el central peciolulado, estípulas enteras.
- Flores: con corola purpura o amarilla.
- Inflorescencia: con numerosas flores en racimos densos terminales, con pedúnculo mas largo que la hoja adyacente.
- Fruto: legumbre de espiralda (2-3 espiras abiertas) a falcada. Es indehisciente sin semillas y contiene de 2-6 semillas amarillentas, arriñonadas y de 1.5 a 2.5 mm de longitud.



Figura 3: Flor de la alfalfa (Universidad de Navarra, 2019)

1.1.8 PRODUCCIÓN Y MANEJO

Para obtener una producción elevada y una buena calidad del forraje, se debe elegir la variedad que mejor se adapte a la zona donde se va a cultivar. Así como hemos visto en el apartado anterior, existen una gran cantidad de variedades en el mercado caracterizadas por su alto rendimiento y resistencia a plagas y enfermedades para los diferentes medios.



Figura 4: Segadora autopropulsada (Capistros, 2017)

El factor que está más ligado a la adaptación del medio es la parada invernal o dormancia. Se trata de un periodo de inactividad de la alfalfa, en el cual deja de crecer como consecuencia de las bajas temperaturas invernales. Antes de ello en otoño, las plantas acumulan sustancias de reserva en las raíces y la corona, las cuales utilizan más adelante en primavera para volver a brotar con más vigor. Varía según la variedad y, hay alguna variedad que no tiene parada invernal y crece durante todo el invierno, pero si las temperaturas son demasiado bajas pueden llegar a helarse, agotando sus reservas y brotando con menos vigor cuando llega la primavera, además de reducir su persistencia.

De este modo a la hora de elegir una variedad es esencial elegir las variedades que mejor se adapten a las condiciones invernales de la zona de cultivo, intentando que el periodo de parada invernal sea el mínimo posible para poder resistir las heladas invernales. Así se maximizan las producciones en otoño y en primavera al brotar lo más temprano posible (Delgado *et al*, 2005).

En España se diferencian habitualmente tres grandes grupos de alfalfa en función de la parada invernal:

- Alfalfas africanas o californianas: no presentan parada en el invierno pudiendo realizar 10-12 cortes al año. Poco tolerantes a heladas.
- Alfalfas flamencas: tienen una parada prolongada durante el invierno. Se realizan 3-4 cortes al año. Muy resistentes a heladas.
- Alfalfas intermedias: tienen una corta parada invernal y se realizan de 5-7 cortes al año. A este grupo pertenecen la mayoría de los ecotipos españoles: Aragón, Tierra de Campos y Ampurdán.

Por lo general, las variedades con mayor dormancia son más persistentes, resisten mejor las enfermedades foliares, tienen la corona más grande y emiten mayor número de tallos por planta, aunque menos erectos. Además, aunque se realicen menor número de cortes al año, estos son más productivos (Delgado *et al*, 2005).

1.1.8.1 DOSIS DE SIEMBRA

El peso medio de 1.000 semillas es de 2,25 gramos. Una siembra bien establecida es aquella que en el momento de la nascencia presenta alrededor de 400 plántulas por metro cuadrado en regadío. Este poblamiento inicial va decreciendo en sucesivas campañas, sin una notable correspondencia con la pérdida de cosecha, El segundo año se reduce a 150-250 plantas por metro cuadrado; el tercer año a 100-150 plantas y el cuarto año a 50-100 plantas. Cuando el alfalfa presenta menos de 50 plantas por metro cuadrado, es el momento de proceder al alzado del cultivo.

Lo anteriormente expuesto quiere decir que un número relativamente bajo de plantas puede dar excelentes rendimientos. Una dosis de siembra de 10 kg de semilla/ha proporciona una nascencia de más de 400 plantas/m² si todas las semillas germinan. Sin embargo, hay agricultores que utilizan hasta 60 kg de semilla/ha. Ello no quiere decir que no tengan razón, la dosis de siembra habrá de adaptarse a las condiciones en las que se practica la siembra. Siembras bien conducidas pueden requerir solamente 10 kg de semilla/ha y siembras efectuadas en condiciones precarias hasta 60 kg de semilla/ha (Delgado *et al*, 2005).

1.1.8.2 MOVILIZACIÓN DE LAS RESERVAS

A partir de una altura de la planta de 30 cm, la alfalfa produce más reservas nutritivas de las que necesita para su crecimiento. Estas reservas se almacenan en la raíz y corona hasta que la planta alcanza la floración, momento en el cual el almacenamiento de reservas llega al máximo. Estas reservas las utiliza la planta para facilitar el nuevo rebrote después de la siega, período en el que, debido a la ausencia o escasez de hojas, la alfalfa no puede crecer o lo haría muy lentamente si no dispusiese de dichas reservas.

Lo anteriormente expuesto significa que no se deben efectuar cortes o aprovechamientos antes de la floración para hacer posible el almacenamiento de las reservas. Cortes practicados antes de la floración debilitan a la planta. Si aquellos se repiten sucesivamente, agotan a la planta y provocan la desaparición del alfalfa. Ello no quiere decir que no se puedan practicar algunos cortes precoces, pero sería necesario alternarlos con otros cortes tardíos dejando que la planta florezca abundantemente para facilitar la recuperación de las reservas (Delgado *et al*, 2005).

1.1.8.3 FERTILIZACIÓN MINERAL

Se estima que por cada 15 toneladas de heno recolectadas se extraen 400 kg de nitrógeno, 88 kg de fósforo, 300 kg de potasio, 66 kg de magnesio, 220 kg de azufre y 400 kg de calcio, además de diversas cantidades de microelementos. Esta importante extracción es preciso reponerla, al menos en parte, para no empobrecer los suelos de cultivo.

Algunas observaciones deben tenerse en cuenta a la hora de aportar fertilizantes. La alfalfa tiene capacidad para obtener el nitrógeno que necesita a través de la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico que realizan las bacterias nitrificantes instaladas en los nódulos de las raíces. Ahora bien, si a la planta se le aporta nitrógeno en forma mineral (abonos nitrogenados) orgánica (purines, etc) o foliar (aminoácidos), aquélla utiliza los abonos aportados y deja de fijar nitrógeno. Con ello, los rendimientos no se incrementan, pero los gastos del cultivo sí.

Hay casos excepcionales en los cuales la aportación de fertilizantes nitrogenados puede mejorar el rendimiento del cultivo, como son los alfalfares mal establecidos o a la salida del invierno, si las bajas temperaturas reducen la actividad de las bacterias nitrificantes. En estos casos, una pequeña aportación de fertilizante nitrogenado es recomendable (Delgado *et al*, 2005).

En suelos ricos en limos y arcillas, una parte importante de las disponibilidades de fósforo y potasio está retenida y no es asimilable directamente por las plantas, lo que se refleja en los análisis de suelos, que muestran un bajo contenido en fósforo y potasio asimilables. La alfalfa, sin embargo, tiene capacidad para aprovechar estos minerales retenidos a través de su acción simbiótica con hongos micorrízicos establecidos en las raíces, por lo que no es preciso realizar aportaciones excesivas de fósforo y potasio. Asimismo, la mayoría de los suelos contienen cantidades suficientes de boro y molibdeno para el crecimiento normal del alfalfar, por lo que no se recomienda llevar a cabo aportaciones si no se aprecian deficiencias de los mismos en los análisis de suelo correspondientes (Delgado *et al*, 2005).

1.1.8.4 FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

Las aportaciones de purín procedente de las granjas porcinas durante el periodo de crecimiento de la alfalfa pueden incrementar la disponibilidad de superficie y el tiempo para la aplicación de este residuo. Después de dos años de aplicaciones de purín durante el periodo de crecimiento, no se vio afectada ni la producción ni la calidad del forraje. Las altas extracciones de nitrógeno (N) que lleva a cabo la alfalfa y su capacidad para adaptar la fijación de N atmosférico a la disponibilidad de N inorgánico en el suelo, dieron lugar a concentraciones bajas de nitrato en el agua de drenaje ($<2\text{mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$), incluso tras la aportación de dosis altas de purín porcino (equivalente a $340\text{kg N ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$). Asimismo, la concentración y las masas de fósforo (P) exportadas en el agua de drenaje fueron muy bajas y no se vieron afectadas por las aplicaciones de purín. Tras dos años, se observó un incremento del 21% de P disponible en la capa superficial del suelo (0-0.3 m) como resultado tanto de las aplicaciones de purín como de las de fertilizante fosfatado mineral. Las aplicaciones de purín no incrementaron significativamente el contenido de Zn y de Cu en la capa superficial de suelo (Delgado *et al*, 2005).

En la implantación o durante el reposo vegetativo (invierno), se puede añadir estiércol envejecido o compost. La aportación de materias orgánicas es al mismo tiempo favorable a una buena estructura de suelo y constituye una fuente suplementaria de elementos fertilizantes beneficiosos para el cultivo de la alfalfa. El compost es una excelente enmienda orgánica. Bien realizado, el ensuciamiento con los granos de adventicias será limitado.

Esta enmienda también es más fácil de esparcir, es menos voluminosa y la compactación del suelo con el material de esparcimiento se reduce (Drillaud, 2016).

1.1.8.5 RIEGO

La alfalfa es una planta muy consumidora de agua. Se requieren 840 litros de agua para producir un kilo de materia seca en nuestras condiciones de cultivo, lo que equivaldría, por ejemplo, a un consumo de 8.820 m³ de agua/ha y año en las condiciones climatológicas de Monegros, estimando una eficiencia de riego del 75% y una producción de 14.000 kg de heno

(Martínez Cob et al., 1998); cifras similares se recogen también para otras comarcas de Aragón en el citado estudio (Delgado *et al*, 2005).

1.1.8.6 CULTIVOS SUCESIVOS DE ALFALFA

Frecuentemente, algunos productores de alfalfa están interesados en volver a sembrarla después del mismo cultivo, aunque saben que esta práctica suele presentar problemas.

Una de las preguntas más frecuentes entre los cultivadores de alfalfa, que figura en todos los manuales en todo el mundo es cuánto tiempo debe pasar entre dos cultivos sucesivos de alfalfa y por qué. Los agricultores saben que no es aconsejable sembrar un cultivo de alfalfa detrás de otro de alfalfa y preguntan el tiempo que tiene que transcurrir entre dos cultivos de alfalfa y los motivos (Seguin *et al.*, 2002; Undersander, *et al.*, 2015; Delgado *et al.*, 2017; Jennings, 2017; Volenec y Johnson, K. 2017).

El razonamiento técnico que hay detrás de esta problemática es doble:

1. Una rotación corta aumenta el riesgo de enfermedades como la *Rhizoctonia*, o el nematodo del tallo, lo que afecta al siguiente cultivo de la alfalfa (además, algunas de estas enfermedades de la alfalfa son difícilmente controlables por medios químicos o culturales).
2. La alfalfa es una especie denominada autotóxica. La autotoxicidad de la alfalfa es una forma particular de alelopatía que se produce cuando una planta libera sustancias químicas que dificultan el desarrollo de la misma especie. Este efecto provoca una disminución del porcentaje de germinación, afecta al vigor del establecimiento de las nuevas plántulas, al crecimiento de las raíces y a la producción de forraje posterior (Chocarro *et al*, 2017).

La autotoxicidad es causada al levantar el alfalfar, las plantas de alfalfa en descomposición liberan al medio productos químicos autotóxicos de las mismas. Estos productos son solubles en agua y se filtran en el suelo a partir de la descomposición del material vegetal y de las plantas en crecimiento.

Los compuestos químicos que causan la autotoxicidad en la alfalfa aún no ha sido identificados en su totalidad y se encuentran en concentraciones más altas en las hojas y las flores que los tallos y las raíces de las plantas de alfalfa (Chocarro *et al*, 2017).

Como recomendaciones generales, muchos de los resultados sobre la autotoxicidad de la alfalfa provienen de resultados de investigaciones publicadas en EE.UU. (Seguin, *et al.*, 2002; Undersander, *et al.*, 2015), donde la alfalfa se siembra frecuentemente en condiciones de secano. Los resultados son inconsistentes y las distintas localidades de procedencia de los mismos, y sus diferentes condiciones de campo, de tipo de suelo o la pluviosidad, hacen difícil predecir el periodo que debe transcurrir entre dos cultivos sucesivos de alfalfa (Seguin *et al.*, 2002).

No obstante, para las condiciones de EE.UU., Volenec y Johnson (2017) han elaborado unas recomendaciones que deberían reducir el riesgo de que la autotoxicidad afecte la productividad de alfalfa:

1. Esperar al menos un año antes de resembrar alfalfa en un campo previamente en alfalfa. Esto dará tiempo a que los productos químicos autotóxicos liberados por el alfalfar que se acaba de levantar, se descompongan y se filtren fuera del alcance de las nuevas raíces.
2. Como mínimo, no volver a sembrar alfalfa en un campo de alfalfa anterior, hasta al menos dos semanas después de destruir el campo anterior.
3. Después de eliminar la alfalfa anterior con herbicida, esperar tres a cuatro semanas antes de resembrar alfalfa.
4. En todos los casos, cortar y retirar el forraje que hay en el campo antes de destruir la alfalfa, para reducir la abundancia de compuestos autotóxicos liberados al suelo por las hojas, tallos y flores (Chocarro *et al*, 2017).

1.1.8.7 SEGADO DE LA ALFALFA

El modo de cosecha tiene su importancia, puesto que cuanto mayor sea el tiempo de secado, mayores pueden ser las pérdidas de hojas. Por orden creciente: aprovisionamiento de forraje verde, ensilado, encintado, secado en granero, heno.

Un material de segado que aplasta los tallos acelera su secado; dar preferencia a una segadora acondicionadora de rodillos. En la figura 5 podemos ver la comparación entre la velocidad de secado en función del tipo de segadora (Drillaud, 2016).

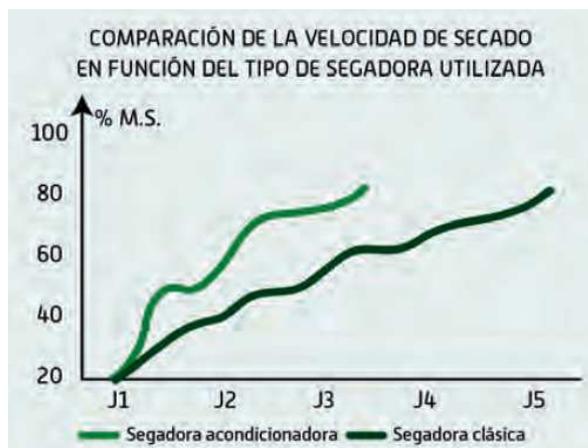


Figura 5: Influencia del tipo de segadora utilizada (Drillaud, 2016)

La henificación debe ser lo más delicada posible.

De forma general, se aconseja no henificar en las horas de más calor del día para limitar las pérdidas de hojas. Es mejor trabajar con un rastrillo de hozadas.

Una hozada ancha, ventilada y colocada en paja alta (6 a 7 cm) permite un secado más rápido a una mejor ventilación natural del forraje (Drillaud, 2016).

El cambio de hozadas se efectúa por la mañana y las herramientas se ajustan de la forma menos agresiva posible.

Las hojas se secan 1,5 veces más rápido que los tallos. Una vez secas, pueden romperse y perderse si se trabaja con el forraje en las horas de más calor del día.

Las variedades recientes de tallos más finos y de mayor cantidad de hojas (Speeda Max, ...) permiten producir un forraje de mejor calidad (Drillaud, 2016).

1.1.8.8 TIPOS DE SEGADO

Ensilado, encintado y henificación son los modos de cosecha más practicados. Durante cada siega, el modo de cosecha se determinará en función de la estrategia forrajera del ganadero, del material disponible y evidentemente de la meteorología (condiciones de secado en campo) como podemos ver en la Figura 6 (Drillaud, 2016).

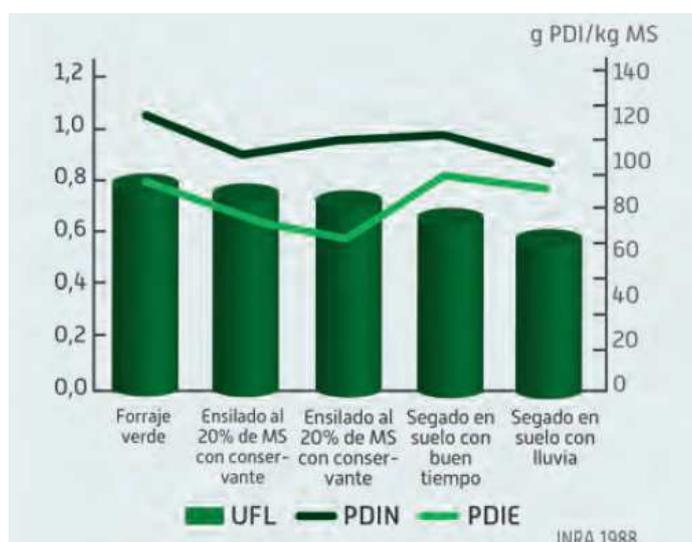


Figura 6: Valor del forraje según el tipo de segado (Drillaud,2016)

UFL (unidad forrajera de leche): estima la energía neta de un alimento en animales rumiantes.

PDIN: proteína digestible a nivel intestinal procedente del nitrógeno.

PDIE: proteína digestible a nivel intestinal procedente de la energía.

1.1.9 CALIDAD DEL FORRAJE

1.1.9.1 VALOR NUTRICIONAL

El valor nutricional del forraje varía principalmente debido a dos componentes que son hojas y tallos. En las hojas encuentra la mayoría de la proteína, ya que tiene entre dos y tres veces más que los tallos y son más digestibles. Solamente en los primeros estados los tallos tiernos pueden igualar en digestibilidad a las hojas. En las hojas el valor nutritivo (proteína y digestibilidad) desciende más lentamente que en los tallos, desde el estado vegetativo a plena floración. Al contrario, pasa en los tallos que conforme avanza la madurez desciende más rápidamente debido a su lignificación.

A continuación, podemos ver un ejemplo de cómo varía la calidad de las hojas y tallos en el ecotipo Aragón, según el estado fenológico en el momento de corte y, que encaja con lo que hemos explicado previamente (Delgado *et al*, 2005):

Tabla 9: Calidad de hojas y tallos de la alfalfa Aragón (Delgado et al, 2005)

Corte	Floración	Fracción	Cenizas (%)	Proteína bruta (%)	Fibra neutro detergente (%)	Digestibilidad de la materia seca (%)
2º	10%	Hojas	13,19	25,75	29,48	80,68
		Tallos	10,47	14,91	47,67	68,61
4º	10%	Hojas	14,01	22,97	33,68	75,84
		Tallos	11,83	13,64	49,20	65,71
6º	0%	Hojas	13,95	31,09	23,98	84,52
		Tallos	13,68	15,62	38,92	75,87

Así mismo, se reconoce a la alfalfa como una excelente fuente de minerales como: calcio, fósforo, potasio, magnesio, azufre, etc. lo que permite emplearla para complementar eficazmente las raciones (Journet, 1992; Undersander et al., 1993).

Conforme la planta va creciendo y madura, la proporción de tallos aumenta en relación a las hojas, lo que hace que disminuya la relación hoja/tallo. Así pues, una siega en un estado avanzado nos proporcionará un forraje de baja calidad, aunque se produzcan más kilos que una siega a principio de floración, al final la cantidad nutricional es menor. En la siguiente tabla podemos ver como varía la calidad del forraje en función del estado fenológico a la siega:

Tabla 10: Variación de la calidad del forraje según el estado fenológico (Delgado et al, 2005)

Estado fenológico	Cenizas (%)	Proteína bruta (%)	Fibra neutro-detergente (%)	Digestibilidad de la materia seca (%)
Vegetativo	11,83	27,58	30,79	75,53
Botones	10,74	24,29	39,93	63,88
Inicio floración	10,27	21,17	41,69	61,54
Floración	9,31	19,34	44,00	57,80

1.1.9.2 INFLUENCIA DEL MOMENTO DE SIEGA

A medida que avanza el proceso de maduración fisiológica de la planta el rendimiento en materia seca aumenta, pero la calidad del forraje disminuye de forma continua y progresiva (Fauconneau, 1957; Demarquilly, 1966; Baumgard y col., 1962; Treviño y González, 1973). Un adecuado ritmo de explotación deberá tener en cuenta ambas circunstancias y será necesario sacrificar parte de la calidad nutritiva a fin de obtener rendimientos satisfactorios (Meyer y col., 1962; Fulkenson, 1967).

Se ha sugerido que el momento óptimo de segar la alfalfa es cuando aparecen las primeras flores y se han propuesto sistemas de explotación basados en cosechar el forraje al estado de 10 % de floración (Baumgard, 1962; Plancquaert, 1966; Hidalgo, 1969).

Sin embargo, hemos de tener presente que el valor energético es normalmente el factor limitante de la calidad nutritiva de la alfalfa y, en consecuencia, sería lógico que un sistema de explotación que trate de optimizar la producción debería estar fundamentado esencialmente en conseguir un máximo rendimiento en energía por unidad de superficie y año (Treviño, 1975).

1.1.10 PARTICULARIDADES DEL CULTIVO

1.1.10.1 FIJACIÓN DE NITRÓGENO Y ROTACIONES DE CULTIVOS

Está ampliamente estudiado el efecto de la fijación de nitrógeno atmosférico por las leguminosas. La cantidad fijada por la alfalfa es muy variable y a diferencia de otras leguminosas, aporta nitrógeno al cultivo siguiente, teniendo por ello una gran utilidad en las rotaciones de cultivos, al disminuir las necesidades de abonado nitrogenado de los cultivos siguientes, con la consiguiente reducción de sus necesidades energéticas (Power, 1990).

A modo de ejemplo, alternar dos años de alfalfa con uno de maíz permite reducir el flujo de energía gastado por el maíz un 26% (Heichel, 1978). Existen muchos estudios realizados sobre el ahorro que supone en la fertilización nitrogenada del maíz la rotación con alfalfa. En general, el valor fertilizante de la alfalfa varía según el estado del cultivo, pero la alfalfa puede dejar fácilmente alrededor de 100-150 kg N/ha al cultivo siguiente (Fox y Piekielek, 1988).

Estos valores, obtenidos en el Medio Oeste de los EEUU, pueden ser distintos en los regadíos del Valle del Ebro ya que las producciones de forraje en nuestras condiciones son superiores a las obtenidas en aquellas zonas de los EEUU. Estimaciones realizadas en el Centro UdL-IRTA, muestran que, en los regadíos del Valle del Ebro, dos años de alfalfa representan, para el siguiente cultivo de maíz un valor fertilizante, equivalente a unos 200 kg N/ha (Ballesta y Lloverás. Resultados no publicados).

Además, el efecto beneficioso de la alfalfa puede extenderse al cultivo del segundo año, tal y como se presenta en la Tabla 11 (Power, 1990).

Tabla 11: Reducción de las necesidades de N después de un cultivo de alfalfa o soja (Power, 1990)

LOCALIZACIÓN	DEPUÉS DE ALFALFA				DESPUÉS DE SOJA
	Primer año			Segundo año	
	Alfalfa bueno	Alfalfa medio	Alfalfa pobre		
Illinois	112	56	0	34	45
Indiana	78-90	68	34	-	-
Iowa	157	112	22	-	45
Michigan	-	60	-	-	-
Minnesota	112	56	-	56	22
Missouri	56	-	-	-	34
Ohio	79-180	101	56	22	-
Wisconsin	90	45	22	-	-

En resumen, la simbiosis del Rhizobium con la alfalfa proporciona suficiente nitrógeno para cubrir sus necesidades y parte de las de los cultivos siguientes, como muestran las estimaciones realizadas en el Centro UdL-IRTA, que, en los regadíos del Valle del Ebro, dos años

de alfalfa representan para el siguiente cultivo de maíz un valor fertilizante equivalente a unos 200 kg N/ha (Ballesta y Lloverás. Resultados no publicados). Por esta razón es contraproducente un abonado nitrogenado en alfalfa ya que es autosuficiente y puede favorecer el desarrollo de malas hierbas, salvo en la fase inicial que si que le puede servir de ayuda ya que la actividad nodular puede ser insuficiente (Lloveras *et al.*, 2000)

Además, desde el punto de vista medioambiental, no debe olvidarse la capacidad que tiene la alfalfa, debido a sus raíces profundas, para proteger el medio ambiente, absorbiendo y utilizando los nitratos del suelo, reduciendo los posibles efectos contaminantes de los nitratos de cultivos anteriores (ITAB, 1995; Kelling y Schmitt, 1996; Blumental *et al.*, 1999).

1.1.10.2 LA SIMBIOSIS RIZOBIO-LEGUMINOSA

Los rizobios son un grupo de alfa- y beta-proteobacterias cuyo rasgo distintivo es poseer la capacidad de interactuar de forma específica con raíces de plantas leguminosas, inducir en ellas la formación de novo de órganos radiculares -llamados nódulos-, para luego colonizarlos y diferenciarse allí a un estadio denominado bacteroide, especializado en llevar a cabo la FBN. Si bien el campo de la taxonomía rizobiana evoluciona constantemente producto de los avances tecnológicos que permiten establecer mejoras en los criterios de clasificación sistemática, se reconocen actualmente como microorganismos pertenecientes al grupo colectivamente denominado rizobios a ciertas especies correspondientes a los géneros *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium* (Ensifer), *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Agrobacterium*, *Phyllobacterium*, *Ochrobactrum*, *Methylobacterium*, *Devosia*, *Shinella*, *Cupriavidus* y *Burkholderia* (Sawada, *et al.*, 2003, Gyaneshwar, *et al.*, 2011).

La extensa diversidad filogenética que caracteriza a los rizobios en conjunto con el elevado número de especies de leguminosas (ca. 18.000) capaces de participar en este tipo de asociaciones, traen consigo diferencias fisiológicas y morfológicas en el proceso de establecimiento y mantenimiento de las diferentes interacciones. Por ejemplo, existen diferencias fenotípicas entre distintos pares simbióticos en relación con la localización, forma y anatomo-histología de los nódulos que forman las plantas, así como también diferencias en los mecanismos de comunicación inicial rizobio-planta, en el modo de infección, en el estadio de diferenciación que alcanzan los bacteroides, entre otros aspectos que se destacan (Masson-Boivin, *et al.*, 2009). Las diferentes estrategias adoptadas surgieron paralelamente y de forma independiente, con la contribución de eventos de transferencia genética horizontal que permitieron el intercambio de funciones clave.

La reducción biológica del nitrógeno molecular a amonio es un proceso que requiere de un elevado gasto energético. En consecuencia, la actividad fijadora de nitrógeno debe estar Introducción general Antonio Lagares Tesis Doctoral 6 estrictamente regulada para satisfacer los requisitos del nutriente cuando este se halla en condiciones limitantes, pero controlando al mismo tiempo evitar el uso innecesario de recursos energéticos cuando la disponibilidad de N es suficiente y no condiciona el crecimiento vegetal (Oka-Kira & Kawaguchi, 2006, Mortier, *et al.*, 2012, Terpolilli, *et al.*, 2012).

En el presente trabajo de Tesis se utilizó como referencia de estudio al sistema modelo de interacción simbiótica *Sinorhizobium meliloti* - *Medicago sativa* (alfalfa). En las siguientes secciones del Capítulo introductorio, se presentan en forma resumida los aspectos más

relevantes de esta interacción con el fin de sentar el marco teórico para el desarrollo de la Tesis. (Lagares, 2015).

1.1.10.3 TEMPERATURA Y LUMINOSIDAD

La temperatura y las horas de luz influye en la calidad del producto. La menor temperatura y luminosidad de los primeros y últimos cortes hacen que las plantas florezcan con dificultad o incluso que no florezcan. También las bajas temperaturas limitan el crecimiento de los tallos. Todo esto influye en la relación hoja/tallo que suele ser mayor en los primeros cortes, luego disminuye conforme aumenta la temperatura y luminosidad y vuelve a aumentar en otoño. Una temperatura demasiado elevada en verano que pueda superar los 40°C o un a temperatura muy baja en invierno menor a La influencia de estos parámetros la podemos ver reflejada en la siguiente tabla: (Delgado *et al*, 2005).

Tabla 12: Relación hojas/tallos según el nº de corte (CITA, 2005)

Corte	Floración (%)	Altura de corte (m)	Hojas (%)	Tallos (%)
2º	10	66,50	36,85	63,15
4º	10	51,70	32,06	67,94
6º	0	33,00	40,15	59,85

1.1.11 REQUERIMIENTOS EDAFOLÓGICOS

El tipo de suelo influye indirectamente en la determinación de la calidad del forraje a través de su capacidad para la retención del agua, la aireación del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Algunos trabajos señalan que la proporción de lignina es inferior y la de proteína superior en la alfalfa producida en suelos arcillosos fuertes que en la cultivada en suelos arenosos. Ello se ha asociado probablemente a una relación de la hoja/tallo superior y a la altura de la planta inferior en la alfalfa cultivada en suelos arcillosos, en comparación con los suelos arenosos.

1.1.11.1 pH

El factor limitante en el cultivo de la alfalfa es la acidez, excepto en la germinación, pudiéndose ser de hasta 4. El pH óptimo del cultivo es de 7.2, recurriendo a encalados siempre que el pH baje de 6.8, además los encalados contribuyen a incrementar la cantidad de iones de calcio en el suelo disponibles para la planta y reducir la absorción de aluminio y manganeso que son tóxicos para la alfalfa. Existe una relación directa entre la formación de nódulos y el efecto del pH sobre la alfalfa. La bacteria nodulante de la alfalfa es *Rhizobium meliloti*, esta especie es neutrófila y deja de reproducirse por debajo de pH 5. Por tanto, si falla la asimilación de nitrógeno la alfalfa lo acusa (Delgado *et al*, 2005).

1.1.11.2 SALINIDAD

La alfalfa es muy sensible a la salinidad, cuyos síntomas comienzan con la palidez de algunos tejidos, la disminución del tamaño de las hojas y finalmente la parada vegetativa con el consiguiente achaparrado. El incremento de la salinidad induce desequilibrios entre la raíz y la parte aérea. (Delgado *et al*, 2005).

1.1.11.3 TIPO DE SUELOS

La alfalfa requiere suelos profundos y bien drenados, aunque se cultiva en una amplia variabilidad de suelos. Los suelos con menos de 60 cm de profundidad no son aconsejables para la alfalfa. (Delgado *et al*, 2005).

1.1.11.4 CONTENIDO EN CLOROFILA

Se ha demostrado un vínculo directo entre el contenido de clorofila en las hojas (medido indirectamente a través del medidor SPAD) y el estado de la hoja N (Li *et al.*, 1998; Swiader y Moore, 2002; Wang *et al.*, 2004). El verdor de las hojas o el contenido de clorofila se ven afectados por varios factores, incluida la concentración de nutrientes, la distribución de clorofila en las hojas y el genotipo de la planta (Soval-Villa *et al.*, 2002; Uddling *et al.*, 2007).

Los estudios han reportado un aumento en la altura de la planta, el número de hojas, el área de la hoja y el peso seco de la planta con mayores niveles de concentración de N en el medio de crecimiento (Masson *et al.*, 1991; Weston y Zandstra, 1989).

1.1.11.5 MEJORA GENETICA EN ALFALFA

Las variedades creadas por Jouffray-Drillaud son particularmente apreciadas en el mercado mundial, en concreto por su contenido en proteínas y su tolerancia al encamado.

No obstante, el avance genético de la alfalfa parece modesto en comparación con los grandes cultivos. En efecto, la mejora del rendimiento de una planta forrajera es más duradera porque reparte el uso de la planta entera en varias siegas. El ciclo de selección para crear una nueva variedad de alfalfa es de 12 a 15 años.

Pese al tiempo necesario para la investigación, los avances son notables. Desde hace más de 30 años, nuestro equipo de investigación y desarrollo dedica la mayor parte de su presupuesto a la selección varietal de la alfalfa. Sus principales avances conciernen:

- El valor alimenticio: riqueza en proteínas, digestibilidad, alta relación hoja/tallo ...
- La productividad y el reparto del rendimiento, adaptación al pastoreo ...
- La resistencia a los parásitos: nématodos, verticilosis, antracnosis...
- La resistencia al encamado
- La adaptación climática: resistencia al frío, a la sequía...

Para concluir, obsérvese que Jouffray-Drillaud ha sido el primer obtentor que ha puesto en el mercado variedades tolerantes a los nématodos y a la antracnosis. (Drillaud, 2016).

Debido a escasa mejora de variedades de alfalfa, es un trabajo muy interesante para conocer el comportamiento de las nuevas variedades. Como es en el caso de MAS Seeds que ofrece una nueva tecnología de recubrimiento de semillas, SAS GOLD, que la podemos ver en la figura 7 (MAS Seeds, 2019).

La variedad de alfalfa OXXI MAX incorpora
La tecnología de pelliculado 100% activo

Micronutrición + Pre-inoculación

Una mejor implantación de la alfalfa
Hasta +15 % plantas/m²
Plántulas más vigorosas
Hasta +13% de producción en el primer corte

Un aumento del rendimiento y de la proteína
Hasta +12% rendimiento forrajero
Hasta +6% de proteína

Garantía de siembra a la densidad óptima:
Un envasado innovador y práctico en PRECIDOSIS®:
4,5 millones de semillas/precidosis, para sembrar a la densidad adecuada.

Contiene 4.5 millones de semillas
Condiciones óptimas: 2,5 precidosis® /ha
Condiciones limitantes: 3 precidosis® /ha

Figura 7: Semillas con recubrimiento (MAS Seeds, 2019)

1.1.12 PLAGAS Y ENFERMEDADES

Las plagas y enfermedades limitan la calidad del forraje debido a una reducción de la relación hoja/tallo, ocasionando un aumento de la concentración de fibra y una reducción de la proteína. Los áfidos dejan, asimismo, un depósito de melaza en el tejido de las plantas que podría contribuir a disminuir su crecimiento y bajar su valor nutritivo.

1.1.12.1 MALAS HIERBAS

En los cultivos establecidos, la invasión de las malas hierbas en el alfalar se produce antes del rebrote de primavera, debilitando a la alfalfa y retrasando su crecimiento.

Las malas hierbas de verano perjudican a los alfalfares de riego, siendo las más perjudiciales las gramíneas perennes del verano tipo gramas, que se desarrollan bien con las elevadas temperaturas de esta época.

Las malas hierbas que invaden el cultivo de la alfalfa son muy diversas en géneros, especies e intensidad de infestación. Varían en gran medida con la modalidad de cultivo (secano o regadío) y área geográfica (Villarías, 2015).

Se han encontrado especies pertenecientes a diferentes familias botánicas (Villarías, 2015), estos son algunos ejemplos de las más importantes:

- *Amaranthus retroflexus*
- *Capsella bursa-pastoris*
- *Chenopodium álbum*
- *Cuscuta europaea*
- *Datura stramonium*
- *Diploaxis spp*
- *Echinochloa cruz-galli*
- *Gallium aparine*
- *Malva sylvestris*

- *Papaver hybridum*
- *Polugonum aviculare*
- *Rumex crispus*
- *Xantium espinosum*

Las malas hierbas invasoras contribuyen también a descender el valor nutritivo de la cosecha de alfalfa. Aunque algunas especies de malas hierbas tienen una calidad de forraje que puede ser aceptable e incluso excelente, en general no es deseable su presencia ya que reducen el vigor de la planta, son una fuente de semillas y algunas son tóxicas para el ganado (Tabla 11).

Tabla 13: Valor nutritivo de la alfalfa (CITA, 2005)

	Proteína bruta (%)	Fibra neutro detergente (%)	Digestibilidad de la materia seca (%)
Alfalfa sin tratar	16,15	36,7	67,4
Alfalfa + herbicida	19,5	30,8	79,3

1.1.12.2 PLAGAS

Las principales plagas que podemos encontrar en los cultivos de alfalfa del Valle del Ebro son las siguientes:

- Pulguilla (*Sminthurus viridis*)
- Gusano verde (*Hypera postica*)
- Apión (*Holotrichapion pisi*)
- Cuca (*Colaspidema barbarum*)
- Pulgones:
 - o Pulgón negro (*Aphis craccivora*)
 - o Pulgón verde (*Acyrtosiphon pisum*)
 - o Pulgón amarillo o moteado (*Therioaphis trifolii*)

1.1.12.3 ENFERMEDADES

La mayoría de las enfermedades son causadas principalmente por estos agentes:

- Hongos
 - o De suelo:
 - Mal vinoso de la alfalfa (*Rhizoctonia violácea*)
 - Verticilosis (*Verticillium alboatrum*)
 - Phytophthora root rot (*Phytophthora megasperma*)
 - Pythium root rot o dumping-off (*Pythium sp*)
 - Marchitez del tallo (*Phoma medicaginis*)
 - Podredumbre blanca (*Sclerotinia trifoliorum*)
 - o Parte aérea:
 - Viruela de la alfalfa (*Pseudopeziza medicaginis*)
 - Roya (*Uromyces striatus*)
 - Mildiu (*Peronospora aestivalis*)
 - Antracnosis (*Colletotrichum trifolli*)
 - Oidio de la alfalfa (*Erysiphe polygoni*)

- *Stemphylium* de la alfalfa (*Stemphylium botryosun*)
- Virus:
 - Virus del mosaico de la alfalfa (*Alfalfa Mosaic Virus-AMV*)
 - Virus de las excrescencias de la alfalfa
- Nematodos
 - *Ditylenchus dipsaci* (nematodo del tallo de la alfalfa)
 - *Meloidogyne sp*

1.1.12.4 GESTIÓN INTEGRADA DE PLAGAS (GIP)

Para llevar a cabo una gestión integrada de plagas, primeramente, hay que actuar realizando una adecuada selección de la parcela. El tipo de suelo, drenaje, cultivos anteriores, historial de malas hierbas, etc., condicionan el desarrollo y vigor de las plantas y pueden tener un impacto muy importante en su capacidad para tolerar el daño causado por las plagas. El momento de la siembra también puede condicionar mucho, no solo la producción, sino los problemas de plagas que tenga el cultivo durante el año de establecimiento. Debe ser elegido en función de las condiciones de cada zona y puede condicionar la capacidad del cultivo para competir con las malas hierbas y para tolerar las plagas. A menudo no se es consciente de la importancia que todas las actuaciones (la fertilización, los riegos, la fecha de corte, etc.) pueden tener en la incidencia de las plagas. Un cultivo fuerte y bien gestionado siempre tendrá más capacidad para tolerar y sobreponerse a los daños causados por estos organismos (Delgado *et al*, 2015).

El aprovechamiento en forma de cortes sucesivos permite utilizar el corte como una herramienta de control. Adelantar el corte es una medida muy eficaz para controlar la mayoría de las plagas importantes que afectan al cultivo. Al efecto directo del corte se suma la exposición de los insectos a condiciones meteorológicas adversas, lo cual puede provocar una gran mortalidad, especialmente en fases larvianas de determinadas especies-plaga. En el caso de plagas como gusano verde o apión, que depositan sus huevos en el interior de tallos o yemas a principios de otoño, retrasar el último corte (octubre-noviembre}, introducir el ganado en invierno o realizar un corte antes de la salida del reposo invernal, puede eliminar una gran cantidad de puestas y disminuir las poblaciones de larvas y, por lo tanto, los daños en primavera (Delgado *et al*, 2015).

Los cultivos de alfalfa albergan gran cantidad de insectos arácnidos beneficiosos (fauna auxiliar) que ejercen un control biológico natural de las plantas tanto en el propio cultivo como en otros adyacentes.

Cuando el cultivo de la alfalfa se corta de forma tradicional, es decir, en bloque, los insectos se dispersan a otros hábitats y tardan un cierto tiempo en



Figura 8: Franja sin cortar para control biológico (Núñez *et al*, 2008)

volver. Esto da lugar a una falta de sincronización con las plagas que disminuye la eficacia de los auxiliares para controlarlas.

Dejar franjas de alfalfa sin cortar proporciona refugio a los auxiliares tras el corte y facilita su establecimiento y conservación en nuestros cultivos (control biológico de conservación) lo cual, a su vez, favorece el control biológico natural de plagas (Núñez *et al*, 2008).

Con ello se consigue una mejor sincronización con las plagas y un control biológico natural más eficaz. Para favorecer la conservación de estos organismos es muy importante aplicar tratamientos químicos, lo más selectivos posibles, solo cuándo sea absolutamente necesario y en base a la información obtenida sobre los niveles de población de plagas y auxiliares que proporciona la recogida regular de muestras en campo. La aplicación de tratamientos innecesarios y poco selectivos puede ser especialmente perjudicial en el caso de los pulgones. El hecho de tener varias generaciones y de ser capaces de reproducirse a gran velocidad facilita la aparición de resistencias y el recrudescimiento de las poblaciones tras los tratamientos. Al daño causado por los tratamientos químicos sobre los enemigos naturales hay que añadir la especial preocupación que representa la posible presencia de residuos químicos en el forraje de alfalfa ya que éstos constituyen el principal alimento del ganado productor de carne y leche. Es por ello muy importante aprovechar el potencial de este cultivo para dar prioridad a los métodos no químicos de control tal y como exige la gestión integrada de plagas (Delgado *et al*, 2015).

La eficacia de las franjas para aumentar las poblaciones de auxiliares puede permitir prescindir de los tratamientos fitosanitarios o reducirlos sustancialmente en determinados años y/o zonas. La necesidad de aplicar algún tratamiento puede plantearse especialmente en años de fuerte persistencia del coleóptero crisomélido *Colaspidema atrum* (cuca) y el coleóptero curculiónido *Hypera postica* (gusano verde).

La alfalfa de las franjas que se dejan sin cortar se va deteriorando, por lo que es necesario dejar franjas nuevas cada corte. La forma más sencilla de hacerlo es dejar una nueva franja paralela y contigua a la que se dejó en el corte anterior, mientras esta última se corta junto con el resto de la parcela (Núñez *et al*, 2008).

2- ANTECEDENTES

Y

OBJETIVOS

2 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

2.1 ANTECEDENTES

En marzo de 2019 me puse en contacto con la Escuela Politécnica Superior de Huesca, debido a que nos notificaron a los alumnos una propuesta para realizar un trabajo sobre el cultivo de la alfalfa.

Se trataba de un ensayo de variedades de alfalfa, de mano de la empresa de semillas MAS Seeds Iberia, que fue la que se puso en contacto con la Escuela Politécnica Superior de Huesca para la busca de un alumno que pudiera desempeñar dicho trabajo.

De este modo con la ayuda y el empuje del tutor en la entidad y del tutor académico, afrontamos el desarrollo de este trabajo.

En mi caso en concreto también serviría para la obtención del título de Máster en Ingeniería Agronómica. Donde mi trabajo desempeñado fue el seguimiento y mantenimiento de la parcela del ensayo y, así como la toma de datos sobre el cultivo y el posterior análisis de estos.

2.2 OBJETIVOS

Cabe destacar que se trata de un ensayo de un año de duración, en concreto solamente de una campaña de siega. Por ello es importante mencionar las limitaciones que esto conlleva, al tratarse de un cultivo perenne con un ciclo productivo de varios años, a la hora de establecer conclusiones claras.

El objetivo de este trabajo fin de máster es evaluar el comportamiento agronómico de diferentes variedades de alfalfa. Dicha evaluación consiste en evaluar el material vegetal de 9 variedades.

Para ello los datos que se tomaron para cada variedad fueron:

- Densidad de plantas
- Altura de la planta
- Contenido en clorofila
- Producción en verde
- Humedad
- Materia Seca
- Proteína

Una vez obtenidos estos datos se realizará la comparación de todos ellos entre las diferentes variedades de alfalfa.

En primer lugar, se realizará un análisis de la normalidad de los datos tomados y seguidamente un análisis de la varianza, Anova.

Finalmente se analizarán estos resultados y se extraerán las conclusiones.

3- MATERIAL

Y

MÉTODOS

3 MATERIAL Y MÉTODOS

El presente ensayo se realizó durante la campaña 2019 en el centro agronómico La Melusa (CHE), en Tamarite de Litera (Huesca), ya que se considera una zona representativa de los regadíos del Valle del Ebro y cuenta con un clima y suelo apropiado para el cultivo de la alfalfa, muy extendido en la cuenca regable por el canal de Aragón y Cataluña a la que pertenece.

El material vegetal que se va a evaluar serán 9 variedades, donde las 3 últimas serán las variedades testigo y, las variedades SAS Gold son aquellas que llevan incorporado una tecnología de recubrimiento de las semillas de alfalfa, tal y como se muestra en la tabla 14. Estas variedades están codificadas con una letra por motivos de confidencialidad.

Esta nueva tecnología de recubrimiento de las semillas de alfalfa tiene dos funciones:

- **Nutrición:** el recubrimiento de las semillas 100% activo garantiza una micronutrición que favorece la implantación y estimula el vigor de las plántulas jóvenes. Mejora la implantación hasta +15% de plantas nacidas/m².
- **Inoculación:** se preinoculan las semillas con el inóculo Nitragin Gold, lo que permite garantizar su autonomía de nitrógeno durante su ciclo de producción. Este pelculado asocia los beneficios de la preinoculación de las semillas con la cepa exclusiva Nitragin Gold (bacteria *Sinorhizobium meliloti*), que aumentan el rendimiento hasta +12% desde el primer corte y un aumento de +7% de proteínas.

A continuación, se muestra una tabla con las variedades utilizadas en el ensayo:

Tabla 14: Variedades del ensayo

Número	Tipo	Variedad
1		A
2		B
3	SAS Gold	C
4		D
5		E
6	SAS Gold	F
7	Testigo	G
8	Testigo	H
9	Testigo	I

3.1 EMPLAZAMIENTO DEL ENSAYO

La parcela donde se realizó el ensayo se encuentra en la finca La Melusa, perteneciente a la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), la cual es un Organismo Autónomo dependiente del Ministerio para la Transición Ecológica. Dicha finca o Centro agronómico se ubica en el término municipal de Tamarite de Litera (Huesca), con una superficie de 530 ha, donde 470 ha son de regadío y 60 de secano dedicadas al cultivo de cereales de invierno, verano, oleaginosas, proteaginosas y forrajeras fundamentalmente.

En la figura 9 podemos ver donde se encuentra, dentro de la península Ibérica, la provincia de Huesca marcada en rojo.



Figura 9: Ubicación provincia de Huesca en la península Ibérica

En la figura 10 se muestra la localización de la comarca de La Litera, dentro de la provincia de Huesca, señalada con una flecha en azul.



Figura 10: Comarcas provincia de Huesca

Por último, en la figura 11 tenemos pintado en verde el término municipal de Tamarite de Litera y en rojo tenemos donde se encuentra la finca La Melusa dentro del mismo. La finca se encuentra a unos 2 km de la A-22 que une Huesca con Lérida.

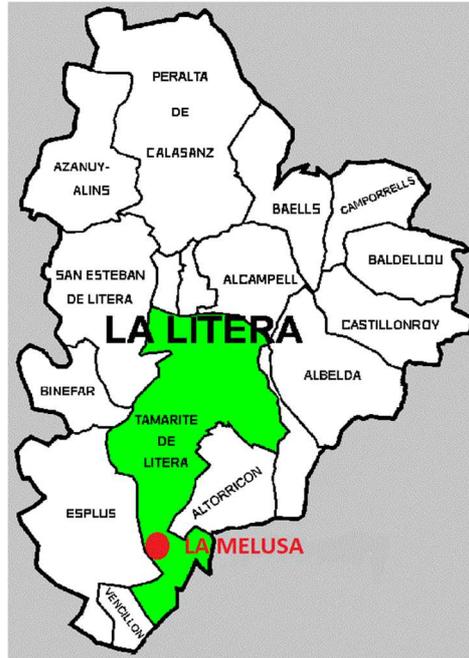


Figura 11: Emplazamiento finca La Melusa

A continuación, en la figura 12 aparece donde está ubicada la parcela del ensayo, en el polígono 28, parcela 6 y municipio 315, dentro de la finca y sus coordenadas UTM.

- Coordenada X: 282.316,20
- Coordenada Y: 4.629.327,35



Figura 12: Ortofoto de la parcela del ensayo (SIGPAC, 2019)

Dicha parcela se encuentra a una altura de unos 360 metros sobre el nivel del mar y tiene una superficie de 4000 m² de los cuales para nuestro ensayo usamos unos 700m².

3.2 ANÁLISIS DE SUELOS

Debido a que de la misma parcela donde realizamos el ensayo no se tenían resultados de un análisis de suelos, se han cogido cogido unos datos de una parcela muy próxima al ensayo, que nos han proporcionado los técnicos de la finca. Estos datos fueron el resultado de la recogida de muestras de suelo a una profundidad de 15cm con ayuda de una barrena tipo "Riverside".

Los resultados de estos análisis de suelos han sido los siguientes:

- Textura franco-arcillo-limosa (determinada según el sistema de clasificación del triángulo de texturas del USDA). Se trata, por lo tanto, de un tipo de textura "moderadamente fina".
- Valores notables de indicadores de propiedades físicas: riesgo leve de pérdida de estructura, riesgo alto de asfixia radicular, óptima capacidad de formación de agregados.
- Valor de pH igual a 8,69 (extracto en agua 1:2,5). Al situarse este valor entre 8,4 y 9, el suelo se califica como "ligeramente alcalino".
- Respecto a la salinidad, se ha obtenido un valor de la prueba previa de salinidad de 0,27 dS/m (extracto en agua 1:5). Valores de la prueba previa de salinidad inferiores a 0,5 dS/m indican que la salinidad no es un factor limitante para la productividad de los cultivos.
- El contenido de materia orgánica es de 1,85 % (método de oxidación Walkley-Black). Porcentajes de materia orgánica alrededor del 1,9 % se califican como medios
- El contenido de carbonato cálcico equivalente en el suelo es de 19,71 %. Porcentajes entre 16 y 26 % indican suelo calcáreo.
- El nivel de caliza activa es de 5,7 %. Porcentajes de caliza activa entre 5 y 7 % indican suelo ligeramente clorosante.
- El contenido de fósforo es de 8,83 ppm (método Olsen). Este contenido en fósforo se considera bajo al situarse dentro del intervalo 6-12 ppm.
- El contenido de potasio es de 80 ppm (método de extracción con acetato amónico). Se trata de niveles bajos en potasio.
- El contenido de magnesio es de 57,84 ppm (método de extracción con acetato amónico). Niveles de magnesio entre 40 y 80 ppm se consideran bajos.
- Relación potasio/magnesio muy baja, el magnesio induce carencia de potasio (elementos antagonistas).
- Los niveles de zinc son de 0,62 ppm (método de extracción con EDTA). Niveles de zinc por debajo de 0,8 ppm son bajos.

- Los niveles de hierro son de 4,50 ppm (método de extracción con EDTA). Niveles de hierro por debajo de 5 ppm se consideran insuficientes.
- El contenido de cobre es de 0,56 ppm (método de extracción con EDTA). Niveles de cobre por encima de 0,2 ppm son suficientes.
- El contenido de manganeso es de 7,88 ppm (método de extracción con EDTA). Niveles de manganeso por encima de 1 ppm se consideran altos.
- Los valores calculados de PSI son inferiores al 15 %, por lo que no hay peligro de dispersión de la estructura por acción del sodio.

3.3 METEOROLOGÍA

3.3.1 TEMPERATURA

Las temperaturas medias, máximas y mínimas absolutas aparecen en la Tabla 15 y representados en la Figura 13. Estos datos son del año agrícola 2018-2019 y se registraron en la estación meteorológica que la CHE tiene en la misma finca de La Melusa.

Tabla 15: Temperaturas mensuales año agrícola 2018-2019 (CHE, 2019)

Mes	Tª media (°C)	Tª máxima media (°C)	Tª mínima media (°C)
Sept.-18	22,2	29,6	14,8
Oct.-18	15,4	21,8	9
Nov.-18	10,5	15,8	5,2
Dic.-18	6,2	10,3	2,1
Ene.-19	3,6	9,1	-1,9
Feb.-19	7,6	16,3	-1,2
Mar.-19	10,3	19,6	1
Abr.-19	12,7	19,7	5,7
May.-19	16,1	24,2	8
Jun.-19	22,1	31,1	13,2
Jul.-19	25,7	33,8	17,5
Ago.-19	24,8	32,4	17,1
Sep-19	20,6	28,6	12,6
Oct-19	16,1	22,7	9,5

TEMPERATURAS MEDIAS, MAXIMAS MEDIAS Y MINIMAS MEDIAS (°C)

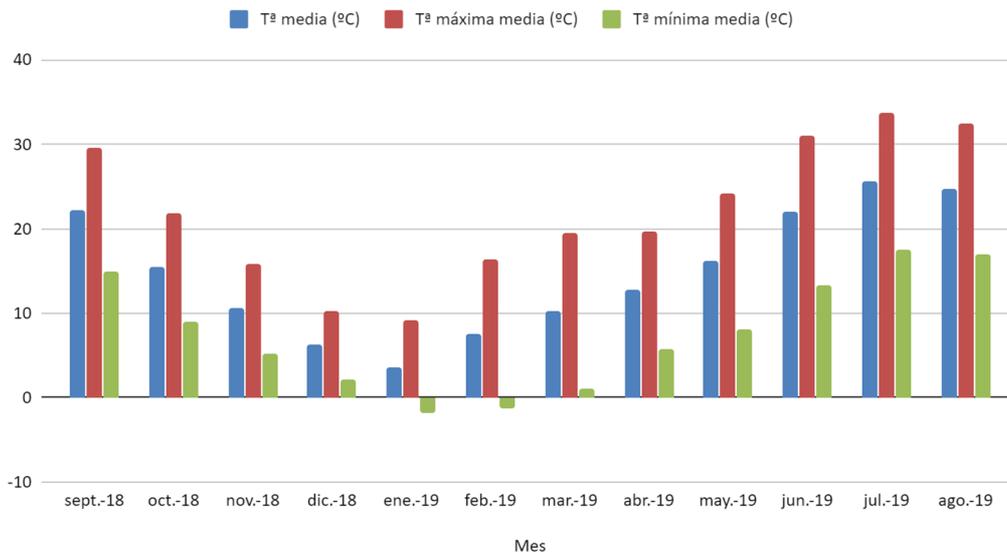


Figura 13: Temperaturas mensuales año agrícola 2018-2019

3.3.2 PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACION

En la siguiente Tabla 16 y Figura 14, se muestran las precipitaciones medias mensuales y así como la evapotranspiración en el mismo tiempo. También estos datos han sido proporcionados por parte de la CHE gracias a la estación meteorológica de la finca.

Así pues, la precipitación total anual fue de 338,8 mm y, la evapotranspiración total anual fue de 989,8mm. Esto nos indica que el cultivo requiere un sistema de riego para combatir ese déficit hídrico.

Tabla 16: Precipitación y evapotranspiración año agrícola 2018-2019 (CHE, 2019)

Mes	Precipitación total (mm)	ETo total (P-M, mm)
Sep.-18	20,6	95,5
Oct.-18	97,6	51
Nov.-18	65,8	20,6
Dic.-18	12,6	7,4
Ene.-19	6,1	14,1
Feb.-19	8,5	27,8
Mar.-19	1,3	73,8
Abr.-19	40,4	95,3
May.-19	34,2	135,3
Jun.-19	6,7	163,7
Jul.-19	26,6	163,9
Ago.-19	18,4	141,4
Sep.-19	8,4	97,3
Oct.-19	90,8	53,3
TOTAL	438	1140,4

PRECIPITACIONES TOTALES (mm) y ETo TOTAL (P-M, mm)

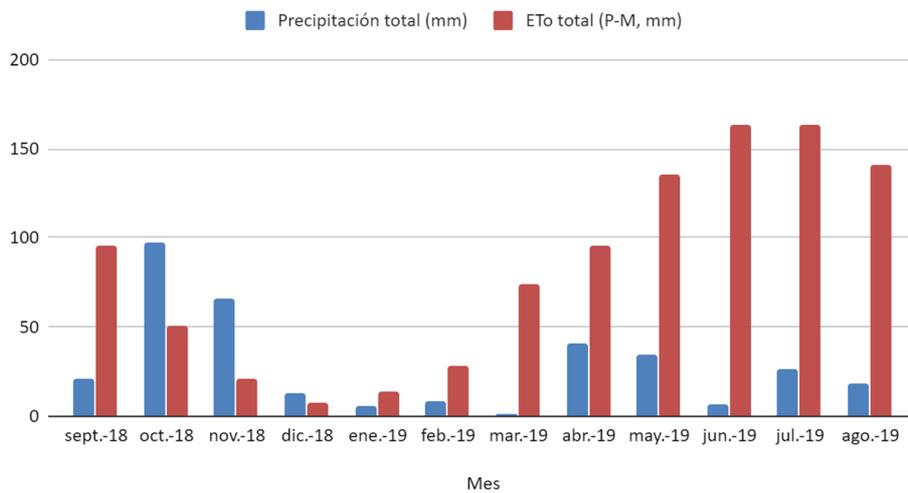


Figura 14: Precipitaciones y Evapotranspiraciones mensuales año agrícola 2018-2019

3.4 AGUA DE RIEGO

El agua de riego con la que se ha regado el ensayo proviene del Canal de Aragón y Cataluña (CAYC), mediante un sistema de riego fijo por aspersión.

Los riegos se programaban semanalmente en función de la meteorología y de la evapotranspiración del cultivo. Este trabajo fue realizado por los encargados de la finca, el cual podíamos comprobar mediante un contador de agua instalado en la toma de riego de la parcela.

Las lecturas del contador de agua fueron anotadas cada día que se iba a la parcela y aparecen a continuación en la tabla 17. Así pues, la cantidad de agua total de riego aportada fue de 2557 m³ y, como la superficie de la parcela como hemos dicho anteriormente es de 0,4 ha, tenemos una dosis de riego de 6392.5 m³/ha.

Tabla 17: Lectura del contador de agua del ensayo

CONTADOR (M3)	
3-may.	260
18-may.	399
6-jun.	563
19-jun.	697
21-jun.	893
12-jul.	962
20-jul.	1134
1-ago.	1569
21-ago.	1751
13-sep	2315
24-sep	2417
29-sep	2417
25-oct	2557

Se tomaron muestras de agua de riego en la cabecera del CAYC, concretamente de la central hidroeléctrica de San José, ubicada a 2 km aguas abajo de la presa del embalse de Barasona, origen del CAYC.

Las analíticas se realizaron sobre parámetros fisicoquímicos del agua por un laboratorio especializado, y los resultados que a continuación se muestran en la tabla 18 se corresponden a muestras tomadas y analizadas durante el mes de julio de 2019 (CHE, 2019).

Tabla 18: Análisis fisicoquímico del agua de riego del CAYC (CHE, 2019)

Parámetro	Valor	Unidades
pH	7.9	Adimensional
CE (medida a 25°C)	240	μS/cm
Cloruros	0.33	meq/l
Sulfatos	0.40	meq/l
Bicarbonatos	1.41	meq/l
Carbonatos	0.33	meq/l
Nitratos	1.6	meq/l
Fosfatos	0.05	meq/l
Potasio	0.03	meq/l
Magnesio	0.30	meq/l
Calcio	1.76	meq/l
Sodio	0.37	meq/l
Fósforo total	0.05	meq/l
Boro	0.006	meq/l

3.4.1 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS

Una vez validado el análisis, a continuación, se muestra el análisis interpretativo de las concentraciones de los parámetros que aparecen en la tabla 18.

- El pH del agua, con un valor de 7,9, se sitúa dentro de los límites óptimos establecidos para agua de riego, entre 6,4 y 8,5.
- Si el agua presenta un valor de conductividad eléctrica inferior a 0,7 dS/m, como es el caso (0,24 dS/m), se considera que el agua no va a ocasionar problemas por salinización.
- Respecto a los cloruros, el rango normal para agua de riego se localiza entre 0 y 30 meq/l, con lo cual el valor tabulado de la muestra en cuestión se puede considerar más que aceptable, ya que la concentración es casi nula.
- En cuanto a los sulfatos, se considera como concentración normal de estos aniones en agua de riego entre 0 y 20 meq/l. Al igual que ocurre con los cloruros, la concentración de sulfatos es prácticamente nula, no llega a 0,5 meq/l.
- Para considerarse dentro del rango óptimo si el agua va destinada a riego, los valores de bicarbonatos deben situarse por debajo de 1,5 meq/l. Se puede observar en la tabla anterior que los niveles de bicarbonatos son inferiores a dicho límite (1,41 meq/l).

- Los valores normales de carbonatos en agua de riego están entre 0 y 0,1 meq/l, por lo que los valores de la muestra superan el umbral máximo permitido, así que, desde el punto de vista de los carbonatos el agua de riego no sería la óptima.
- Los niveles de potasio en el agua destinada a riego deben situarse entre 0 y 2 meq/l. Los niveles presentes recogidos en la Tabla 1 muestran que el potasio ni siquiera alcanza niveles de 0,1 meq/l, con lo cual el valor está dentro del rango óptimo para riego.
- Niveles de calcio entre 0 y 20 meq/l se consideran normales en el agua de riego. El valor tabulado se encuentra dentro de dicho intervalo, además que es un valor bajo, entre 1 y 2 meq/l.
- En cuanto al magnesio, niveles entre 0 y 5 meq/l se consideran normales. Se observa que la concentración de magnesio en el agua de riego es muy baja (0,3 meq/l) y no representa ninguna limitación de uso.
- Si los niveles de sodio son inferiores a 3 meq/l se consideran aceptables para el agua de riego. En la muestra analizada no se llega a concentraciones ni siquiera de 1 meq/l.
- La concentración de nitratos se cuantifica en 1,6 mg/l. Con fines a la evaluación de la calidad del agua para riego, menos de 5 mg/l de nitratos no representa ninguna restricción para el riego.
- Los niveles de fosfatos se sitúan en 0,05 mg/l, inferiores al límite superior para destinar el agua con uso de riego, que se cifra en 2 mg/l.
- Niveles de boro inferiores a 0,7 mg/l se consideran óptimos en agua destinada a riego. Los niveles detectados en el agua de riego se pueden considerar prácticamente inapreciables.

Así, pues, analizando los parámetros individualmente, únicamente los carbonatos son los iones que sobrepasan el límite superior recomendado. No obstante, ante las bajas concentraciones de los cationes a los que puede unirse (calcio, magnesio), se da una baja posibilidad de formación de precipitados que obstruyan los goteros en las instalaciones de riego localizado. Por el resto de los elementos que pueden causar mayores problemas por fitotoxicidad (sodio, cloro y boro), no se superan los grados de restricción estándar establecidos.

3.5 FERTILIZACIÓN

La fertilización es el proceso mediante el cual los fertilizantes o elementos nutritivos que necesita la planta son aplicados para satisfacer sus necesidades y obtener el máximo rendimiento del cultivo.

El único abonado que se realizó en la parcela donde se ubica el ensayo, fue una aplicación de un abono líquido tipo blending (mezcla) cuya formulación era 9-23-30 a una dosis de 200kg/ha. La aplicación de dicho abono y el importe de este fue de 418€/ha. Esta aplicación se realizó después del primer corte de la alfalfa el día 10/07/19.

3.6 TRABAJO REALIZADO EN LAS PARCELAS

3.6.1 DISEÑO DE PARCELAS

El primer trabajo que realizamos fue el diseño de las parcelas experimentales. Para ello se diseñaron unas parcelas de 6 m de largo por 1 m de ancho. Así nos adaptábamos al ancho de la sembradora experimental cuyo ancho de siembra es 1m, con 6 hileras equidistantes.

El ensayo tuvo un diseño totalmente aleatorio con 9 variedades con 3 repeticiones cada una, además se dispusieron unas parcelas alrededor de las variedades objetivo. Así evitamos el efecto borde y tenemos nuestro ensayo más protegido.

Tal y como acabamos de comentar, se realizó un ensayo en microparcelas de 6 m², donde en cada parcela se colocó una variedad y se le asignó un número, para así no conocer la variedad en la parcela y que los datos tomados fueran objetivos, es decir, que no influyera el conocimiento previo de las variedades para la toma de datos. Esto se muestra en la tabla 19.

Tabla 19: Asociación de números a variedades en el ensayo

Variedades	6	5	8	3	7	9	2	1	4
REP 1									
Nº asignado	27	26	25	24	23	22	21	20	19
Variedades	4	7	9	2	8	1	5	6	3
REP 2									
Nº asignado	30	31	32	33	34	35	36	37	38
Variedades	1	2	3	4	5	6	7	8	9
REP 3									
Nº asignado	55	54	53	52	51	50	49	48	47

En la tabla 20 tenemos la distribución en parcela de las variedades, cada una con su número asignado para obtener datos más fiables. Podemos ver que en blanco están las microparcelas del borde que rodean nuestro ensayo, en este caso eran toda la misma variedad. En verde están las variedades del estudio que previamente hemos visto. Además, en las parcelas de color naranja hay un ensayo de densidades de siembra, pero este caso no lo hemos estudiado en este trabajo. Cabe destacar, que lo que rodeaba a nuestro ensayo era todo alfalfa sembrada por los operarios de la finca el mismo día que sembramos el ensayo.

Tabla 20: Distribución de las variedades en el ensayo

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70

3.6.2 SIEMBRA DE LAS PARCELAS

El ensayo se sembró a mediados del mes de abril, en concreto el día 12, por lo tanto, se trata de una siembra de primavera. Siendo la duración del ensayo de 3 o 4 años, dependiendo del estado del mismo y de las disponibilidades de superficie.

En primer lugar, preparamos el lecho de siembra con una grada rotativa. Así la sembradora de ensayos, al ser de bota, hace una correcta siembra, ya que los primeros centímetros del terreno tienen que estar movidos (no apelmazados) debido a que dicha sembradora realiza una siembra somera en este caso.

En segundo lugar, procedimos a la siembra de las variedades. Para una correcta trazabilidad el técnico de la empresa MAS Seeds, trajo todos los sobres ya preparados y enumerados para que pudiéramos ir sembrando en orden sin tener problemas de confundir variedades. Lo podemos ver en la figura 15 que tenemos a la derecha. Los sobres los llevaba el operario de la sembradora, que la acoplamos al tractor de la finca, e iba accionando el mecanismo de siembra cada 6 m para cada variedad y dejando un pasillo o distancia entre microparcels de 0,5 m.

Los pasillos entre bloques al no estar sembrados y con el fin de mantenerlos limpios de malas hierbas, fueron tratados con Glifosato.



Figura 15: Sobres enumerados para siembra

A continuación podemos ver en las Figuras 16, 17 y 18, como es la sembradora experimental y el proceso de siembra:



Figura 16: Botas sembradora experimental



Figura 17: Sembradora experimental



Figura 18: Operario introduciendo los sobres con la semilla

3.6.3 TOMA DE DATOS

Las evaluaciones que se realizaron son:

- Densidad de plantas:

Medida de la densidad de plantas lanzando un marco de 0,2 m² dos veces por microparcela y contando las plantas existentes dentro del mismo en el momento de implantación. Esta medida se realizó a los 21 días tras la siembra, es decir, el 03/05/19. En la figura 19 inferior podemos ver el marco de 0,2m².



Figura 19: Marco de 0,2m²

- Altura de la planta:

Se realizaron medidas con una cinta métrica de la altura de planta dos veces en cada corte, una a los pocos días del corte y otra justo antes de cada corte, con una separación entre medidas de unos 20 días. Así se aprecia en la figura 20 a continuación:



Figura 20: Medida de altura de alfalfa

- Contenido en clorofila:

Se tomaron medias mediante el aparato Konica Minolta SPAD 502, de 15 plantas por microparcela. Funciona colocando las hojas en el visor del aparato que es como una pinza y, éste nos da un dato numérico directamente relacionado con el contenido en clorofila. Podemos ver el Konica Minolta SPAD 502 en la figura 21 de abajo:



Figura 21: Konica Minolta SPAD 502 para medir clorofila

- Producción en verde, humedad, materia seca y proteína:

Estos 3 datos los tomamos en conjunto para una mayor efectividad y rapidez en su medida, pero lo realizamos de manera diferente en cada corte, lo que me ha servido mucho para aprender distintas metodologías de toma de datos, aunque no sea lo más correcto para un ensayo donde habría que haber seguido la misma metodología.

CORTE 1

En el primer corte cogimos 3 muestras por microparcela, con el marco de 0,2m² y una segadora manual como podemos ver en la Figura 22, las cuales las pesamos con una balanza y calculamos la media para obtener la producción en verde de ese corte. Seguidamente llevamos esas muestras al laboratorio de la EPSH, donde las colocamos en la estufa para que perdieran la humedad y, a los 4 días pudimos tomar el dato del peso en seco. De este modo, pudimos calcular la humedad y materia seca de cada variedad. Tras esta medida, procedimos a congelar las muestras para el posterior análisis de la proteína, que lo realizamos a principios de noviembre causado por la disponibilidad del aparato de medida AgriNIR.



Figura 22: Recogida de muestras con el marco de 0.2m²



Figura 23: Desechado de las muestras en la estufa de la ESPH

CORTE 2

En el segundo corte llevamos a cabo otra metodología, en este caso realizamos las medidas in situ, pero solamente una por cada variedad, debido a falta de disponibilidad del AgriNIR. Seguimos con el marco de 0,2m² y pesamos las muestras para hallar la producción en verde. Además, el delegado comercial de la alfalfa y tutor en la entidad nos proporcionó un AgriNIR, se trata de un analizador portátil que mediante infrarrojos nos puede dar la medida de humedad, almidón, proteína, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente, cenizas y materia grasa, lo podemos ver en la Figura 24.



Figura 24: AgriNIR

El proceso de media con el AgriNIR que realizamos, una vez que se segada la muestra y pesada para conocer la producción en verde, consiste en cortar la alfalfa en trozos pequeños (máximo de 2 cm) e introducirlos en una pequeña cubeta con un cristal en su parte inferior (Figuras 25 y 26), que se introduce en el aparato por la parte inferior y, éste va realiza la medida mediante infrarrojos.



Figura 25: Introducción de la alfalfa en la cubeta de medida



Figura 26: Cubeta de medida preparada para la medición

4- RESULTADOS

Y

DISCUSIÓN

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, se ha realizado un análisis de la normalidad de todos los datos en estudio para comprobar que todos son normales estadísticamente hablando. Para ello, se ha usado el programa estadístico IBM SPSS Statics, calculando la prueba de Shapiro-Wilk en los casos que tenemos menos de 50 datos y, en los casos que tenemos más de 50 datos utilizamos la prueba de Kolmogorov-Smirnov. En el caso de que el resultado nos indique que los datos no son normales hay que proceder a hacer transformaciones en los mismos para que así lo sean.

Una vez comprobada la normalidad, calculamos el análisis de la varianza o Anova para ver si hay diferencias significativas entre los datos y las variedades. Si el resultado nos indica que no hay diferencias significativas lo dejamos ahí, pero si las hay, hay que proceder a realizar una separación de medias: test de Tukey.

Las variables estudiadas para cada uno de los 4 cortes fueron:

- Densidad de plantas, en el momento de la implantación
- Altura de las plantas: altura de rebrote (altura 1) y altura de siega (altura 2)
- Contenido en clorofila: previo al corte
- Contenido en proteína: previo al corte
- Kg/m² de alfalfa verde: para cada corte
- % de humedad: para cada corte
- % de materia seca: para cada corte

Para cada medida de las que teníamos más de un dato por variedad las analizamos por cortes, ya que en las que solo se tiene un dato no podemos comparar si es normal. Este es el caso de la clorofila, altura después del corte o de rebrote (Altura 1) y altura antes del corte (Altura2).

Mientras que en el resto de las variables en las que solo teníamos datos de una repetición por variedad y corte, esto debido a problemas técnicos de disponibilidad del AgriNIR y del técnico responsable del mismo, realizamos una comparación entre cortes.

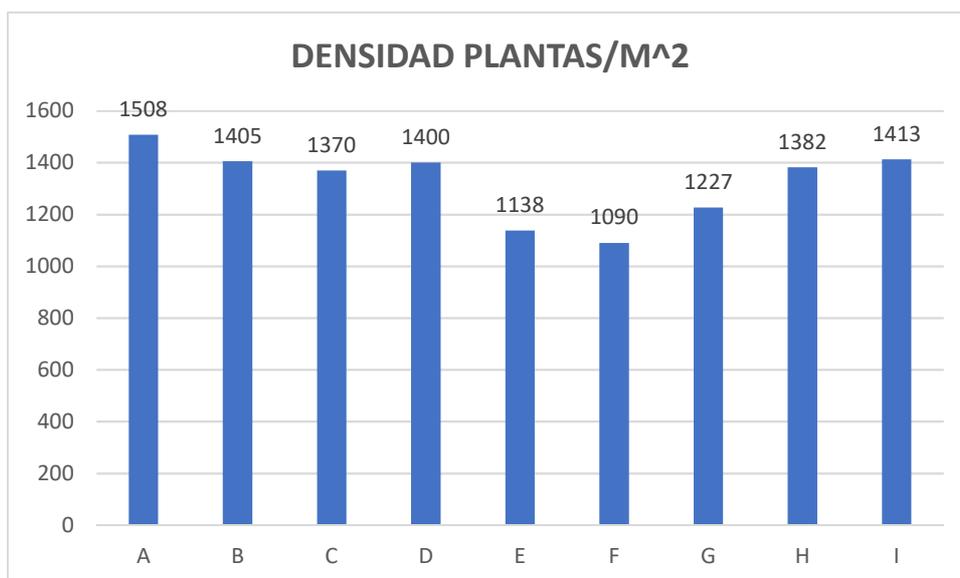
4.1 DENSIDAD DE PLANTAS

Una siembra bien establecida es aquella que en el momento de la nascencia presenta alrededor de 400 plántulas por metro cuadrado en regadío (Delgado *et al*, 2005). Así pues, nuestras densidades de siembra son muy elevadas, triplicando en la mayoría de los casos e incluso como en el caso de la variedad A casi llegando a ser cuatro veces mayor. También podemos observar que la precisión de la sembradora no era muy elevada para la siembra de la alfalfa, ya que tenemos algunas variedades con mucha diferencia de semillas. Esto se deba seguramente al pequeño tamaño de la semilla de alfalfa, ya que la sembradora del ensayo estaba ideada para sembrar ensayos de cebada, y ésta semilla es de mayor tamaño.

En la figura 29 podemos observar la media del conteo de plantas de las 3 repeticiones por cada variedad del resultado del conteo de las plantas por metro cuadrado. Donde la variedad con más densidad es la A y la que está menos densa es la F, mientras que el resto de las variedades presentan unos valores muy similares.

No hay diferencias significativas.

Figura 29: Densidad de plantas/m²



4.2 ALTURA DE LA PLANTA

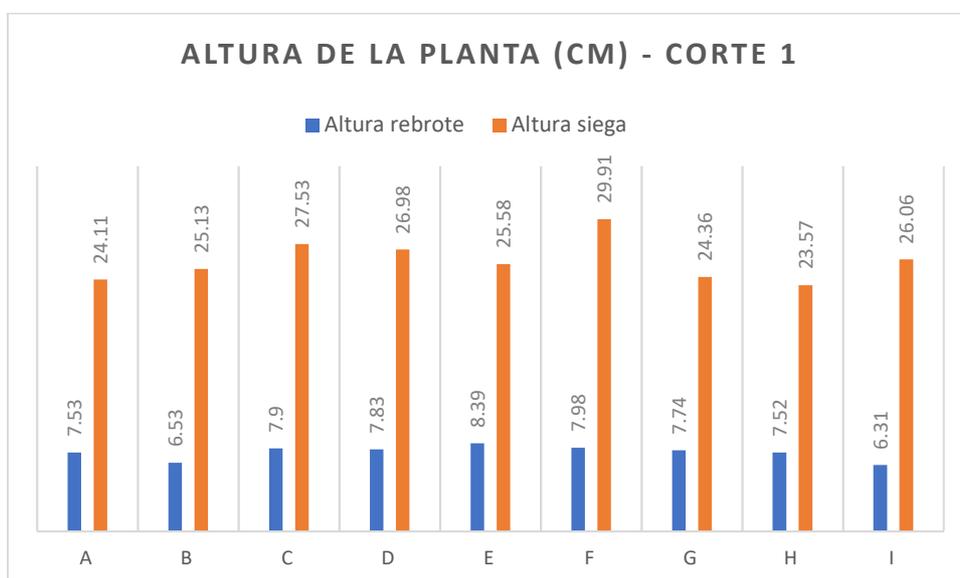
En cuanto a la altura de la planta fue tomada en dos momentos mediante una cinta métrica, uno en rebrote y otro justo antes de la siega de las parcelas.

En la Figura 30 tenemos las medidas de la altura del corte 1. La altura de rebrote se midió el 18/05/19 a los 36 días tras la siembra y, la altura de siega se midió el 06/06/19. La siega se realizó el 05/07/19 por lo que habría que haber esperado un poco más a realizar la segunda medida.

Podemos observar como la variedad F es la que más rápido ha crecido en el intervalo de las dos medidas, probablemente debido a la densidad de plantas ya que en esta variedad es la que posee una menor cantidad de plantas/m². Mientras que en caso contrario tenemos a la variedad H.

No hay diferencias significativas.

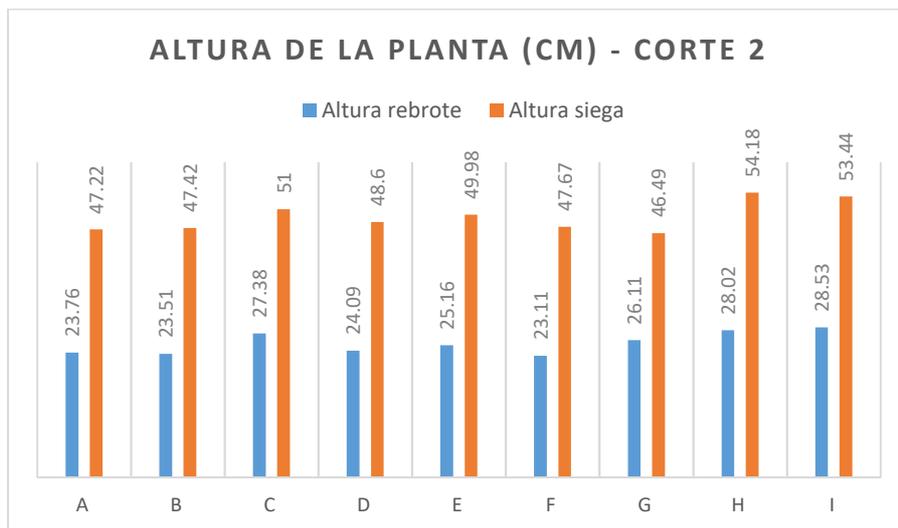
Figura 30: Altura de la planta (cm), corte 1



En la Figura 31 tenemos las medidas de la altura del corte 2. La altura de rebrote se midió el 20/07/19 a los 15 días tras el corte 1, la altura de siega se midió el 01/08/19. La siega se realizó el 09/08/19.

Podemos observar como la variedad H es la que más rápido ha crecido y más altura tiene en el intervalo de las dos medidas. Mientras que en caso contrario tenemos a la variedad G. No hay diferencias significativas.

Figura 31: Altura de la planta (cm), corte 2

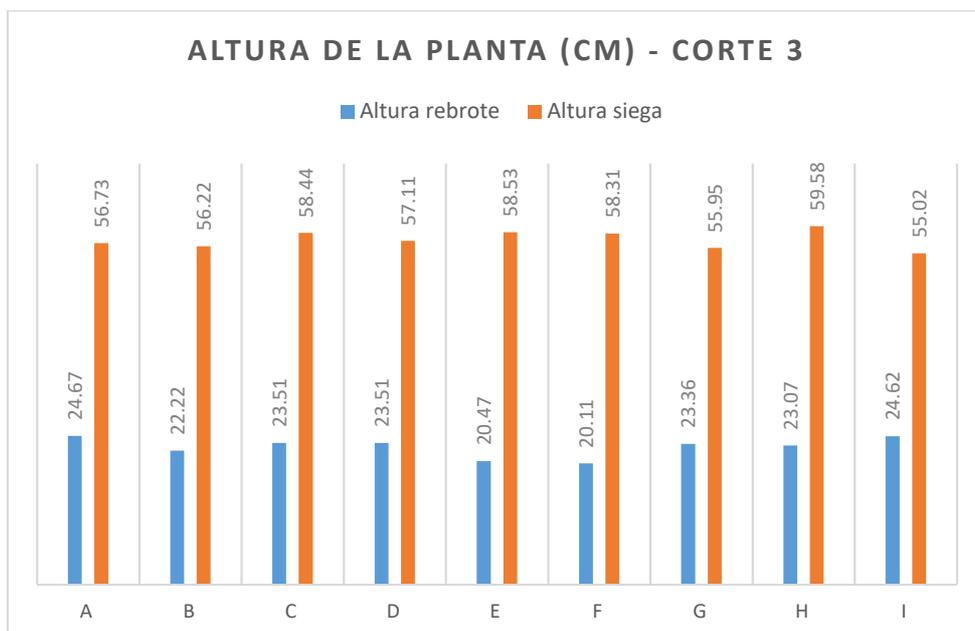


En la Figura 32 tenemos las medidas de la altura del corte 3. La altura de rebrote se midió el 21/08/19 a los 12 días tras el corte 2, la altura de siega se midió el 13/09/19. La siega se realizó el 16/09/19.

Podemos observar como las variedades E y F presentan resultados casi similares siendo las que más diferencia de altura tienen, aunque la más alta por poco es la H. Mientras que en caso contrario tenemos a la variedad I.

No hay diferencias significativas.

Figura 32: Altura de la planta (cm), corte 3



En la Figura 33, tenemos las medidas de la altura del corte 4. La altura de rebrote se midió el 24/09/19 a los 8 días tras el corte 3, la altura de siega se midió el 25/10/19. La siega se realizó el 28/10/19.

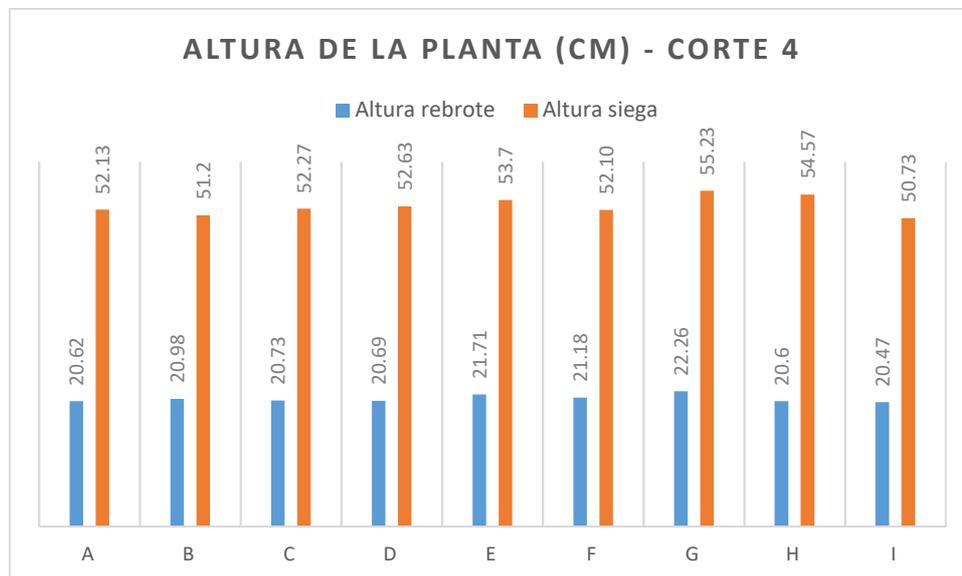
En este corte ha sido cuando hemos obtenido datos con diferencias significativas, ha sido la altura en el momento de siega, ya que el resultado del Anova ha sido menor de 0,05.

Con la prueba de Tukey de la siguiente tabla, nos dice que entre las variedades que se encuentran en la misma columna no existen diferencias significativas, frente a las que se encuentran en diferentes columnas si presentan diferencias respecto a las demás:

Variedades	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
I	3	50,7333		
B	3	51,2000	51,2000	
F	3	52,1000	52,1000	52,1000
A	3	52,1333	52,1333	52,1333
C	3	52,2667	52,2667	52,2667
D	3	52,6333	52,6333	52,6333
E	3	53,7000	53,7000	53,7000
H	3		54,5667	54,5667
G	3			55,2333
Sig.		0,198	0,103	0,152

Podemos observar figura 33, como la variedad H es la que más rápido ha crecido y casi la que más altura tiene, pero la más alta por poco es la G. Mientras que en caso contrario tenemos a la variedad I de nuevo como la peor.

Figura 33: Altura de la planta (cm), corte 4



4.3 CLOROFILA

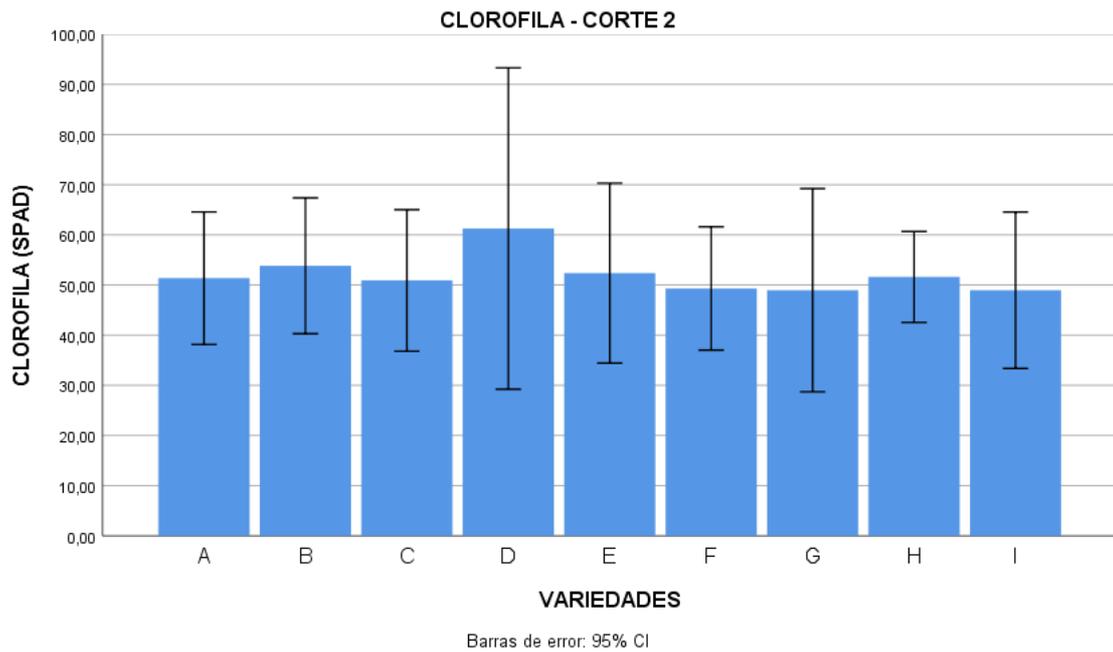
La medida de la cantidad (Uds. SPAD) de clorofila fue realizada en cada corte el mismo día que se tomaban los datos de la altura de siega. El aparato utilizado para ello fue el Konica Minolta SPAD 502. Los datos de la clorofila del primer corte no pudieron ser tomados debido a la no disponibilidad del aparato en ese momento.

Se ha demostrado un vínculo directo entre el contenido de clorofila en las hojas (medido indirectamente a través del medidor SPAD) y el estado de la hoja N (Li *et al.*, 1998; Swiader y Moore, 2002; Wang *et al.*, 2004).

Para el segundo corte ya teníamos a disposición el aparato y los resultados aparecen a continuación en la Figura 34, donde la variedad con mayor contenido en clorofila es la D y con mayor variación, mientras que el resto tienen valores similares en torno a 50.

No hay diferencias significativas.

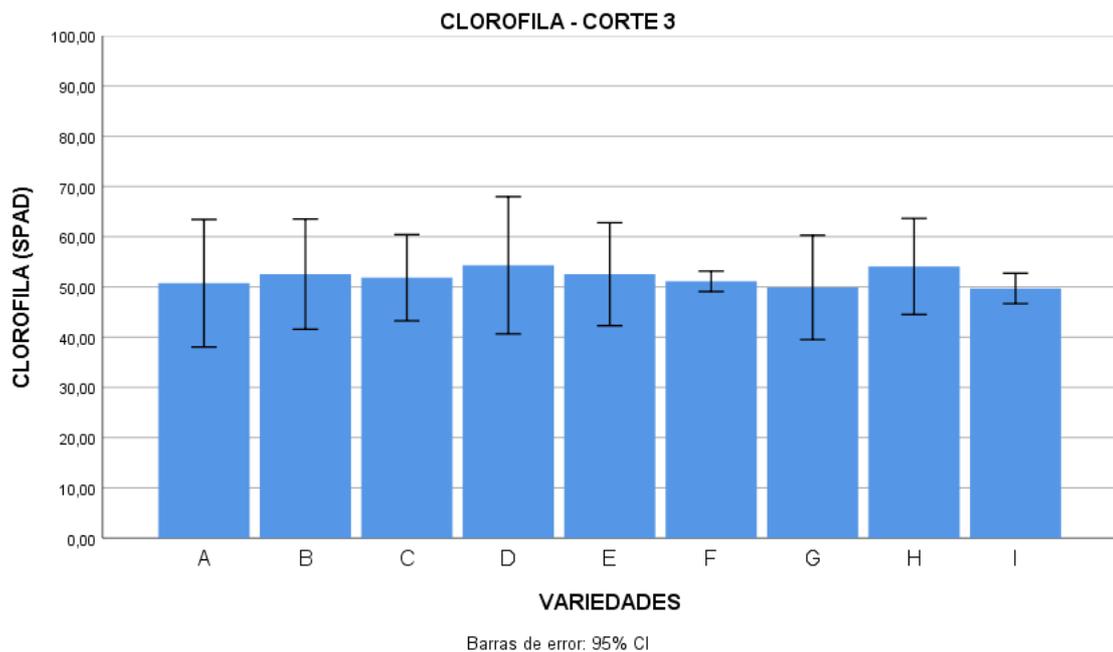
Figura 34: Clorofila corte 2



En el tercer corte los resultados que obtuvimos se encuentran en la Figura 35, donde la variedad con mayor contenido en clorofila es la H y casi similar con la D de nuevo, pero esta vez con valores más similares entre todas las variedades.

No hay diferencias significativas.

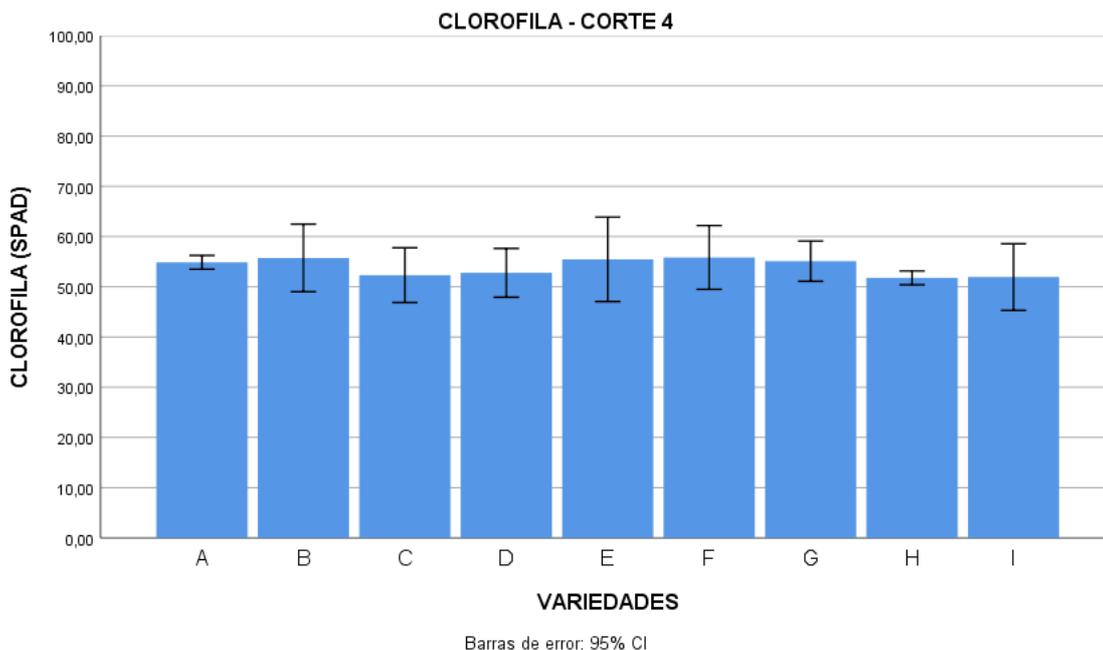
Figura 35: Clorofila corte 3



Por último, en el cuarto corte los niveles de clorofila parecen que se estabilizan todos por un igual en torno a 50, donde no destaca ninguna variedad en cuanto a su alto o bajo contenido. Estos resultados aparecen a continuación en la Figura 36.

No hay diferencias significativas.

Figura 36: Clorofila corte 4

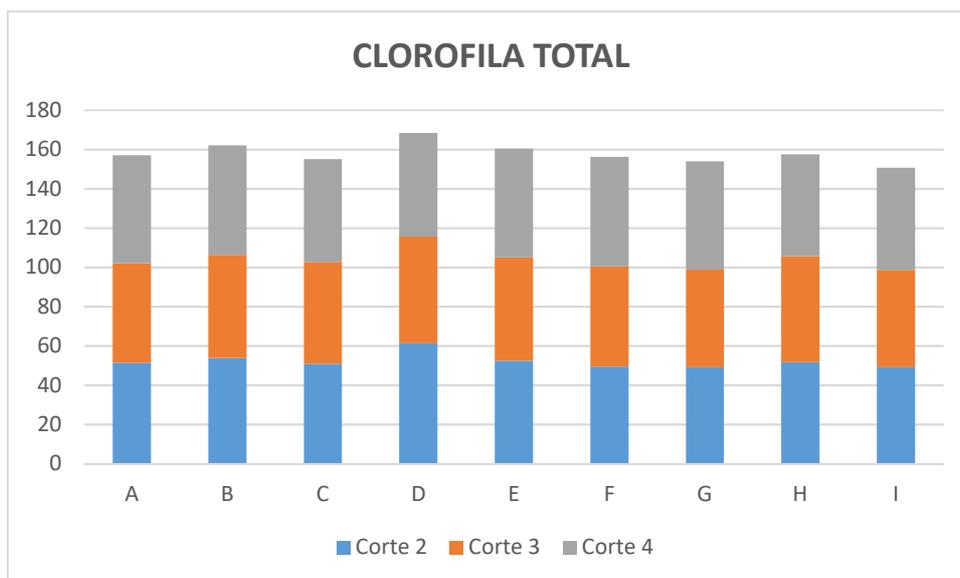


Una vez obtenida la clorofila de cada corte, se procede a realizar una figura donde introducimos los valores de cada corte en conjunto para ver si se aprecia alguna diferencia en cuanto a nivel de clorofila en relación con el paso del tiempo o la época del año.

El resultado aparece en la Figura 37 inferior donde se puede ver que el contenido de clorofila es más o menos constante para cada variedad y el paso del tiempo.

No hay diferencias significativas.

Figura 37: Clorofila total



4.4 PRODUCCIÓN

Uno de los datos más importantes en un cultivo es la producción, en este caso es la producción en kg por metro cuadrado de alfalfa verde. Este dato se tomó en cada corte, en el primer corte se recogieron muestras de todas las parcelas, mientras que, en el resto de los cortes, solo se recogieron muestras de una repetición por cada variedad. Somos conscientes de que lo mejor habría sido recoger muestras de todas las parcelas, pero por problemas de tiempo no pudo realizarse de ese modo. También se tomó este dato el mismo día que se media la clorofila.

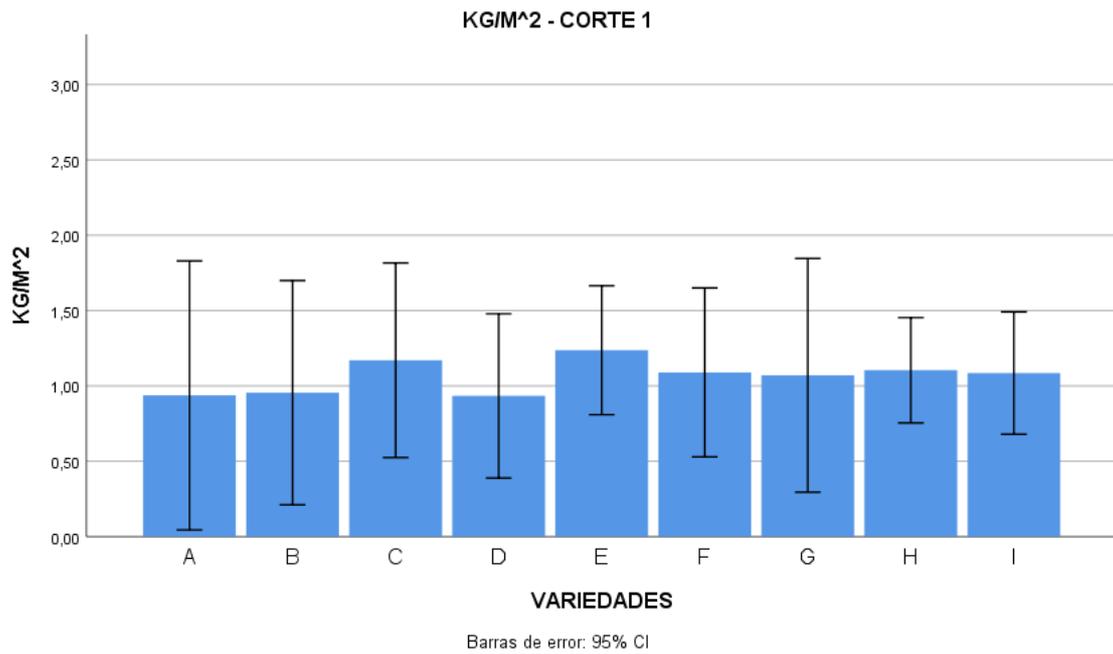
El momento de la siega de la alfalfa era cada 35 días aproximadamente, así lo tenía organizado la empresa que se encargaba de ello. Ese momento era cuando alrededor del 10% de las plantas estaban en flor.

Como acabamos de mencionar, en la figura 38 tenemos los resultados de la producción del primer corte. El error cometido fue tomar las muestras demasiado pronto, por eso las producciones son más bajas en comparación con el resto de las cortes, ya que aún se tardó un mes a segar las parcelas por parte de la empresa deshidratadora.

Hemos podido comprobar como más o menos los valores medios son similares, menos las variedades C y E que son un poco superiores. También vemos una desviación muy elevada debido a que había plantas en diferentes estados y alturas. Esto debido a que se trata del primer corte y había más cantidad de malas hierbas, además se apreciaban unas líneas de siembra con menos vigor debido a que la sembradora no depositó la cantidad de semilla correcta.

No hay diferencias significativas.

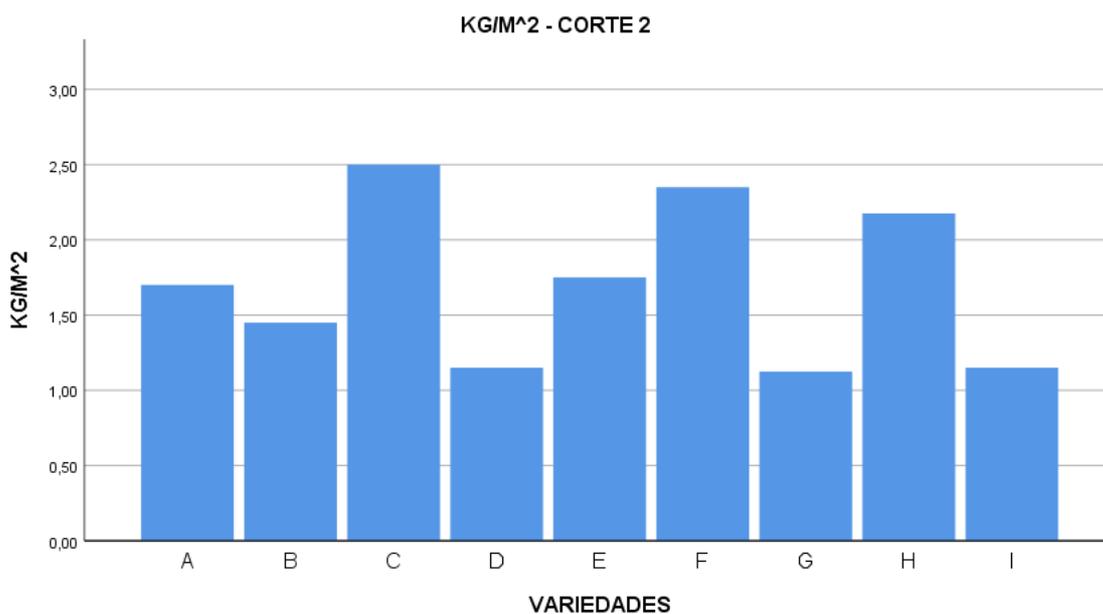
Figura 38: Producción corte 1



En la figura 39 donde se representa las producciones del segundo corte, como hemos mencionado esta vez solo tenemos un dato por variedad. Podemos ver como las variedades SAS Gold (C y F) con el recubrimiento específico ya destacan sobre el resto, seguidas de cerca por la variedad H.

No hay diferencias significativas.

Figura 39: Producción corte 2

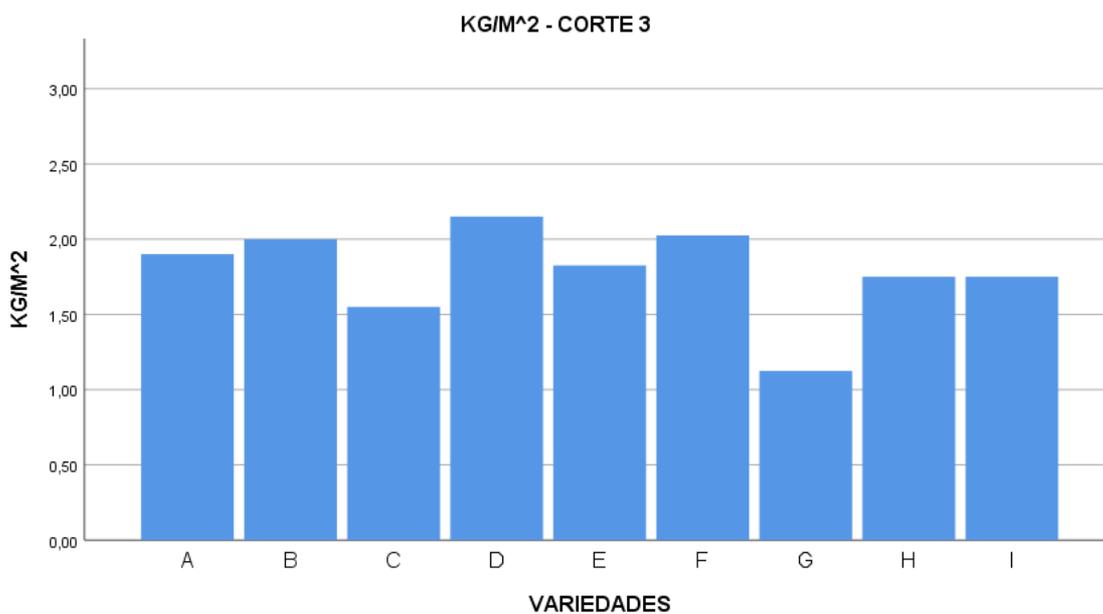


Barras de error: 95% CI

En cuanto a la figura 40 representa las producciones del tercer corte, también esta vez solo tenemos un dato por variedad. Podemos ver también como las variedades SAS Gold (C y F) con el recubrimiento específico siguen siendo las que más han producido, pero han bajado producción respecto al segundo corte, mientras que el resto de las variedades han aumentado la producción en general acercándose a las dos más productivas.

No hay diferencias significativas.

Figura 40: Producción corte 3

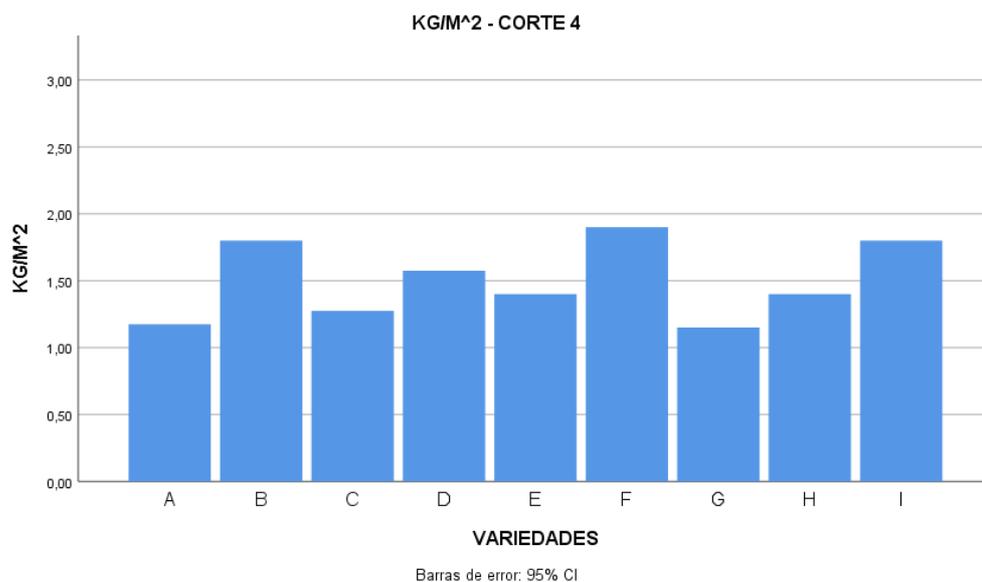


Barras de error: 95% CI

En el cuarto corte los resultados aparecen en la figura 41, también esta vez solo tenemos un dato por variedad. Podemos comprobar como la variedad F sigue en cabeza, todo esto debido seguramente a que la densidad de siembra ha sido la menor. Esta vez la variedad C ha bajado de producción siendo superada por varias variedades, mientras que la B y la I han obtenido una producción similar a la F. También comprobamos que en general ha bajado la producción debido a que ya estábamos en el final del ciclo.

No hay diferencias significativas.

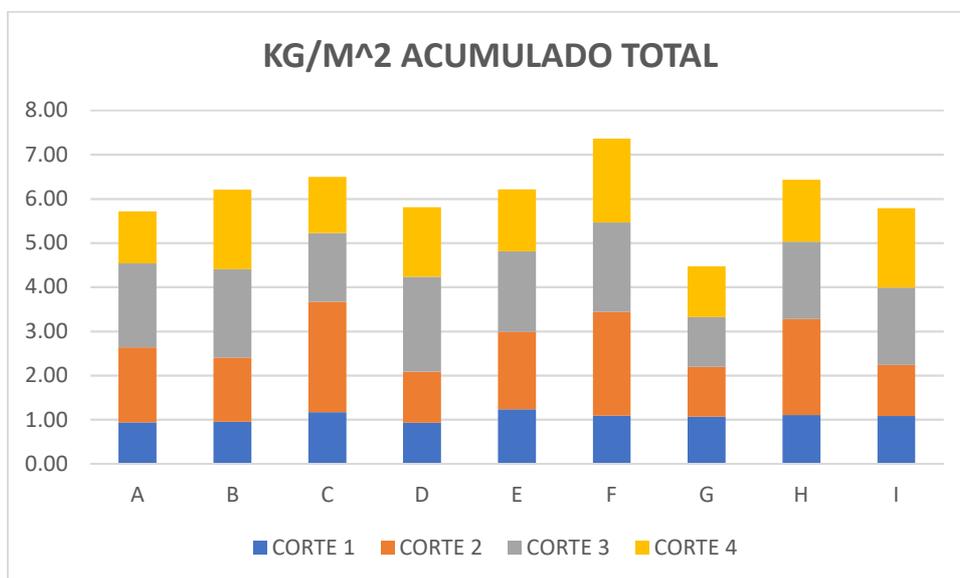
Figura 41: Producción corte 4



El último análisis en cuanto a producción ha sido generar un gráfico, Figura 42, donde poder comparar las producciones totales de cada variedad y, así conocer cuál es más rentable en cuanto a kg/m².

Observamos como destaca la variedad F seguida de la variedad C, las SAS Gold, mientras que las variedades H y B siguen a ésta de cerca. De esta manera igual vemos como la variedad G ha sido la menos productiva.

Figura 42: Producción total



4.5 PROTEÍNA

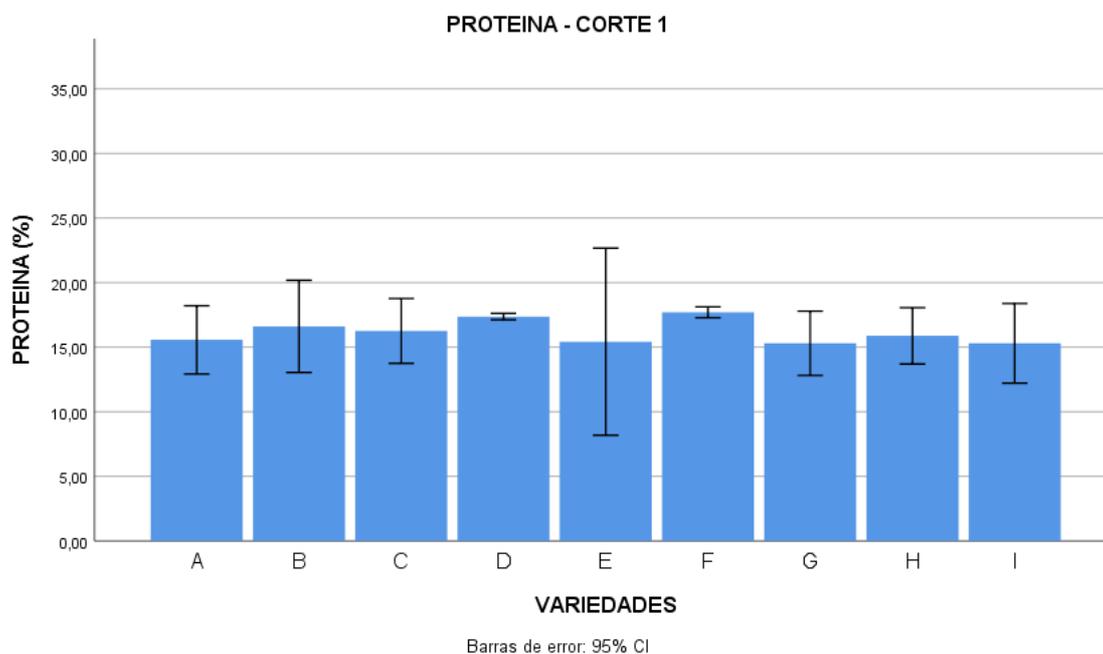
La medida de la cantidad de proteína fue realizada en el campo en cada corte el mismo día que se tomaban los datos de la clorofila, en los momentos que disponíamos del AgriNir, es decir en el segundo y cuarto corte. Mientras que la proteína del primer corte la analizamos en el laboratorio de la EPSH con el AgriNIR tras descongelar las muestras y, las del tercer corte fueron llevadas a un laboratorio externo y nos pasaron los resultados de la misma.

Esta metodología que seguimos no es muy adecuada para la determinación de la proteína, ya que no se siguió un mismo método para el análisis en todos los cortes por igual, pero en este caso al tratarse de un trabajo académico me ha servido mucho para aprender los diferentes métodos de trabajo.

Aquí tenemos la figura 43 donde aparece representada la cantidad de proteína (%) del primer corte. Los valores obtenidos no llegan al 20% debido probablemente a que la recogida de la muestra se hizo demasiado pronto y el estado de la alfalfa no era el adecuado.

No hay diferencias significativas.

Figura 43: Proteína corte 1



Se ha sugerido que el momento óptimo de segar la alfalfa es cuando aparecen las primeras flores y se han propuesto sistemas de explotación basados en cosechar el forraje al estado de 10 % de floración (Baumgard, 1962; Plancquaert, 1966; Hidalgo, 1969).

En la Figura 44 tenemos representada la cantidad de proteína (%) del segundo corte. En este caso no disponemos de la varianza de los datos, ya que no se ha podido calcular porque solo se tomaron datos de una repetición. Esta vez los valores obtenidos si llegan al 20% en la mayoría de los casos debido probablemente a que la recogida de la muestra se hizo más cercana al momento óptimo de siega.

No hay diferencias significativas.

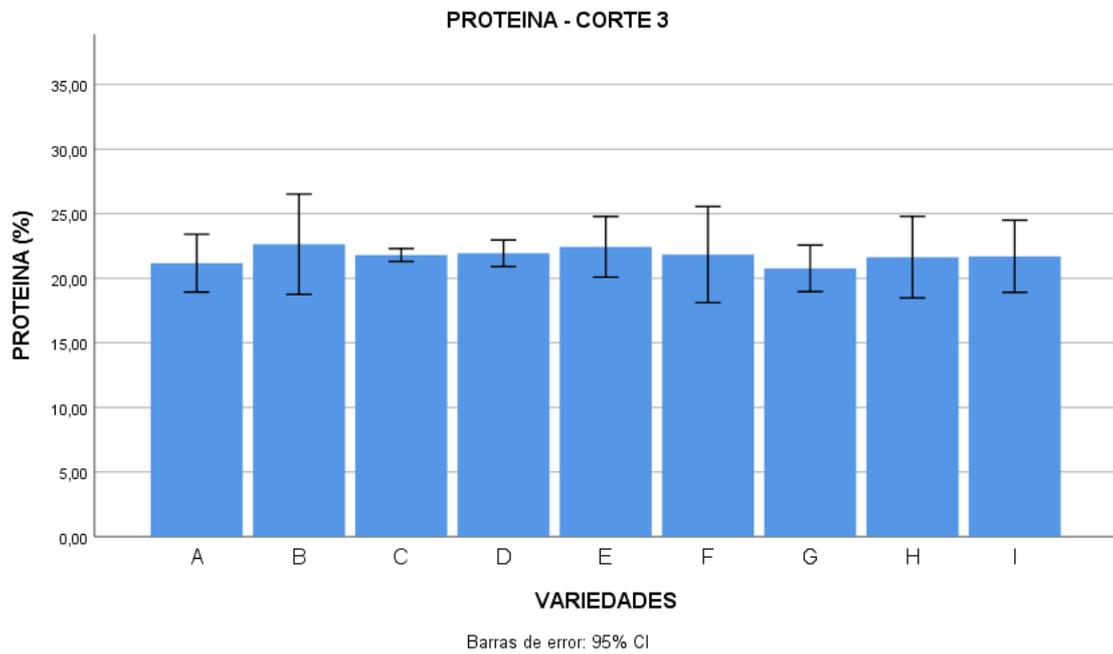
Figura 44: Proteína corte 2



La proteína del tercer corte la tenemos representada en la Figura 45 inferior, en este caso si que tenemos la desviación porque se recogieron muestras de todas las parcelas del ensayo y se llevaron a analizar al laboratorio. Esta vez los valores obtenidos si llegan y sobrepasan todos el 20%, teniendo las cantidades más elevadas de proteína causado porque las muestras se recogieron tres días antes de la siega.

No hay diferencias significativas.

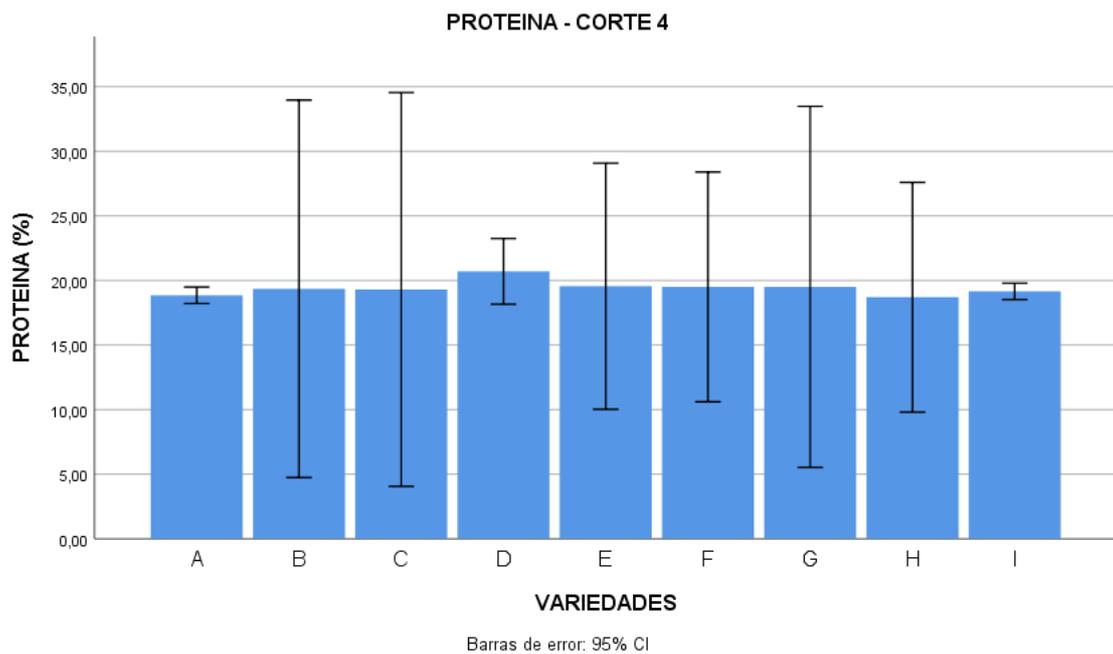
Figura 45: Proteína corte 3



Finalmente, la proteína del cuarto corte la tenemos representada en la Figura 46. En este momento la desviación que presentan los datos es muy elevada en varias variedades, debido seguramente a que ya era el último corte y las temperaturas ya empezaron a ser más suaves, lo que generó que hubiera plantas en diferentes estados fenológicos y por ello estos resultados tan variados, a excepción de las variedades A, D e I que sus valores se mantuvieron próximos.

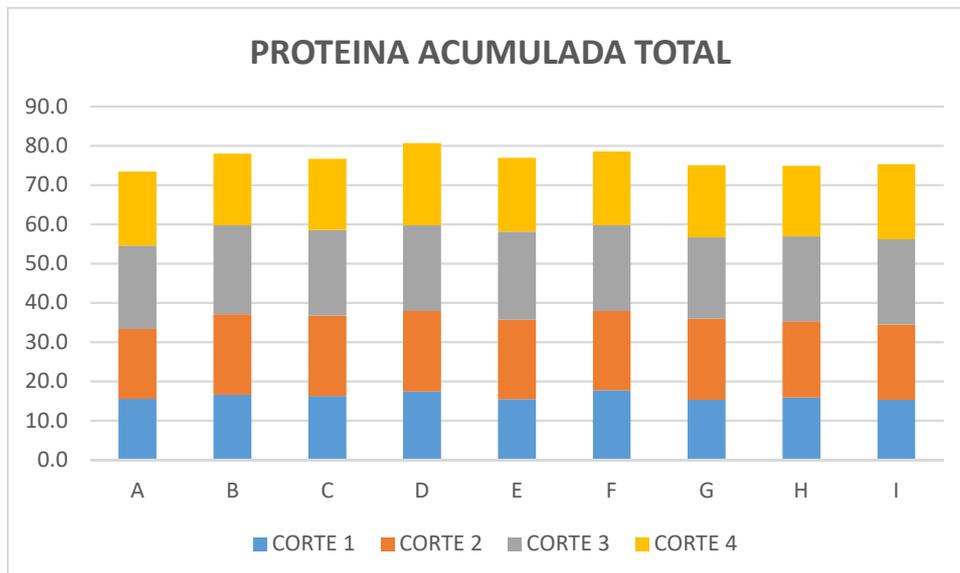
No hay diferencias significativas.

Figura 46: Proteína corte 4



Una vez que ya tenemos todas las cantidades de proteína de cada corte, se procede a realizar un gráfico, Figura 47 donde se representa el acumulado de proteína de cada variedad. Así obtenemos que la variedad E es la que más porcentaje de proteína ha obtenido, mientras que la variedad A y las variedades testigo (G, H, I) son las que menos han obtenido.

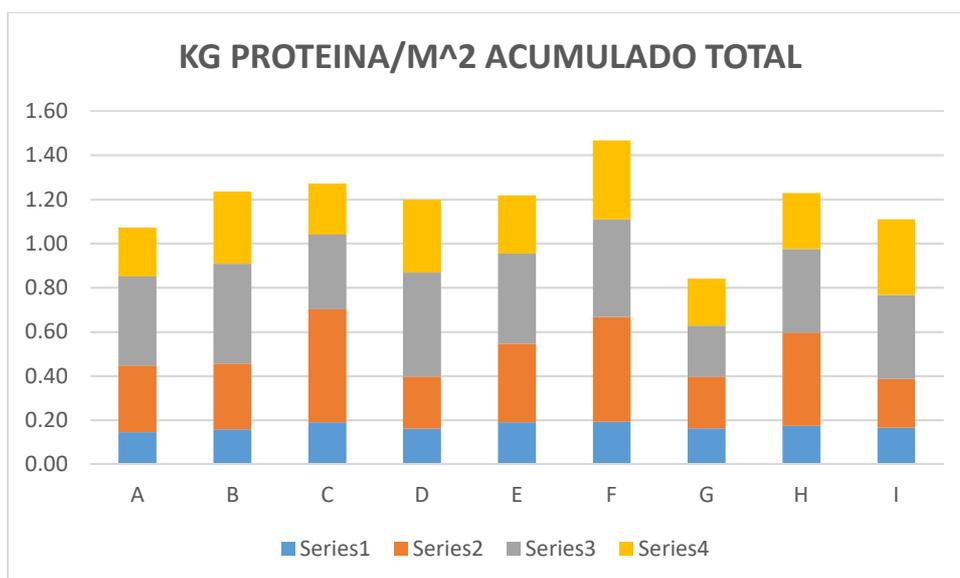
Figura 47: Proteína acumulada total



Aunque tengamos el porcentaje acumulado de proteína puede que no esté relacionado con los kg de proteína por metro cuadrado, ya que influye la producción de kg de alfalfa verde por metro cuadrado. Por ello se ha realizado la siguiente figura donde aparecen los Kg de proteína/m² totales para cada variedad, que han sido calculados mediante la producción en verde y el porcentaje de proteína de cada variedad.

El resultado es que la variedad más productiva en cuanto a proteína es la F, seguida de la variedad C. En este caso se tratan de las dos variedades SAS Gold con recubrimiento específico de semilla.

Figura 48: Proteína por metro cuadrado total



4.6 HUMEDAD

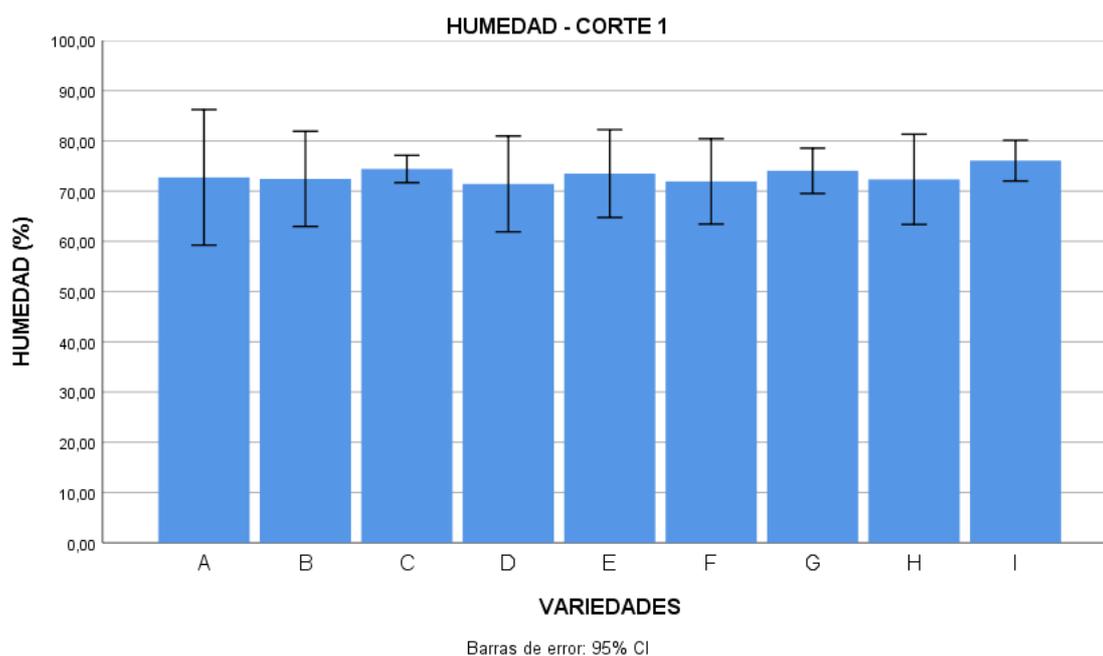
La medida del porcentaje de humedad fue analizada en el campo también en cada corte el mismo día que se tomaban los datos de la clorofila, en los momentos que disponíamos del AgriNir, es decir en el segundo y cuarto corte. Mientras que la humedad del primer corte la analizamos mediante una diferencia de pesos entre el peso en fresco y el peso en seco tras tener las muestras en la estufa para que perdieran la humedad. Las del tercer corte fueron llevadas a un laboratorio externo y nos pasaron los resultados de esta.

Esta metodología que seguimos no es muy adecuada para la determinación de la humedad, ya que no se siguió un mismo método para el análisis en todos los cortes por igual, pero en este caso al tratarse de un trabajo académico me ha servido mucho para aprender los diferentes métodos de trabajo.

A continuación, tenemos la figura 49 donde aparece representada la cantidad de humedad (%) del primer corte, donde se tomaron datos de todas las parcelas (3 repeticiones por variedad). Los valores obtenidos llegan todos al 70% sin que destaque ninguno de ellos ya que tienen unos valores similares.

No hay diferencias significativas.

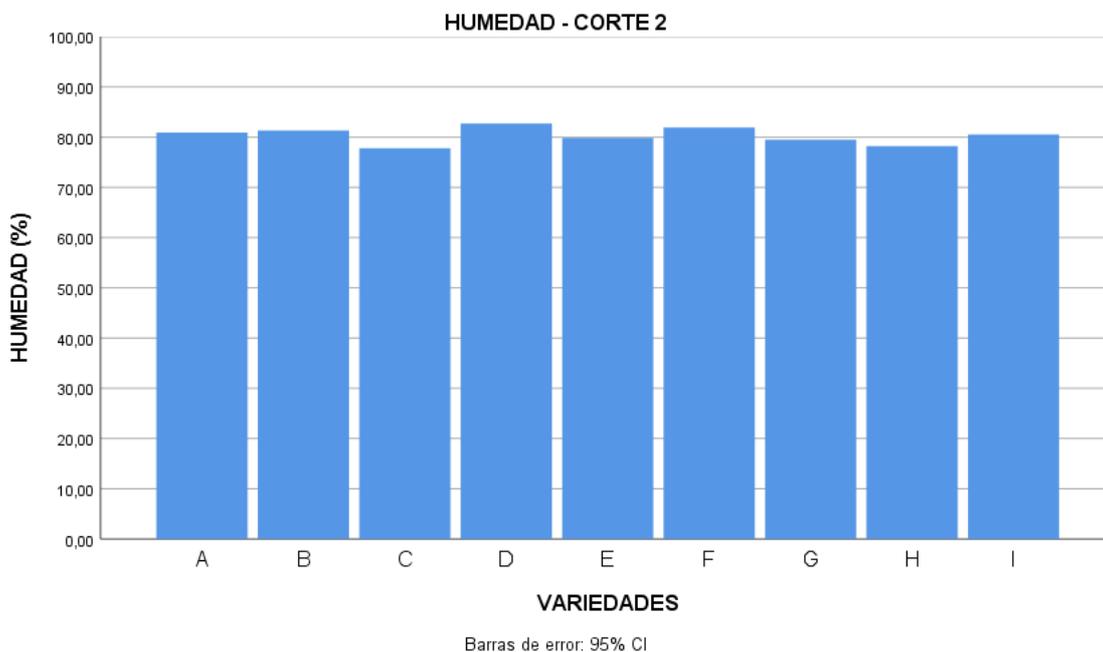
Figura 49: Humedad corte 1



En la Figura 50 tenemos representada el porcentaje de humedad del segundo corte. En este caso no disponemos de la varianza de los datos, ya que no se ha podido calcular porque solo se tomaron datos de una repetición (1 por variedad). Esta vez los valores obtenidos llegan casi todos al 80% salvo las variedades C y H que están ligeramente por debajo.

No hay diferencias significativas.

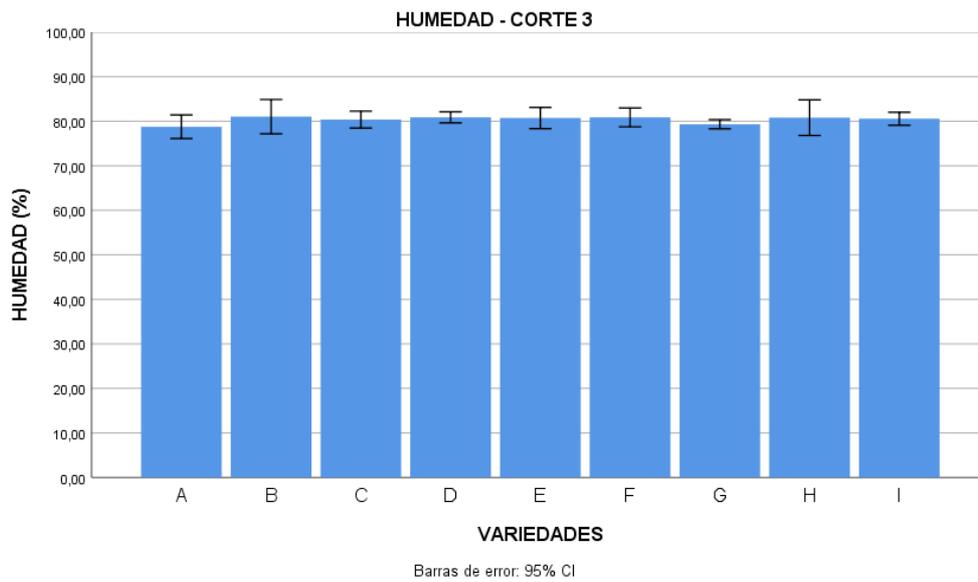
Figura 50: Humedad corte 2



En cuanto a la Figura 51, tenemos representada el porcentaje de humedad del tercer corte. Esta vez volvemos a tener datos de todas las parcelas del ensayo y así su desviación. De nuevo los valores obtenidos llegan casi todos al 80% salvo las variedades A y G que están ligeramente por debajo. Los valores son bastante similares a los del corte anterior y entre variedades.

No hay diferencias significativas.

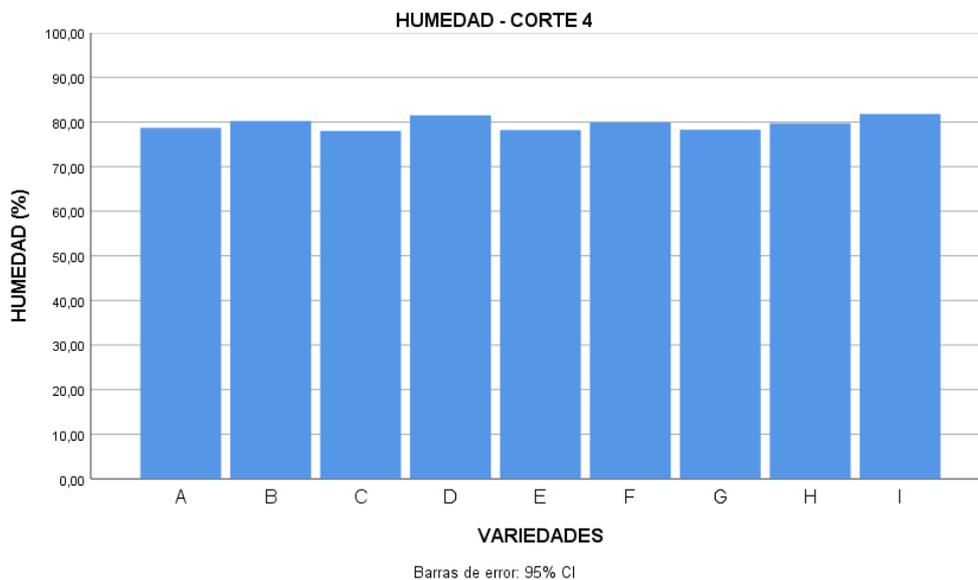
Figura 51: Humedad corte 3



En el último corte la humedad la tenemos representada en la Figura 52 que viene a continuación. Esta vez tomamos solo un dato por variedad, por eso no aparece la desviación. Igual que en los cortes anteriores la humedad se mantiene más o menos en los mismos valores en torno al 80%.

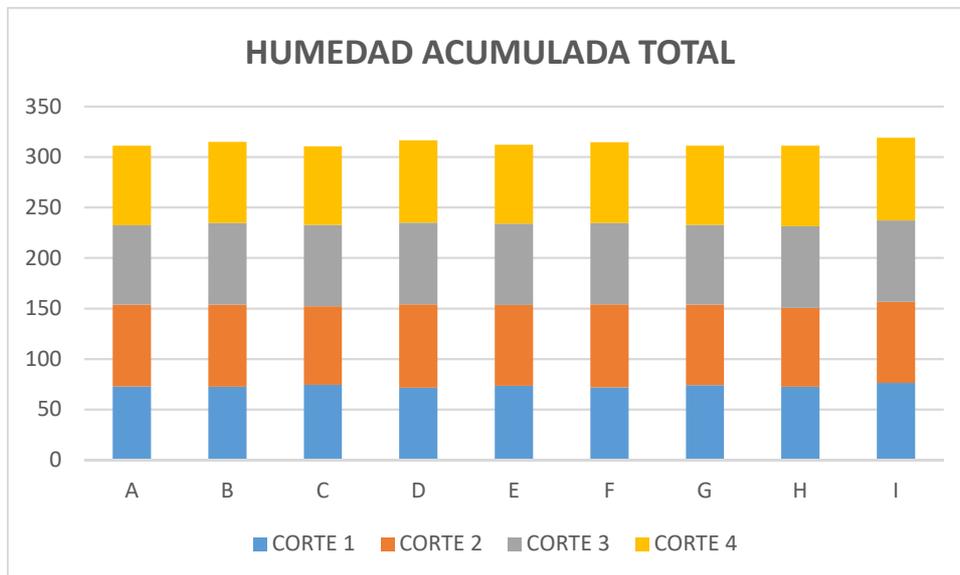
No hay diferencias significativas.

Figura 52: Humedad corte 4



Una vez que ya tenemos el porcentaje de humedad de cada corte, se ha procedido a realizar un gráfico, Figura 53, donde se representa el acumulado de humedad de cada variedad. Así obtenemos la siguiente figura donde podemos ver como todas presentan unos valores muy similares, como ya hemos comprobado en los resultados en cada corte de manera individual.

Figura 53: Humedad acumulada total



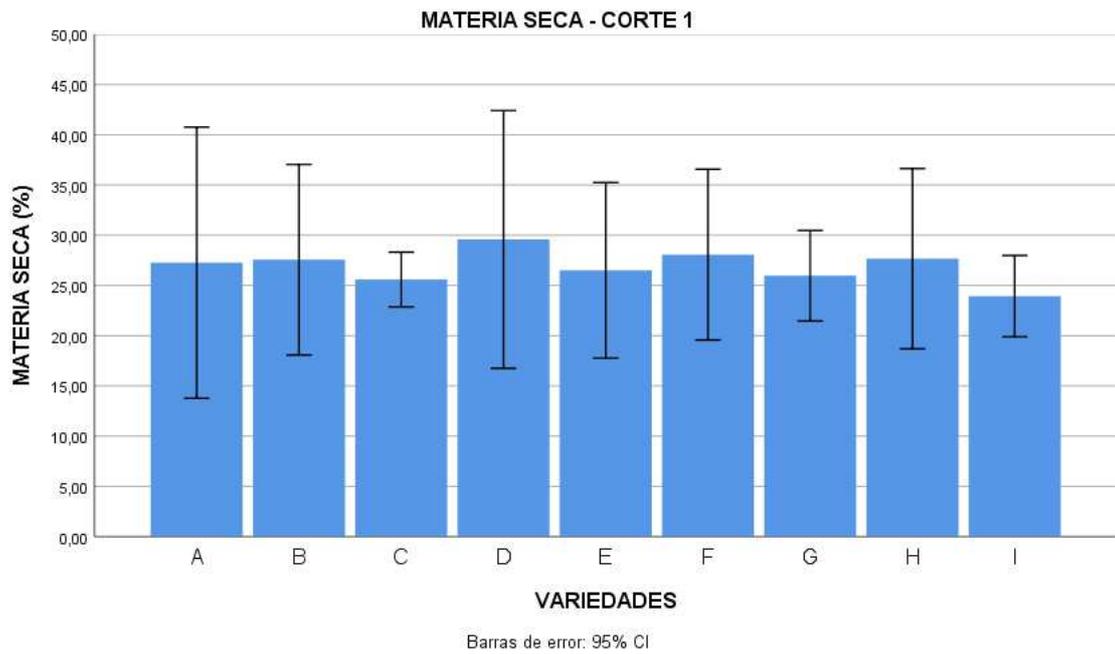
4.7 MATERIA SECA

La medida del porcentaje de materia seca fue analizada en el campo también en cada corte el mismo día que se tomaban los datos de la clorofila, en los momentos que disponíamos del AgriNir, es decir en el segundo y cuarto corte. Mientras que la materia seca del primer corte la analizamos mediante una diferencia de pesos entre el peso en fresco y el peso en seco tras tener las muestras en la estufa para que perdieran la humedad. Las del tercer corte fueron llevadas a un laboratorio externo y nos pasaron los resultados de esta.

Esta metodología que seguimos no es muy adecuada para la determinación de la materia seca, ya que no se siguió un mismo método para el análisis en todos los cortes por igual, pero en este caso al tratarse de un trabajo académico me ha servido mucho para aprender los diferentes métodos de trabajo.

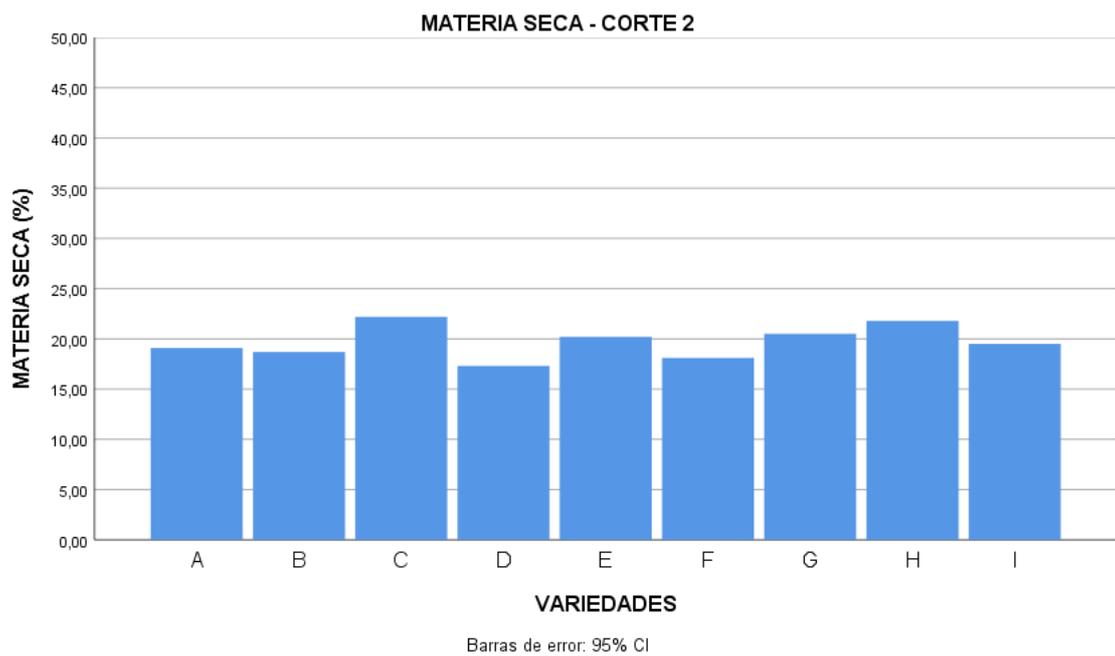
A continuación, tenemos la figura 54 donde aparece representada la cantidad de materia seca (%) del primer corte, donde se tomaron datos de todas las parcelas (3 repeticiones por variedad). Los valores obtenidos no llegan al 30% sin que destaque ninguno de ellos ya que tienen unos valores similares.

Figura 34: Materia seca corte 1



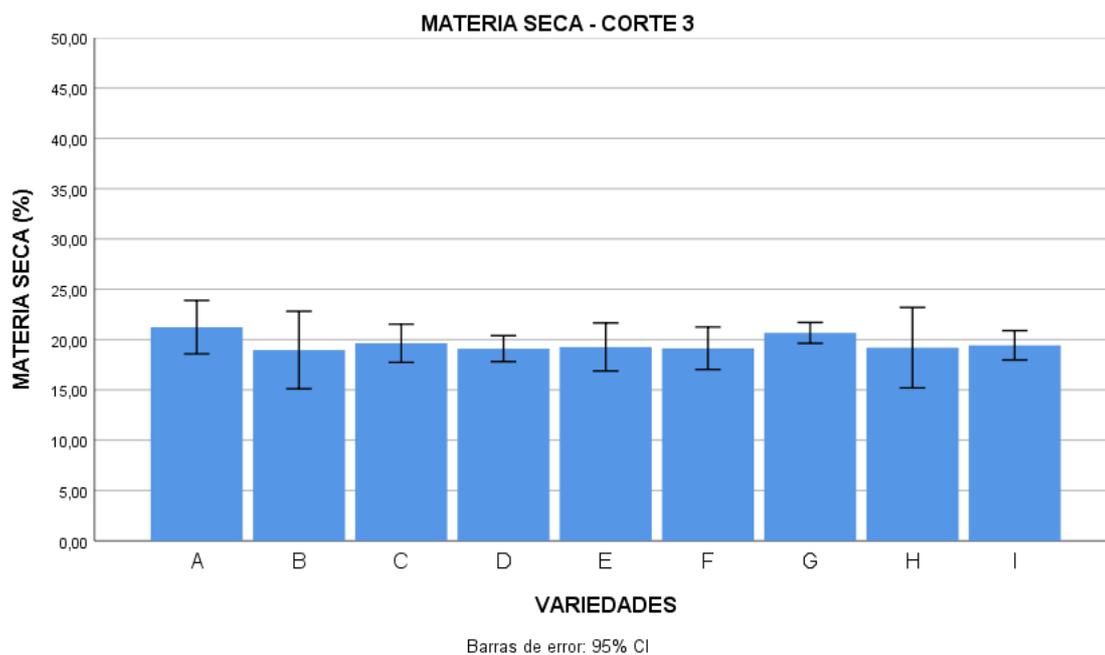
En la Figura 55 tenemos representada el porcentaje de materia seca del segundo corte. En este caso no disponemos de la varianza de los datos, ya que no se ha podido calcular porque solo se tomaron datos de una repetición (1 por variedad). Esta vez los valores obtenidos llegan casi todos al 20% salvo las variedades C y H que están ligeramente por encima. Así podemos comprobar como no hay diferencias significativas aparentes.

Figura 55: Materia seca corte 2



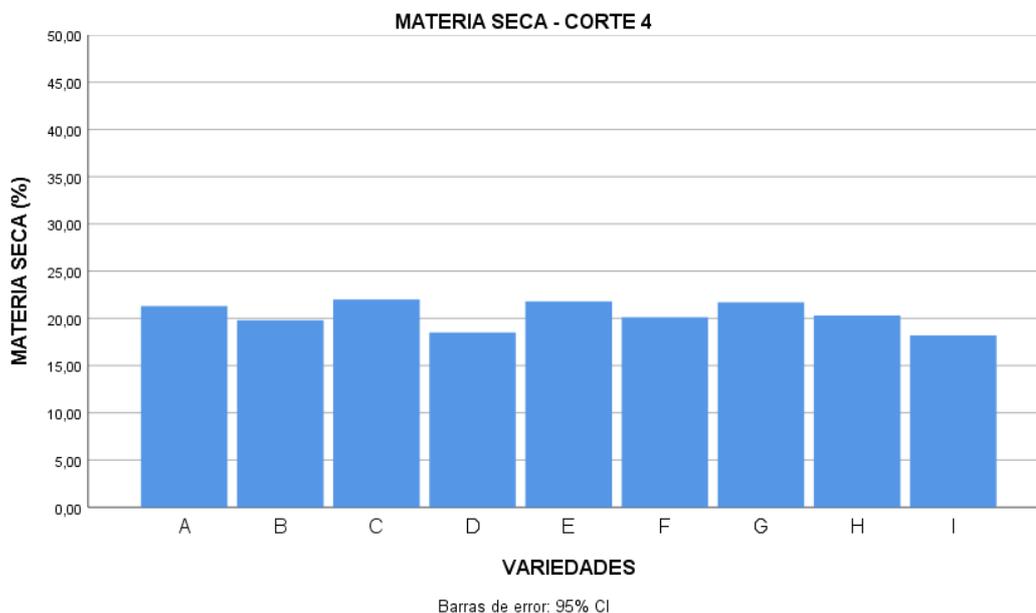
En la Figura 56, tenemos representada el porcentaje de materia seca del tercer corte. Esta vez volvemos a tener datos de todas las parcelas del ensayo y así su desviación. De nuevo los valores obtenidos llegan casi todos al 20% salvo las variedades A y G que están ligeramente por encima. Los valores son bastante similares a los del corte anterior y entre variedades, por lo que también podemos decir que no se aprecian diferencias significativas.

Figura 56: Materia seca corte 3



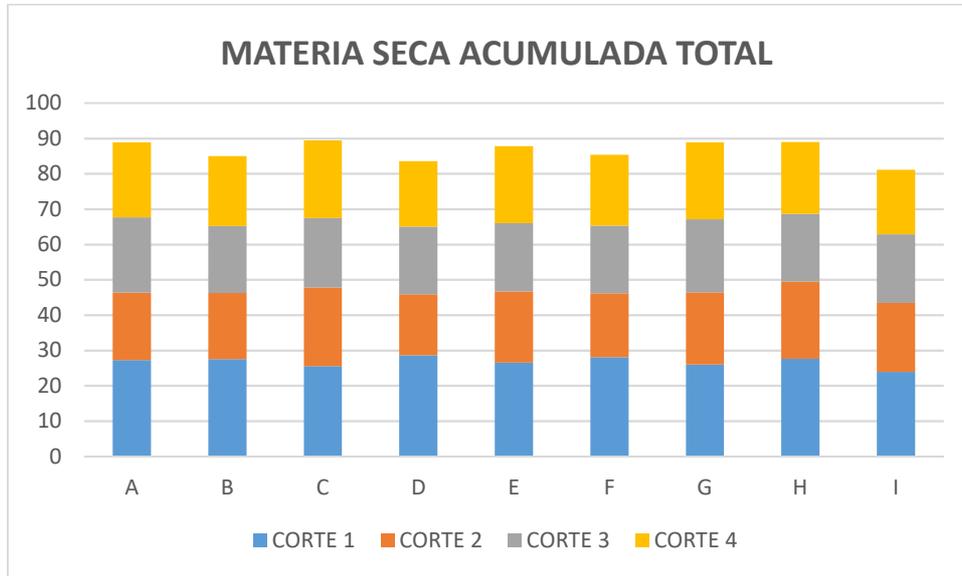
En el último corte la materia seca la tenemos representada en la Figura 57 que viene a continuación. Esta vez tomamos solo un dato por variedad, por eso no aparece la desviación. Igual que en los cortes anteriores la materia seca se mantiene más o menos en los mismos valores en torno al 20%. También podemos decir que no se aprecian diferencias significativas entre variedades.

Figura 57: Materia seca corte 4



Una vez que ya tenemos el porcentaje de materia seca de cada corte, se procede a realizar un gráfico, Figura 58, donde se representa el acumulado de materia seca de cada variedad. Así obtenemos la siguiente figura donde podemos ver como todas presentan unos valores muy similares, como ya hemos comprobado en los resultados en cada corte de manera individual.

Figura 58: Materia seca acumulada total



5- CONCLUSIONES

5 CONCLUSIONES

- 1- En cuanto a la densidad de siembra, sabiendo que la densidad óptima es de 400 plantas/m², referenciado en la bibliografía, hemos realizado una siembra muy densa y poco homogénea, ya que la variedad con menos densidad presenta 1090 plantas/m² y la más densa 1508 plantas/m². Pudiendo afectar a algunos de los resultados aquí presentados.
- 2- Las variedades SAS Gold, C y F, con recubrimiento específico son las que mayor producción de alfalfa verde por metro cuadrado han obtenido, aunque no se hayan obtenido diferencias significativas.
- 3- La cantidad de proteína también ha sido similar entre las variedades, manteniendo una proporción en torno al 20%, sin diferencias significativas.
- 4- En cuanto a la altura de la planta tampoco se aprecian diferencias significativas entre variedades.

La única diferencia significativa se ha dado en el último corte en la medida de la altura antes de la siega, donde se ha hecho una separación de medias Y se han obtenido tres agrupaciones, donde las variedades más diferentes son la G y la I.

- 5- La cantidad de clorofila se ha mantenido constante en los 3 cortes que la hemos medido, en torno a 50, manteniendo unos valores similares y sin apreciarse diferencias significativas entre variedades.
- 6- La proporción de humedad y materia seca se han mantenido constantes durante toda la campaña, siendo valores alrededor de un 80% y un 20% respectivamente sin diferencias entre variedades.
- 7- En cuanto a la producción en cada corte y a la acumulada de los cuatro cortes, no se aprecian diferencias significativas entre variedades y recubrimientos estudiados.

Aunque si que se aprecia una mayor producción en las variedades C y F, que son las de recubrimiento específico.

- 8- Los resultados y conclusiones pueden no ser concluyentes, debido a que solo se ha estudiado una campaña de producción, ya que se trata de un cultivo vivaz de larga duración y habría que seguir estudiando su comportamiento durante los años siguientes.

6- BIBLIOGRAFÍA

6 BIBLIOGRAFÍA

- AEFA, 2019. Asociación española de fabricantes de alfalfa deshidratada. Resultados de la campaña 2018/2019.
- BAUMGARDT, B.R., and SMITH, D., 1962: *Changes in estimated nutritive value of herbage of alfalfa, médium red clover, Ladino clover and brome-grass due to stage of maturity*. Res. Rep. 10 Wis., Agric. Exp. Stn. 17.
- BLUMENTAL, J.M.; RUSSELLE, M. P; LAMB, J., 1999. Subsoil nitrate and bromide uptake by contrasting alfalfa entries. *Agronomy Journal*. 91, 269-275.
- BOLTON, J.L., 1962. Alfalfa. Botany cultivation and utilization
- BOUTON, J. 2001. Alfalfa. In: Gomide JA, Mattos WRS, da Silva SC (eds) Proc. XIX International Grassland Congress, Sao Pedro, Sao Paulo Brazil. 11–21(February 2001). FEALQ, Piracicaba SP Brazil, 545-547.
- CANALS, R.M., PERALTA, J., ZUBIRI, E. 2019. Herbario de la Universidad Pública de Navarra.
- CAPISTROS, J. 2018; Aragón: Tierra privilegiada para la alfalfa. EBRO Innova
- CHERNEY, D., 1995. How much protein do we want in alfalfa forage? Proceedings of the Twenty Six National Alfalfa Symposium, 16-23. Liverpool. New York (EEUU).
- CHOCARRO, C., VILALTA, A., LLOVERAS, J., 2017. ¿Cuánto tiempo debe pasar entre dos cultivos sucesivos de alfalfa?. *Vida Rural*. 11-15.
- CLAVIJO, E., y CADENA, P., 2011. Producción y calidad nutricional de la alfalfa (*Medicago sativa*) sembrada en dos ambientes diferentes y cosechada en distintos estadios fenológicos. Universidad de la Salle. Tesis. Bogotá, Colombia. 35 pp.
- DELGADO, I., NUÑEZ, E., MUÑOZ, F., ANDUEZA, D., 2015. Como maximizar el cultivo de la alfalfa. *Vida Rural*. 68-77.
- DELGADO, I., MUÑOZ, F., ANDUEZA, D., 2005. El cultivo de la alfalfa en Aragón recientes ensayos sobre variedades. *Informaciones técnicas*. N.º 157, 2005.
- DEMARQUILLY, C, 1966: *Valeur alimentaire de la luzerne*. "Fourrages", vol. VII, Num. 26. 12-13.
- DRILLAUD, J., 2016. La alfalfa en preguntas. Versión 2016 (3ª edición).
- FAUCONNEAU, G., et JARRIGE, R., 1957: *Composition chimique et valeur nutritive de l'herbe*. Bull. Tech. Inform., núm. 118. 173-214.
- FOX, R. H.; PIEKIELEK, W.P., 1988. Fertilizer N equivalence of alfalfa, birdsfoot trefoil and red clover for succeeding corn crops. *Journal of Production Agriculture*, 1, 313-317.
- FULKERSON, R.S.; MOWAT, D.N.; TOSSELL, W.E., and WINCH, J.E., 1967: *Yields of dry matter, in vitro digestibility of dry matter and crude protein of forages*. Can. J. Pl. Sci., Vol. 47. 683-690.
- GARRETT, J., 1994. Importance of quality alfalfa in dairy nutrition. Proceedings of the Twenty Fourth National Alfalfa Symposium, 5-13. Springfield. Illinois (EEUU).
- GYANESHWAR, P., HIRSCH, A.M., MOULIN, L., CHEN, W.M., ELLIOTT, G.N., BONTEMPS, C., ESTRADA-DE LOS SANTOS, P., GROSS, E., DOS REIS, F.B., SPRENT, J.I., YOUNG, J.P., y JAMES,

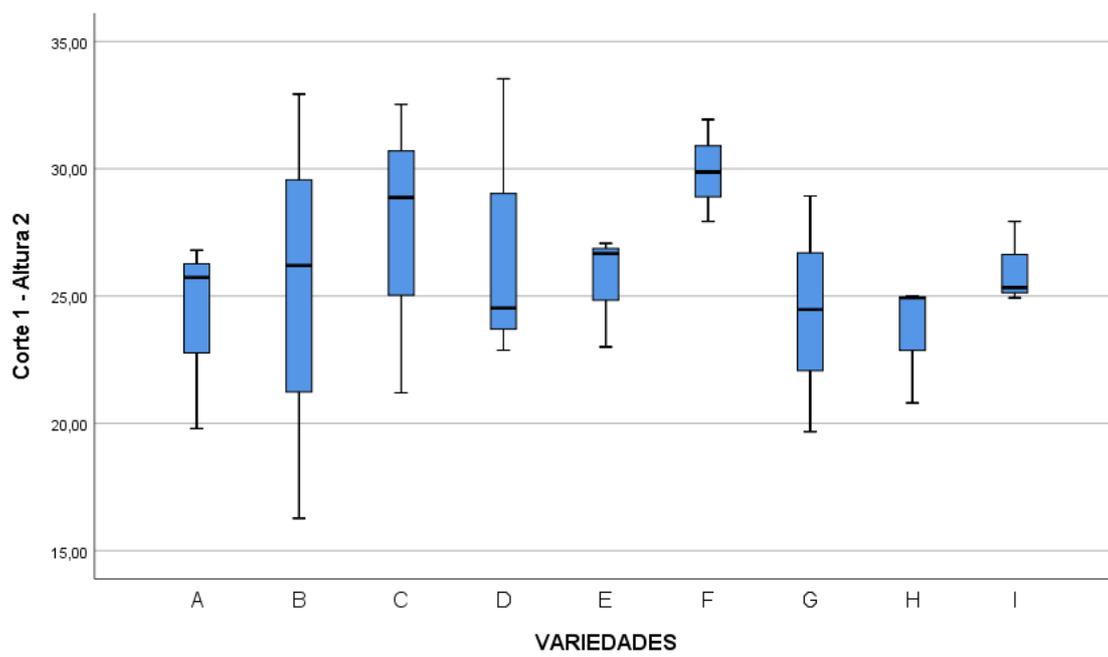
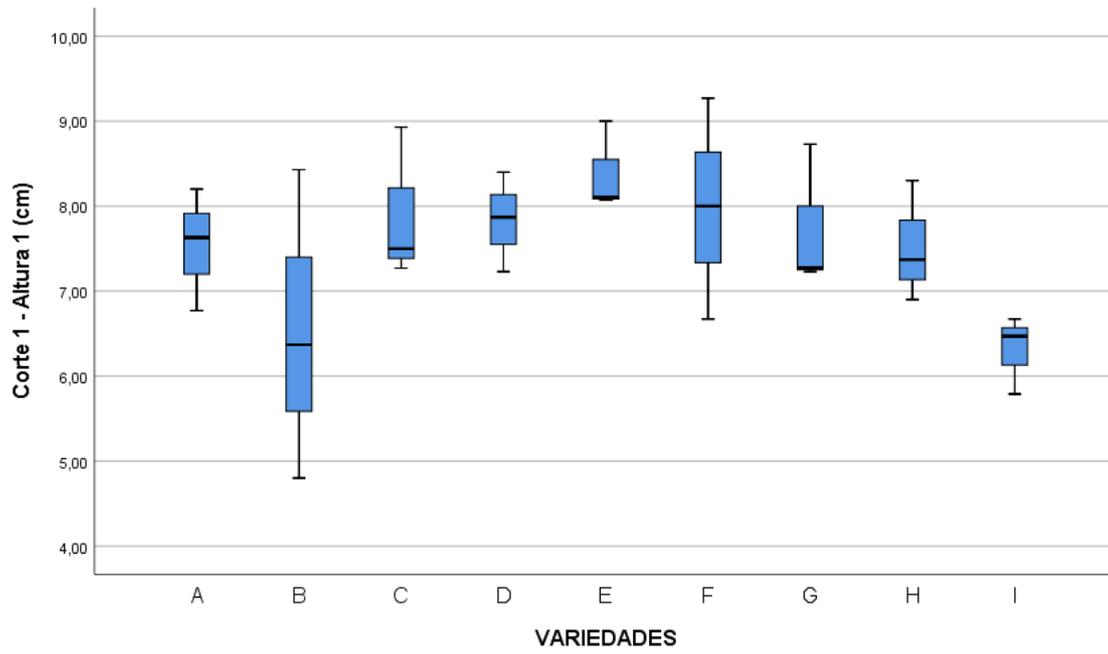
- E.K..2011. Legume-nodulating betaproteobacteria: diversity, host range, and future prospects. *Mol Plant Microbe Interact* 24: 1276-1288.
- HEICHEL, G.H., 1978. Stabilizing agricultural energy needs: Role of forages, rotations, and nitrogen fixation. *Journal of Soil and Water Conservation*, **33**, 279-282.
- IBM SPSS Statistics, 2017. Version 25.
- ITAB, 1995. Guide des matières organiques. Fertilité des sois. ITAB. Paris (Francia).
- JOURNET, M., 1992. La luzerne dans l'alimentation des ruminants. X International Lúcame Eucarpia Meeting, 18-32. Lodi (Italia).
- KELLING, K.K., SCHMITT, M., 1996. Applying manure to alfalfa, How Much and When. *Proceedings of the Twenty Six National Alfalfa Symposium*, 92-102. East Lansing. Michigan (EEUU).
- KLOPFENSTEIN, T, 1991. Utilization of alfalfa protein by ruminant livestock. *Proceedings of the Twenty One National Alfalfa Symposium*, 5-17. Reno. Nevada (EEUU).
- LAGARES, A. 2015. La simbiosis fijadora de nitrógeno *Sinorhizobium meliloti*-alfalfa (*Medicago sativa*): Caracterización del rol biológico del ARN pequeño Sm8 en la vida libre y simbiótica de los rizobios: 23-24
- LI, Y.C., A.K. ALVA, D.V. CALVERT, and M. ZHANG, 1998. A rapid nondestructive technique to predict leaf nitrogen status of grapefruit tree with various nitrogen fertilization practices. *Hort-Technology* 8:81–86.
- LÓPEZ, R. 2018; Aragón sigue liderando en España la producción de alfalfa deshidratada. *El Periódico de Aragón*.
- LLOVERAS, J. 1999. El cultivo de la alfalfa y su relación con el medio ambiente. *Pastos*, XXIX (2). 145-167.
- LLOVERAS, J., LÓPEZ, A., BETBESE, J.A., BAGA, M., LÓPEZ, A. 1998. Evaluación de variedades de alfalfa en los regadíos del Valle del Ebro: análisis de las diferencias intervarietales. *Pastos*, XXVII (1). 37-56.
- LLOVERAS, J., SANTIVERI, R., PONS, J., FONT, C. 2000. Efecto del abonado nitrogenado invernal en la producción y calidad de la alfalfa en los regadíos del Urgell. /// Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes, 255-261.
- MAPA, 2019. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Producciones agrícolas. Cultivos herbáceos e industriales. Forrajes.
- MARTÍNEZ COB, A., FACI, J.M., BERCERO, A., 1998. Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón. Ed. Institución "Fernando el Católico" (CSIC), Zaragoza.
- MAS SEEDS, 2018. Catálogo de semillas y consejos 2018-2019.
- MASSON-BOIVIN, C., GIRAUD, E., PERRET, X., y BATUT, J.. 2009. Establishing nitrogen-fixing symbiosis with legumes: how many rhizobium recipes? *Trends Microbiol* 17: 458-466.

- MASSON, J., TREMBLAY, N., and GOSSELIN, A., 1991. Nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting influence vegetable transplant production. I. Transplant growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116:594–598.
- MEYER, J.H., and JONES, L.G., 1962: *Controlling alfalfa quality*. Bull. 784 Calif. Agric. Exp. Stn. 72.
- MICHAUD, R., LEHMAN, W.F., RUMBAUGH, M.D., 1988. World distribution and historical development. En: *Alfalfa and alfalfa improvement*, 25-91. Hanson A.A., Ed., Agronomy nº 29, Madison, Wisconsin, USA.
- MORTIER, V, HOLSTERS, M, y GOORMACHTIG, S. 2012. Never too many? How legumes control nodule numbers. *Plant Cell Environ* 35: 245-258.
- NÚÑEZ, E., RODRIGUEZ, E., PERDIGUER, A., 2008. Una nueva estrategia para el control de plagas en la alfalfa. *Informaciones Técnicas*. N.º 2, 2008.
- OKA-KIRA, E., Y KAWAGUCHI, M. 2006. Long-distance signaling to control root nodule number. *Curr Opin Plant Biol* 9: 496-502.
- PLANCQUAERT, P., 1966: *L'exploitation de la luzerne*. "Fourrages", Vol. VII, Num.26. 34-48.
- PORTA, J., 1983. SINEDARES. Sistema de información edafológica y agronómica de España. Manual para la descripción codificada de suelos en el campo. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 137 pp. ISBN 84-7479-226-6.
- POWER. J.F., 1990. Legumes and Crop rotations. En: *Sustainable agriculture in temperate zones*, 178-204. Ed. C.A. FRANCIS. J. Wiley and Sons. New York (EEUU).
- ROTILI, P., BUSBICE, T.H., DEMARLY, Y., 1996. Breeding and variety constitution in alfalfa: present and future. *Grassland and land use systems*, vol. 1, 163-180. 16th European Grassland Forage Meeting. Grado (Italia), 15- 19 de septiembre.
- ROTILI, P., ZANNONE, L., GNOCCHI, G., PROIETTI, S., SCOTTI, C., 1989. Analysis of the aerial part and roots of the alfalfa crop to improve the breeding methods. *Proceedings of 16th International Grassland Congress*, Nice (Francia), 485-486.
- SALMERON, M., ISLA, R., CAVERO, J., DELGADO, I., 2011. Viabilidad de las aplicaciones de purín en alfalfa de regadío en el Valle del Ebro. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*. Nº 942, 2011, 458-462.
- SOVAL-VILLA, M., WOOD, C.W., and GUERTAL, E.A., 2002. Tomato leaf chlorophyll meter readings as affected by variety, nitrogen form, and nighttime nutrient solution strength. *J. Plant Nutr.* 25: 2129–2142.
- SWIADER, J.M. and MOORE, A., 2002. SPAD-chlorophyll response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dry land and irrigated pumpkins. *J. Plant Nutr.* 25:1089–1100.
- TERPOLILLI, J.J., HOOD, G.A., y POOLE P.S. 2012. What determines the efficiency of N₂-fixing Rhizobium-legume symbioses? *Adv Microb Physiol* 60: 325-389.
- TREVIÑO, J., 1975. Influencia del momento de siega sobre la productividad de la alfalfa, medida por los rendimientos en proteína y energía. *Pastos*. Vol. 5, Num.1. 239-245.

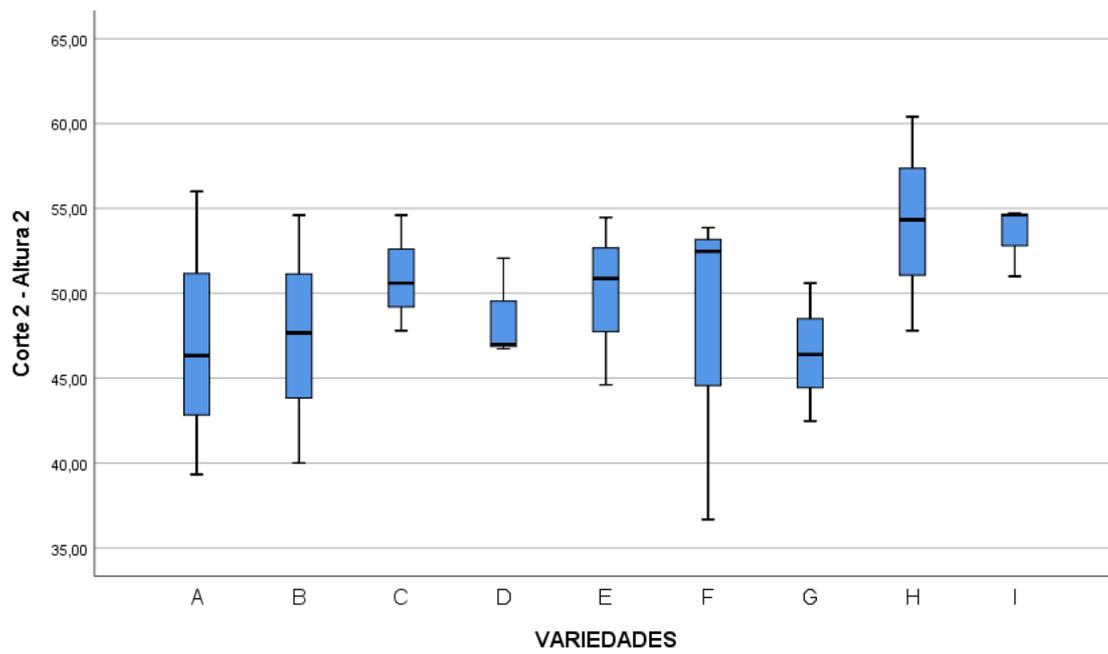
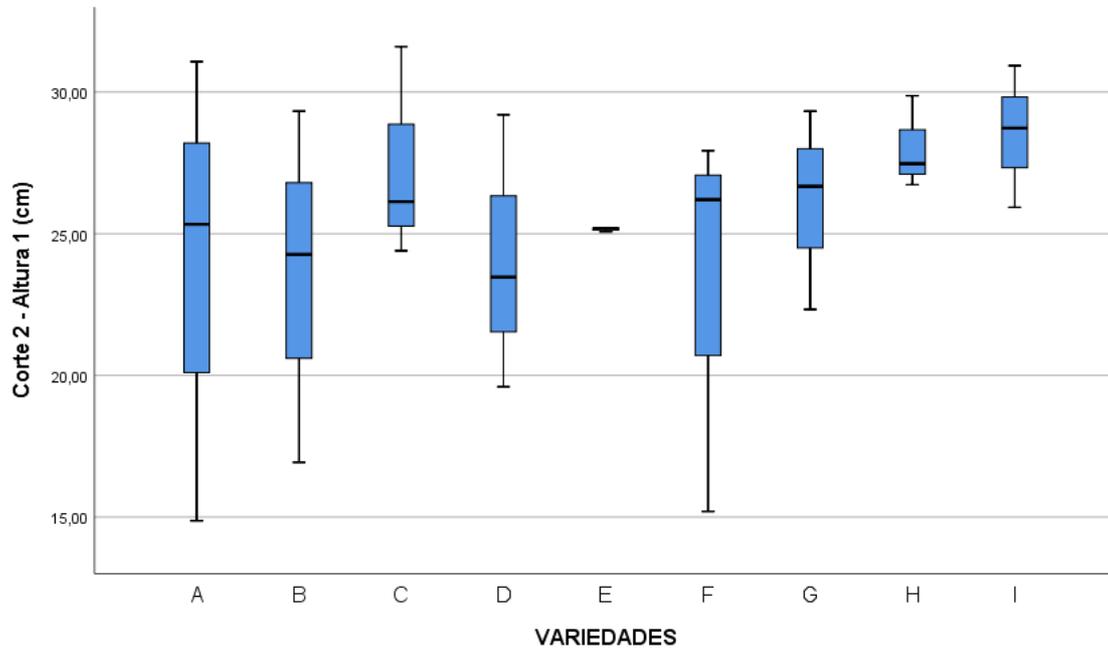
- TREVIÑO, J., and GONZÁLEZ, G., 1973: *The influence of growth stage and vegetation eyele on the digestible nutrients of lucerne "Aragón" estimated by laboratory procedure*. European Grassland Federation, 5th General Meeting. Uppsala.
- UDDLING, J., GELANG-ALFREDSSON, J., PIIKKI, K., and PLEIJEL, H., 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynth. Res.* 91:37–46.
- UNDERSANDER, D.; HINTZ, R.; HOWARD, T.; HUTJENS, M.; KILMER, L.; LINN, J.; MARTIN, N.; SHAVER, R., 1993. *Alfalfa for dairy animáis*. Certified Alfalfa Seed Council. Davis, 15 pp. California. (EEUU).
- VANCE, C., HEICHEL, G.H., PHILLIPS, D.A., 1988. Nodulation and symbiotic dinitrogen fixation. En: *Alfalfa and alfalfa improvement*, 229-257. Hanson A.A., Ed., Agronomy nº 29, Madison, Wisconsin, USA.
- VILLAR, P., Y ARÁN, M., 2008. *Guia d'interpretació d'anàlisis de sòls i plantes*. Departament d'Agricultura i Acció Rural, Generalitat de Catalunya; Consell Català de la Producció Integrada. Barcelona, España. 78 p.
- VILLARIAS, J.L., 2015. *Gestión integrada del control de las malas hierbas en los cultivos*. 373-375
- WANG, Q., CHEN, J., and LI, Y., 2004. Nondestructive and rapid estimation of leaf chlorophyll and nitrogen status of peace lily using a chlorophyll meter. *J. Plant Nutr.* 27:557–569.
- WESTON, L.A. and ZANDSTRA, B.H., 1989. Transplant age and N and P nutrition effects on growth and yield of tomatoes. *HortScience* 24:88–90.

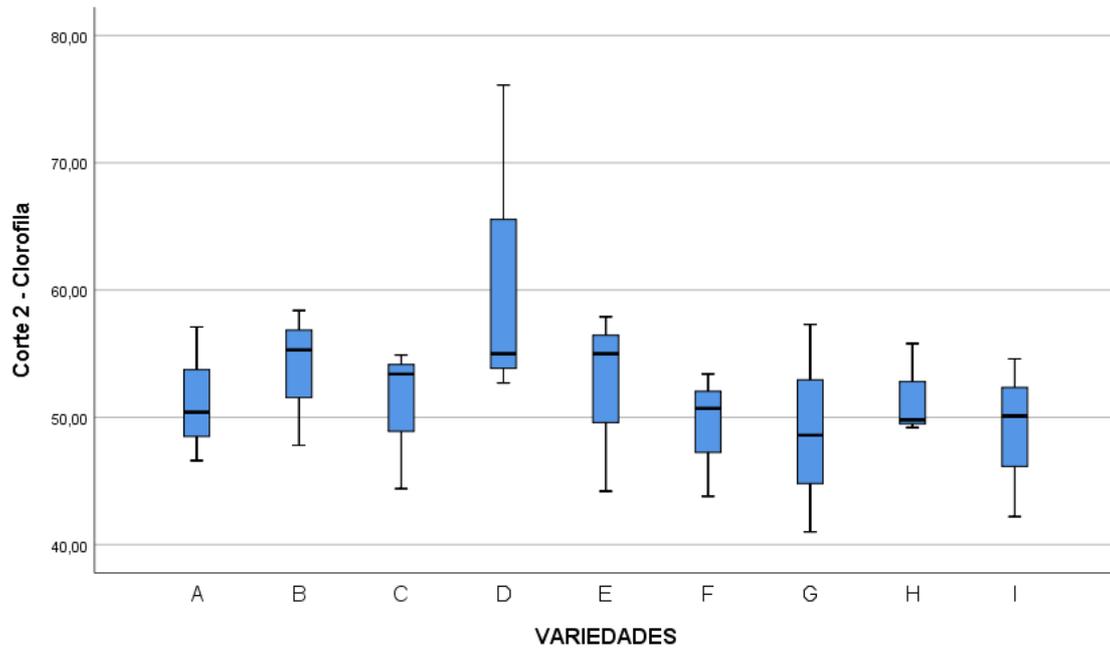
7- ANEJOS

ALTURA DE LA PLANTA
CORTE1

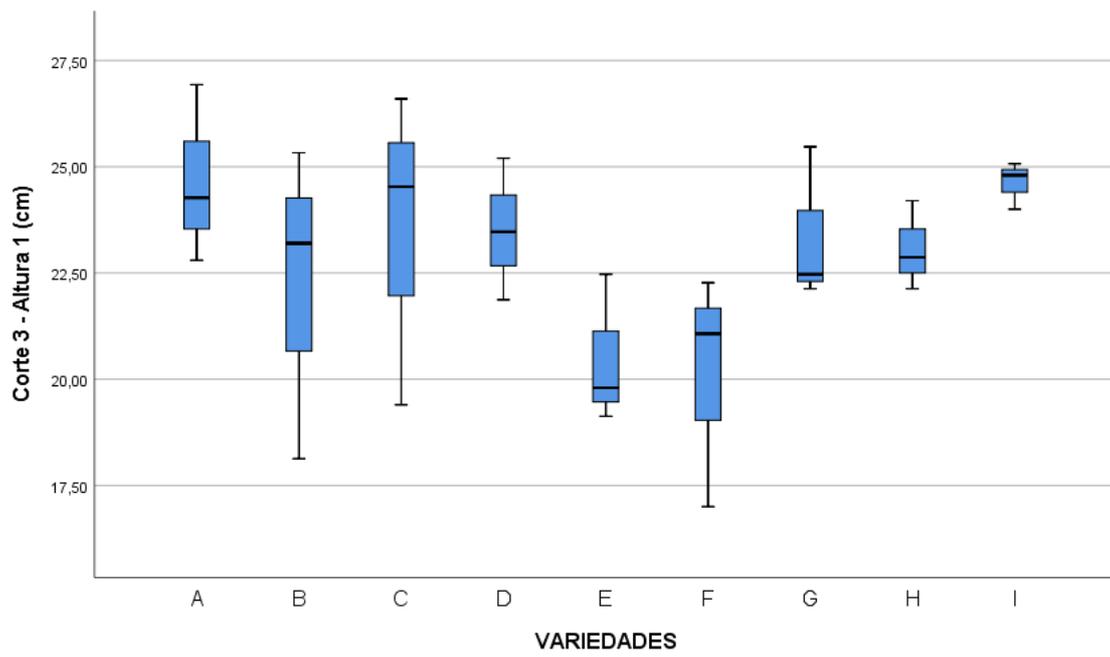


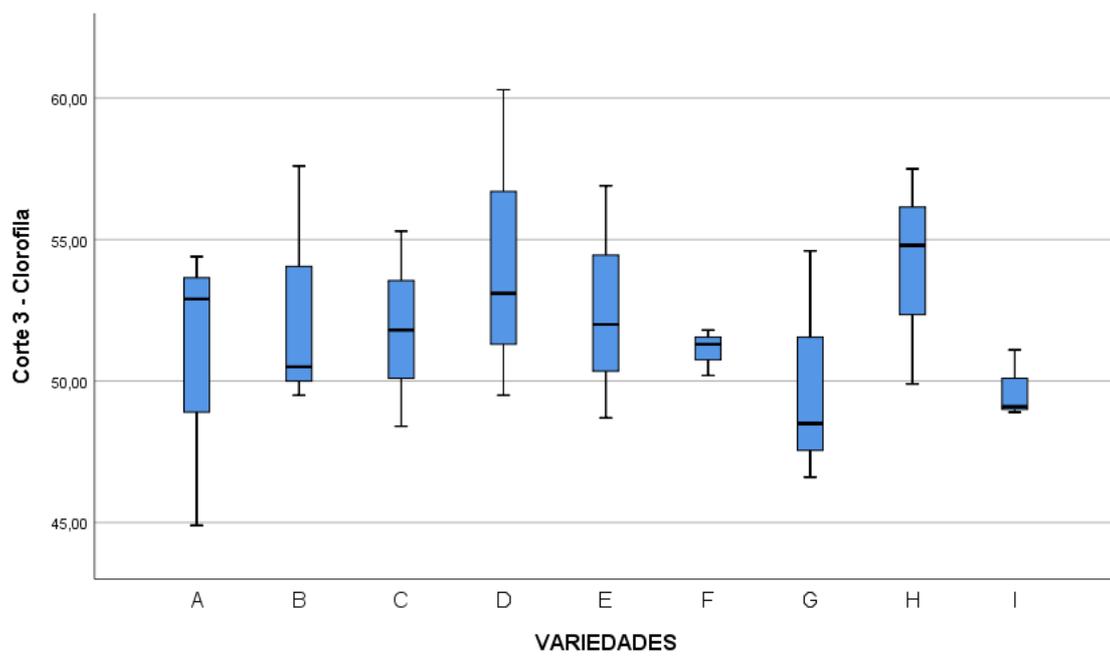
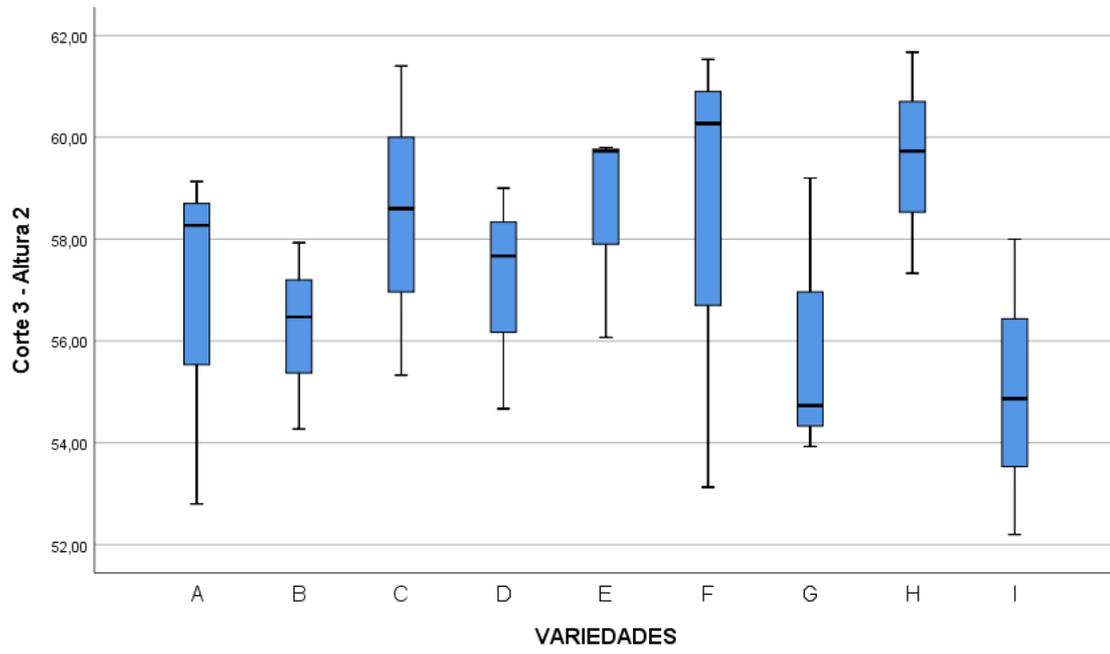
CORTE 2



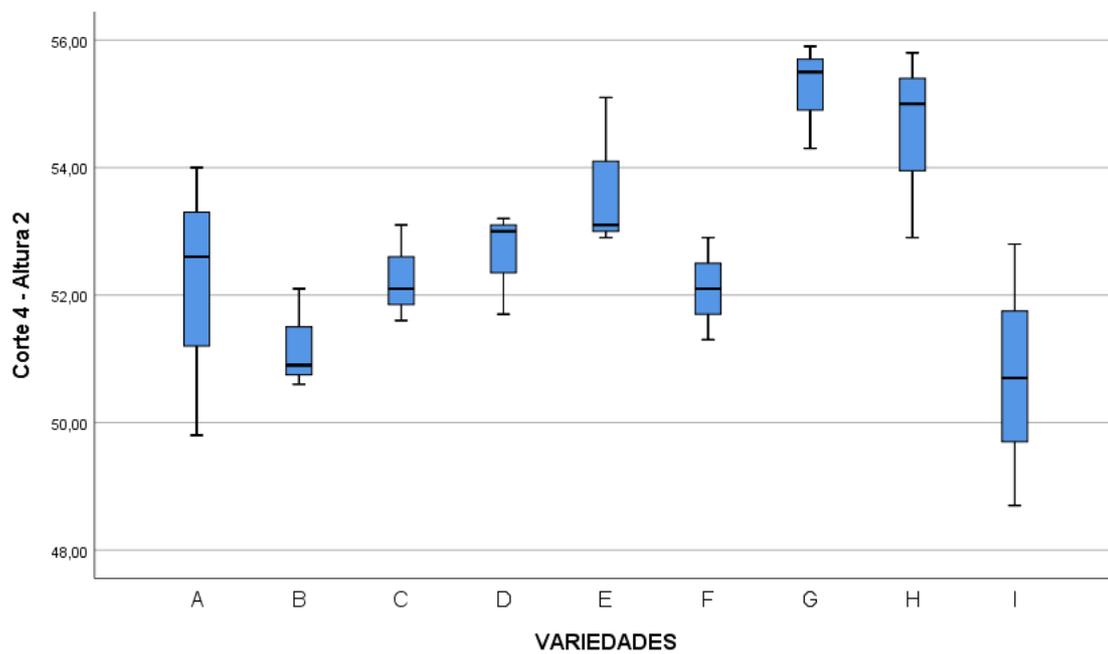
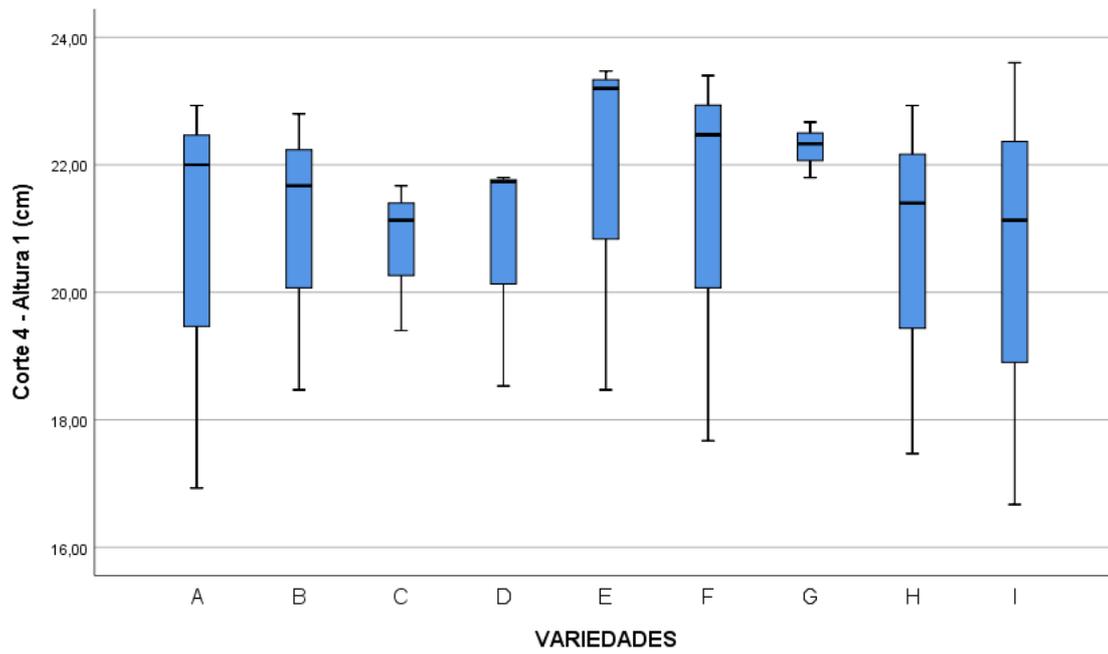


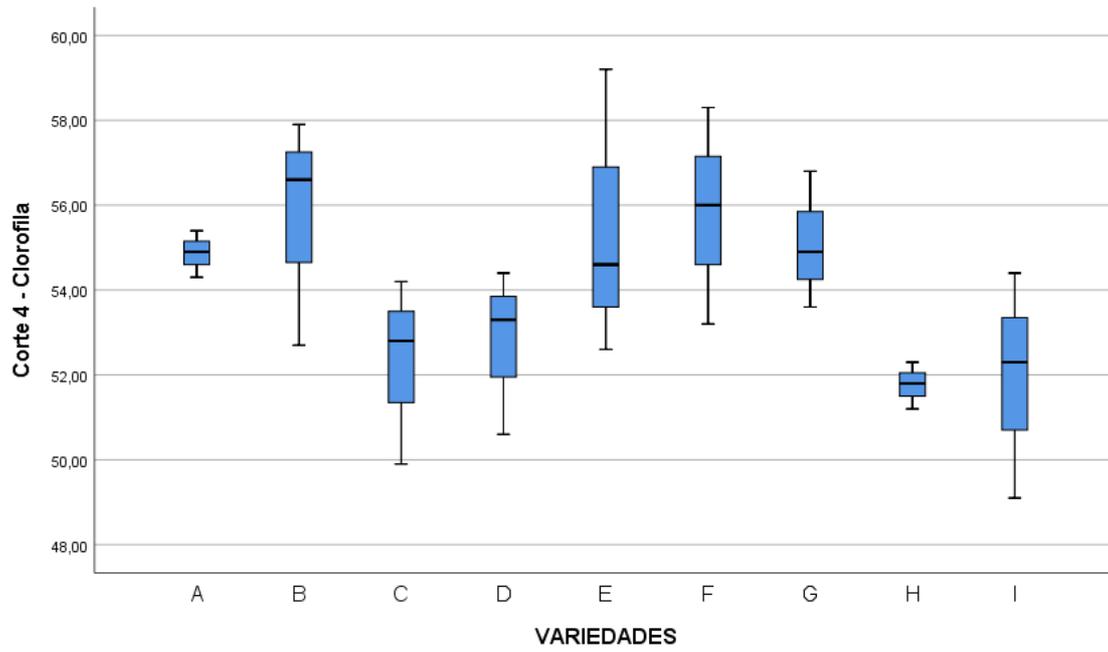
CORTE 3



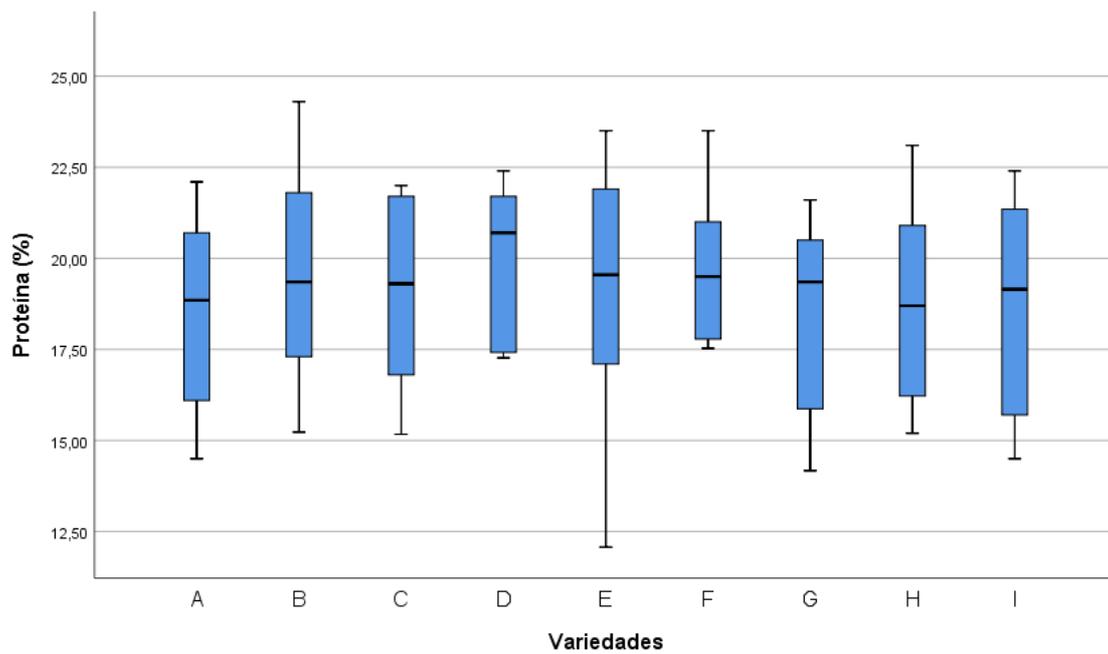


CORTE 4

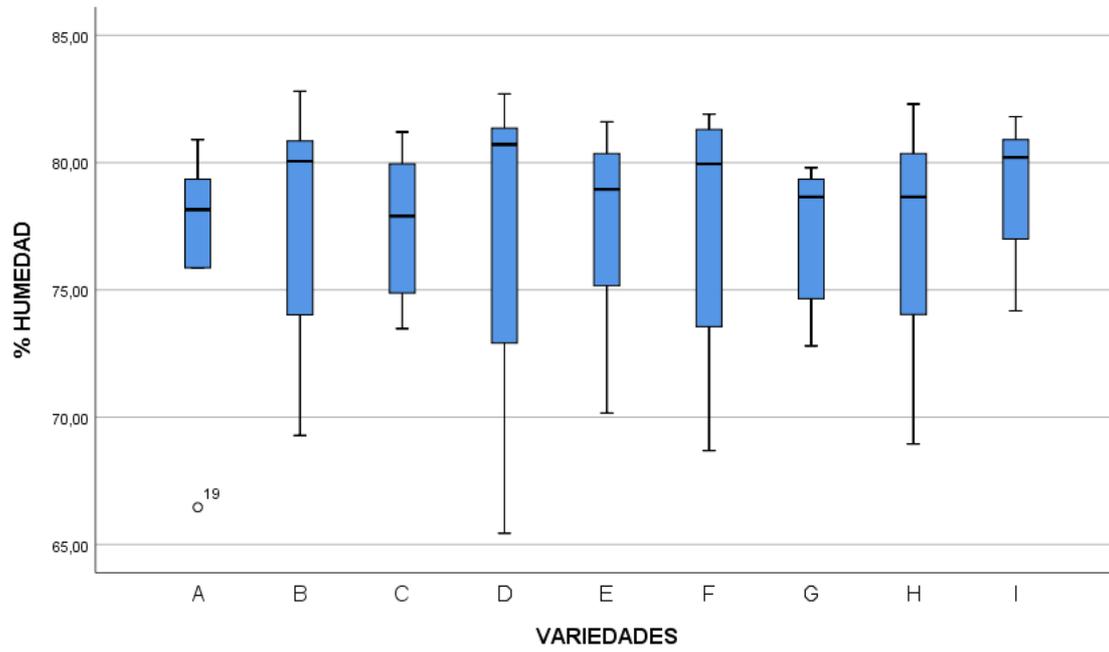




PROTEINA



HUMEDAD



PRODUCCION

