



Evaluación del contenido nutricional de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en un sistema de cultivo semi- hidropónico tratadas con dos soluciones nutritivas en sustrato de pomina durante dos tiempos de corte

Carrasco Paredes, Jefferson Alexander

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Tigrero Salas, Juan Oswaldo

23 de febrero del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Evaluación del contenido nutricional de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en un sistema de cultivo semi- hidropónico tratadas con dos soluciones nutritivas en sustrato de pomina durante dos tiempos de corte**, fue realizado por el señor: **Carrasco Paredes, Jefferson Alexander**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 23 de febrero del 2023



Firmado electrónicamente por:
JUAN OSWALDO
TIGRERO SALAS

Ing. Tigrero Salas, Juan Oswaldo
C. C.: 1703750404

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos

23/2/23, 13:06

Trabajo de titulación

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Revisión de Tesis

NOMBRE DEL ALUMNO

JEFFERSON ALEXANDER CARRASCO PAREDES

NOMBRE DEL ARCHIVO

JEFFERSON ALEXANDER CARRASCO PAREDES - Trabajo de titulación

SE HA CREADO EL INFORME

23 feb 2023

Resumen

Fragmentos marcados	21	4 %
Fragmentos citados o entrecorriados	11	2 %

Coincidencias de la Web

unheval.edu.pe	3	0,8 %
uajms.edu.bo	3	0,6 %
infoagro.com	3	0,5 %
uco.es	2	0,5 %
tipsytemasagronicos.com	2	0,5 %
slideshare.net	1	0,4 %
ucr.ac.cr	1	0,3 %
agroscopio.com	2	0,3 %
redalyc.org	1	0,3 %
embrapa.br	2	0,2 %
1library.co	1	0,2 %
inta.gob.ar	2	0,2 %
slideplayer.es	1	0,2 %
doccity.com	1	0,2 %
agran.es	1	0,2 %
scribd.com	2	0,1 %
laboratoriosincreibles.blogspot.com	1	0,1 %
scielo.org	1	0,1 %
panorama-agro.com	1	0,1 %
mercadolibre.com.mx	1	0,1 %



Firmado electrónicamente por:
JUAN OSWALDO
TIGRERO SALAS

Ing. Tigreiro Salas, Juan Oswaldo

C. C.: 1703750404



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Carrasco Paredes, Jefferson Alexander**, con cédula de ciudadanía No. 1803751302 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Evaluación del contenido nutricional de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en un sistema de cultivo semi- hidropónico tratadas con dos soluciones nutritivas en sustrato de pomina durante dos tiempos de corte**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 23 de febrero del 2023

.....
Carrasco Paredes, Jefferson Alexander
C.C.: 1803751302



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Autorización de Publicación

Yo, **Carrasco Paredes, Jefferson Alexander**, con cédula de ciudadanía No. 1803751302 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación del contenido nutricional de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en un sistema de cultivo semi- hidropónico tratadas con dos soluciones nutritivas en sustrato de pomina durante dos tiempos de corte** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 23 de febrero del 2023

.....
Carrasco Paredes, Jefferson Alexander

C.C.: 1803751302

DEDICATORIA

A mis padres Fredy y Wilma, quienes mediante su amor, dedicación y trabajo me han educado con valores y principios que han sido pieza fundamental a lo largo de mi carrera profesional y concepto de vida.

También a mi hermana Katherine por su incondicional apoyo, ayuda y constantes consejos que me han permitido esforzarme diariamente y ser mejor persona y profesional.

A mis abuelos maternos Víctor y Rosa, a mis abuelos paternos Jorge y Myriam, por motivarme mediante su esfuerzo en su profesión de agricultores a ser un profesional de esta área y ser ahora quien continúe con esta hermosa labor y cuide de ellos.

A mis tíos Víctor Hugo y Elizabeth, por su apoyo y ánimos incondicionales para lograr mis objetivos, igualmente a mis primos; Christopher, Leonardo y Vito por los que siempre trato de superarme para ser su orgullo y fuente de motivación para su vida personal y académica.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE y a la Carrera de Agropecuaria IASA-I, por ser el alma mater que me ha permitido formar mi carrera profesional y cumplir mi sueño, igualmente a todos los docentes que fueron partícipes de este proceso y que mediante sus enseñanzas y conocimientos me han forjado en el ámbito académico.

Al Ingeniero Juan Tigrero, por su tiempo, predisposición y acompañamiento a lo largo del desarrollo de la presente investigación, por sus enseñanzas impartidas tanto en las aulas como fuera de ellas que serán fundamentales para el desenvolvimiento profesional.

A mis compañeros y amigos de carrera; María José, Marjorie, Karent, Gretty, Kate, Lenin y Daniela por su apoyo y ayuda en este trabajo de titulación y a lo largo de mi formación profesional al compartir momentos y alegrías que serán recuerdos imborrables.

Finalmente, un agradecimiento especial a Andrea, por su inmenso apoyo, ayuda, paciencia, tiempo y energía que ha dedicado no solamente en este trabajo de titulación, sino que también en cada momento fuese bueno o malo, alegrando cada día con su optimismo y energía de esta manera directa e indirectamente siendo un gran aporte para el cumplimiento de mis metas y objetivos.

Jefferson Carrasco P.

Índice de contenidos

Certificación	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas	16
Índice de figuras.....	18
RESUMEN.....	19
ABSTRACT	20
CAPÍTULO I	21
INTRODUCCIÓN	21
Antecedentes.....	21
Justificación	22
Objetivos.....	23
General	23
Específicos	23
Hipótesis	24
CAPÍTULO II	25
MARCO TEÓRICO	25
Cultivo de alfalfa	25
Descripción taxonómica de la alfalfa	25

Origen	25
Morfología	26
Semillas.....	26
Raíz	27
Tallo y Corona	27
Hoja.....	27
Flores	28
Fruto	28
Estadios de madurez de la alfalfa	28
Estado vegetativo	29
Estado de botón floral.....	29
Estado de floración	29
Estado de producción de semillas.....	30
Requerimientos edafológicos	30
Radiación Solar	30
Temperatura	30
Potencial de Hidrógeno (pH).....	31
Salinidad	31
Tipo de suelos	31
Calidad de la semilla	31
Variedades de alfalfa	31
Abunda verde y CUF 101.....	32
Manejo agronómico de alfalfa	33
Abonado	33

Nitrógeno.....	33
Fósforo.....	33
Potasio	33
Sistemas hidropónicos y semi- hidropónico	33
Ventajas de los cultivos hidropónicos.....	34
Desventajas de los cultivos hidropónicos	34
Elementos hidropónicos	34
Recipientes	34
Sustrato.....	35
Propiedades de los sustratos	35
Propiedades físicas	35
Porosidad total.....	35
Capacidad de aireación	36
Estructura estable	36
Densidad aparente.....	36
Propiedades químicas	36
Capacidad de intercambio catiónico	36
Disponibilidad de los nutrientes	36
Salinidad	37
Potencial de Hidrógeno (pH).....	37
Propiedades biológicas	37
Otras propiedades	37
Elementos Naturales en un Sustrato	37
Tipos de sustratos.....	38

Tipos de sustrato según sus propiedades químicas	38
Tipos de sustrato según el material	38
Pomina.....	39
Raíz en sustrato sólido	39
Solución nutritiva.....	40
Potencial de Hidrógeno (pH) de una solución nutritiva	40
Conductividad eléctrica (CE) de una solución nutritiva.....	41
Método de tanteo.....	41
Fertilizantes	41
Aplicación de la solución nutritiva	42
Bromatológico	42
Análisis de Planta	42
Cenizas	43
Proteína cruda	43
Fibra cruda	44
Extracto etéreo	45
Contenido Orgánico	46
Humedad	46
Contenido de azúcares o grados Brix	46
Carotenoides	47
Clorofila	47
Análisis de savia	47
Ventajas del análisis.....	49
Relación entre los nutrientes	49

CAPÍTULO III	50
MATERIALES Y MÉTODOS	50
Descripción de la zona de estudio	50
Ubicación política y geográfica	50
Ubicación ecológica	50
Materiales empleados	51
Materiales de campo	51
Materiales de laboratorio	52
Equipos	52
Reactivos	53
Software	53
Equipos de campo.....	53
Medición de las propiedades físicas y químicas de la pomina	53
Propiedades físicas	53
Densidad Aparente	53
Porosidad Total	54
Capacidad de retención de humedad	54
Propiedades químicas	54
Medición de los parámetros ambientales del Invernadero	55
Material Vegetal	57
Implementación del sistema Semi- Hidropónico	58
Fertilización	60
Preparación de las soluciones nutritivas	60
Sistema de Fertirrigación	60

Plan de fertilización.....	60
Diseños Experimentales.....	61
Variables del bromatológico, clorofila y carotenoides.....	61
Modelo matemático	62
Croquis experimental.....	62
Factores y Tratamientos	63
Variables de entrada	63
Variables de salida	63
Tratamientos.....	63
Medición de variables.....	64
Variables bromatológicas	64
Toma de muestras	64
Proteína Cruda (PC).....	64
Fibra cruda (FC).....	65
Extracto etéreo (%E.E)	65
Humedad (%H).....	65
Ceniza (%C)	66
Contenido Orgánico (%CO)	66
Contenido de azúcares (°Brix).....	66
Determinación de la clorofila y carotenoides	67
Variable de análisis de savia	67
Modelo matemático	67
Croquis experimental.....	68
Factores y tratamientos	68

Variables de entrada	68
Variables de salida	68
Tratamientos.....	69
Medición de variables.....	69
Análisis Estadístico.....	70
CAPÍTULO IV	71
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
Resultados	71
Propiedades físico- químico de la pomina	71
Propiedades químicas de la solución	72
Proteína Cruda (%PC).....	73
Ceniza (%C)	74
Contenido Orgánico (%CO)	75
Contenido de azúcares o °Brix (%)	75
Fibra cruda (%FC).....	76
Humedad (%H).....	77
Extracto Etéreo (%E.E)	78
Clorofila A (chl _a).....	80
Clorofila B (chl _b).....	80
Clorofila Total (chl _T).....	81
Carotenoides.....	82
Acumulación de nitratos (NO ³⁻), Potasio (K ⁺) y Sodio (Na ⁺) en savia	83
Acumulación de calcio (Ca ²⁺) en savia.....	84
Potencial de hidrógeno (pH) en savia	85

Conductividad eléctrica (CE) en savia	86
CAPÍTULO V	87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
Conclusiones.....	87
Recomendaciones.....	88
Bibliografía.....	89

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Taxonomía de la alfalfa</i>	25
Tabla 2 <i>Características comparativas de las variedades de alfalfa Abunda verde y CUF 101</i>	32
Tabla 3 <i>Propiedades físicas de la pomina</i>	39
Tabla 4 <i>Propiedades químicas de la pomina</i>	39
Tabla 5 <i>Macroelementos y microelementos utilizados por las plantas</i>	41
Tabla 6 <i>Rango óptimo de macro y micronutrientes para la alfalfa en estado vegetativo</i>	42
Tabla 7 <i>Digestibilidad de acuerdo al estado de madurez y contenido de proteína de la alfalfa</i>	44
Tabla 8 <i>Descripción ecológica del campus de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA- I</i>	50
Tabla 9 <i>Parámetros ambientales del invernadero de Horticultura del campus de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA- I</i>	55
Tabla 10 <i>Composición de las soluciones nutritivas empleadas</i>	60
Tabla 11 <i>Características del sistema de fertirrigación</i>	61
Tabla 12 <i>Plan de fertirrigación</i>	61
Tabla 13 <i>Tratamientos utilizados para las variables de bromatología, clorofila y carotenoides</i>	63
Tabla 14 <i>Tratamientos utilizados para las variables del análisis de savia</i>	69
Tabla 15 <i>Propiedades físicas y químicas del sustrato de pomina para el cultivo de alfalfa</i>	72
Tabla 16 <i>Propiedades químicas de las soluciones nutritivas</i>	72
Tabla 17 <i>Análisis de la varianza (ANAVA) de las variables bromatológicas</i>	73
Tabla 18 <i>Promedio ± desviación estándar del contenido de proteína cruda (%PC), ceniza (%C), contenido orgánico (%CO) y °Brix (%)</i>	73
Tabla 19 <i>Promedio ± desviación estándar del contenido de fibra cruda (%FC)</i>	76
Tabla 20 <i>Promedio ± desviación estándar del contenido de humedad (%H)</i>	77
Tabla 21 <i>Promedio ± desviación estándar del contenido de extracto etéreo (%E.E)</i>	78

Tabla 22 <i>Análisis de la varianza (ANOVA) de las variables clorofila B (chl_b), clorofila Total (chl_T), carotenoides y prueba de Kruskal Wallis de la variable de clorofila A (chl_a)</i>	79
Tabla 23 <i>Promedio ± desviación estándar del contenido de clorofila A (chl_a)</i>	79
Tabla 24 <i>Promedio ± desviación estándar del contenido de clorofila B (chl_b), clorofila Total (chl_T) y carotenoides</i>	80
Tabla 25 <i>Análisis de la varianza (ANOVA) de las variables de acumulación de nitratos, potasio, sodio, C.E. y prueba de Kruskal Wallis para la variable de acumulación de calcio y pH en savia</i>	82
Tabla 26 <i>Promedio ± desviación estándar de la acumulación de nitratos, potasio y sodio en savia</i>	83
Tabla 27 <i>Promedio ± desviación estándar de la acumulación de calcio y pH en savia</i>	84
Tabla 28 <i>Promedio ± desviación estándar de la conductividad eléctrica (CE) en savia</i>	86

Índice de figuras

Figura 1 <i>Evolución de los componentes del forraje de alfalfa en relación con el crecimiento</i>	45
Figura 2 <i>Descripción del pH de la savia en plantas</i>	48
Figura 3 <i>Mapa satelital de ubicación del área de estudio</i>	51
Figura 4 <i>Variación de la temperatura del invernadero (°C) durante el periodo experimental</i>	56
Figura 5 <i>Variación de la humedad relativa del invernadero (%) durante el periodo experimental</i>	56
Figura 6 <i>Variación de la luminosidad del invernadero (lux) durante el periodo experimental</i>	57
Figura 7 <i>Representación 3D de la implementación y distribución del proyecto</i>	58
Figura 8 <i>Representación de la implementación y distribución del proyecto</i>	59
Figura 9 <i>Disposición del croquis experimental para las variables del bromatológico, clorofila y carotenoides</i>	62
Figura 10 <i>Disposición del croquis experimental para el análisis de savia</i>	68

RESUMEN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.), constituye uno de los forrajes más importantes por sus cualidades nutricionales como fuente de alimento relativamente económica para los sistemas de producción animal tanto como material fresco o como componente de alimentos balanceados, por lo que es importante conocer su valor nutricional y aquellas características que permitan de manera indirecta verificar su calidad nutricional. La presente investigación tiene como finalidad evaluar la interacción de dos variedades de alfalfa; CUF-101 y Abunda verde implementadas en un sistema semi- hidropónico en sustrato de pomina y tratadas con dos diferentes soluciones nutritivas y dos tiempos de corte mediante un análisis bromatológico, contenido de clorofila y carotenoides. Por otra parte, para el análisis de acumulación de nutrientes, pH y conductividad eléctrica en savia se evaluó la interacción de las dos soluciones, las dos variedades y dos porciones de la planta (Hojas +pecíolo y Tallos), en ambos aplicando un DCA con parcelas subdivididas (2x2x2) con 3 repeticiones.

Según el análisis bromatológico se determinó que el mejor momento para el corte, es en el de rebrote después del corte de establecimiento. En este momento el nivel de proteína (28.86%), contenido orgánico (91.09%) y °Brix (18.69%) son más altos, mientras que el mayor contenido de fibra (15.10%) se presentó en la variedad Abunda verde tratada con la solución nutritiva dos y cortada en el rebrote. El contenido de clorofila total (75.37 µg/ml) y carotenoides (3.70 µg/ml) también fue mayor en el rebrote estos parámetros indican de manera indirecta un alto contenido en su valor nutricional. En el análisis de savia se determinó que la mayor acumulación de Ca²⁺ (566.67 ppm) y pH de savia ideal (6.4), se presenta en la variedad Abunda verde tratada con la solución nutritiva dos y tomada de la porción de hojas + pecíolo, igualmente la conductividad eléctrica en savia ideal (0.1202 dS/cm), se presentó en la solución nutritiva dos. Considerando todos estos aspectos se puede determinar que la solución nutritiva dos, variedad Abunda verde y cortada en el primer rebrote, expresa mayores cualidades nutricionales.

Palabras Clave: Alfalfa, bromatológico, clorofila, savia, semi- hidropónico.

ABSTRACT

Alfalfa (*Medicago sativa* L.), is one of the most important forages for its nutritional qualities as a relatively inexpensive source of food for animal production systems both as fresh material or as a component of balanced feed, so it is important to know its nutritional value and those characteristics that allow indirectly to verify its nutritional quality. The present research aims to evaluate the interaction of two varieties of alfalfa; CUF-101 and Abunda verde implemented in a semi-hydroponic system in pomina substrate and treated with two different nutrient solutions and two cutting times by means of a bromatological analysis, chlorophyll and carotenoids content. On the other hand, for the analysis of nutrient accumulation, pH and electrical conductivity in sap, the interaction of the two solutions, the two varieties and two portions of the plant (Leaves +stem and Stems) was evaluated, both applying a DCA with subdivided plots (2x2x2) with 3 replications.

According to the bromatological analysis, it was determined that the best moment for cutting was the regrowth after the establishment cut. At this time the protein level (28.86%), organic content (91.09%) and °Brix (18.69%) are higher, while the highest fiber content (15.10%) was found in the Abunda verde variety treated with nutritive solution two and cut at regrowth. The content of total chlorophyll (75.37 µg/ml) and carotenoids (3.70 µg/ml) was also higher in the regrowth, these parameters indirectly indicate a high content of nutritional value. In the sap analysis it was determined that the highest accumulation of Ca²⁺ (566.67 ppm) and pH of ideal sap (6.4), is presented in the Abunda verde variety treated with nutritive solution two and taken from the portion of leaves + petiole, also the electrical conductivity in ideal sap (0.1202 dS/cm), was presented in the nutritive solution two. Considering all these aspects, it can be determined that nutritive solution two, Abunda verde variety and cut in the first regrowth, expresses higher nutritional qualities.

Keywords: Alfalfa, bromatological, chlorophyll, sap, semi-hydroponic.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En el mundo existen 30 millones de hectáreas de cultivo de alfalfa, siendo EE.UU. el mayor productor mundial seguidos de Australia y España, Royo (2022). Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2020), el Ecuador cuenta con 2067.795 ha de pastos cultivados de los cuales la superficie de alfalfa cultivada es de 793.1856 ha; siendo Azuay con 392.84 ha, Cotopaxi con 249.85 y Pichincha con 149.62 ha, las provincias con mayor importancia en la siembra de esta leguminosa.

El cultivo de alfalfa tiene gran importancia en los sistemas de producción bovina y de especies menores (cuyes y conejos). En algunos sistemas de pequeños productores el cultivo de la alfalfa representa uno de los medios de ingreso económico y de fácil rentabilidad, debido a su capacidad de rebrote, baja carga de trabajo, poco consumo de agua, adaptación climática y edáfica, etc. Sin embargo, es notorio el manejo empírico y la falta de una fertilización adecuada lo cual repercute en una baja productividad, calidad de forraje y longevidad del alfalfar.

La importancia de este cultivo según describe Coro (2007), va desde ser una fuente natural de proteína, fibra, vitaminas y minerales, así como su contribución paisajística y como cultivo conservacionista del suelo, agua y fauna. Además, la reducción energética en la fijación simbiótica del nitrógeno para el propio cultivo y para las siguientes rotaciones de las que forme parte, también en el equilibrio del carbono y ser un cultivo altamente rentable por su preciosidad y capacidad rápida de rebrote.

Un análisis edáfico y posterior bromatológico de forraje permitirá a los productores direccionar los programas de alimentación bovina o especies menores, esto mediante una planificación dietaría permitiendo un aumento en la productividad. Muchos no lo realizan convencidos de que un análisis de

este tipo tiene elevados costos y eso no es cierto, es más obtendrán diversas ventajas que les permita realizar correcciones en la fertilización, renovación de praderas, reducción de costos, etc.

Los sistemas semi- hidropónicos o de raíz en sustrato sólido, presentan la ventaja del uso de sustratos, generalmente inertes, que evitan plagas y enfermedades a nivel radicular. Sin embargo, parámetros como la absorción nutricional dependerá de las propiedades físico-químicas del sustrato como su porosidad, capacidad de retención de agua, facilidad en la retención de sales y cambios en su pH, etc., que puede limitar la disponibilidad de los nutrientes para las plantas.

Justificación

Hoy en día se puede considerar que la fertilización de un cultivo es una práctica común en la mayoría de las producciones agrícolas modernas no obstante los potreros destinados a la producción de pastos y forrajes evidencian que esta actividad es muy poco frecuente a pesar de que León *et al.*, (2018), menciona que la ganadería en el Ecuador depende del pastoreo y los pastos constituyen el alimento más barato disponible para la alimentación animales monogástricos y poligástricos. Los pastos bien nutridos incrementarán la producción forrajera y con ello el incremento en los rendimientos de ganancia de peso, conversión alimenticia, producción de leche o cualquier otro que sea el objetivo de la producción animal.

Sin embargo, la producción forrajera depende de un conjunto de factores que incluye el manejo adecuado, condiciones climáticas, especie, época del año, etc., para que un pasto pueda expresar su potencial en crecimiento, desarrollo, producción y contenido nutricional.

En los predios ganaderos del Ecuador generalmente se realiza un abonado con el propio estiércol de los animales que pastorean y en caso de que realicen una fertilización edáfica esta se realiza con diversos fertilizantes comerciales que muchas veces no realizan el aporte adecuado de nutrientes a las especies forrajeras.

Una de las principales causas por las que el productor no realiza una inversión en la fertilización es el estrecho margen económico en cuanto a la rentabilidad ya que como menciona Aguayo & Dueñas (2018), la ganadería atraviesa la peor crisis de su historia, con precios actuales muy por debajo de los costos de producción, lo que desembocará en una disminución del hato nacional; esa disminución del stock, implica una descapitalización considerable para el sector. Otra razón a considerar podría ser la complejidad de estos sistemas, en los que interaccionan numerosas variables.

Considerando lo antes mencionado, se plantea la necesidad de incrementar el estudio de los sistemas de producción forrajera en el país y reducir una de las más grandes limitaciones que es la composición edáfica. Por lo tanto, el presente trabajo busca resaltar la importancia de la fertilización en la producción de los pastos por medio de la fertirrigación que con el uso de sistemas de riego por goteo o aspersión adicionan los nutrientes requeridos por el cultivo a un bajo costo e igualmente por medio de este sistema suplementar agua en época de sequía.

Objetivos

General

- Evaluar el contenido nutricional de dos variedades de alfalfa; CUF-101 y Abunda verde, en un sistema de cultivo semi- hidropónico tratadas con dos soluciones nutritivas en sustrato de pomina, durante el primer y segundo corte.

Específicos

- Realizar un análisis bromatológico de las dos variedades de alfalfa; CUF-101 y Abunda verde tratadas con dos soluciones nutritivas en el primer y segundo corte.
- Determinar el contenido de clorofila y carotenoides de las dos variedades de alfalfa; CUF-101 y Abunda verde tratadas con dos soluciones nutritivas en el primer y segundo corte.

- Establecer la solución nutritiva más adecuada para el cultivo de alfalfa, mediante un análisis de savia.

Hipótesis

H0: Las plantas de alfalfa de las variedades CUF-101 y Abunda verde, tratadas con dos soluciones nutritivas y cortadas en el establecimiento y rebrote presentan similares contenidos nutricionales.

H1: Las plantas de alfalfa de las variedades CUF-101 y Abunda verde, tratadas con dos soluciones nutritivas y cortadas en el establecimiento y rebrote no presentan similares contenidos nutricionales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Cultivo de alfalfa

La alfalfa es una planta perenne con hojas trifoliadas y con flores de color azul a púrpura. Es la planta de forraje más importante del mundo, ya que como menciona Segarra & Serpa (2005), su interés va desde ser una fuente natural de proteínas, fibra, vitaminas y minerales; así como su contribución paisajística y su utilidad como cultivo conservacionista de la fauna.

Descripción taxonómica de la alfalfa

La clasificación taxonómica de la alfalfa se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Taxonomía de la alfalfa

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Faboideae
Tribu	Trifolieae
Género	Medicago
Especie	<i>Medicago sativa</i>
Nombre común	Alfalfa

Nota. La tabla muestra la descripción taxonómica del cultivo de alfalfa. Autor: Flóres (2015).

Origen

En excavaciones arqueológicas se encontraron vestigios en la zona del Cáucaso pasando a la Mesopotamia, en lo que hoy se conoce como Irán y Siberia, que indicaban que hacía más de 3300 años la alfalfa ya se utilizaba como alimento para el ganado, Sitio Argentino de Producción Animal (2014). La denominada "reina de las forrajeras" también ayuda a mejorar la estructura del suelo además de la

significativa reducción energética que se logra gracias a la fijación simbiótica del nitrógeno para el propio cultivo y para los siguientes en las rotaciones de las cuales forma parte; a su vez aporta elementos importantes para limitar y reducir la erosión y desarrollo de ciertas plagas y enfermedades en los cultivos consiguientes.

Hablamos de un cultivo que se extiende a nivel mundial en los países de clima cálido templado, cuya importancia radica como fuente natural de proteínas, fibra, vitaminas y minerales de gran demanda en la nutrición animal en fresco y con todos sus derivados.

Morfología

Semillas

Las semillas de alfalfa pueden ser en su mayoría arriñonada pero también las hay angulares, cuya coloración va desde el color amarillento, verde oliva y degradación del tono marrón. Cuando estás se encuentran en estado maduro tienen entre 1- 2 mm de longitud y ancho por 1mm de espesor. Se constituyen por el funículo, tegumento o testa, el embrión y el albumen, Rodríguez & Spada (2007).

El funículo es aquella estructura que mantiene unida la semilla al fruto, cuando se seca ésta se desprende y forma una cicatriz llamada hilio; el tegumento o testa es la capa externa que rodea al embrión proporcionándole protección y además le da el color propio de la misma.

El embrión dará origen a la plántula, constituido por la radícula que formará la raíz, el hipocótilo que en sentido contrario formará las partes aéreas de la plántula, la plúmula que al desarrollarse originará el tallo y los cotiledones gruesos y carnosos almacenan las reservas para el desarrollo del embrión, en la alfalfa también se describe el albumen cuya función principal es facilitar el proceso de germinación.

Raíz

La alfalfa posee un sistema radicular robusto y profundo, destinado a la absorción de agua. Cuando en el perfil de suelo no existen impedimentos, la raíz puede alcanzar entre 2 y 5 metros en los primeros cuatro años de vida, gracias a esta condición permite que la alfalfa tolere la sequía.

La raíz principal emerge cerca del hilio y de ella se derivan raíces secundarias o laterales, las mismas que poseen también yemas de las que se podrían originar nuevos tallos que saldrán al exterior, esas raíces se denominan rizomatosas.

Tallo y Corona

El tallo principal es cuadrado al realizar un corte en la sección transversal en donde se encuentran estomas y pelos. Tiene un crecimiento primario y secundario con el que se da origen a un eje leñoso o porción perenne que forma parte de la corona. En la parte herbácea se encuentran los nudos desde donde salen las hojas. El número de tallos varía de la edad y del vigor de la planta, y puede llegar hasta 20, el crecimiento de estos tallos depende de la utilización sea corte o pastoreo.

La función principal de la corona es de estructura almacenadora de sustancias de reserva y de sede de yemas a partir de las cuales se producirán los nuevos rebrotes de la planta, el tamaño puede ser pequeño, intermedio o grande de tipo compacta o abierta, además la estructura de la corona depende de factores genéticos, ambientales y físicos, como la densidad de plantas, tipo de suelo, pisoteo de animales o daño por maquinaria.

Hoja

La primera hoja de la plántula es unifoliada y orbicular en su forma, las segundas y subsecuentes son pinnaticompuesta o imparipinnadas, que se originan en el ápice del tallo, cuando la planta ya se encuentra desarrollada las hojas se forman en el ápice del tallo o de las yemas laterales que se encuentran en los nudos de los tallos.

Las hojas se disponen a lo largo del eje del tallo en forma alternada y se unen al tallo por el pecíolo, éstas son de forma trifoliada, es decir tres folíolos pediculados. Generalmente son oblongos u obovados, pero también pueden ser redondeadas a obovado- oblongas e incluso lineales; en cuanto al borde de los folíolos este es dentado solo en el tercio superior.

Flores

Las flores se desarrollan cuando la parte superior del tallo pasa la transición de etapa de crecimiento vegetativo al reproductivo. La transición, comienza con la aparición de una protuberancia en la axila del primordio foliar, de cada uno de estos se origina una inflorescencia en forma de racimo simple.

La flor es de color purpura, con variaciones desde el violeta claro al morado oscuro, también las hay blancas, azuladas, amarillas y variegadas con mezclas de colores o tonalidades que van cambiando a medida que la flor se desarrolla, su estructura es bastante completa y se forma por el cáliz de cinco sépalos soldados formando un tubo, la corola en forma de mariposa y diez estambres. Los filamentos de los 9 estambres soldados tienen distinta longitud y, al fusionarse para formar el tubo, se alternan los largos con los cortos. Por el interior del tubo que forman pasa el estilo, que remata en un estigma rodeado por las anteras de los estambres fusionados. El gineceo presenta un carpelo, que desarrolla un ovario súpero, y posee un estilo y un estigma bien definidos.

Fruto

La alfalfa posee un fruto que es del tipo legumbre o vaina, seco e indehiscente, alargado y comprimido que contiene semillas alineadas en la hilera ventral. Al encorvarse la vaina se desarrolla un espiral de entre 3 y 5 vueltas. Cada fruto contiene un número variable de semillas arriñonadas.

Estadios de madurez de la alfalfa

La clasificación de los estadios fisiológicos según Rodríguez & Spada (2007), es una forma para describir el momento adecuado de la utilización del forraje para lo cual se describe lo siguiente:

Estado vegetativo

Este comprende las fases tempranas de desarrollo, que aún carecen de estructuras reproductivas.

Estadio 0 (vegetativo temprano): En este la altura de los tallos es menor a 15 cm, con yemas axilares no visibles por su escaso desarrollo.

Estadio 1 (vegetativo medio): La longitud de los tallos es de 16 a 30 cm, con el desarrollo de las yemas axilares donde se pueden observar de una a dos hojas nuevas que se despliegan en las axilas de las hojas viejas.

Estadio 2 (vegetativo tardío): Los tallos con longitud mayor a 30 cm, con ramificaciones de las yemas axilares, las mismas se presentan por lo menos en dos nudos y constan de tres o más hojas.

Estado de botón floral

En este estadio empieza la diferenciación de los meristemas reproductivos y se observan los botones florales. Las yemas reproductivas aparecen cerca de los ápices de crecimiento del tallo principal o de sus ramificaciones.

Estadio 3 (botón floral temprano): Las yemas de los botones florales se pueden observar solo en uno o dos nudos. Los botones florales se pueden palpar en cada racimo.

Estadio 4 (botón floral): Tres o más nudos poseen inflorescencias visibles, en donde se aprecia de manera más clara la separación de los botones florales en el racimo.

Estado de floración

Cuando el fotoperíodo y termoperíodo es el adecuado, las flores se abren y se hacen visibles, al darse este fenómeno es la expresión más clara del estado reproductivo de la planta.

Estadio 5 (floración temprana): Es visible la apertura de una o más flores en el racimo floral de un nudo del tallo. Una flor abierta es cuando se encuentra desplegado el estandarte de la misma.

Estadio 6 (floración tardía): En uno de los tallos se presentan al menos dos nudos con flores abiertas, con mayor número de inflorescencias.

Estado de producción de semillas

Este es el desarrollo propiamente de los frutos conocidos como vainas y semillas, este se produce inmediatamente después de la polinización de las flores.

Estadio 7 (fructificación temprana): De uno a tres nudos contienen vaina recién formada de color verde, la fructificación empieza desde la porción media del tallo hacia arriba, por lo que en la zona apical aún se observan flores.

Estadio 8 (fructificación tardía): Las vainas formadas en cuatro o más nudos son de color verde de forma espiralada.

Estadio 9 (vainas maduras): Las vainas ya maduras varían en tonalidades de color marrón, el momento adecuado de cosecha de semillas es cuando existe baja proporción de hojas, tallos muy fibrosos y vainas secas.

Requerimientos edafológicos

Radiación Solar

Este es uno de los factores más importantes que incide de manera positivamente en el cultivo de la alfalfa, ya que aumentan las horas de luz a medida que disminuye la latitud de la región, InfoAgro (2009). La radiación solar favorece las técnicas de pre- secado de campo en las zonas más cercanas al ecuador y dificulta el secado en las zonas más al norte, Segarra & Serpa (2005).

Temperatura

Las semillas germinan a una temperatura de 2-3°C, siempre y cuando las condiciones del entorno lo permitan. Con un aumento de la temperatura, la germinación se produce rápidamente, alcanzando un máximo de 28-30 °C. Las temperaturas superiores a 38 °C afectan de manera letal a las semillas.

Potencial de Hidrógeno (pH)

La acidez es un factor limitante en el cultivo de alfalfa, excepto en la germinación ya que ahí puede ser hasta de 4. Lo óptimo para el desarrollo del cultivo es de 6.8 a 7.2 si esta baja del rango inferior se puede recurrir a encalados que ayuden a incrementar la cantidad de iones de calcio disponibles en el suelo.

Salinidad

La alfalfa es sensible a la condición de salinidad, suelen aparecer ciertos síntomas como la palidez de tejidos, disminución del tamaño de las hojas por ende en la etapa vegetativa no existe la elongación de tallo por ende la etapa productiva es baja.

Tipo de suelos

Para la producción de alfalfa se requiere suelos profundos y bien drenados, aunque se pueden cultivar en una gran variedad de suelos aquellos que tengan una profundidad menor de 60 cm no es aconsejable ya que el sistema radicular no puede tener un adecuado anclaje.

Calidad de la semilla

Para el éxito de toda producción es necesario adquirir semillas de buena calidad física y genética, entre las características físicas están el tamaño, grado de dureza, pureza y el poder germinativo; por otro lado, las características genéticas están dadas por heredabilidad como el grado de reposo invernal, comportamiento en condiciones climáticas, para asegurar que se cumplan estas condiciones la semilla debe ser adquirida en bolsas cerradas con la categoría de "semilla certificada".

Variedades de alfalfa

La adaptabilidad que tiene una variedad a un medio determinado se ve reflejado por medio de la producción de forraje y la persistencia a lo largo de los años, por ello es importante conocer el comportamiento agronómico de la variedad que se vaya a utilizar. Además, debe satisfacer el potencial

de producción y distribución estacional del forraje, velocidad de rebrote, tolerancia a plagas y enfermedades y con ello se acompaña un adecuado sistema de manejo, Rebuffo *et al.*, (2000).

Abunda verde y CUF 101

Abunda verde es una variedad muy precoz, excelente productora de forraje por su mayor cantidad de hojas, tallos suculentos, excelente palatabilidad y digestibilidad. Desarrollada principalmente para pastoreo, mientras que la variedad CUF 101 tiene gran vigor, desarrollada principalmente para pastoreo continuo y corte, resistente a condiciones adversas de clima, suelo, enfermedades y plagas como pulgón verde, León *et al.*, (2018). Las demás características se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Características comparativas de las variedades de alfalfa Abunda verde y CUF 101

Características	Abunda Verde	CUF 101
Altura de siembra (msnm)	1500 a 3500	1500 a 3200
1er Corte (días)	85 – 100	70 - 90
Días de rotación (días)	34 – 45	20 - 35
Rango pH	6.5 - 7.5	5.5 - 7.0
Rendimiento (T/ha/corte)	18 – 22	14 – 22
Altura (cm)	40 - 60	38 - 60
Aptitud	Pastoreo/ corte	Pastoreo/ corte
Duración pradera	4 - 6 años	4 - 6 años
Dormancia	8	9
Número de cortes al año	8 a 10	8 a 10
Proteína (%)	22 – 26	22 – 26
Materia seca (%)	26 – 28	26 – 28
Densidad de siembra (lb/ha)	80 -100	80 -100
Capacidad de carga (ha/año)	4 -6 animales	4 - 6 animales
Duración de pradera	4 - 6 años (depende del manejo)	4 - 6 años (depende del manejo)
Cantidad de tallos y hojas	Mayor	Menor
Digestibilidad	Mayor	Menor
Palatabilidad	Mayor	Menor
Vigor	Menor	Mayor
Precocidad	Mayor	Menor

Nota. La tabla muestra las características de las variedades Abunda verde y CUF-101. Autor: Mora (2005).

Manejo agronómico de alfalfa

Abonado

Según Córdova & Torres (2015), antes de la siembra se sugiere aplicar al voleo una enmienda caliza ya que el calcio es muy importante para que se dé la nodulación y el crecimiento de la planta. La presencia de manganeso y aluminio retrasa el crecimiento de las plantas afectando de manera negativa en el desarrollo de las raíces.

Nitrógeno

Cuando el cultivo se mantiene en condiciones óptimas es decir no hay déficit de ningún elemento y que el pH no es muy ácido, la alfalfa puede obtener el nitrógeno por las bacterias de sus nódulos. Sin embargo, en el periodo vegetativo de las plántulas, éstas requieren asimilar nitrógeno desde el suelo, hasta que se formen los nódulos y comience la fijación, InfoAgro (2009).

Fósforo

Una fertilización a base de fósforo es muy importante en el primer año del establecimiento, pues de esa manera se asegura el desarrollo de la raíz. El fósforo se desplaza muy lento en el suelo por lo que se recomienda aplicarlo en profundidad, incluso en el momento de la siembra.

Potasio

La alfalfa necesita altas cantidades de este elemento ya que de él depende la resistencia al frío, sequía y almacenamiento de reservas. La sugerencia también es aplicarlo en mezcla junto con el fósforo antes de la siembra.

Sistemas hidropónicos y semi- hidropónico

El cultivo hidropónico tiene sus orígenes en la antigua Babilonia con los famosos jardines colgantes, lo que señala uno de los primeros éxitos para cultivar plantas hidropónicas. Por ello se la define como la ciencia de cultivo de plantas sin uso de tierra, sino más bien con el uso de un medio inerte conocido como sustrato que sirve como soporte de raíces al cual se le agrega una solución

nutritiva que contengan todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento y desarrollo normal, Zárate (2014).

Ventajas de los cultivos hidropónicos

Entre las ventajas, un cultivo semi hidropónico permite aprovechar la superficie de suelos o terrenos que no son aptos para el desarrollo de cultivos tradicionales, además de ser un sistema flexible ya que se puede adaptar con éxito a distintas condiciones y para todo uso, permitiendo un ahorro de agua ya que esta puede ser reutilizada, así como también el menor uso de fertilizantes ya que no existe lixiviado de los mismos. Al no emplear el uso de maquinaria agrícola no se contamina el medio ambiente, ya que hay más limpieza en el manejo del cultivo, junto con ello tenemos un crecimiento más rápido y vigoroso ya que el agua y los nutrientes están siempre disponibles para asimilación de las plantas, Quishpe (2013).

Desventajas de los cultivos hidropónicos

Es de vital importancia tener conocimiento previo de las plantas a cultivar, así como también del sistema a emplear, ya que no todos los cultivos se pueden desarrollar con éxito en este sistema, pues cabe recalcar que la materia orgánica y ciertos microorganismos se encuentran totalmente ausentes, a esto se le suma que el costo inicial de establecimiento es alto, Quishpe (2013).

Elementos hidropónicos

Recipientes

Ya que los cultivos hidropónicos son sin tierra, al hacer uso de sustratos estos requieren recipientes que los contengan, pueden ser de distintos materiales como madera, ladrillo, plástico entre otros; las dimensiones tanto en largo como en ancho pueden variar de acuerdo al requerimiento sin embargo la profundidad debe ser de 10 a 30 cm, condición adecuada para que las raíces tengan suficiente espacio para su desarrollo.

Sustrato

Sustrato es cualquier material sólido, distinto al suelo, sea este natural o sintético de origen residual, mineral u orgánico, que se encierra en forma pura o mezclada cuya función principal es permitir el anclaje del sistema radicular y por lo tanto proporciona soporte para las plantas, pero no intervenir en la nutrición de las mismas sino más bien permitir un flujo uniforme de la solución nutritiva y en este sentido debe ser inerte, López (2019).

También debe tener gran resistencia al desgaste, sin presencia de sustancias minerales solubles para no alterar el balance químico de la solución nutritiva que será aplicada. Tampoco ser portador de ninguna forma viva de macro o micro organismo, con la finalidad de disminuir el riesgo de propagar enfermedades dentro del cultivo establecido, Quishpe (2013).

Propiedades de los sustratos

Propiedades físicas

Los sustratos poseen una elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, proporcionando una buena aireación. Como menciona Padilla (2013), la porosidad debe ser abierta, ya que la porosidad ocluida al no estar en contacto con el espacio abierto no sufre intercambio de fluidos en él, por lo tanto, no sirve como almacén para la raíz. Proporciona una estructura estable, que impida la contracción o hinchazón del medio, Quishpe (2013).

Porosidad total

Se define como el volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por partículas orgánicas o minerales, su valor óptimo es superior al 85%, razón por la cual se puede cultivar con volúmenes reducidos de sustrato, dejando también volumen disponible al aire y a la solución nutritiva, Baixauli & Aguilar (2002).

Capacidad de aireación

Esta es la proporción de volumen de sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato se haya saturado con agua y dejado drenar, el valor óptimo se sitúa entre el 20 y 30%, siendo el valor encargado de suministrar aire por lo tanto el oxígeno a las raíces de la planta.

Estructura estable

Está característica permite una buena durabilidad del material y una manipulación adecuada.

Densidad aparente

Se define como la materia orgánica seca en gramos contenida en un centímetro cúbico de cultivo, los sustratos con una densidad aparente muy baja son difíciles de manipular.

Propiedades químicas

Baja capacidad de intercambio catiónico, que varía de acuerdo a la fertirrigación permanente o intermitente que se aplique, nivel suficiente de asimilación de nutrientes, baja salinidad. Los sustratos también tienen efectos carenciales, debido al hidrólisis alcalina de algunos de ellos lo que provoca un aumento del pH y la precipitación del fósforo y algunos microelementos, y efectos osmóticos provocados por un exceso de las sales solubles y por ende el consiguiente descenso en la absorción de agua por la planta. Ciertas reacciones bioquímicas producen la biodegradación de algunos de los materiales que componen el sustrato, estos se suelen dar en materiales de origen orgánico, destruyendo la estructura y variando sus propiedades físicas, Quishpe (2013).

Capacidad de intercambio catiónico

Se lo define como la suma de cationes que pueden ser absorbidos por unidad de peso del sustrato, una CIC alta es característica propia de los sustratos orgánicos.

Disponibilidad de los nutrientes

Los sustratos son de composición inerte es decir poseen un contenido de nutrientes nulo.

Salinidad

Se hace referencia a la concentración de sales existente en el sustrato cuando es suministrado, en los sustratos inertes la salinidad proporciona valores nulos, sin embargo, en sustratos de origen orgánico sus valores son relativamente altos.

Potencial de Hidrógeno (pH)

El desarrollo de los cultivos es menor en condiciones de alcalinidad y acidez muy marcada, esta propiedad influye en la asimilación de los nutrientes por parte de la planta, con un pH inferior a 5 pueden presentarse deficiencias de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio, y con valores superiores a 6.5 se limita la asimilación de hierro, fósforo, magnesio, boro, zinc, y cobre, Baixauli & Aguilar (2002).

Propiedades biológicas

Es muy importante considerar este aspecto ya que alguna presencia de microorganismos compite directamente con la raíz por el oxígeno y nutrientes, así como degradar el sustrato y terminar con las características del sustrato. De existir descomposición la velocidad de la misma es función de la población microbiana y de condiciones ambientales en las que se encuentra, Quishpe (2013).

Otras propiedades

Los sustratos deben estar libres de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos y sustancias fitotóxicas, de bajo costo, fácil de mezclar y desinfectar con alto grado de resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales, Quishpe (2013).

Elementos Naturales en un Sustrato

El aire es importante para evitar la descomposición de los cultivos, pues con una correcta aireación se puede evitar enfermedades ya que no existirá mucha humedad por lo tanto no habrá el desarrollo de hongos. La luz es importante para el crecimiento de las plantas, se recomienda que el cultivo en desarrollo reciba por lo menos 6 horas de luz solar, con ello acompañado de un promedio de humedad del 75%, para la mayoría de los cultivos establecidos en sistemas semi hidropónicos la

temperatura apta debe ser de 15 a 35°C, teniendo a disposición agua en condiciones adecuadas, es decir destilada o desmineralizada.

Tipos de sustratos

Los sustratos pueden clasificarse de acuerdo a sus propiedades químicas y según el material.

Tipos de sustrato según sus propiedades químicas

Sustratos químicamente inertes: Son aquellos que únicamente dan soporte a la planta por tanto no aportan o fijan nutrientes al cultivo y por lo tanto su crecimiento morfológico depende del aporte externo de nutrientes.

Sustratos químicamente activos: Estos además de dar soporte a la planta también aportan o retienen nutrientes, almacenando el sobrante y liberando cuando la planta lo necesita.

Tipos de sustrato según el material

Materiales orgánicos que de acuerdo a Cruz *et al.*, (2012), se clasifican en:

- Origen natural como: turba, peat moos y tierra negra.
- De síntesis como; espuma de poliuretano y poliestireno expandido
- Residuos de subproductos como; bagazo de caña, aserrín, cortezas de árboles, cascarilla de arroz, paja de cereales, fibra de coco, etc. El uso de este tipo de sustratos debe previamente pasar procesos de acondicionamiento que permita su uso de manera segura.

Materiales inorgánicos o minerales que de acuerdo a Cruz *et al.*, (2012), se clasifican en:

- Origen natural como; rocas de origen volcánico como el jal, tezontle, pomina, arena, grava u otro tipo de rocas.
- Materiales tratados o transformados como; perlita, vermiculita, arcilla expandida y lana de roca. Los cuales se obtienen a partir de rocas o minerales transformadas mediante procesos físicos o químicos que modifican sus propiedades.
- Residuos y subproductos industriales como; escorias de horno alto y estériles de carbón.

Pomina

Es de origen volcánico, este material es sometido a temperaturas de 1000 °C para modificar su estructura, y de esa manera obtener distintas granulometrías, Trujillo (2019). La pomina posee muy buena retención de humedad; posee también buena estabilidad física, durabilidad y otras propiedades físicas (Tabla 3). La pomina está químicamente constituida por dióxido de magnesio y sodio en forma de óxidos (Mientras estos elementos no se combinen con otros materiales es completamente estéril) y también posee un pH y conductividad eléctrica adecuada para cultivar (Tabla 4).

Tabla 3

Propiedades físicas de la pomina

Propiedades	Cantidad
Granulometría	2.00 mm 3.7% - 850 μ m 88.9%
Conductividad hidráulica	4.19×10^{-3} (medio)
Capacidad de campo	36.2%
Punto de marchitez	18.7%
Total, agua disponible	28.7%
Porosidad	24.2

Nota. La tabla muestra las propiedades físicas de la pomina.
Autor: Mora (1999).

Tabla 4

Propiedades químicas de la pomina

Propiedades	Valor
pH	6.4
Conductividad eléctrica	0.007 dS/cm

Nota. La tabla muestra las propiedades químicas de la pomina. Autor: Mora (1999).

Raíz en sustrato sólido

En esta modalidad de cultivo hidropónico las raíces se alojan en un medio sólido o sustratos inertes como arenas, gravillas, escoria de carbón, ladrillo molido, piedra pómez, cascarilla de arroz, viruta, aserrín, lana de roca entre otros. Es el método más empleado a nivel de Latinoamérica, en el caso

del Ecuador en la región interandina se emplea la piedra pómez proveniente de vestigios volcánicos, Ortiz (2007).

Solución nutritiva

La solución nutritiva es la mezcla de agua con iones disueltos obtenidos por la disolución de los abonos empleados para la formulación de la misma, a este aporte se le conoce como fertirrigación entre las ventajas tenemos que permite el ajuste de las dosis de nutrientes a las necesidades de la planta en cada momento de su ciclo vegetativo, ya que localiza los nutrientes a lo largo de todo el perfil del bulbo explorado por las raíces, una mejor asimilación de los nutrientes, y a su vez permite una corrección relativamente rápida de deficiencias nutricionales.

El sistema tiene una mayor facilidad de aplicabilidad y también ahorro de mano de obra, sobre todo si se utilizan abonos líquidos. Sin embargo, a este sistema normalmente va asociado el riego localizado, por lo que tiene altos costos de instalación relativamente superiores a otros métodos. Lo más importante, para la aplicación correcta de esta técnica, son las personas que la utilizan ya que deben tener una adecuada preparación para manejar bien los abonos y evitar obturaciones de los goteros y disponer así de una instalación de riego que sea uniforme el reparto del agua, Santos & Ríos (2016).

Potencial de Hidrógeno (pH) de una solución nutritiva

Esta propiedad marca el carácter ácido o básico, cuya influencia recae sobre la solubilidad de los iones, cuando las aguas tienen un valor superior a 7, se produce la condición de insolubilidades y precipitados, lo que impide la buena nutrición, además de obturación de los goteros.

En su mayoría las plantas se desarrollan bien en soluciones con un pH comprendido entre 5 y 7, puesto que en dicho rango se encuentran mejor disueltos los iones, en especial el fósforo y los micro elementos. Por el contrario, un medio ácido lo encontramos cuando la concentración de protones es superior a la de grupos hidroxilo y el medio será básico cuando suceda lo opuesto.

Conductividad eléctrica (CE) de una solución nutritiva

La CE, mide la concentración de sales disueltas en el agua, cuyo valor se expresa en dS/cm, hablamos de agua de buena calidad cuando el valor es inferior a 0.0075 dS/cm, siendo permisible valores de 0.0075 a 0.02 dS/cm e inadecuado valores superiores a 0.03 dS/cm, Baixauli & Aguilar (2002).

Método de tanteo

Es un método muy sencillo, aunque no el más adecuado cuando se pretende manejar más variables además de la concentración y el equilibrio, toma como punto de partida una cantidad de abono deseada y de un equilibrio. El tanteo consiste en introducir en una tabla de doble entrada valores que en general indican la cantidad de fertilizante e ir calculando el resto de los aportes de abonos, manteniendo el equilibrio final deseado.

En este método se eligen a priori los fertilizantes a utilizar, una vez logrado el equilibrio, se vuelve a recalcular la cantidad total de fertilizante aportado para que coincida con la concentración de consigna. Si después de varios tanteos no se da una solución correcta o agronómicamente factible, se busca la opción para cambiar abonos, Santos & Ríos (2016).

Fertilizantes

Los fertilizantes son sales que contienen varios elementos químicos que cumplen diversas funciones en las plantas. Por la cantidad que de éstos requieren se dividen en macroelementos y microelementos (Tabla 5).

Tabla 5

Macroelementos y microelementos utilizados por las plantas

Macroelementos primarios	Macroelementos secundarios	Microelementos primarios	
Nitrógeno	Calcio	Hierro	Cobre
Fósforo	Magnesio	Manganeso	Boro
Potasio	Azufre	Molibdeno	Zinc

Nota. La tabla muestra los macroelementos primarios, secundarios y microelementos utilizados por las plantas. Autor: Santos & Ríos (2016).

Aplicación de la solución nutritiva

La aplicación de la solución nutritiva depende del tipo de sustrato y del sistema de riego que se instale, así como también el programa de fertilización lo determina la especie y la estación durante el año. En los meses de bajas temperaturas, la fertilización se realizará una o dos veces por semana, y en la época cálida, se aplicará de tres a cuatro veces por semana. El resto de días se regará solo con agua, sin olvidarse de la aplicación de la solución nutritiva caso contrario las plantas sufrirán deficiencias nutricionales, su desarrollo no será el adecuado, o la muerte del cultivo, Zárate (2014).

Bromatológico

Análisis de Planta

El análisis de la planta es una herramienta de diagnóstico que determina el estado nutricional de la misma, la información recopilada es útil para obtener información base de los nutrientes en cuestión. Los rangos óptimos están asociados a una precisa definición sobre el estado fenológico del cultivo, como ejemplo se detalla la información internacional de origen norteamericano (Tabla 6).

Tabla 6

Rango óptimo de macro y micronutrientes para la alfalfa en estado vegetativo

Macronutrientes	N	4.5- 5.0
	S	0.26- 0.50
	P	0.26- 0.70
	Mg	0.30- 1.0
	Ca	1.8- 3,0
	K	2.0- 3.5
Micronutrientes	Mn	31- 100
	Zn	21- 70
	Cu	7- 30
	B	30- 80
	Mo	5.0
	Fe	30- 250

Nota. La tabla muestra los macronutrientes y micronutrientes de la alfalfa en estado vegetativo. Autor: Chávez & Cuba (2012).

Las pruebas de bromatología en forrajes existen con la finalidad de ayudar a la producción pecuaria y brindar un servicio de análisis confiable y oportuno proveyendo la información crítica necesaria para la toma de decisiones informadas, a investigadores, a productores pecuarios, a estudiantes y a profesionales agropecuarios en la nutrición y alimentación de animales; así como, en el manejo sostenible de las pasturas y otras fuentes de forrajes, Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA, 2023).

Cenizas

Se considera ceniza al residuo inorgánico de una muestra que se obtiene al incinerar la muestra seca a 550°C, constituidos principalmente por óxidos, carbonatos, fosfatos y sustancias minerales. El método Kleen para la obtención de cenizas comprende el residuo inorgánico que queda después de la calcinación del contenido orgánico. Las cenizas obtenidas no necesariamente poseen la misma composición que la materia mineral, ya que también puede haber pérdidas por volatilización o alguna interacción entre los constituyentes, Olvera *et al.*, (1993).

Proteína cruda

Se determina mediante el método Kjeldahl. En consecuencia, de su estructura a base de aminoácidos individuales, el contenido de nitrógeno de las proteínas varía sólo entre unos límites muy estrechos (15- 18% y como promedio 16%). La determinación analítica del contenido de proteína bruta o proteína total, se determina el contenido de nitrógeno al eliminar la materia orgánica con ácido sulfúrico, calculando finalmente el contenido de proteína bruta al multipolar por un factor de acuerdo al tipo de alimento.

Como describe Salazar (2016), el método se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose; sulfato de amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco que se destila y se obtiene; ácido sulfúrico del que se forma sulfato de amonio y el exceso de

ácido es valorado con hidróxido de sodio en presencia de rojo de metilo; o ácido bórico formándose borato de amonio el que se valora con ácido clorhídrico.

Según Campos *et al.*, (2022), el porcentaje de digestibilidad está estrechamente relacionado al porcentaje de proteína obtenido en cada estado de madurez (Tabla 7).

Tabla 7

Digestibilidad de acuerdo al estado de madurez y contenido de proteína de la alfalfa

Madurez al corte	Proteína (%)	Digestibilidad (%)
Pre botón floral	>20	>65
Botón floral	19-20	62-65
10% de floración	16-19	58-61
50% de floración	13-16	56-57
100% de floración	nov-13	53-55

Nota. La tabla muestra los valores de digestibilidad de acuerdo al estado de madurez y contenido de proteína. Autor: Campos *et al.*, (2022).

Fibra cruda

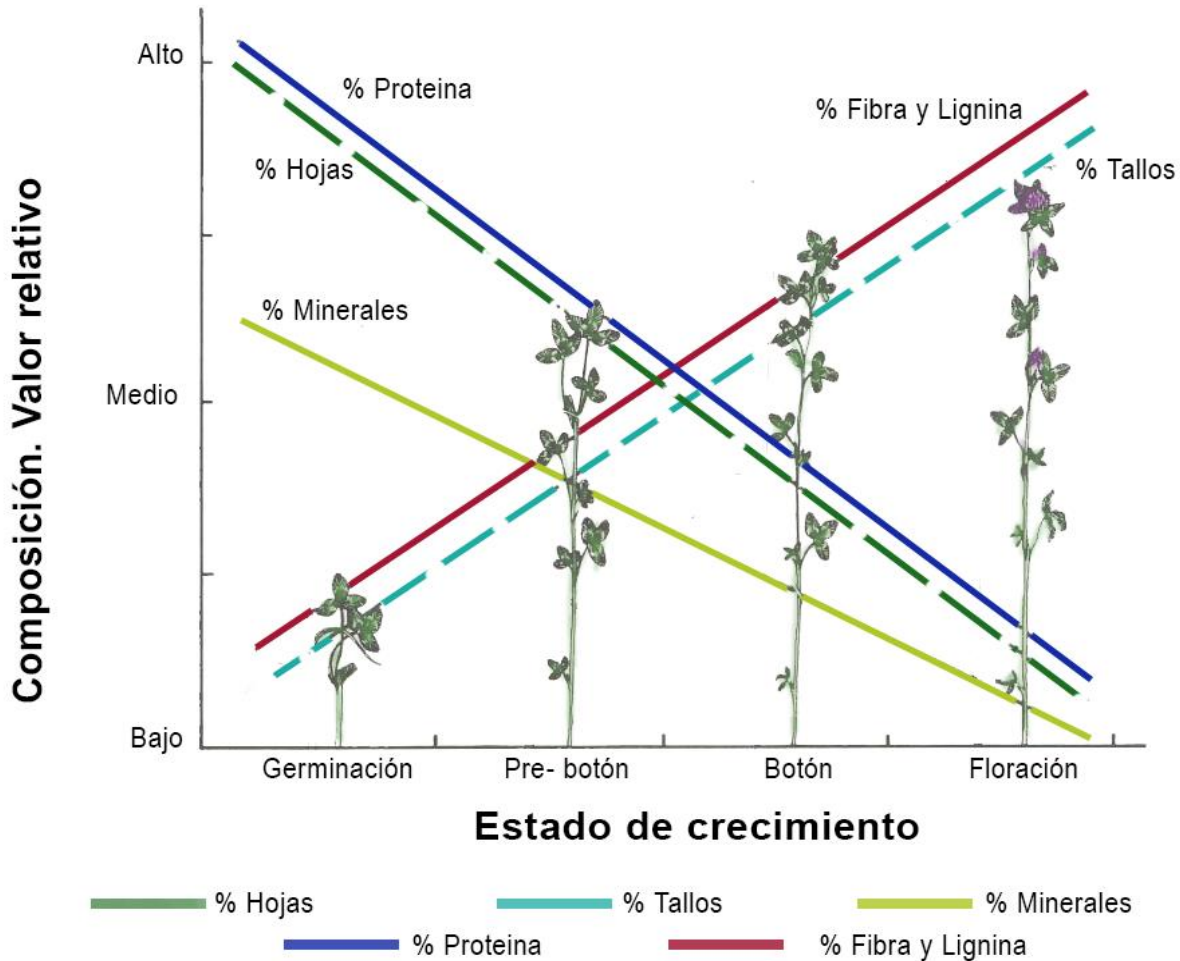
La técnica determina el residuo que persiste después de dos hidrólisis sucesivas, una ácida y otra alcalina. En cierto modo, intenta simular el ataque gástrico e intestinal que se produce in vivo. Es una fracción que se encuentra únicamente en las muestras de origen vegetal; las de origen animal han de contener cantidades inferiores a un 2%, Universidad de Córdoba (2010).

Para determinar este parámetro se utiliza el método Kende, que se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se obtiene una pérdida de masa y se determina la fibra cruda, Olvera *et al.*, (1993).

En la Figura 1, se muestra la relación entre el crecimiento, desarrollo de la planta y su valor nutricional, donde este disminuye a medida que el cultivo llega a su estado de floración es decir su etapa de maduración, Blaser (1986).

Figura 1

Evolución de los componentes del forraje de alfalfa en relación con el crecimiento



Nota: Diagrama que describe la evolución de los componentes en relación con el estado de crecimiento donde el %proteína y %minerales disminuye drásticamente con el tiempo llega hasta la etapa de floración. Adaptado de: Blaser (1986).

Extracto etéreo

El extracto etéreo es el conjunto de estas sustancias se extraen con el método de Soxhlet, que se extraen con éter etílico, la extracción consiste en someter la muestra exenta de agua (deshidratada) a un proceso de extracción continua como medio extractante al éter etílico, Olvera *et al.*, (1993).

Contenido Orgánico

Aquellos compuestos que contienen carbón, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno son clasificados como orgánicos, en cambio los minerales y demás elementos químicos como el calcio y fósforo son los elementos inorgánicos. Cuando una muestra de alimento es colocada en un horno y mantenida a 550°C por 24 horas el contenido orgánico queda quemada y la materia restante es la parte mineral, llamada ceniza. En las plantas, el contenido de minerales varía entre 1 a 12%. Los forrajes usualmente contienen más minerales que semillas o granos.

Humedad

Este método es sencillo y se basa en colocar la muestra en un horno de secado a cierta temperatura y tiempo de acuerdo al material, para determinar por diferencia de peso entre el material seco y fresco.

Contenido de azúcares o grados Brix

La medición de los grados Brix, determina la cantidad de sólidos solubles presentes en la savia de un forraje, y nos sirve como indicador del valor nutricional de los forrajes, pues se relaciona con el potencial energético del alimento en cuestión.

Cuando una especie forrajera presenta bajos niveles de grados Brix, esto podría indicar una deficiencia o desbalance de uno o varios nutrientes de la planta, por lo que se puede actuar realizando una corrección en la fertilización, y con ello aprovechar el potencial nutricional del forraje y por ende mejorar el consumo del mismo pues existe mayor palatabilidad y por ende mejorar la producción de las especies alimentadas con el mismo.

El tipo de fertilización utilizada sobre la pradera se ve reflejada en la productividad del forraje y, por ende, en la acumulación de azúcares solubles de las plantas. Bajo este fundamento el contenido de grados Brix en los forrajes tiende a disminuir al usar alta fertilización nitrogenada, debido al estímulo

que produce el nitrógeno en el crecimiento de las plantas, lo que necesita un mayor uso de los azúcares (energía) en la formación de tejido vegetal, Cardona *et al.* (2022).

Carotenoides

Los forrajes frescos contienen altos contenidos de carotenoides, principalmente β - carotenos y luteína, que son transferidos a los tejidos animales, ya que después de ser ingeridos se transportan por sangre y se depositan en los tejidos. La función principal de estos pigmentos es captar energía luminosa, energía que luego será transferida a las clorofilas para ser transformada durante la fotosíntesis, Meléndez *et al.* (2004).

Clorofila

Las características de los estomas y concentración de clorofila son factores determinantes de la productividad de una planta, pues el aparato estomático debido a que el tamaño y densidad de estomas son factores de importancia en la utilización del agua y en el dinamismo de la fotosíntesis y por ende en la productividad de las plantas. La clorofila es un pigmento capaz de captar fotones de luz solar de diferentes colores y convertirlos en compuestos orgánicos ricos en energía, por el proceso de fotosíntesis. Con estos antecedentes la concentración de clorofila representa una medida directa de la eficiencia del aparato asimilador de la radiación solar, que se correlaciona con la producción de materia seca, Álvarez *et al.* (2018).

Análisis de savia

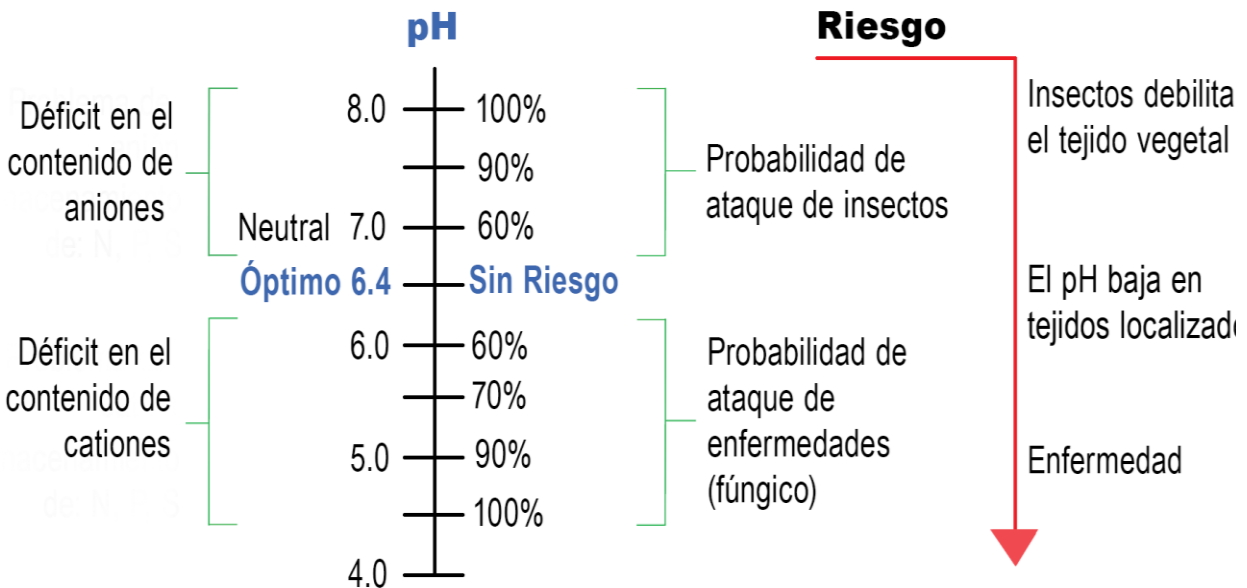
La savia es un líquido espeso que circula por los vasos conductores de la planta y tiene como función principal transportar agua, minerales y nutrientes elaborados durante la fotosíntesis. Mediante el jugo extraído de los tejidos conductores que provienen tanto del xilema como del floema de la planta, con esto se logra cuantificar la cantidad de nutrientes existente en la savia, los datos obtenidos están relacionados con la cantidad de nutrientes existentes en el suelo o cualquier otro sustrato, y las condiciones ambientales, lo que nos permite realizar un ajuste en el plan de nutrición.

Los resultados de estas lecturas se obtienen en pocos minutos, la información refleja la cantidad de nutrientes acumulados en el jugo celular de cualquier planta, con esta técnica se pueden obtener valores recogidos en ppm o mg/L de los siguientes nutrientes: nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}), sodio (Na^+), pH, conductividad en dS/cm y ° Brix o concentración de azúcares. Es diferente al diagnóstico foliar de laboratorio que solo permite leer los nutrientes que se encuentren solubles (móviles), en lugar de todo tipo de estado de nutriente incluido los insolubles (AGRAN, 2020).

Como describe Gonzáles (2015) si el pH de la savia es bajo es debido a un desequilibrio entre los cationes, ya que se puede comprobar que al menos uno de ellos está en la zona de déficit, y si el resultado es alto, uno o más aniones se encuentran en déficit. Además, el pH de la savia es un indicativo de la salud vegetal donde un pH superior a 6.4 hace que las plantas sean más susceptibles al ataque de insectos, mientras que un pH inferior a 6.4 puede causar enfermedades, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Descripción del pH de la savia en plantas



Nota. Diagrama que describe el pH de la savia en las plantas. Adaptado de: Mula (2015).

Ventajas del análisis

Con estos resultados se puede obtener una respuesta rápida a un problema de nutrición del medio de cultivo, con la posibilidad de realizar correcciones de la fertilización durante el mismo ciclo del cultivo, además de información extra antes de tratamientos foliares o preparación de tanques para fertirrigación, Proain (2020).

Relación entre los nutrientes

Todo cultivo mantiene un equilibrio constante entre cationes y aniones, de existir algún desequilibrio de un nutriente puede afectar al resto y con ello atraer pérdidas productivas, por ejemplo, el potasio compite directamente con la concentración de calcio, sodio o magnesio, por lo que un exceso de este nutriente da un efecto de manera negativa en la asimilación del resto.

De acuerdo a la fase fenológica, la concentración de los nutrientes será variable, en un inicio el cultivo dispone de mayores reservas acumuladas de nitrógeno y menor acumulación de potasio, a medida que se aumenta la reserva de elementos que absorben foto asimilados (carbono y azúcares) la tendencia del nitrógeno es reducirse y la del potasio aumentar, AGRAN (2020).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

Ubicación política y geográfica

La presente investigación se llevó a cabo en el invernadero de Horticultura localizado dentro del campus de la Carrera de Agropecuaria – IASA I, Hacienda “El Prado”, ubicado en el barrio San Fernando, parroquia Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, geográficamente se encuentra: 0°23'27"S 78°24'47"W latitud= -0,3909607; longitud: -78,4136189; altitud:2.748 msnm. (Figura 3).

Ubicación ecológica

De acuerdo a los registros diarios de parámetros climáticos de la Estación Agrometeorológica IASA (MA-56), el campus cuenta con la siguiente distribución ecológica (Tabla 8).

Tabla 8

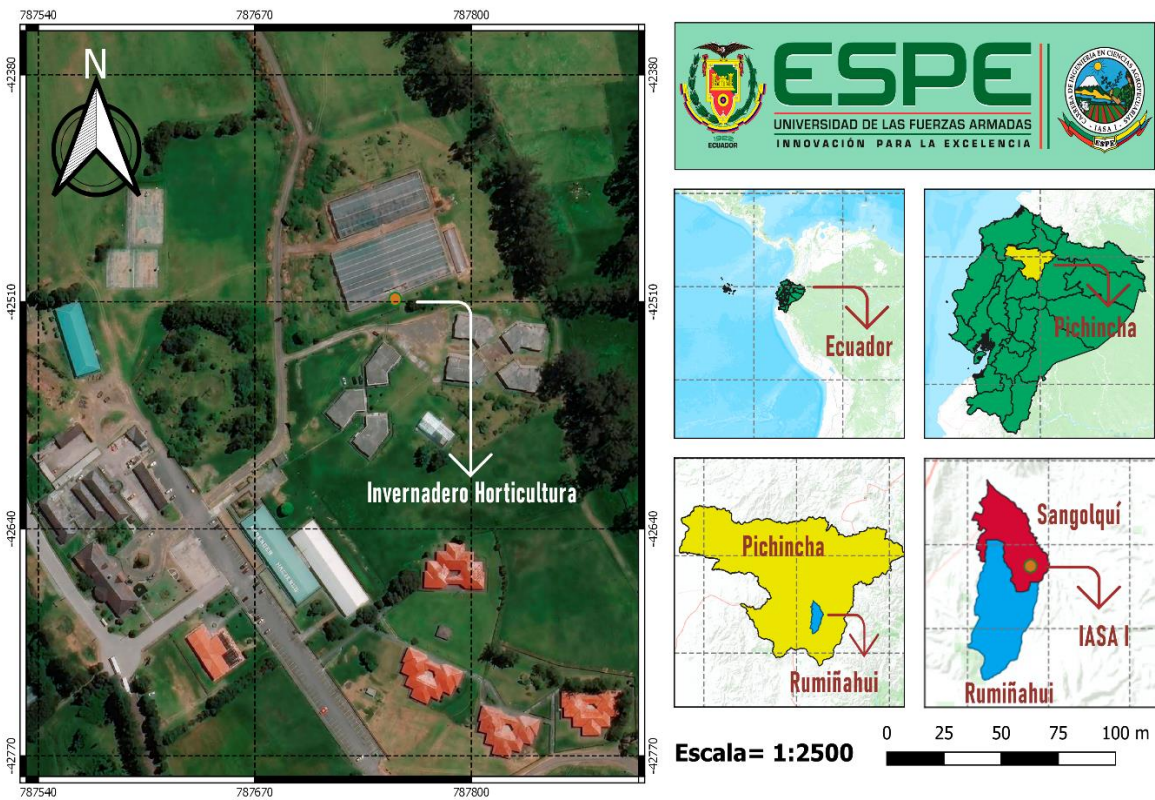
Descripción ecológica del campus de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA- I

<i>Descripción ecológica del IASA- I</i>	
Piso altitudinal:	Montano Bajo
Región latitudinal:	Templada
Zona de vida:	Bosque Húmedo
Provincia de humedad:	Húmeda
Clasificación bioclimática:	Húmedo-Temperado
Formación vegetacional:	Bosque húmedo montano
Piso zoogeográfico:	Temperado - Alto andino
Temperatura promedio:	13.96 °C
Precipitación:	1332.72 mm
Humedad relativa:	66.33%

Nota. La tabla muestra las características ecológicas del sitio de investigación (IASA I), Autor: Arce (2009) & Guacapiña (2020).

Figura 3

Mapa satelital de ubicación del área de estudio



Nota. Representación de la ubicación del campus de la Carrera de Agropecuaria donde se realizó el proyecto, realizado en el software Q-Gis. Autoría propia.

Materiales empleados

Materiales de campo

- Plástico blanco de polietileno
- Sustrato de pomina
- Sistema de riego
- 2 bombas sumergibles
- 2 tanques de 200 L
- 300 g de semilla de alfalfa variedad CUF-101
- 300 g de semilla de alfalfa variedad Abunda verde

- 2 temporizadores
- Flexómetro
- Fundas de papel periódico
- Fundas de plástico
- Hoz metálica
- Estacas de madera
- Piola

Materiales de laboratorio

Equipos

- Estufa
- Molino de laboratorio
- Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg
- Plancha de calentamiento
- Equipo completo de Soxhlet
- Desecador
- Soportes universales
- Balón de ebullición, embudos, Erlenmeyer (250 ml y 500 ml)
- Papel filtro
- Esferas de vidrio
- Mufla
- Crisoles
- Cápsulas de porcelana
- Mortero
- Refractómetro o brixómetro digital

- Centrífuga
- Espectrofotómetro

Reactivos

- Acetona 100% pura
- Etanol 99.5%
- Éter de petróleo
- Ácido clorhídrico 1N (8 ml. Ácido clorhídrico + 916 ml. De agua destilada)
- Hidróxido de sodio 1N (40 g. Hidróxido de sodio + 1000 ml. agua destilada)

Software

- Infostat
- AutoCAD
- SketchUp

Equipos de campo

- Kit de análisis de savia Horiba LAQUAtwin de la empresa TECNOINDUSTRY
- Water quality tester (Multifunction), modelo EZ-9908
- Kit de prueba de dureza total de la empresa HACH, modelo 5-B
- Termohigrómetro digital
- Luxómetro digital

Medición de las propiedades físicas y químicas de la pomina

Propiedades físicas

Densidad Aparente

Para evaluar la densidad aparente se tomó una muestra de pomina y se colocó en una probeta hasta alcanzar un volumen de 110 cm³. Luego se llevó la muestra a una estufa por 24 horas a 95°C. Para determinación de este parámetro se empleó la siguiente Ec. [1]:

$$DA = \frac{Ms}{Vs} \quad \text{Ec. [1]}$$

Donde:

- DA = Densidad aparente (g/cm³)
- Ms = Masa del sustrato (g)
- Vs = Volumen del sustrato (cm³)

Porosidad Total

La porosidad total del sustrato de pomina, se evaluó mediante la siguiente Ec. [2]:

$$PT = 95.83 - 32.43 Da \quad \text{Ec. [2]}$$

Donde:

- PT = Porosidad total (%)
- Da = Densidad aparente

Capacidad de retención de humedad

Para evaluar la capacidad de retención de humedad, se pesó 100 g de pomina y se colocó en la estufa a 95°C durante 24 horas. Posteriormente el sustrato se lo saturó con agua destilada en un recipiente con fondo hueco y papel filtro en la base, finalmente pasado 15 minutos se pesó la pomina húmeda; para este valor se utilizó la siguiente Ec. [3]:

$$CRH = \frac{PSH - PSS}{D_{H_2O}} * 100 \quad \text{Ec. [3]}$$

Donde:

- CRH = Capacidad de retención de humedad (%)
- PSH = Peso del sustrato húmedo (g)
- PSS = Peso del sustrato seco (g)
- DH₂O = Densidad del agua (g/cm³)

Propiedades químicas

Las propiedades químicas de la pomina fueron evaluadas con del equipo Water Quality Tester (Multifunction) Modelo EZ-9908 y del kit para análisis de dureza modelo 5-B, para lo cual se tomó una

muestra de pomina y se le añadió agua destilada en una relación 1:1. Se removió, hasta homogeneizar la muestra y se procedió a filtrar el agua en un vaso de precipitación para su análisis.

Medición de los parámetros ambientales del Invernadero

En todos los sistemas productivos es esencial conocer los parámetros medio ambientales con los que se cuenta para la implementación y desarrollo de un cultivo por lo que se procedió al monitoreo de los parámetros ambientales de temperatura, humedad relativa y luminosidad. En el caso de la temperatura y humedad relativa se utilizó un termohigrómetro digital y para la luminosidad se utilizó un luxómetro, los datos se presentan en la Tabla 9. Y si comportamiento durante el periodo de agosto a diciembre 2022 en temperatura ambiental, humedad relativa y luxómetro se observa en la Figura 4, Figura 5 y Figura 6, respectivamente.

Tabla 9

Parámetros ambientales del invernadero de Horticultura del campus de la Carrera de Ingeniería

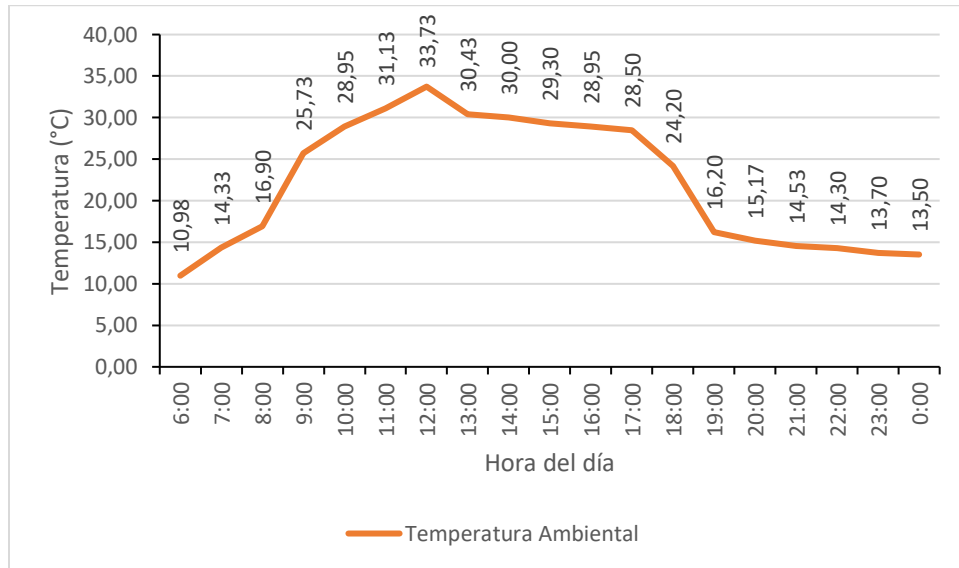
Agropecuaria IASA- I

Parámetros ambientales del invernadero	
Temperatura media (°C)	22.13
Temperatura máxima (°C)	33.73
Temperatura mínima (°C)	10.98
Humedad relativa (%)	50
Luminosidad (Lux)	32906

Nota. La tabla muestra los parámetros ambientales monitoreados en el sitio de investigación Invernadero de Horticultura IASA -I. Autoría propia.

Figura 4

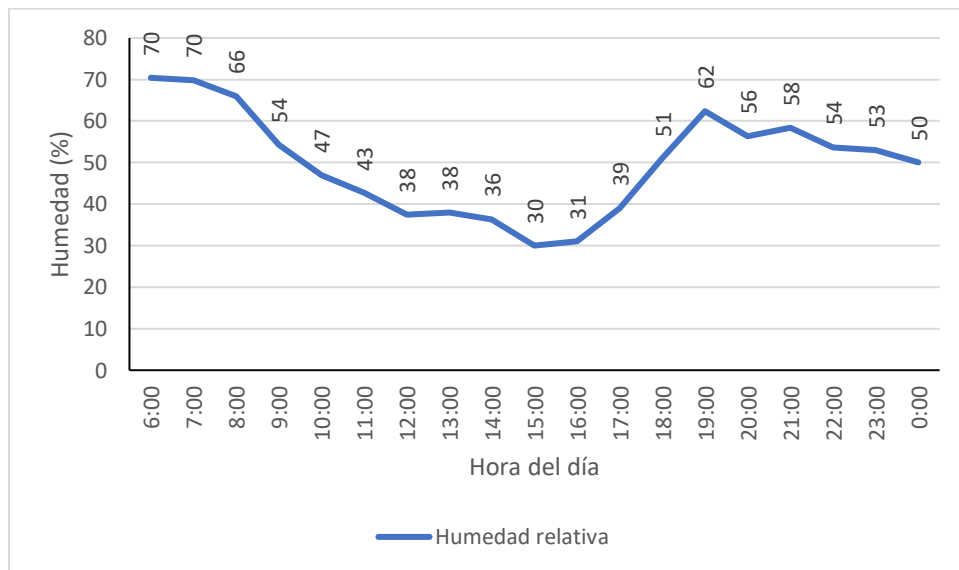
Variación de la temperatura del invernadero (°C) durante el periodo experimental



Nota. La gráfica muestra la variación de la temperatura ambiental del invernadero (°C), en un periodo de agosto a diciembre 2022, medidas 18 horas del día desde las 6:00 a 00:00 am. Autoría propia.

Figura 5

Variación de la humedad relativa del invernadero (%) durante el periodo experimental



Nota. La gráfica muestra la variación de la humedad relativa del invernadero (%), en un periodo de agosto a diciembre 2022, medidas 18 horas del día desde las 6:00 a 00:00 am. Autoría propia.

Figura 6

Variación de la luminosidad del invernadero (lux) durante el periodo experimental



Nota. La gráfica muestra la variación de la luminosidad del invernadero (lux), en un periodo de agosto a diciembre 2022, medidas 18 horas del día desde las 6:00 a 00:00 am. Autoría propia.

Material Vegetal

El sistema de plantación utilizado es el marco real o cuadrático con una distancia entre plantas de 0.15 m y entre hileras de 0.15 m, de acuerdo al rango recomendado de 15 a 20 cm, Chávez & Cuba (2012).

Para calcular el número de plantas se utiliza la ecuación Ec. [4] referida por: Carbo & Orencio (1978).

$$n = \frac{S}{m^2} \quad \text{Ec. [4]}$$

Donde:

- n= número de plantas.
- S= el área total en metros cuadrados.
- m²= distancia entre plantas en metros.

$$n = \frac{s}{m^2} \Rightarrow n = \frac{2,7}{0,15^2} \approx 120 \text{ plantas.}$$

Por lo tanto, el proyecto contará con 120 unidades experimentales en cada cama.

Implementación del sistema Semi- Hidropónico

La implementación en campo se realizó en camas de 0,8 m de ancho por 4,5 m de largo con una altura de 0,3 m, cubierto con una capa de pomina de 0,25 m, contando así con un área de 3,6 m²/cama, y área útil de siembra de 2,7 m²/cama, con un total de 12 camas. Una representación esquemática (Figura 8) y su representación en 3D (Figura 7) para una mejor visualización del proyecto.

Figura 7

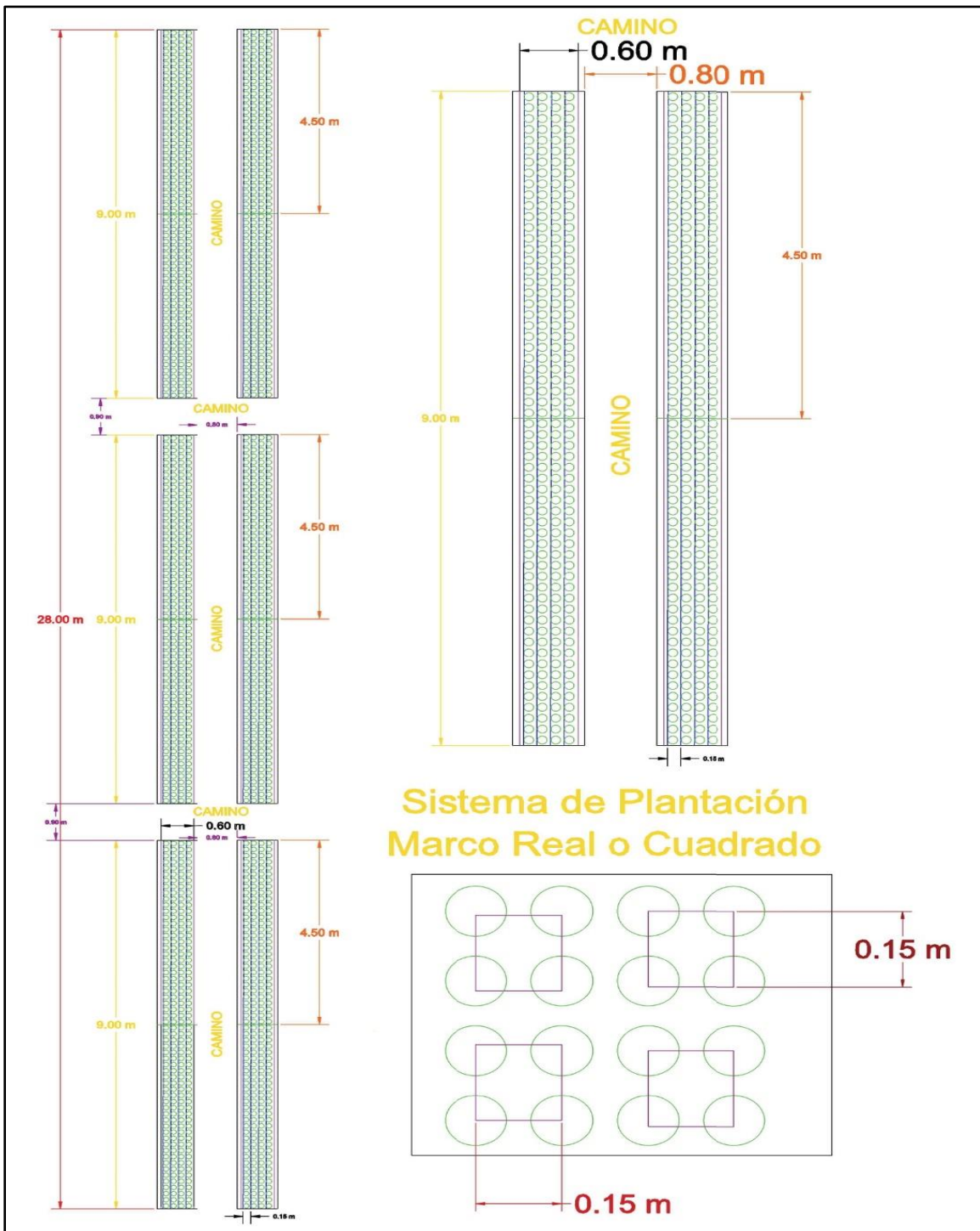
Representación 3D de la implementación y distribución del proyecto



Nota. Representación en 3D de la implementación y distribución de las parcelas y tratamientos en campo, realizado en el software SketchUp. Autoría propia.

Figura 8

Representación de la implementación y distribución del proyecto



Nota. Representación gráfica de la implementación y distribución de las parcelas y tratamientos en campo con sus respectivas dimensiones, realizado en el software AutoCAD. Autoría propia.

Fertilización

Preparación de las soluciones nutritivas

Se elaboró una solución madre con el método del tanteo, con fertilizantes convencionales para esto se utilizaron tanques de 200 litros, donde el tanque A contiene la solución nutritiva y el tanque B la solución nutritiva 2 manejando un pH de 6.41 y 6.24 respectivamente, por tanto, se mantiene dentro del rango de 5.5 a 6.8 el cual es el más idóneo para que la totalidad de nutrientes estén en forma asimilable para las plantas, Baixauli & Aguilar (2002). La solución uno es una propuesta de Vallejo (1999), para el cultivo de alfalfa mientras que la solución dos es propuesta en esta investigación y su composición se observa en la Tabla 10.

Tabla 10

Composición de las soluciones nutritivas empleadas

Soluciones empleadas	Cationes					Aniones		
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	N	P	S
Solución 1	53.25	8.18	48.47	61.6	6.25	67.5	6.98	21.5
Solución 2	120	24	35,75	5	0	103.8	11.8	31.67

Nota. La tabla muestra la composición de la solución nutritiva 1, Adaptado de: Vallejo (1999) y la solución nutritiva 2 propuesta. Autoría propia.

Sistema de Fertirrigación

Plan de fertilización

Considerando el volumen útil del tanque y las características del sistema de fertirrigación (Tabla 11), caudal de operación y se estableció que el tiempo de fertirrigación es de 2 minutos diarios con 3 días de riego a la semana, siendo un total de 6 minutos de riego semanal, donde el volumen de solución consumida es de 25,2 L y a un tiempo de riego semanal de 6 minutos el volumen consumido es de 75.6 L. Cada tratamiento recibe 2.1 L de solución diariamente y a la semana de 6.3 L, con una duración de solución madre de 13 semanas, (Tabla 12).

Tabla 11*Características del sistema de fertirrigación*

Datos	
Volumen de tanque de fertilización	200 L
Altura de seguridad del tanque	18.5 cm
Volumen de tanque útil	151.919 L
Largo de cama	9 m
N° emisores	9 m/ 0.30= 30
N° camas/operación	3
N° Laterales/ cama	4
N° Laterales totales	12
Caudal del emisor	2.1 L/h

Nota. La tabla muestra las características del sistema de fertirrigación. Autoría propia.

Tabla 12*Plan de fertirrigación*

Datos	
Tiempo de vaciado del tanque	12.057 m
Caudal del lateral	63 L/h
Caudal de operación	756 L/h
Volumen diario de fertirrigación	25.2 L (solución)
Volumen semanal de fertirrigación	75.6 L (solución)
Volumen diario por tratamiento	2.1 L
Volumen semanal por tratamiento	6.3 L
Tiempo de duración de la solución madre	13 semanas

Nota. La tabla muestra el plan de fertirrigación del proyecto. Autoría propia.

Diseños Experimentales**Variables del bromatológico, clorofila y carotenoides**

Se utilizó una estructura de tratamientos de diseño completamente al azar (DCA) y una estructura de parcela subdividida (2x2x2) con 3 repeticiones.

Modelo matemático

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + \delta_l(i) + B_j + (AB)_{ij} + \sigma_{jl(i)} + C_k + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde;

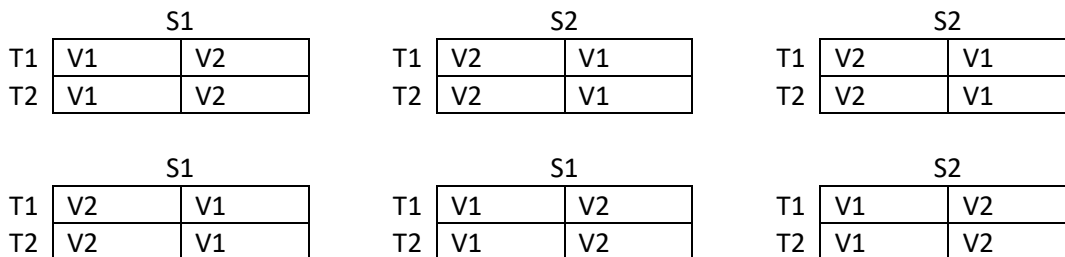
- Y_{ijkl} = Variable de respuesta; bromatológico, clorofila y carotenos.
- μ = Media general.
- A_i = Efecto principal de la parcela grande de la i – ésima solución nutritiva.
- $\delta_l(i)$ = Error de la parcela grande.
- B_j = Efecto principal de la parcela mediana de la j – ésima variedad de alfalfa
- $(AB)_{ij}$ = Interacción de la solución nutritiva con la variedad de alfalfa
- $\sigma_{jl(i)}$ = Error de la parcela mediana.
- C_k = Efecto principal de la parcela pequeña del k – ésima tiempo de corte.
- AC_{ik} = Interacción de la solución nutritiva con el tiempo de corte.
- BC_{jk} = Interacción de la variedad de alfalfa con el tiempo de corte.
- ABC_{ijk} = Interacción de la solución nutritiva , variedad y tiempo de corte.
- e_{ijkl} = Error de la parcela pequeña.

Croquis experimental

El croquis para estas variables se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Disposición del croquis experimental para las variables del bromatológico, clorofila y carotenoides



Nota. En el diagrama se muestra la disposición del croquis, donde la parcela grande corresponde a las soluciones nutritivas (S1, S2), parcela mediana la variedad de alfalfa (V1, V2) y la parcela pequeña el tiempo (T1, T2). Autoría propia.

Factores y Tratamientos

Variables de entrada

- Solución nutritiva: Solución 1 (S1) y Solución 2 (S2).
- Variedad de alfalfa: CUF-101 (V1) y Abunda verde (V2).
- Tiempo de corte: Primer corte (establecimiento) (T1) y segundo corte (rebrote) (T2).

Variables de salida

- Bromatológico: %Proteína, %Fibra, %Humedad, %Extracto etéreo, %Ceniza, %Contenido Orgánico y %Azúcares
- Clorofila: A, B y Total
- Carotenoides

Tratamientos

El código para identificar los tratamientos y su respectiva descripción se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13

Tratamientos utilizados para las variables de bromatología, clorofila y carotenoides

Código	Descripción
S1V1T1	Solución 1, variedad CUF -101 y primer corte.
S1V1T2	Solución 1, variedad CUF -101 y segundo corte.
S1V2T1	Solución 1, variedad Abunda verde y primer corte.
S1V2T2	Solución 1, variedad Abunda verde y segundo corte.
S2V1T1	Solución 2, variedad CUF -101 y primer corte.
S2V1T2	Solución 2, variedad CUF -101 y segundo corte.
S2V2T1	Solución 2, variedad Abunda verde y primer corte.
S2V2T2	Solución 2, variedad Abunda verde y segundo corte.

Nota. La tabla muestra el código y la descripción utilizada para rotular los tratamientos. Autoría propia.

Medición de variables

Variables bromatológicas

Toma de muestras

Para la recolección de la alfalfa se realizó en el estadio 3 (Botón floral temprano) con un sistema de muestreo en zig-zag, obteniendo muestras como mínimo del 10%, preferiblemente del tercio superior de la planta entre hojas y tallos tiernos, luego se realizó la homogenización revolviendo con la mano así finalmente se recogió 200 gramos de material vegetal y se los almacenó en fundas de papel las cuales se las etiquetó con su tratamiento correspondiente y son llevados al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliareas ubicado en el Bloque 1 perteneciente al campus de la Carrera de Agropecuaria IASA-I y se depositan en la estufa a una temperatura de 95°C durante 24 horas.

Una vez obtenidas las muestras secas se las trituro en un molino eléctrico y se las almacenó en frascos estériles para su posterior uso. En el caso de las muestras para la determinación del contenido de azúcares (°Brix), la medición de clorofila (A, B y Total) y carotenoides el material utilizado fue fresco y por tanto el material vegetal destinado a este proceso no se llevó a la estufa.

Proteína Cruda (PC)

Las muestras obtenidas se enviaron al laboratorio de bromatología de Agrocalidad – Tumbaco.

Una vez obtenida las muestras secas y molidas la variable de proteína cruda se determina tras el cálculo de la cantidad de nitrógeno disponible. Ec. [5]. El método utilizado para la determinación de la cantidad de nitrógeno fue por el método Kjeldahl descrito por Helrich (1990). El valor del nitrógeno disponible, en porcentaje, es multiplicado por la constante 6.25, puesto que una proteína está compuesta por 16% de nitrógeno, obteniendo así el porcentaje de proteína cruda que posee la muestra en base seca. Ec. [6].

$$\%N = \frac{14 * N * V * 100}{m * 10000} \quad \text{Ec. [5]}$$

Donde:

- N= Normalidad de la solución.
- V= Gasto de la titulación de HCl al 0,1 N.
- m= Masa de la muestra en gramos.

$$\%PC = \%N * 6.25 \quad \text{Ec. [6]}$$

Fibra cruda (FC)

Con la muestra previamente secada y molida, el método para medir la concentración de fibra fue por el método de hidrólisis ácida y alcalina (Kendee), en donde su fundamento se basa en la digestión ácida y alcalina de las muestras obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con una calcinación posterior se obtiene una pérdida de masa nos indica la cantidad de fibra presente Ec. [7], Olvera *et al.*, (1993).

$$\%FC = \frac{\text{Peso del papel con muestra} - \text{Peso del papel}}{\text{Peso de la muestra}} \quad \text{Ec. [7]}$$

Extracto etéreo (%E.E)

La extracción del componente lipídico consiste en someter la muestra exenta de agua y triturada (deshidratada y molida) a un proceso de extracción continua (Soxhlet), utilizando como extractante éter etílico (ésteres de los ácidos grasos, fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras, ácidos grasos libres) y los resultados se obtiene mediante la Ec. [8].

$$\%E.E = \frac{\text{Peso del balón con muestra} - \text{Peso del balón inicial}}{\text{Masa de la muestra (g)}} * 100 \quad \text{Ec. [8]}$$

Humedad (%H)

El método para la obtención del contenido de humedad se basa en el secado de una muestra en un horno y su determinación por la diferencia entre el peso del material seco y el material vegetal húmedo Ec. [9].

$$\%H = \frac{\text{Peso muestra fresca} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso de la muestra fresca}} * 100 \quad \text{Ec. [9]}$$

Ceniza (%C)

El método para la determinación del contenido de ceniza en los alimentos es por el método de Kleen que se basa en la calcinación de la muestra. Donde la muestra se coloca en un crisol y se quema dentro de la cámara de extractor de gases, en una placa de calentamiento hasta que deje de salir humo y posteriormente se la coloca en la mufla a 500°C por 4 horas y se calcula el porcentaje de ceniza mediante la Ec. [10]. Se considera como el contenido de minerales totales o minerales inorgánicos presentes en la muestra.

$$\%C = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso del crisol}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \quad \text{Ec. [10]}$$

Contenido Orgánico (%CO)

Para determinar el contenido orgánico se resta el porcentaje de ceniza total y mediante la Ec. [11].

$$\%CO = 100 - \%Ceniza \quad \text{Ec. [11]}$$

Contenido de azúcares (°Brix)

Una vez obtenido el material fresco este se pica con tijeras de acero inoxidable en trozos pequeños, luego se coloca estos trozos en un mortero y se procede a macerar para obtener la savia, si se dificulta la extracción de la savia, se puede aplastar con el puño de la mano, utilizando guantes limpios y estériles para no contaminar la muestra.

Luego con la ayuda de un gotero plástico se toma aproximadamente 2 ml de la savia y se deposita en el prisma del refractómetro sea este uno análogo o digital, previamente calibrado con agua destilada o desionizada, una vez colocada la muestra en el caso de un refractómetro análogo se inclina levemente el equipo hacia la luz para observar con claridad la lectura y en el caso de los digitales el equipo arroja el dato automáticamente.

Cada vez que se realiza una medición, se limpia el prisma del refractómetro con agua destilada y papel desechable.

Determinación de la clorofila y carotenoides

Para la determinación de la clorofila se utilizó el método espectrofotométrico descrito por Lichtenthaler (1987), que consiste en pesar una muestra de 0.5 g de hojas y macerarlo en un mortero adicionando 2.5 ml de Etanol al 99.5%, hasta extraer todo el colorante de la muestra, posteriormente colocar la muestra en un tubo y dejar a refrigeración a 9°C durante 24 horas, luego ajustar cada tubo a 4 ml con acetona al 99.5%, colocar los tubos en una centrifuga a 2000 rpm por 10 minutos, separar el sobrenadante que contiene los pigmentos, y tomar 0.5 ml del sobrenadante de cada uno de los extractos y medir en un espectrofotómetro a longitudes de onda de 649, 664 y 470 nm utilizando una muestra de agua destilada como blanco. Por último, se determinaron las variables de clorofila a con la Ec. [12], b con la ecuación Ec. [13] y total con la ecuación Ec. [14], así como los carotenoides Ec. [15] en µg/ml, según Lichtenthaler (1987).

$$Chla: \text{Clorofila } a = (13.36 * A_{664}) - (5.19 * A_{649}) \quad \text{Ec. [12]}$$

$$Chlb: \text{Clorofila } b = (27.43 * A_{649}) - (8.12 * A_{664}) \quad \text{Ec. [13]}$$

$$ChlT: \text{Clorofila Total} = Chla + Chlb \quad \text{Ec. [14]}$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{(1000 * A_{470}) - (1,90 * Chla) - (63,14 * Chlb)}{214} \quad \text{Ec. [15]}$$

Variable de análisis de savia

Se utilizó una estructura de tratamientos de diseño completamente al azar (DCA) y una estructura de parcela subdividida (2x2x2) con 3 repeticiones.

Modelo matemático

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + \delta_l(i) + B_j + (AB)_{ij} + \sigma_{jl(i)} + C_k + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde;

- Y_{ijkl} = Variable de respuesta, análisis de savia.
- μ = Media general.
- A_i = Efecto principal de la parcela grande de la i – ésima solución nutritiva.
- $\delta_l(i)$ = Error de la parcela grande.
- B_j = Efecto principal de la parcela mediana de la j – ésima variedad de alfalfa

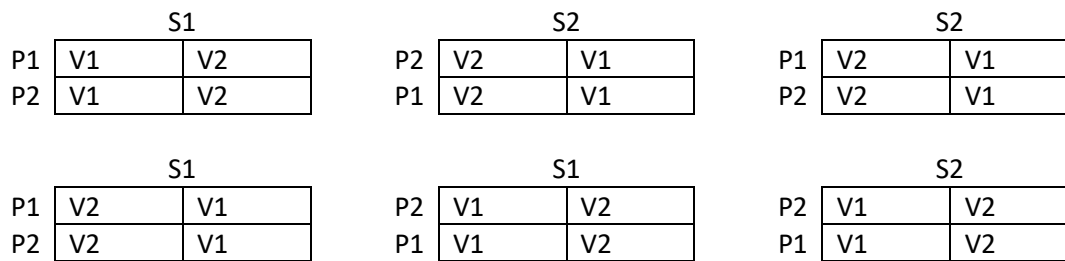
- $(AB)_{ij}$ = Interacción de la solución nutritiva con la variedad de alfalfa
- $\sigma_{j\mu(i)}$ = Error de la parcela mediana.
- C_k = Efecto principal de la parcela pequeña de la k – ésima porción de la planta.
- AC_{ik} = Interacción de la solución nutritiva con la porción de la planta.
- BC_{jk} = Interacción de la variedad de alfalfa con la porción de la planta.
- ABC_{ijk} = Interacción de la solución nutritiva , variedad y porción de la planta.
- e_{ijkl} = Error de la parcela pequeña.

Croquis experimental

El croquis para estas variables se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Disposición del croquis experimental para el análisis de savia



Nota. En el diagrama se muestra la disposición del croquis, donde la parcela grande corresponde a las soluciones nutritivas (S1, S2), parcela mediana la variedad de alfalfa (V1, V2) y la parcela pequeña porción de la planta (P1, P2). Autoría propia.

Factores y tratamientos

Variables de entrada

- Solución nutritiva: Solución 1 (S1) y Solución 2 (S2).
- Variedad de alfalfa: CUF-101 (V1) y Abunda verde (V2).
- Porción de la planta: Hojas + peciolo (P1) y Tallos (P2).

Variables de salida

- Acumulación de nutrientes (NO_3^- , Ca^{2+} , K^+ y Na^+) en savia
- pH y CE en savia.

Tratamientos

El código para identificar los tratamientos y su respectiva descripción se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14

Tratamientos utilizados para las variables del análisis de savia

Código	Descripción
S1V1P1	Solución 1, variedad CUF -101 y savia de las hojas + peciolo.
S1V1P2	Solución 1, variedad CUF -101 y savia de los tallos.
S1V2P1	Solución 1, variedad Abunda verde y savia de las hojas + peciolo.
S1V2P2	Solución 1, variedad Abunda verde y savia de los tallos.
S2V1P1	Solución 2, variedad CUF -101 y savia de las hojas + peciolo.
S2V1P2	Solución 2, variedad CUF -101 y savia de los tallos.
S2V2P1	Solución 2, variedad Abunda verde y savia de las hojas + peciolo.
S2V2P2	Solución 2, variedad Abunda verde y savia de los tallos.

Nota. La tabla muestra el código y la descripción utilizada para rotular los tratamientos. Autoría propia.

Medición de variables

Para la medición de la acumulación de nutrientes (iones de NO_3^- , Ca^{2+} , K^+ y Na^+), pH y conductividad eléctrica (CE) en savia, se determinó mediante el Kit de medidores Horiba LAQUAtwin los cuales fueron proporcionados por la empresa TECNOINDUSTRY. Para su uso se recomienda una limpieza del equipo y del sensor con agua destilada, posteriormente se coloca una gota de solución estándar o calibradora y se pulsa en el botón de calibración, hasta que muestre una cara sonriente en la pantalla indicando la finalización de la calibración. Retire con agua la solución calibradora y seque el sensor con un pañuelo limpio y seco.

Se recolectó muestras vegetales frescas de 100 g y separar entre hojas y tallos dentro de fundas plásticas debidamente etiquetadas con su respectivo tratamiento. Luego triturar con ayuda de un martillo las muestras para que éstas se ablanden y posterior a ello depositarlas en la prensa y extraer la savia. Tomar una gota de savia y llenar el sensor, cuando aparezca la cara sonriente, la medición habrá

finalizado. Finalmente enjuague el sensor con agua destilada luego seque con un pañuelo y se encontrará listo para el siguiente análisis.

Análisis Estadístico

Las variables de porcentaje de proteína cruda (%PC), fibra cruda (%FC), humedad (%H), extracto etéreo (%E.E), ceniza (%C), contenido orgánico (%CO), contenido de azúcares o °Brix (%), clorofila a (chl_a), clorofila b (chl_b), clorofila total (chl_T), carotenoides, acumulación de nutrientes (iones de NO³⁻, Ca²⁺, K⁺ y Na⁺), pH y conductividad eléctrica (CE) en savia, mediante estadística descriptiva (media ± desviación estándar).

Las variables se analizaron mediante un ANAVA (análisis de varianza) usando modelos matemáticos lineales y análisis no paramétricos de Kruskal Wallis. Las variables y sus respectivas interacciones se analizaron aplicando pruebas de comparación de medias en el software estadístico InfoStat, Di Rienzo *et al.*, (2010), mediante el test de Tukey y pruebas de comparación de rangos con un nivel de significancia de ($p \leq 0.05$).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Propiedades físico- químico de la pomina

Las propiedades físicas de la pomina obtenidas en el proyecto (Tabla 15), que fueron sometidas a una constante aplicación por fertirrigación no presentó cambios a gran escala por su corto tiempo de y al usar este elemento de manera pura sin ninguna combinación con otro sustrato y dada sus características de dureza al ser de origen volcánico no tienden a degradarse o descomponerse alterando así sus propiedades físicas, sin embargo, en cuanto a las propiedades químicas (Tabla 15), estas si presentan un cambio pues la pomina puede generar hidrólisis alcalina donde los grupos hidroxilo (OH^-) del agua reaccionan con la sustancia activa, causando que la estructura química de la molécula se rompa y cambie. Este proceso se magnifica y acelera el aumento del pH, precipitación del fósforo y otros microelementos presentes en el sustrato.

Otra dificultad en este tipo de sustrato que menciona Villafañe *et al.*, (2004), es que puede generar un efecto osmótico provocado por la acumulación de sales solubles (cationes o aniones) es decir un aumento en la conductividad eléctrica, afectando la absorción de agua y otros nutrientes, igualmente considerando la dureza que comprende la acumulación de iones metálicos, todo esto afectando al crecimiento y nutrición de la planta. Por lo que se debe realizar seguimientos constantes de estos parámetros y medidas preventivas como lavados y en casos extremos la adición de compuestos ácidos para disminuir el pH como el ácido cítrico y en el caso de una elevada acidez se aumenta el pH con el uso de hidróxido de potasio.

Tabla 15*Propiedades físicas y químicas del sustrato de pomina para el cultivo de alfalfa*

Propiedades físicas	Da (g/cm ³)	0.56
	PT (%)	77.67
	CRH (%)	39
Propiedades químicas	pH	6.4
	CE (dS/cm)	0.0008
	Dureza (ppm)	70

Nota. La tabla indica las características físicas y químicas que posee la pomina.

Da= Densidad aparente; PT=Porosidad total; CRH= Capacidad de retención de humedad; CE= Conductividad eléctrica. Autoría propia.

Propiedades químicas de la solución

Las propiedades químicas de las soluciones nutritivas (Tabla 16), describe que el pH presente en ambas soluciones se encuentra dentro del rango óptimo comprendido entre 5 y 7, donde los iones de fósforo y otros microelementos se encuentran mayormente disueltos e igualmente la conductividad eléctrica se encuentra en cantidades adecuadas similares a 0.0075 dS/cm, que según Baixauli & Aguilar (2002), es el idóneo para el manejo de soluciones nutritivas.

Tabla 16*Propiedades químicas de las soluciones nutritivas*

Solución	pH	CE (dS/cm)	TDS (ppm)
S1	6.41	0.00796	401
S2	6.24	0.00772	387

Nota. La tabla indica las propiedades químicas de las soluciones nutritivas empleadas. CE= Conductividad eléctrica; TDS= Total de Sólidos Disueltos. Autoría propia.

Tabla 17

Análisis de la varianza (ANOVA) de las variables bromatológicas

Variabes	F.V.	Solución	Variedad	S x V	Tiempo	S x T	V x T	S x V x T
Proteína cruda	F	2.65	1.34	0.83	27.19	0.91	1.36	0.21
	p	0.1789	0.3110	0.4144	0.0008 *	0.3686	0.2770	0.6564
Fibra cruda	F	9.19	1.91	1.43	1.14	0.82	0.52	6.65
	p	0.0387	0.2396	0.2972	0.3158	0.3922	0.4924	0.0326 *
Extracto etéreo	F	0.21	1.76	7.21	3.06	0.28	0.18	1.43
	p	0.6729	0.2558	0.0549	0.1184	0.6091	0.6857	0.2656
Humedad	F	11.06	0.06	10.97	2.43	0.16	1.72	2.99
	p	0.0292 *	0.8144	0.0296 *	0.1579	0.68992	0.2257	0.1219
Ceniza	F	4.04	2.74	1.41	20.95	0.47	1.16	0.24
	p	0.1150	0.1732	0.3008	0.0018 *	0.5134	0.3128	0.6362
Contenido Orgánico	F	4.04	2.74	1.41	20.95	0.47	1.16	0.24
	p	0.1150	0.1732	0.3008	0.0018 *	0.5134	0.3128	0.6362
°Brix	F	0.59	0.02	0.53	9.27	0.01	0.01	0.30
	p	0.4854	0.8844	0.5069	0.0159 *	0.9357	0.9105	0.5897

Nota. La tabla muestra el ANOVA para las variables bromatológicas. * significativo, para $p \leq 0.05$. Autoría propia.

Tabla 18

Promedio \pm desviación estándar del contenido de proteína cruda (%PC), ceniza (%C), contenido orgánico (%CO) y °Brix (%)

Proteína Cruda (%)			Ceniza (%)			Contenido Orgánico (%)			°Brix (%)			
Media	D.E.		Media	D.E.		Media	D.E.		Media	D.E.		
T2	28.86	± 1.10	a	8.91	± 1.06	b	91.09	± 1.06	a	18.69	± 1.23	a
T1	27.35	± 1.01	b	10.62	± 0.86	a	89.38	± 0.86	b	15.93	± 2.67	b

Nota. La tabla muestra el análisis de medias por la prueba de Tukey (0.05%). Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). D.E.= Desviación estándar. Autoría propia.

Proteína Cruda (%PC)

El porcentaje de proteína cruda (%PC) no mostró diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y el tiempo de corte (T1: primer corte y T2: segundo corte) ($F_{1/8}=0.21$; $p=0.6564$) (Tabla 17). Sin embargo, el

porcentaje de proteína cruda (%PC) mostró diferencias significativas para el tiempo de corte ($F_{1/8}=27.19$; $p=0.0008$) (Tabla 17). Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) que se cortó en el primer rebrote (segundo corte) presentó mayor porcentaje de proteína cruda que las plantas de alfalfa que fueron cortadas en el corte de establecimiento (primer corte) una media de 28.86 % (Tabla 18).

Como menciona Dammer (2006), en su estudio, destaca que la alfalfa es una leguminosa de gran valor nutritivo con un 24% de proteína. Por lo que las plantas cortadas en el rebrote (segundo corte), y las plantas cortadas en el corte de establecimiento (primer corte), presentan valores superiores a los reportados por Capacho *et al.*, (2018), donde señalan una media de 20,02 % en el estadio de botón floral.

De acuerdo a Guevara (2000), el contenido de proteína es mayor en la porción de hojas, por lo que al tener en estado de botón floral no se encuentra maduro y por tanto contiene grandes cantidades de hojas por efecto de la presencia de auxinas ya que como menciona Lluna (2006), promueven la división celular y conjuntamente con la enzima IAA (ácido indolacético) genera un crecimiento activo en las regiones meristemáticas y retrasan la senescencia e inhiben la abscisión de hojas.

Ceniza (%C)

El porcentaje de ceniza (%C) no mostró diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y el tiempo de corte (T1: primer corte y T2: segundo corte) ($F_{1/8}=0.24$; $p=0.6362$) (Tabla 17). Sin embargo, el porcentaje de ceniza (%C) mostró diferencias significativas para el tiempo de corte ($F_{1/8}=20.95$; $p=0.0018$) (Tabla 17). Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cortadas en el corte de establecimiento (primer corte), presentó mayor porcentaje de ceniza que las plantas de alfalfa cortadas en el primer rebrote (segundo corte), con una media de 10.62 % (Tabla 18).

Los valores de la ceniza se encuentran dentro del rango normal descrito por Guevara (2000), donde menciona que el contenido de cenizas disminuye de acuerdo al estado fisiológico en el que se

encuentra la planta. Guevara *et al.*, (2021), menciona que el contenido de cenizas depende directamente de la presencia de minerales y la capacidad de la absorción de nutrientes por parte de la alfalfa.

El contenido de ceniza no indica necesariamente la composición mineral pues algunos compuestos inorgánicos pueden sufrir alteración por fusión, descomposición, volatilización o cambios de estructura y por tanto no ser completamente retenidos en las cenizas lo señala, Navarro (2007).

Contenido Orgánico (%CO)

El porcentaje de contenido orgánico (%CO) no mostró diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y el tiempo de corte (T1: primer corte y T2: segundo corte) ($F_{1/8}=0.24$; $p=0.6362$) (Tabla 17). Sin embargo, el porcentaje de contenido orgánico (%CO) mostró diferencias significativas para el tiempo de corte ($F_{1/8}=20.95$; $p=0.0018$) (Tabla 17). Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cortadas en el primer rebrote (segundo corte), presentó mayor porcentaje de contenido orgánico que las plantas de alfalfa cortadas en el corte de establecimiento (primer corte), con una media de 91.09 % (Tabla 18).

Al ser los valores de %ceniza y %contenido orgánico inversamente proporcionales esto señala que existe mayor presencia de compuestos como proteínas, carbohidratos y lípidos que son aquellos elementos que se oxidan en el proceso de calcinación, esto corrobora el alto porcentaje de proteína cruda.

Contenido de azúcares o °Brix (%)

El porcentaje de °Brix (%) no mostró diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y el tiempo de corte (T1: primer corte y T2: segundo corte) ($F_{1/8}=0.30$; $p=0.5897$) (Tabla 17). Sin embargo, el porcentaje de °Brix (%) mostró diferencias significativas para el tiempo de corte ($F_{1/8}=9.27$; $p=0.0159$) (Tabla 17). Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cortadas en el primer rebrote (segundo corte), presentó mayor

porcentaje de °Brix que las plantas de alfalfa cortadas en el corte de establecimiento (primer corte), con una media de 18.69 % (Tabla 18).

Estos porcentajes de °Brix son superiores a los reportados por Cadena (2006), de 12%. Altos contenidos de °Brix indican mayor valor nutricional y niveles adecuados de NO₃, como menciona Cardona *et al.*, (2022). Ya que al tener menor °Brix podría existir una deficiencia o desbalance de varios nutrientes y mayor es probabilidad de ataque de insectos u hongos como lo menciona, Bottinelli (2014). Al visualizar el resultado en el refractómetro se vio una línea borrosa, como menciona, (Bottinelli, 2014), esto representa un nivel óptimo de calcio.

Tabla 19

Promedio ± desviación estándar del contenido de fibra cruda (%FC)

Solución	Variedad	Tiempo	Media	D.E.	
S2	V2	T2	15.10	±0.47	a
S2	V1	T1	14.35	±0.23	ab
S2	V1	T2	13.79	±1.05	ab
S1	V1	T2	13.05	±1.98	ab
S2	V2	T1	12.87	±2.13	ab
S1	V1	T1	12.19	±0.82	ab
S1	V2	T1	11.73	±1.26	b
S1	V2	T2	11.02	±0.62	b

Nota. La tabla muestra el análisis de medias por la prueba de Tukey (0.05%). Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). D.E.= Desviación estándar. Autoría propia.

Fibra cruda (%FC)

El porcentaje de fibra cruda (%FC) mostró diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y el tiempo de corte (T1: primer corte y T2: segundo corte) ($F_{1/8}=6.65$; $p=0.0326$) (Tabla 17). Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) de la variedad Abunda verde tratadas con la solución nutritiva 2 y cortadas en el primer rebrote (segundo corte), presentó mayor porcentaje de fibra cruda que las plantas de alfalfa de

la variedad Abunda Verde que fueron tratadas con la solución 1 y fueron en el primer y segundo corte con una media de 15.10% (Tabla 19).

Estos porcentajes de fibra cruda son menores a los reportados por McDowell (1974), el cual menciona que el porcentaje de fibra cruda de la alfalfa es de 19.31% en estado de botón floral siendo así un forraje no tan maduro altamente digestible y altamente proteico al poseer un contenido de fibra menor al 18% y con más de 20% de proteína según lo describe Anrique *et al.*, (2014).

Según menciona Guevara (2000), la cantidad de fibra cruda aumenta recién en estados de floración avanzados especialmente en la porción de tallos pues en esos estados de madurez fisiológica la planta de alfalfa tiende a aumentar la lignina en su pared celular.

Tabla 20

Promedio ± desviación estándar del contenido de humedad (%H)

Solución	Variedad	Media	D.E.	
S1	V2	80.26	±0.99	a
S2	V1	78.82	±1.02	ab
S1	V1	78.51	±2.71	ab
S2	V2	76.78	±5.48	b

Nota. La tabla muestra el análisis de medias por la prueba de Tukey (0.05%). Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). D.E.= Desviación estándar. Autoría propia.

Humedad (%H)

El porcentaje de proteína cruda (%H) no mostró diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y el tiempo de corte (T1: primer corte y T2: segundo corte) ($F_{1/8}=2.99$; $p=0.1219$) (Tabla 17). Sin embargo, el porcentaje de humedad(%H) mostró diferencias significativas para la interacción entre la solución nutritiva y la variedad ($F_{1/4}=10.97$; $p=0.0296$) (Tabla 17). Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) de la variedad Abunda verde tratadas con la solución nutritiva 2, presentó menor porcentaje de humedad que

las plantas de alfalfa de la variedad Abunda verde tratadas con la solución nutritiva 1, con una media de 76.78 % (Tabla 20).

Estos valores obtenidos se encuentran cercanos al reportado por Aguirre (2008), el cual su estudio determinó que el porcentaje de humedad es de 74.7% ya que valores muy altos indicarían un descenso en el rendimiento de materia seca y en caso de elaborar algún tipo de conservación de forrajes como ensilaje o henolaje, si el forraje cuenta con altos porcentajes de humedad superiores al 14% este puede estropear el proceso puesto que tiene mayor tendencia a la pudrición y presencia de organismos indeseables que pueden generar algún tipo de enfermedad y también generar un sabor desagradable, con un ligero olor a ácido butírico que puede provocar el rechazo por parte de los animales.

Tabla 21

Promedio \pm desviación estándar del contenido de extracto etéreo (%E.E)

Solución	Variedad	Tiempo	Medias	D.E.	
S1	V1	T1	2,81	\pm 0,96	a
S1	V1	T2	3,61	\pm 1,18	a
S1	V2	T1	3,25	\pm 1,25	a
S1	V2	T2	4,88	\pm 1,47	a
S2	V1	T1	3,28	\pm 0,74	a
S2	V1	T2	4,79	\pm 1,99	a
S2	V2	T1	3,85	\pm 0,82	a
S2	V2	T2	3,64	\pm 0,10	a

Nota. La tabla muestra el análisis de medias por la prueba de Tukey (0.05%). Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). D.E.= Desviación estándar. Autoría propia.

Extracto Etéreo (%E.E)

El porcentaje de extracto etéreo (%E.E) no mostró diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y el tiempo de corte (T1: primer corte y T2: segundo corte) ($F_{1/8}=1.43$; $p=0.2656$) (Tabla 17). Sin embargo, todos los valores presentes en la (Tabla 21) son ligeramente superiores a los presentados por Guevara (2000), donde el valor del extracto etéreo en el corte uno (46-52 días) es de 2.23%, por lo tanto, al

obtener la alfalfa en el estado de botón floral temprano a los 25 días el contenido de extracto etéreo es superior. Guevara (2000), manifiesta que las hojas de la alfalfa es la parte de la planta que mayor concentración tiene de esta fracción debido a las ceras de la cutícula y los pigmentos, por lo que al encontrarse en estados tempranos existe mayor cantidad de hojas aportando así ácidos grasos, lípidos, vitaminas liposolubles y pigmentos vegetales (exceptuando los carotenoides) los cuales son compuestos netamente energéticos. Lluna (2006), menciona que las auxinas promueven la división celular y conjuntamente con la enzima IAA (ácido indolacético) genera un crecimiento activo en las regiones meristemáticas y retrasan la senescencia e inhiben la abscisión de hojas.

Tabla 22

Análisis de la varianza (ANOVA) de las variables clorofila B (chl_b), clorofila Total (chl_T), carotenoides y prueba de Kruskal Wallis de la variable de clorofila A (chl_a)

Variables	F.V.	Solución	Variedad	S x V	Tiempo	S x T	V x T	S x V x T
Clorofila A	H	-	-	-	-	-	10.01	-
	p	-	-	-	-	-	0.0185 *	-
Clorofila B	F	0.43	0.06	3.31	110.00	0.09	0.0012	3.60
	p	0.5478	0.8208	0.1429	<0.0001*	0.7678	0.9732	0.0954
Clorofila Total	F	0.0023	0.27	2.27	69.15	0.06	1.19	1.13
	p	0.9642	0.6308	0.2064	<0.0001*	0.8122	0.3074	0.3195
Carotenoides	F	0.24	0.19	0.0025	14.88	0.01	0.11	0.31
	p	0.6514	0.6890	0.9624	0.0048 *	0.9109	0.7487	0.5938

Nota. La tabla muestra el ANOVA para las variables bromatológicas. * significativo, para $p \leq 0.05$. Autoría propia.

Tabla 23

Promedio \pm desviación estándar del contenido de clorofila A (chl_a)

Tratamiento	Medias	D.E.	
V2T1	31.62	± 1.49	a
V1T1	25.79	± 8.28	ab
V1T2	25.49	± 0.92	b
V2T2	24.81	± 2.47	b

Nota. Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). D.E.= Desviación estándar. Autoría propia.

Clorofila A (chla)

El análisis del contenido de clorofila A (chla) se realizó mediante una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis el cual mostró diferencias significativas para la interacción entre la variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y el tiempo de corte (T1: primer corte y T2: segundo corte) ($H=10.01$; $p=0.0185$) (Tabla 22). Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) de la variedad Abunda verde cortadas en el primer rebrote (segundo corte), presentó mayor contenido de clorofila A que las plantas de alfalfa de la variedad Cuf-101 cortadas en el corte de establecimiento (primer corte) y de las plantas de alfalfa de la variedad Abunda verde cortadas en el primer rebrote, con una media de $31.62 \mu\text{g/ml}$ (Tabla 23).

Tabla 24

Promedio \pm desviación estándar del contenido de clorofila B (chlb), clorofila Total (chlT) y carotenoides

	Clorofila B ($\mu\text{g/ml}$)			Clorofila Total ($\mu\text{g/ml}$)			Carotenoides ($\mu\text{g/ml}$)		
	Media	D.E.		Media	D.E.		Media	D.E.	
T2	50.23	± 7.94	a	75.37	± 6.72	a	3.70	± 1.08	a
T1	22.54	± 8.95	b	51.25	± 8.88	b	2.31	± 0.41	b

Nota. La tabla muestra el análisis de medias por la prueba de Tukey (0.05%). Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). D.E.= Desviación estándar. Autoría propia.

Clorofila B (chlb)

El contenido de clorofila B (chlb) no mostró diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y el tiempo de corte (T1: primer corte y T2: segundo corte) ($F_{1/8}=3.60$; $p=0.0945$) (Tabla 22). Sin embargo, el contenido de clorofila B mostró diferencias significativas para el tiempo de corte ($F_{1/8}=110.00$; $p<0.0001$) (Tabla 22).

Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cortadas en el primer rebrote (segundo corte), presentó mayor contenido de clorofila B (chlb) que las plantas de alfalfa cortadas en el corte de establecimiento (primer corte), con una media de $50.23 \mu\text{g/ml}$ (Tabla 24).

Clorofila Total (chlT)

El contenido de clorofila Total (chlT) no mostró diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y el tiempo de corte (T1: primer corte y T2: segundo corte) ($F_{1/8}=1.13$; $p=0.3195$) (Tabla 22). Sin embargo, el contenido de clorofila B mostró diferencias significativas para el tiempo de corte ($F_{1/8}=69.15$; $p<0.0001$) (Tabla 22). Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cortadas en el primer rebrote (segundo corte), presentó mayor contenido de clorofila Total que las plantas de alfalfa cortadas en el corte de establecimiento (primer corte), con una media de 75.37 $\mu\text{g/ml}$ (Tabla 24).

La clorofila A es la responsable de absorber la luz durante la fotosíntesis, mientras que la clorofila B, la cual está ubicado en los cloroplastos, es la responsable de absorber la luz a una longitud de onda diferente y transferir esa energía a la clorofila A, por lo que en conjunto la clorofila Total determina la eficiencia en la absorción de luz y transformación a energía utilizable, por tanto es un indicador de la salud de las plantas y por su estrecha relación con el estado nutricional nitrogenado del cultivo.

Según Cakmak & Yazici (2015), el magnesio tiene varias funciones clave en las plantas, entre ellas la síntesis de proteínas y formación de clorofila de no ser así, las plantas se ven seriamente afectados con la deficiencia del nutriente ocasionando un pobre crecimiento y rendimiento.

Chen (2022), señala que la función más importante del magnesio es la de átomo central en la molécula de clorofila la cual lleva a cabo el proceso de la fotosíntesis; también interviene en la activación de un sinnúmero de enzimas necesarias para su desarrollo y contribuye a la síntesis de proteínas, mientras que el hierro no se usa en la síntesis de la clorofila, pero es esencial para su formación.

Lluna (2006), menciona que las citoquininas son importantes en la estimulación de la síntesis de la clorofila ya que realiza la conversión de etioplastos en cloroplastos y conjuntamente con las giberelinas inhibe la degradación de la clorofila y proteínas en la senescencia de la planta.

Carotenoides

El contenido de carotenoides no mostró diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y el tiempo de corte (T1: primer corte y T2: segundo corte) ($F_{1/8}=0.31$; $p=0.5938$). (Tabla 22). Sin embargo, el contenido de carotenoides mostró diferencias significativas para el tiempo de corte ($F_{1/8}=14.88$; $p=0.0048$) (Tabla 22). Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cortadas en el primer rebrote (segundo corte), presentó mayor contenido de carotenoides que las plantas de alfalfa cortadas en el corte de establecimiento (primer corte), con una media de 3.70 $\mu\text{g/ml}$ (Tabla 24). Según Meléndez *et al.*, (2007), valores inferiores de este pigmento reduce el valor nutritivo de los alimentos e induce una decoloración y una pérdida de sus características organolépticas y a su vez este pigmento es importante en la coloración de la carne en los animales de importancia zootécnica por lo que un buen contenido de carotenoides en forrajes permite disminuir costos en la adición de este pigmento de manera sintética en las dietas.

Tabla 25

Análisis de la varianza (ANAVA) de las variables de acumulación de nitratos, potasio, sodio, C.E. y prueba de Kruskal Wallis para la variable de acumulación de calcio y pH en savia

Variables	F.V.	Solución	Variedad	S x V	Porción	S x P	V x P	S x V x P
Nitratos (NO_3^-)	F	0.16	0.31	0.30	1.62	0.42	1.38	0.64
	p	0.7106	0.6076	0.6105	0.2384	0.5372	0.2744	0.4469
Potasio (K^+)	F	0.06	1.84	0.41	0.16	3.63	0.40	0.08
	p	0.8144	0.2464	0.5585	0.6967	0.0932	0.5431	0.7802
Sodio (Na^+)	F	1.45	1.12	0.68	0.71	0.06	0.01	0.03
	p	0.2952	0.3486	0.4551	0.4232	0.8076	0.9381	0.8652
Calcio (Ca^{2+})	H	-	-	-	-	-	-	16.04
	p	-	-	-	-	-	-	0.0242 *
pH	H	-	-	-	-	-	-	16.14
	p	-	-	-	-	-	-	0.0201 *
Conductividad eléctrica	F	15.52	0.33	0.02	0.68	3.39	2.99	2.29
	p	0.0170 *	0.5975	0.8853	0.4343	0.1029	0.1223	0.1684

Nota. La tabla muestra el ANAVA para las variables de acumulación de nutrientes en savia, * significativo, para $p \leq 0.05$. Autoría propia.

Tabla 26

Promedio ± desviación estándar de la acumulación de nitratos, potasio y sodio en savia

Tratamiento	Nitratos (ppm)			Potasio (ppm)			Sodio (ppm)		
	Medias	D.E.		Medias	D.E.		Medias	D.E.	
S1V1P1	2467	± 1006.64	a	3167	± 568.62	a	810	±36.06	a
S1V1P2	3067	± 472.58	a	3433	± 611.01	a	870	±564.54	a
S1V2P1	3167	± 642.91	a	4233	± 901.85	a	540	±202.24	a
S1V2P2	3200	± 953.94	a	4400	± 1307.67	a	540	±261.53	a
S2V1P1	3067	± 986.58	a	3800	± 600.00	a	837	±166.23	a
S2V1P2	3333	± 1274.10	a	3600	± 435.89	a	770	±173.21	a
S2V2P1	3067	± 378.59	a	4300	± 655.74	a	840	±324.50	a
S2V2P2	3267	± 1327.91	a	3833	± 702.38	a	716	±192.18	a

Nota. La tabla muestra la prueba de comparación de rango. Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). D.E.= Desviación estándar. Autoría propia.

Acumulación de nitratos (NO³⁻), Potasio (K⁺) y Sodio (Na⁺) en savia

La acumulación de nitratos (NO³⁻), Potasio (K⁺) y Sodio (Na⁺) en savia no mostraron diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y la porción de la planta (P1: Hojas + peciolo y P2: Tallos) con ($F_{1/8}=0.64$; $p=0.4469$), ($F_{1/8}=0.08$; $p=0.7802$) y ($F_{1/8}=0.03$; $p=0.8652$) respectivamente, por lo tanto, son estadísticamente iguales (Tabla 25). Sin embargo, las cantidades presentes (Tabla 26) muestran valores relativamente semejantes para todos los tratamientos.

Ya que como menciona Gómez *et al.*, (2017), una baja acumulación de nitratos representa una conversión a formas proteicas a medida que incrementa el crecimiento del cultivo y de existir una acumulación excesiva generaría una toxicidad para el consumo. El sodio, que hace de elemento osmorregulador y con concentraciones altas deben de considerarse valores más altos del resto de cationes para que el balance sea el deseado, al no existir una acumulación importante de este elemento se puede decir que no existe una acumulación de sales en el sustrato.

Gutiérrez (2016), en su estudio pudo identificar un receptor de la auxina que está controlado por nitrato, de modo de que hay una interacción directa entre la vía de señalización de auxinas y el nitrato. Este mecanismo cumple fundamentalmente funciones en la estructura radicular. Controla el crecimiento de la raíz principal y el crecimiento de las raíces laterales.

González (2015), menciona que el potasio (K^+) compite directamente con la concentración de calcio (Ca^{2+}), sodio (Na^+) o magnesio (Mg^{2+}), ya que este no se encuentra en exceso y más bien el calcio es el elemento mayormente acumulado indica que no existe un exceso de potasio en la solución nutritiva que puede llegar a afectar negativamente a la asimilación del resto de nutrientes.

Tabla 27

Promedio \pm desviación estándar de la acumulación de calcio y pH en savia

Tratamiento	Calcio (ppm)			pH		
	Medias	D.E.		Medias	D.E.	
S2V2P1	566.67	± 20.82	a	6.4	± 0.21	a
S2V1P1	486.67	± 5.77	ab	6.0	± 0.12	abcd
S1V2P1	440.00	± 45.83	abc	6.1	± 0.12	abc
S1V1P1	376.67	± 183.39	abc	6.2	± 0.15	ab
S2V2P2	270.00	± 26.46	bc	6.0	± 0.15	abcd
S1V1P2	280.00	± 69.28	bc	5.8	± 0.12	cd
S2V1P2	250.00	± 17.32	bc	5.9	± 0.15	bcd
S1V2P2	226.67	± 83.27	c	5.7	± 0.15	d

Nota. La tabla muestra la prueba de comparación de rango. Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). D.E.= Desviación estándar. Autoría propia.

Acumulación de calcio (Ca^{2+}) en savia

Este análisis se realizó mediante una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis el cual mostró diferencias significativas para la interacción entre la variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y la porción de la planta (P1: Hojas + peciolas y P2: Tallos) ($H=16.04$; $p=0.0242$) (Tabla 25). Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) de la variedad Abunda verde tratadas con la solución 2 y tomadas de las

hojas + peciolo, presentó mayor acumulación de calcio (Ca^{2+}) en savia que las plantas de alfalfa de la variedad Cuf-101 cortadas después del macollamiento y de las plantas de alfalfa variedad Abunda verde tratadas con la solución 1 y 2 tomada de los tallos y de las plantas de alfalfa variedad Cuf-101 tratadas con la solución 1 y 2 tomada de los tallos con una media de 566.67 ppm (Tabla 27).

González (2015), menciona que la acumulación de calcio indica que el cultivo se encuentra en un estado de crecimiento y de floración, mientras que si existiese un incremento en la acumulación de potasio indicaría que está entrando a un estado de maduración.

Palomino (2006), menciona que el calcio interviene en la translocación de hidratos de carbono y en la utilización del nitrógeno por las plantas, además de activar y regular la división celular. Las carencias de calcio (Ca^{2+}) se manifiestan en deficiencias en la formación de la pared celular de tejidos vegetales nuevos (puntas de las raíces, hojas jóvenes y brotes). Además de documentar que el calcio (Ca^{2+}) guarda relación con la acción de las giberelinas, ya que permite la rápida formación de nuevas estructuras de la pared celular al irse alargando, de no ser así, la célula crecería, pero no podría mantener su forma y colapsaría.

Potencial de hidrógeno (pH) en savia

El análisis del pH en savia se realizó mediante una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis el cual mostró diferencias significativas para la interacción entre la variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y la porción de la planta (P1: Hojas + peciolo y P2: Tallos) ($H=16.14$; $p=0.0201$) (Tabla 25).

Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) de la variedad Abunda verde tratadas con la solución 2 y tomadas de las hojas + peciolo, presentó mayor pH en savia que las plantas de alfalfa de la variedad CUF-101 cortadas después del rebrote y de las plantas de alfalfa variedad Abunda verde tratadas con la solución 1 tomada de los tallos y de las plantas de alfalfa variedad CUF-101 tratadas con la solución 1 y 2 tomada de los tallos con una media de 6.4 (Tabla 27).

Este valor de 6.4 según Mula (2015), es el óptimo deseado en savia, puesto que 0.5 debajo de este valor presenta un déficit de los elementos calcio-potasio y valores 0.5 mayores al 6.4 un déficit en fosfato y puede estar mayormente propenso al ataque de insectos que afectan al cultivo y deterioran los tejidos vegetales.

Tabla 28

Promedio ± desviación estándar de la conductividad eléctrica (CE) en savia

Solución	Medias	D.E.	
S2	0.1202	± 0.35	a
S1	0.1068	± 0.71	b

Nota. La tabla muestra el análisis de medias por la prueba de Tukey (0.05%). Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). D.E.= Desviación estándar. Autoría propia.

Conductividad eléctrica (CE) en savia

La conductividad eléctrica (CE) en savia mostró diferencias significativas para la triple interacción entre tipo de solución nutritiva (S1 y S2), variedad (V1: CUF-101 y V2: Abunda verde) y la porción de la planta (P1: Hojas + peciolo y P2: Tallos) ($F_{1/8}=0.31$; $p=0.5938$) (Tabla 25). Sin embargo, el contenido de carotenoides mostró diferencias significativas para la solución nutritiva ($F_{1/4}=15.52$; $p=0.0170$) (Tabla 25). Las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) tratadas con la solución 2, presentó mayor conductividad eléctrica que las plantas de alfalfa tratadas con la solución 1, con una media de 0.1202 dS/cm (Tabla 28).

Este valor de 0.1202 dS/cm según Gonzáles (2015), se encuentra dentro del rango adecuado de 0.12-0.15 dS/cm en savia, si el dato es mayor se entiende que la planta esa sobrealimentada y con ello se puede acarrear problemas patológicos y por lo contrario un valor menor señala una insuficiente absorción de nutrientes por parte de la planta.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El mejor contenido nutricional de las plantas de alfalfa bajo este sistema de cultivo semi-hidropónico en sustrato de pomina se obtuvo con la variedad Abunda verde tratada con la solución nutritiva dos cortadas en el rebrote, tanto en sus cualidades bromatológicas como en el contenido de clorofila y carotenoides que conjuntamente determinan el valor y calidad nutricional de este forraje.
- En el análisis bromatológico se evidenció que en el rebrote dado 25 días después del corte de establecimiento mostró mejores cualidades nutricionales en el porcentaje de proteína (28.86 %), ceniza (8.91 %), contenido orgánico (91.09 %) y °Brix (18.69 %) y conjuntamente con la variedad Abunda verde en términos de porcentaje de humedad (76.78 %) y fibra cruda (15.10 %) tratada con la solución nutritiva dos.
- El contenido de clorofila total (75.37 µg/ml) y carotenoides (3.70 µg/ml) fue mayor en el rebrote, esto indican de manera indirecta el estado nutricional del cultivo y que los niveles de nitrógeno, fósforo y boro en hoja se encuentran normales y la ausencia de algún tipo de estrés oxidativo que reduzca su valor nutricional.
- Al realizar el análisis de savia se estableció que la mejor solución nutritiva para el cultivo de alfalfa fue la solución número dos pues presentó mejor contenido de Ca²⁺ (566.67 ppm), nivel óptimo de pH (6.4) y conductividad eléctrica (0.1202 dS/cm), siendo la porción de Hojas + peciolas la más adecuada para este tipo de análisis.

Recomendaciones

- El proyecto se realizó bajo condiciones controladas de invernadero y sustrato inerte para descartar factores que puedan repercutir en el contenido nutricional, por tanto, se recomienda realizar el mismo proyecto en condiciones de campo en fertirriego al suelo aplicando la solución dos (propuesta) para verificar si se obtiene los mismos resultados en cuanto a su valor nutricional y calidad de forraje.
- Se recomienda utilizar la variedad Abunda verde conjuntamente con la solución nutritiva dos (propuesta) para obtener mejores características nutricionales para la alimentación de acuerdo a la finalidad sea para ganado bovino en pastoreo o estabulado y para especies menores en corte, pues la versatilidad de la alfalfa permite ambos sistemas de alimentación.
- Se recomienda realizar un análisis de savia para verificar el estado de la solución nutritiva o fertilización pues este método constituye una forma eficiente y eficaz permitiendo realizar los ajustes necesarios para obtener los mejores resultados en rendimiento, producción y nutrición.
- Se recomienda a los productores a realizar un análisis bromatológico constante como forma de monitoreo para verificar el estado nutricional de los pastos pues es una pieza fundamental para el aumento en producción y por consiguiente un retorno económico a la inversión, considerando que la alimentación animal constituye entre el 60 a 70% de los costos operativos.

Bibliografía

- AGRAN. (2020). *Por qué el análisis de savia ayuda en los cultivos*. AGRAN Liquid Technology.
<https://agran.es/por-que-el-analisis-de-savia-ayuda-en-los-cultivos/#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20savia%20o,%20savia%20de%20cualquier%20planta>
- Aguayo, H., & Dueñas, J. (2018). *¿La ganadería del Ecuador tendrá todavía esperanza?en la economía solidaria y soberanía alimentaria*. Federación de Ganaderos del Ecuador (FEDEGAN).
https://docplayer.es/38718355-Dr-henry-xavier-aguayo-recalde-ing-juan-carlos-duenas-gagliardo.html#download_tab_content
- Aguirre, J. (2008). *Determinación de la composición química y el valor de la energía digestible a partir de las pruebas de digestibilidad en alimentos para cuyes* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1502>
- Álvarez, A., Morales, C. R., Corrales, R., Avendaño, C. H., Rubio, H. O., & Villarreal, F. (2018). Caracterización estomática, concentración de clorofila y su relación con producción de biomasa en *Bouteloua curtipendula*. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 251. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.29900>
- Anrique, R., Molina, X., Alfaro, M., & Saldaña, R. (2014). *Composición de alimentos para el ganado bovino* (Universidad Austral de Chile, Ed.; 4th ed., Vol. 1). Centro Regional de Investigación, INIA.
<https://docer.com.ar/doc/ns1ecv1>
- Arce, M. (2009). Normal climática y distribución de la precipitación de la hacienda El Prado-IASA. *Boletín Técnico*. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1422>
- Baixauli, Carlos., & Aguilar, J. M. (2002). *Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias* (Vol. 1). GENERALITAT VALENCIANA - Conselleria d'Agricultura, Peixca i Alimentació.
<https://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/7948>

- Blaser, R. (1986). *Forage Animal Management Systems* (Virginia Agr. Exp. Stn., Vol. 1). Virginia Polytechnic Inst. and State Univ. https://researchrepository.wvu.edu/faculty_publications
- Bottinelli, I. (2014). *Análisis de savia y Crop Monitor*. <https://es.slideshare.net/IanCarloBottinelliWo/cropmonitor-servicios-de-analisis-de-extracto-peciolar>
- Cadena, M. (2006). *Variaciones de la calidad de la alfalfa durante las diferentes horas del día*. <http://www.agribiotech.com.mx/test/wp-content/uploads/2016/01/Variaciones-en-Calidad-de-Alfalfa-durante-las-Distintas-Horas-del-Dia.pdf>
- Cakmak, I., & Yazici, A. (2015). *El Magnesio (Mg) en la nutrición vegetal es comúnmente olvidado a pesar de su gran impacto en el crecimiento de las plantas, diversos mecanismos vitales en las plantas requieren un adecuado suministro de Mg, los más destacados son: formación de raíces, clorofila y fotosíntesis*. Intagri. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/magnesio-nutriente-olvidado-salvar-cultivo>
- Campos, A., Moreira, A., de Carvalho, A., Magno, A., Ruggieri, A., & Brugnara, A. (2022). *Alfalfa: del cultivo a sus múltiples usos* (Vol. 1). Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento (MAPA). <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/tecnologia-no-setor/publicacoes/livro-alfalfa-del-cultivo-a-sus-multiples-usos.pdf>
- Capacho, A., Flórez, F., & Hoyos, J. (2018). Biomasa y calidad nutricional de cuatro variedades de alfalfa para introducir en Pamplona, Colombia. *Revista Ciencia y Agricultura*, 15(1), 61–67. <https://doi.org/http://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7757>
- Carbo, A., & Orencio, V. (1978). *Marqueo de Plantaciones*. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hojas_autor.asp?autorid=ZZ0019763&autor=Carb%F3%20G%F3mez,%20Armando

- Cardona, J., Castro, E., & Suárez, E. (2022). *Los grados brix como herramienta para determinar el potencial nutricional en forrajes* (A. Bermúdez, Vol. 1). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405798>
- Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA, 2023). *Análisis del Laboratorio de Bromatología*. Universidad de Costa Rica. <https://cina.ucr.ac.cr/index.php/es/servicios/laboratorio-bromatologia>
- Chávez, J., & Cuba, J. (2012). *Alfalfa: Reina de las Forrajes*. https://www.agropuno.gob.pe/files/documentos/biblioteca/Boletin_tec_07_nov_2012.pdf
- Chen, J. (2022, septiembre 15). *La función del magnesio en el cultivo de plantas*. Promix. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-magnesio-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Córdova, E., & Torres, J. (2015). *Evaluación de dos variedades de alfalfa (Medicago sativa L.) a través de distancias de siembra y fertilizantes* [Trabajo de Titulación, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/3718>
- Coro, W. (2007). *Respuesta del cultivo de alfalfa (Medicago sativa) a la incorporación orgánica en fincas de pequeños productores* [Tesis, Universidad Politécnica Salesiana sede Quito]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6711/1/UPS-YT00005.pdf>
- Cruz, E., Sandoval, M., Can, A., Robles, A., Bugarín, R., & Juárez, P. (2012). Sustratos en la Horticultura. *Bio Ciencias*, (2)2, 17–26. <https://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/31/168>
- Dammer, M. (2006). Adaptación de cuatro variedades de Alfalfa” *Medicago Sativa* en la zona de Cananvalle – Tabacundo Cayambe – Ecuador 2004. *La Granja*, 5, 11–19. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047389003>

- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada, M., & Robledo, C. (2010). *InfoStat - Software Estadístico*. Centro de Transferencia InfoStat - Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC).
<https://www.infostat.com.ar/index.php>
- Flóres, D. (2015). *La Alfalfa (Medicago sativa): Origen, manejo y producción*. Conexión Agropecuaria JDC, 5(1), 27–43. <https://doi.org/10.38017/issn.2248-7735>
- Gómez, M., Magnitskiy, S., & Rodríguez, L. (2017). Diagnóstico de K⁺ y NO₃⁻ en savia para determinar el estado nutricional en papa (*Solanum tuberosum* L. subsp. andigena). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 133–142. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6132>
- González, J. (2015). *El análisis de Savia como ayuda a la fertilización*. <https://www.haifa-group.com/es/haifa-blog/el-analisis-de-savia-como-ayuda-la-fertilizaci%C3%B3n>
- Guacapiña, P. (2020). *Curvas de extracción nutrimental de N, P, K, Ca, Mg, mediante tecnología micro carbono (TMC) y fertilización convencional, en el cultivo semi hidropónico de frutilla (Fragaria x ananassa)* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/24772>
- Guevara, H. (2000). *Valor nutritivo de la alfalfa (Medicago sativa) con diferentes estados fenológicos en ovinos* [Tesis de Masterado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/4291>
- Guevara, P., López, S., & Andino, P. (2021). Digestibility Coefficients and Energy in Alfalfa Hay from Chimborazo and Tungurahua. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*
<https://doi.org/10.18502/esPOCH.v1i5.9575>
- Gutiérrez, R. (2016, diciembre 2). *Relación del nitrógeno con las auxinas y el sistema radicular*. Redagrícola.
<https://www.redagricola.com/cl/investigacion-nutricion-vegetal-nivel-mundial-desde-chile-relacion-del-nitrogeno-las-auxinas-sistema-radicular/>

- Helrich, K. (1990). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (Kenneth Helrich, Ed.; 15th ed., Vol. 1). Arlington, Association of Official Analytical Chemists.
<https://lib.ugent.be/en/catalog/rug01:000244050>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2020). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua-ESPAC*. Boletín Técnico - Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- InfoAgro. (2009). *El cultivo de la alfalfa*. InfoAgro.Com.
<https://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm>
- León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador Siembra y producción de pasturas* (1st ed.). Editorial Universitaria Abya-Yala. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19019>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148(C), 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Lluna, R. (2006). Hormonas vegetales: crecimiento y desarrollo de la planta. *Revista de Horticultura*, 1, 22–26. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2119175>
- López, E. (2019). *Evaluación de dos sustratos para la producción de tres cultivares de tomate cherry (Lycopersicon esculentum Mill) Var. Cerasiforme (Dunal) en invernadero* [Trabajo de Titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10738>
- McDowell, L. (1974). *Latin American Tables of Feed Composition* (University of Florida, Vol. 1). University of Florida Press.
- Meléndez, A., Vicario, I., & Heredia, F. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Sociedad Latinoamericana de Nutrición*, 54(2), 1–2.
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200003

- Meléndez, A., Vicario, I., & Heredia, F. (2007). Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Órgano Oficial de La Sociedad Latinoamericana de Nutrición*, 57. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222007000200002
- Mora, J. (2005). *Adaptación de ocho variedades comerciales de alfalfa (Medicago sativa) sobre los 2900 m.s.n.m. En el sector de Pailones en la Hcda. El Prado* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5135>
- Mora, L. (1999). *Sustratos para cultivos sin suelo o Hidroponía*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a50-6907-III-p95.pdf>
- Mula, J. (2015, Julio 28). *El pH de las plantas*. Agromática. <https://www.agromatica.es/el-ph-de-las-plantas/>
- Navarro, M. (2007). *Análisis de Alimentos (Manual de prácticas)* (3rd ed., Vol. 1). Colegio de Bachilleres del Estado de Sonora. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-estatal-de-quevedo/aditivos-alimentarios/manual-de-practicos-en-alimentos/37037859>
- Olvera, M., Martínez, C., & Real de León, E. (1993). Análisis Proximales. In *Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos* (Vol. 1). <https://www.fao.org/3/ab489s/AB489S00.htm#TOC>
- Ortiz, S. (2007). *Producción y calidad de forraje verde hidropónico de tres variedades de alfalfa (Medicago sativa)* [Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6030/T16534%20%20ORTIZ%20MARTIN,%20SEBASTIAN%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
- Padilla, V. (2013). *Evaluación de sustratos para la obtención de plantas de tomate de árbol (Solanum betaceum) con la utilización de bandejas* [Proyecto de investigación, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29040>

- Palomino, C. (2006). *Efectos de las aplicaciones foliares de calcio y boro sobre el crecimiento y rendimiento de un cultivo hidropónico de fresa (Fragaria x ananassa)* [Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3108>
- Proain. (2020, octubre 14). *Análisis de la savia: Herramienta para el monitoreo nutrimental*. Proain Tecnología Agrícola. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/analisis-de-savia-herramienta-para-el-monitoreo-nutrimental>
- Quishpe, J. (2013). *Evaluación de la respuesta de la frutilla (Fragaria dioica.) Al sistema de cultivo Semihidropónico en el Quinche - Pichincha 2012*. [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana sede Quito]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5066>
- Rebuffo, M., Risso, D. F., & Restaino, E. (2000). *Tecnología en alfalfa* (1st ed.). <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807160703.pdf>
- Rodríguez, N., & Spada, M. (2007). Morfología de la alfalfa. In D. Basigalup (Ed.), *El cultivo de la Alfalfa en la Argentina* (Vol. 1, pp. 20–43). INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-el_cultivo_de_la_alfalfa_en_la_argentina.pdf
- Royo, A. (2022, noviembre 25). *La alfalfa aragonesa, un cultivo que es la leche*. Heraldo. <https://www.heraldo.es/noticias/economia/2022/11/25/alfalfa-aragonesa-cultivo-leche-1613420.html>
- Salazar, A. (2016). *Implementación del Método Kjeldahl para la determinación de proteína para diferentes matrices en el laboratorio ECUACHEMLAB CÍA. LTDA*. [Trabajo de Titulación, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/23816>
- Santos, B., & Ríos, D. (2016). *Cálculo de Soluciones Nutritivas (En suelo y sin suelo)* (Vol. 1). Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife. https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf

- Segarra, D., & Serpa, O. (2005). *Manual Técnico de cultivos agrícolas bajo riego*.
https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11814050_01.pdf
- Sitio Argentino de Producción Animal. (2014). *Alfalfa, un cultivo con historia*. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_alfalfa/152-historia_Alfalfa.pdf
- Trujillo, C. (2019). *Evaluación de cuatro sustratos y ocho combinaciones, en el cultivo de fragaria x Ananassa var. Albión, en un sistema Semi-hidropónico vertical* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/21025?locale-attribute=de>
- Universidad de Córdoba. (2010). *Análisis químico de los alimentos*. Producción animal y Gestión de Empresas. [https://www.uco.es/zootecniaygestion/menu.php?tema=146#:~:text=Fibra%20bruta%20\(FB\).&text=La%20t%C3%A9cnica%20determina%20el%20residuo,que%20se%20produce%20in%20vivo](https://www.uco.es/zootecniaygestion/menu.php?tema=146#:~:text=Fibra%20bruta%20(FB).&text=La%20t%C3%A9cnica%20determina%20el%20residuo,que%20se%20produce%20in%20vivo).
- Vallejo, T. (1999). *Comportamiento de cinco variedades y dos híbridos de alfalfa para corte en condiciones hidropónicas (Segunda Parte)* [Tesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
- Villafañe, R., De León, N., Camacho, F., Ramírez, R., & Sánchez, L. (2004). Acumulación y lavado de sales en columnas de suelo regadas con agua salina procedente de un pozo petrolero. *Agronomía Tropical*, 1(54), 1–3. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000100007
- Zárate, M. (2014). *Manual de Hidroponía* (Instituto de Biología, Vol. 1). Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf