



**Evaluación de las características morfológicas e índices de crecimiento 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**

Guano Chirán, María José

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

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 de las características morfológicas e índices de crecimiento 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 la señorita: **Guano Chirán, María José**; 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 digitalmente 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, 13:19

Trabajo de titulación

### Informe de originalidad

---

#### NOMBRE DEL CURSO

Revisión de Tesis

#### NOMBRE DEL ALUMNO

GUANO CHIRAN MARIA JOSE

#### NOMBRE DEL ARCHIVO

GUANO CHIRAN MARIA JOSE - Trabajo de titulación

#### SE HA CREADO EL INFORME

23 feb 2023

---

### Resumen

Fragmentos marcados	5	0,6 %
Fragmentos citados o entrecomillados	0	0 %

#### Coincidencias de la Web

uta.edu.ec	1	0,1 %
infoagro.com	1	0,1 %
scielo.org.ar	1	0,1 %
agrocabildo.org	1	0,1 %
espe.edu.ec	1	0,1 %

---



El presente es un documento generado 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, **Guano Chirán, María José**, con cédula de ciudadanía No. 1725299299, declaró que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Evaluación de las características morfológicas e índices de crecimiento 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

.....  
Guano Chirán, María José  
C.C.: 1725299299



**Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura**

**Carrera Agropecuaria**

**Autorización de Publicación**

Yo, **Guano Chirán, María José**, con cédula de ciudadanía No. 1725299299 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: : **Evaluación de las características morfológicas e índices de crecimiento 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

  
.....

Guano Chirán, María José

C.C: 172529929

## DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación, fruto de mi constancia y dedicación, se lo dedico fundamentalmente a Dios por brindarme la sabiduría, paciencia y fuerzas para seguir adelante, en esta etapa de mi vida.

Dedico con todo cariño y de forma especial a mi madre Clementina Chirán quien es la persona más importante en mi vida, quien con su ejemplo de esfuerzo y trabajo ha sido fuente de inspiración, por ser mi guía desde pequeña y estar a mi lado en cada paso que he dado para alcanzar esta meta.

De manera muy especial también dedico a mi madrina Beatriz Navarrete quien ha sido como una segunda madre para mí, quien siempre ha estado a mi lado cuidándome y protegiéndome, que sin sus consejos desde pequeña no hubiera logrado esta meta.

Dedico con mucho amor a mis abuelitos, quienes desde pequeña me han enseñado lo importante que es el campo y el amor hacia los animales, ustedes me enseñaron a amar mi carrera.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi mami Clementina Chirán quien siempre me ha apoyado absolutamente en todas las decisiones que he tomado sin juzgarme y sin dejarme sola en ningún momento y enseñarme a valorar el esfuerzo que ha hecho por brindarme una educación de calidad

A mis hermanos Javier, Narcisa y Alfredo por llenarme de alegría y amor día tras día, por su apoyo y ayuda incondicional durante todos estos años y en especial a mi ñaño Javier quien con su ejemplo ha sido fuente de inspiración para mí.

A mi papi José Guano quien, a pesar de no estar en todo momento a mi lado, siempre ha estado cuando lo he necesitado para brindarme sus consejos y apoyo, muchas gracias.

A mi novio David y a toda mi familia que con sus palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y que de una u otra forma me acompañaron en el logro de esta meta.

Al Ing. Juan Tigrero, tutor de mi proyecto de investigación, el cual me orientó de la forma más adecuada durante esta fase y quien me ha brindado sus conocimientos y experiencias.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, especialmente a la carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, por haberme permitido ser miembro de la facultad y brindarme los conocimientos de cada uno de los ingenieros, para poder ejercer en el campo profesional.

A mis amigos Sebastián, Karen, Kate, Gretty y Jefferson por siempre estar a mi lado apoyándome en cada momento es bonito saber que nunca estuve sola durante mi paso en el IASA. Y en especial a ti Jefferson por ser mi compañero de tesis gracias por ayudarme en cada momento, es agradable haber coincidido con ustedes chicos en esta etapa.

**María Guano Ch.**

## Índice de contenido

Carátula: .....	1
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
RESUMEN .....	18
ABSTRACT .....	19
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>20</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>20</b>
Antecedentes .....	20
Justificación .....	21
Objetivos .....	22
Objetivo General .....	22
Objetivos Específicos .....	22
Hipótesis .....	22
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>23</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.) .....	23
Origen .....	23
Taxonomía .....	23
Importancia del cultivo de alfalfa .....	24
Características generales .....	24

Contenido nutricional .....	25
Morfología General.....	25
Raíz .....	25
Tallo .....	26
Hojas.....	26
Flor.....	27
Frutos.....	27
Semilla .....	27
Ciclo fenológico.....	27
Estado vegetativo .....	27
Estado de botón floral.....	28
Estado de floración .....	28
Estado de producción de semillas.....	28
Requerimientos edafoclimáticos .....	29
Variedades .....	30
Alfalfa var. Abunda Verde .....	31
Alfalfa var. CUF-101 .....	31
Sistema de producción.....	31
Preparación del terreno.....	31
Época de siembra.....	31
Cantidad de semilla.....	32
Profundidad de siembra .....	32
Riego.....	32
Fertilización.....	32

Nitrógeno.....	33
Fósforo.....	33
Calcio .....	33
Potasio .....	33
Azufre .....	34
Boro .....	34
Época de corte .....	34
Alfalfa hidropónica.....	35
Ventajas de la alfalfa hidropónica.....	35
Requerimientos de macro y micronutrientes del cultivo de alfalfa .....	35
Sistema semi-hidropónico .....	36
Ventajas del sistema semi-hidropónico. ....	37
Desventaja del sistema semi-hidropónico .....	37
Sustratos .....	37
Tipos de sustratos .....	38
Características físicas y químicas del sustrato.....	38
Pomina.....	39
Solución nutritiva.....	40
pH .....	41
Conductividad eléctrica .....	41
Temperatura y oxigenación .....	42
Balance de cationes-aniones.....	42
Cálculo de soluciones nutritivas.....	42
Método del tanteo.....	42

Índices fisiotécnicos .....	43
Relación hoja/tallo (H: T) .....	43
Índice área foliar (IAF).....	43
Relación de área foliar (RAF).....	44
Duración del área foliar (DAF).....	44
Tasa de asimilación neta (TAN).....	44
Tasa relativa de crecimiento (TRC).....	45
Tasa de crecimiento del cultivo (TCC). .....	45
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>47</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>47</b>
Características del Área Experimental .....	47
Ubicación política.....	47
Ubicación geográfica.....	47
Ubicación ecológica .....	48
Materiales empleados .....	48
Materiales de campo .....	48
Características ambientales .....	49
Factores de estudio .....	50
Material de siembra.....	50
Solución nutritiva.....	51
Implementación del sistema semi-hidropónico.....	52
Preparación de camas de siembra .....	52
Evaluación de las propiedades físicas y químicas del sustrato.....	52
Propiedades físicas .....	52

Densidad Aparente (DA) .....	52
Porosidad Total .....	53
Capacidad de retención de humedad .....	53
Propiedades químicas .....	54
Implementación del sistema de fertirrigación .....	54
Tiempo de Riego .....	56
<b>Consumo de solución nutritiva diaria y semanal</b> .....	56
Cantidad de solución suministrada por tratamiento.....	57
Tiempo de duración de la solución madre .....	57
Siembra .....	57
Métodos estadísticos .....	59
Diseño experimental .....	59
Modelo Matemático .....	59
DCA parcela subdividida .....	59
DCA parcela dividida .....	60
Unidad experimental .....	60
Factores .....	61
Tratamientos.....	61
Croquis Experimental.....	62
Análisis de resultados .....	63
VARIABLES DE RESPUESTA.....	63
Altura (H) .....	64
Número de hojas (NH) .....	64
Número de brotes (NB).....	64

Relación Hoja/Tallo (H: T) .....	65
Índice de área foliar (IAF) .....	66
Relación de área foliar (RAF) .....	67
Duración del área foliar (DAF) .....	68
Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) .....	68
Tasa relativa de crecimiento (TRC) .....	69
Tasa de asimilación neta (TAN) .....	69
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>71</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>71</b>
Resultados .....	71
Evaluación de las características físicas y químicas de la pomina .....	71
Obtención de datos morfológicos e índices de crecimiento del cultivo de alfalfa .....	72
Evaluación de los parámetros morfológicos e índices de crecimiento .....	73
Altura de la planta .....	76
Número de brotes .....	78
Número de hojas .....	78
Índice de área foliar .....	79
Relación Hoja/Tallo (H: T) .....	80
Relación del área foliar .....	81
Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) .....	83
Tasa relativa de crecimiento (TRC) .....	83
Tasa de asimilación neta (TAN) .....	84
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>86</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>86</b>

Conclusiones.....	86
Recomendaciones.....	87
Bibliografía.....	88

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Taxonomía del cultivo de alfalfa</i> .....	23
<b>Tabla 2</b>	<i>Composición de materia seca de hojas y tallos de la alfalfa</i> .....	25
<b>Tabla 3</b>	<i>Potencial productivo según las variables edafoclimáticos</i> .....	30
<b>Tabla 4</b>	<i>Requerimientos de macro y micronutrientes en el cultivo de alfalfa</i> .....	36
<b>Tabla 5</b>	<i>Propiedades químicas de la pomina</i> .....	40
<b>Tabla 6</b>	<i>Propiedades físicas de la pomina</i> .....	40
<b>Tabla 7</b>	<i>Ubicación ecológica del área de estudio</i> .....	48
<b>Tabla 8</b>	<i>Parámetros ambientales del área de estudio</i> .....	50
<b>Tabla 9</b>	<i>Características de semillas certificadas de Alfalfa variedades CUF – 101 y Abunda Verde</i> .....	50
<b>Tabla 10</b>	<i>Formulación de la solución nutritiva 1 y 2</i> .....	51
<b>Tabla 11</b>	<i>Características de los materiales del sistema de fertirrigación</i> .....	54
<b>Tabla 12</b>	<i>Caudales y tiempo de duración del sistema de fertirriego</i> .....	57
<b>Tabla 13</b>	<i>Variables de respuesta de acuerdo con el tipo de diseño experimental</i> .....	59
<b>Tabla 14</b>	<i>Formación de los tratamientos para el DCA de parcela dividida</i> .....	61
<b>Tabla 15</b>	<i>Formación de los tratamientos para el DCA de parcela subdividida</i> .....	62
<b>Tabla 16</b>	<i>Características físicas del sustrato de pomina para el cultivo de alfalfa</i> .....	71
<b>Tabla 17</b>	<i>Características químicas del sustrato de pomina para el cultivo de alfalfa</i> .....	71
<b>Tabla 18</b>	<i>Datos obtenidos en el primer y segundo corte</i> .....	72
<b>Tabla 19</b>	<i>Datos obtenidos en el periodo de crecimiento de la alfalfa</i> .....	73
<b>Tabla 20</b>	<i>ANAVA de las variables morfológicas e índices de crecimiento del cultivo de alfalfa</i> .....	74
<b>Tabla 21</b>	<i>ANAVA de las variables de índices de crecimiento del cultivo de alfalfa</i> .....	75
<b>Tabla 22</b>	<i>Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis</i> .....	76
<b>Tabla 23</b>	<i>Media <math>\pm</math> desviación estándar para las variables de altura e índice de área foliar</i> .....	80

<b>Tabla 24</b> <i>Media <math>\pm</math> desviación estándar para las variables de altura, número de brotes e índice de área foliar.....</i>	80
<b>Tabla 25</b> <i>Media <math>\pm</math> desviación estándar para las variables de número de hojas y relación de hoja/tallo ..</i>	81
<b>Tabla 26</b> <i>Media <math>\pm</math> desviación estándar para las variables de relación de área foliar y duración de área foliar.....</i>	83
<b>Tabla 27</b> <i>Media <math>\pm</math> desviación estándar para la tasa de crecimiento de cultivo, tasa relativa de crecimiento y tasa de asimilación neta. ....</i>	85

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Producción de hojas y tallos del cultivo de alfalfa (Medicago sativa L.)</i> .....	29
<b>Figura 2</b> <i>Mapa de localización y ubicación del área experimental</i> .....	47
<b>Figura 3</b> <i>Dimensiones de las camas de siembra en SketchUp</i> .....	52
<b>Figura 4</b> <i>Diseño en SketchUp del sistema de fertirriego</i> .....	55
<b>Figura 5</b> <i>Esquema del sistema de fertirrigación realizada en AutoCAD</i> .....	55
<b>Figura 6</b> <i>Diseño del número y distancia entre plantas empleando el método de siembra de marco real</i> .	58
<b>Figura 7</b> <i>Croquis experimental para el DCA de parcelas subdivididas</i> .....	62
<b>Figura 8</b> <i>Croquis experimental del DCA de parcela dividida</i> .....	63
<b>Figura 9</b> <i>Brote o tallo de la corona de la planta de alfalfa</i> .....	64
<b>Figura 10</b> <i>Secado y pesado de hojas y tallos de la planta de alfalfa</i> .....	65
<b>Figura 11</b> <i>Identificación y fijación de los folíolos en el software ImageJ</i> .....	66

## RESUMEN

La producción de forrajes obtenidos de manera convencional en la actualidad tiene limitantes en cuanto al desarrollo, llegando a afectar a los pequeños productores, por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar las características morfológicas e índices de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) CUF-101 y Abunda Verde, en un sistema de cultivo semi-hidropónico bajo dos soluciones nutritivas en sustrato de pomina durante dos tiempos de corte. La presente investigación se realizó en el invernadero de horticultura de la carrera de ingeniería agropecuaria IASA I de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ubicada en el cantón Rumiñahui.

Se evaluó la interacción de 2 soluciones nutritivas, 2 tipos de variedades y 2 tiempos de corte, para lo cual se aplicó dos tipos de diseños, el primer fue un DCA de parcelas divididas con tres repeticiones en el cual se determinó: la duración del área foliar (DAF), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa relativa de crecimiento (TRC) y tasa de asimilación neta (TAN); el segundo diseño fue un DCA de parcelas subdivididas con tres repeticiones y se determinó: altura (H), número de hojas (NH), número de brotes (NB), relación hoja/tallo (H:T), índice área foliar (IAF) y relación de área foliar (RAF). Las variables fueron analizadas mediante un ANAVA usando modelos matemáticos lineales y se aplicó una prueba de comparación de medias con la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5%, exceptuando para el número de hojas y el DAF que fueron analizados con la prueba de Kruskal – Wallis.

El análisis de los resultados arrojó que las plantas de alfalfa variedad CUF-101 tratadas con la solución nutritiva 2 y cortadas a los 129 días (segundo corte) presentaron mejores resultados con una altura de 64,12 cm, número de hojas 147,94, número de brotes 9,32, IAF 9,76, RAF 12,84 cm<sup>2</sup>/g, DAF 230,03 días, TCC 0,014 g/cm<sup>2</sup>d, TRC 0,024 g/g.d y TAN de 0,002 g/cm<sup>2</sup>d; para la variable relación hoja/tallo se obtuvo mejores resultados en las plantas cortadas a los 104 días y tratadas con la solución nutritiva 2 obteniendo un valor de 1,77.

**Palabras clave:** Alfalfa, solución nutritiva, tiempo de corte.

## ABSTRACT

Nowadays, the forage production obtained in a conventional way has had constraints in terms of its development, affecting producers, hence the objective of this research was to evaluate the morphological features and growth rates of two varieties of alfalfa (*Medicago sativa* L.) CUF-101 and Abunda Verde, in a Semi hydrophobic growth system under two nutrient solutions in pomina substrate in two cutting times. The present research was carried out in the horticultural greenhouse of the agricultural engineering faculty "IASA" of the "Fuerzas Armada ESPE" university, located in the Rumiñahui district.

The interaction of 2 nutrient solutions, 2 types of varieties in 2 cutting times was evaluated, for which 2 types of designs were applied, the first was a DCA of divided plots with three replications in which it was determined the following: leaf area duration (LAD), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR); the second design was a DCA of subdivided plots with three replications and it was determined the following: Height (H), leaves number (LN), sprouts number (SN), leaf/stem ratio (L:S), leaf area index (LAI) and leaf area ratio (LAR). The variables were analysed by ANAVA using linear mathematical models and a mean comparison test was applied with Tukey's test at a 5% significant level, except for the number of leaves and LAD, those of which were analysed with the Kruskal-Wallis test.

The analysis of the results determined that the alfalfa plants variety CUF-101 which were treated with nutrient solution 2 and cut at 129 days (second cut) showed the best results with a height of 64,12cm, 147,94 leaf number, 9,32 spout number, LAI 9,76, LAR 12,84cm<sup>2</sup>/g, LAD 8281,24 days, CGR 0,014 g/cm<sup>2</sup>d, RGR 0,024 g/g.d and NAR 0,002 g/cm<sup>2</sup>; for the leaf/stem ratio the best results were obtained in the plants cut at 104 days and that were treated with nutrient solution 2, obtaining a value of 1,77.

**Keywords:** Alfalfa, nutrient solution, cutting time.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### Antecedentes

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) a nivel mundial es una de las especies forrajeras más importantes dentro de la industria agropecuaria, debido a sus características de adaptación al medio y su capacidad productiva. En el mercado mundial de alfalfa los principales países exportadores son: Estados Unidos, España, Francia, Canadá, Países Bajos, Egipto, Alemania, Sudán, Australia, Sudáfrica, Argentina y Egipto. En nuestro país, la superficie de alfalfa cultivada es 793,1856 ha; siendo las principales provincias en sembrar esta leguminosa Azuay, Pichincha y Cotopaxi, dado que cultivan 392,84 ha, 149,62 ha y 294,85 ha respectivamente.

La alfalfa es una leguminosa perenne y se caracteriza por su fácil adaptación a diferentes suelos, climas y altitudes. Al pertenecer a la familia de las leguminosas, posee altos valores proteicos, el cual está vinculado a las hojas, es decir, en cuanto mayor sea el tamaño y número de hojas mayores serán los porcentajes de proteína. Cabe recalcar que también posee adecuados valores de carbohidratos, vitaminas y minerales.

Además, es un cultivo conservacionista, ya que previene la erosión del suelo, disminuye la presencia de plagas y enfermedades, capta el nitrógeno atmosférico simbióticamente, reduciendo los costos de fertilización y a su vez mejora la fertilidad del suelo. Por lo mencionado anteriormente, el cultivo de alfalfa es el más demandado en la alimentación animal, principalmente en las explotaciones ganaderas.

Las variedades forrajeras, CUF – 101 y Abunda Verde, se desarrollan adecuadamente a los 1500 a 3400 msnm. La variedad CUF-101 se desarrolla bien a bajas temperaturas dado que poseen un sistema radicular muy potente de aproximadamente 3 m, es resistente al ataque del pulgón azul de la alfalfa; se recomienda para pastoreo, henificación, banco de proteína y alimentación humana. A su vez, la variedad

Abunda Verde, se caracteriza por poseer mayor cantidad de hojas, tallos succulentos, excelente digestibilidad y precocidad; convirtiéndola en una excelente productora de forraje, recomendándola para pastoreo continuo.

Para realizar un adecuado manejo de los recursos forrajeros disponibles, tanto los naturales como los cultivados, es necesario conocer las cualidades y parámetros relacionados con los mismos. A pesar de que es indispensable realizar un análisis químico y productivo para llevar a cabo un correcto manejo de pasturas, existen también otros indicadores que contribuyen a alcanzar este objetivo como son: la altura (H), número de hojas (NH), número de brotes (NB), relación Hoja/Tallo, índice área foliar (IAF), relación de área foliar (RAF), duración de área foliar (DAF), tasa relativa de crecimiento (TRC), tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y la tasa de asimilación neta (TAN).

### **Justificación**

En nuestro país, la producción de alfalfa para consumo animal está estrechamente relacionado con la productividad del suelo, sin embargo, muchos de los productores no realizan un correcto manejo al momento de la fertilización, dado que aplican en muchas ocasiones el estiércol de los propios animales o emplean inadecuadamente los fertilizantes edáficos, con llevando que las pasturas tengan bajo contenido nutricional, ocasionando que los animales se estresen, compitan por el alimento y sean propensos a contraer enfermedades, lo que conlleva a tener pérdidas en la producción dado que los animales presentan baja ganancia de peso, enfermedades y baja conversión alimenticia.

Por lo mencionado anteriormente, se hace imperativo el empleo de nuevas tecnologías sostenibles y seguras para la búsqueda de nuevas alternativas que aumenten la productividad y el valor nutritivo de los forrajes, ya sea mediante el empleo de fertirriego con soluciones nutritivas en campo o en sistemas semi-hidropónicos.

Mediante la utilización del forraje semi-hidropónico, se logra tener grandes ventajas, las cuales son: obtener un forraje de alto contenido nutricional, disminución de costos y tiempo de producción,

dado que el productor no necesita hacer rotaciones de las áreas de producción y el sistema protege al cultivo del efecto de las lluvias y facilita la ventilación, disminuyendo de esta manera la presencia de enfermedades.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar las características morfológicas e índices de crecimiento de dos variedades de alfalfa CUF-101 y Abunda Verde, tratadas con dos soluciones nutritivas en el sistema semi-hidropónico de pomina durante dos tiempos de corte.

### **Objetivos Específicos**

- Calcular los índices de crecimiento de dos variedades de alfalfa, CUF-101 y Abunda Verde, tratadas con dos soluciones nutritivas en el sistema semi-hidropónico de pomina.
- Valorar a través de las características morfológicas e índices de crecimiento dos tipos de soluciones nutritivas para las variedades de alfalfa CUF-101 y Abunda Verde.
- Evaluar el rendimiento a través de las características morfológicas de los tipos de alfalfa, CUF-101 y Abunda Verde, durante el primer y segundo corte.

### **Hipótesis**

**H0:** Las plantas de alfalfa CUF-101 y Abunda Verde, tratadas con dos soluciones nutritivas y cortadas a los 104 y 129 días después de la siembra, presentan similares características morfológicas e índices de crecimiento.

**H1:** Las plantas de alfalfa CUF-101 y Abunda Verde, tratadas con dos soluciones nutritivas y cortadas a los 104 y 129 días después de la siembra, presentan distintas características morfológicas e índices de crecimiento.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### Alfalfa (*Medicago sativa* L.)

##### Origen

La alfalfa (*Medicago sativa* L.), es una de las especies forrajeras más antiguas y una de las primeras en ser domesticada, actualmente se encuentra cultivada por todo el mundo. Se cree que es originaria del suroeste de Asia y de la cuenca del Mediterráneo, siendo América el primer continente en el que se introdujo la alfalfa a través de los conquistadores españoles y portugueses, en donde se adaptó y creció extendiéndose desde Perú a Chile, Argentina y finalmente Uruguay, Basigalup (2007).

##### Taxonomía

La sistemática taxonómica del cultivo de alfalfa se puede observar en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Taxonomía del cultivo de alfalfa*

Taxonomía de la alfalfa	
Reino	Vegetal
Subreino	Planta vascular
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Leguminosa
Subfamilia	Papilionoideae
Tribu	Trifolieae
Género	<i>Medicago</i>
Especie	<i>M. sativa</i> L

*Nota.* La tabla muestra la composición taxonómica de la planta de alfalfa. Autor: Flórez-Delgado (2015)

## **Importancia del cultivo de alfalfa**

La importancia del cultivo de alfalfa es debido a que apoya el desarrollo pecuario a nivel internacional y nacional; el cultivo de alfalfa es sembrado en todo el mundo, siendo los principales países exportadores Estados Unidos, España, Francia, Canadá, Países Bajos, Egipto, Alemania, Sudán, Australia, Sudáfrica, Argentina y Egipto, Soriano (2003).

En nuestro país, la superficie de alfalfa cultivada es de 793,1856 ha; siendo Azuay, Pichincha y Cotopaxi las tres provincias principales en la siembra de esta leguminosa, dado que cultivan 392,84 ha, 149,62 ha y 294,85 ha respectivamente, Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2020).

## **Características generales**

La alfalfa es una planta empleada principalmente como forraje cuyo ciclo de vida puede llegar hasta los 12 años, dependiendo de la variedad y clima, se caracteriza por poseer un sistema radicular que les otorga resistencia a sequías dado que es muy profundo de aproximadamente 3 m, Soriano (2003).

El cultivo de alfalfa es principalmente utilizado por las explotaciones ganaderas, tanto en pastoreo directo, cómo en distintas formas que el forraje pueda ser conservado. Su alta demanda es por su capacidad de producir gran cantidad de materia seca, alto contenido proteico, alta palatabilidad y digestibilidad. Cabe mencionar que tiene altas cantidades de vitaminas A, E y K o sus derivados, además contiene la mayoría de los minerales esenciales para la producción de carne y leche en el ganado bovino, López *et al.*, (2021).

Este cultivo es perenne, posee flores en racimos abiertos cuyas tonalidades pueden ser púrpuras o amarillas y en algunas variedades son de color blanco. Las vainas tienen de una a cinco espirales, dentro de cada vaina se encuentran varias semillas de forma arriñonada. Las hojas son trifoliadas, pinnadas y se encuentran dispuestas alternadamente en el tallo. Sus tallos pueden llegar a medir entre

60 a 90 centímetros, llegando a desarrollar entre 5 a 25 tallos por planta, los cuales nacen desde la corona leñosa, Timana (2015).

### **Contenido nutricional**

El valor nutritivo es superior, notablemente en proteínas, vitaminas, minerales, oligoelementos y energía. Por lo mencionado anteriormente, es altamente demandado en la explotación ganadera, además de que los niveles de  $\beta$ -carotenos son los precursores de la vitamina A, la cual es la encargada en la reproducción de los bovinos, Chávez (2010). En la tabla 2 se indica la composición nutricional de las hojas y tallos del cultivo de alfalfa.

**Tabla 2**

*Composición de materia seca de hojas y tallos de la alfalfa*

<b>%</b>	<b>Hojas</b>	<b>Tallos</b>
Proteína bruta	24	10,7
Grasa bruta	3,1	1,3
Extracto no nitrogenado	45,8	37,3
Fibra bruta	16,4	44,4
Cenizas	10,7	6,3

*Nota.* La tabla muestra la composición nutricional de hojas y tallos de la alfalfa. Autor: Chávez (2010)

### **Morfología General**

La alfalfa es una planta herbácea, cuyo ciclo de vida depende de varios factores como el clima, agua, suelo y la variedad a cultivar, en promedio puede vivir entre los 5 a 7 años, Timana (2015).

### **Raíz**

La alfalfa posee raíces profundas y abundantes. Su sistema radicular se encuentra conformado por raíces secundarias y una raíz principal, la cual es pivotante y gruesa. Al inicio de su siembra, la raíz principal penetra rápidamente, alcanzando la capa freática del suelo, Soriano (2003).

Se estima que una planta ocupa alrededor de los 90 cm del volumen del suelo durante el primer año, para el segundo año la raíz puede penetrar hasta los 9 m; en cuanto a sus raíces secundarias son pocas en los primeros centímetros del suelo, éstas no se extienden lateralmente dado a que penetran a mayor profundidad siguiendo el eje de la raíz principal, Soriano (2003).

### **Tallo**

Sus tallos son erectos, delgados, herbáceos y muy ramificados, alcanzan una altura entre 60 a 90 cm. El primer tallo nace entre los cotiledones, cuando desaparecen de las hojas inferiores, las axilas desarrollan yemas que producen nuevos tallos, Soriano (2003).

A medida que la planta se desarrolla genera nuevos tallos y los tallos viejos se lignifican y mueren, esto sucede a medida que se realizan los cortes de producción. El conjunto de los nuevos y viejos tallos toma el nombre de corona, la cual puede estar conformada desde 5 a 25 tallos o más, Soriano (2003).

Las variedades adaptadas a climas cálidos presentan coronas sobre la superficie del suelo, mientras que las variedades de clima frío presentan la corona por debajo de la superficie del suelo, Timana (2015).

### **Hojas**

Las primeras hojas verdaderas son unifoliadas, luego son hojas trifoliadas normalmente, las cuales se encuentran conformadas por 3 folíolos, estos son pequeñas hojas pecioladas, principalmente el central. La forma de los folíolos varía entre ovalados y oblongos, dentados hacia sus ápices, con escasas estípulas en forma de lanza sujeta al pecíolo. El pecíolo tiene forma de un pequeño tallo, el cual une el raquis a toda la planta, Soriano (2003).

## **Flor**

Las flores se encuentran en racimos axilares de diferente densidad y tamaño, se encuentra formada por un gran estandarte de dos alas mayores que la quilla. Posee un atado de 9 estambres, unidos en un tubo seminal, el cual envuelve al estigma y al estilo, Soriano (2003).

Las flores por lo general son de color violeta con distintas tonalidades, desde el azul pálido hasta el morado oscuro, sin embargo, este color es cuando se encuentran en capullos, cuando se abren son de color verde y al madurar cambian a color amarillo o blancas, Pombosa (2016).

## **Frutos**

La alfalfa posee un fruto curvo de color café con 3 a 5 espirales pubescentes, dentro de cada vaina se encuentran semillas en forma arriñonada. La salida de las semillas ocurre de forma pasiva al separar la vaina en dos valvas, Soriano (2003).

## **Semilla**

La forma de la semilla es ovalada con una cicatriz en una depresión ancha cerca de un extremo en una incisión bien definida, son de color verdoso a café claro, alcanzando una longitud aproximada de 1.5 mm, Soriano (2003).

## **Ciclo fenológico**

Dentro del ciclo de vida de la alfalfa se encuentran cuatro etapas, las cuales son: estado vegetativo, botón floral, floración y fructificación, Pombosa (2016).

### **Estado vegetativo**

Este periodo comprende las fases en donde no se desarrollan las estructuras reproductivas y está conformado por tres fases que son: primero estadio vegetativo temprano, en donde los tallos son menores de 15 cm y no se observan la presencia de yemas por su escaso desarrollo; segundo es el estadio vegetativo medio en donde los tallos alcanzan una longitud entre los 16 a 30 cm y se observa el desarrollo de las yemas axilares y de una a dos hojas desplegadas en la axila. Finalmente, el estadio

vegetativo tardío en donde los tallos sobrepasan los 30 cm y es visible las ramificaciones en las yemas axilares, las cuales se presentan en al menos dos nudos con tres o más hojas, Basigalup (2007).

### **Estado de botón floral**

Durante este estadio empieza la diferenciación de los meristemos reproductores y se observan los botones florales. Las yemas reproductivas aparecen cerca de los ápices del tallo principal. Los primordios foliares forman una estructura globular, en cambio, los ápices foliares son de forma plana y los ápices reproductivos son de forma redonda, Basigalup (2007).

### **Estado de floración**

La floración va a depender en gran medida de las condiciones ambientales, ya que si se encuentran en condiciones adecuadas las flores se abren haciéndose visibles, se debe tener en cuenta que la floración es un indicativo del estado reproductivo. Esta fase se divide en dos tipos que son: la floración temprana y la floración tardía, Basigalup (2007).

La floración temprana es donde se visualizan las flores abiertas en el racimo floral de un nudo. Mientras que la floración tardía ocurre cuando se observan una mayor cantidad de inflorescencias y las flores se encuentran abiertas en al menos dos nudos, Basigalup (2007).

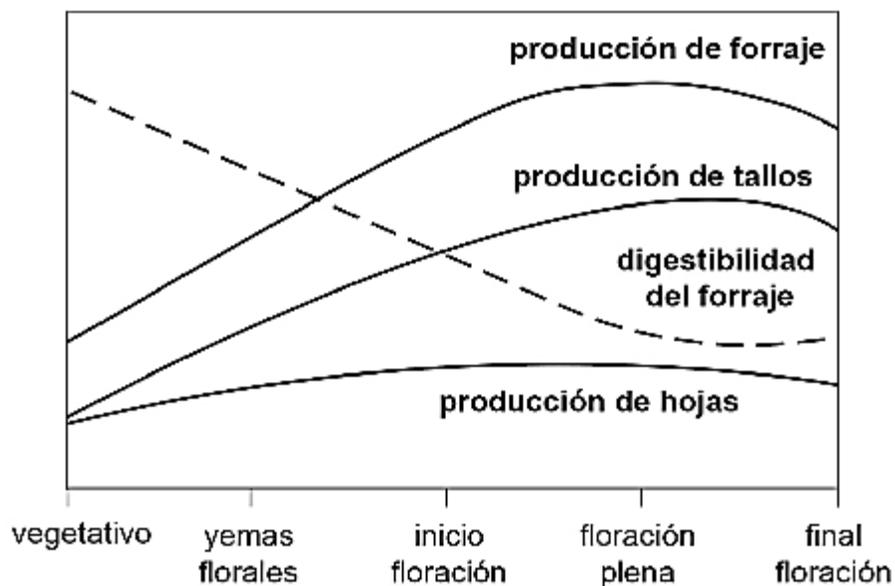
### **Estado de producción de semillas**

Durante esta fase se da el desarrollo de frutos (vainas) y semillas, este proceso se da después de la polinización de las flores y abarca tres fases de fructificación que son:

- 1. Fructificación temprana:** En donde uno a tres nudos presenta frutos en formación de color verde.
- 2. Fructificación tardía:** Donde cuatro o más nudos aparecen frutos verdes, pero bien formados y los tallos viejos son ramificados con pocas hojas.
- 3. Vainas maduras:** Donde los frutos son secos y de color café, además se visualiza que los tallos son frondosos y con muy pocas hojas, como se indica en la figura1, Basigalup (2007).

**Figura 1**

*Producción de hojas y tallos del cultivo de alfalfa (Medicago sativa L.)*



*Nota.* La figura muestra la evolución de la producción de hojas y tallos durante los estados fenológicos del cultivo de alfalfa. Autor: Sheaffer & Marten (1987)

### Requerimientos edafoclimáticos

La radiación solar es un factor que influye directamente en el cultivo de alfalfa, dado que el número de horas de radiación aumenta o disminuye la latitud de la región, para el cultivo de alfalfa es necesario una radiación entre 500 a 600 horas luz/corte, Burboa *et al.*, (1996).

El potencial productivo de la alfalfa no está directamente relacionado con la altitud y altitud, al contrario, la temperatura es el factor que influye principalmente en el rendimiento, las localidades que se encuentran entre los 19 °C tendrán un mayor rendimiento productivo, Lara & Jurado (2014).

Los parámetros edáficos desempeñan un rol importante en el rendimiento, este cultivo requiere de suelos profundos cuya textura sea franco arenoso o franco arcilloso, que tengan un pH entre 6.5 a 7.5, puestos valores menores de 5.8 o mayores a 8.5 obstaculizan la absorción de nutrientes. En cuanto a la salinidad, debe encontrarse entre 0 a 2 dS/m, ya que valores superiores a 2 dS/m reduce su

rendimiento y valores de 7 a 8 dS/m limitan su productividad en un 50%, Lara & Jurado (2014). En la tabla 3 se indica el potencial productivo de la alfalfa acorde a las características edafoclimáticas.

**Tabla 3**

*Potencial productivo según las variables edafoclimáticas*

Características	Potencial productivo		
	Bajo	Mediano	Alto
Pendiente (%)	< 5	2.1 – 5.0	0 – 2
Temperatura media anual (°C)	< 12.5	< 14.5 >12.5	14.5 – 22.5
Textura del suelo	Arenoso o arcilloso	Areno – arcilloso, Limo – arenoso o arcilloso	Franco arcilloso o Franco arenoso
Profundidad del suelo (m)	< 0.5	>0.5 < 1.0	>1.0
pH	<5.8 >8.5	5.8 – 6.5	6.5 - 7.5
Conductividad eléctrica (dS/m)	> 4.0	2.1 – 4.0	0 – 2
Potencial máximo de rendimiento de materia seca (ton/ha) (dos primeros años)	< 35	>35<45	46 – 60

*Nota.* La tabla indica las variables que determinan el potencial productivo del cultivo de alfalfa. Autor: Lara & Jurado (2014)

### **Variedades**

Las variedades se obtienen a través de la selección humana y sus diferencias corresponden a caracteres económicos. Los precios dependen de la resistencia a plagas y enfermedades que atacan al cultivo, dado que al seleccionar un material genético adecuado no se tendrá pérdidas de producción por el ataque de agentes patógenos, Timana (2015).

Por lo mencionado anteriormente, la selección de la semilla es importante y para esto los productores cuentan con información de las casas comerciales respecto al grado de tolerancia de enfermedades y plagas, al igual que el rendimiento productivo según el tipo de suelo y región, Timana (2015).

### **Alfalfa var. Abunda Verde**

La variedad Abunda Verde, se caracteriza por ser una planta muy precoz, de excelente palatabilidad y digestibilidad, además produce una gran cantidad de hojas y tallos succulentos. Se recomienda emplearla para pastoreo continuo, Mendoza (2020).

En cuanto a sus características productivas, esta variedad puede alcanzar una altura de aproximadamente 53 cm, rendimiento de 12.6 ton/ha de materia verde, 3.2 ton/ha de materia seca y contenido de proteína del 25.9%, Mora (2005).

### **Alfalfa var. CUF-101**

La alfalfa CUF-101 se caracteriza por ser de gran vigor, se adapta a los 700 a 1800 msnm, sus intervalos de corte son cada 34 a 45 días, su corona es pequeña y poco profunda por lo que se recomienda para henificar y no para pastoreo. Esta variedad es resistente al ataque del pulgón verde y azul de la alfalfa, Herrera (2011).

## **Sistema de producción**

### **Preparación del terreno**

Previo a la siembra se debe conocer el tipo de suelo, pH, drenaje y su contenido de potasio y fósforo. La preparación del suelo empieza con la remoción del suelo sin voltearlo ni mezclarlo con la finalidad de mejorar el drenaje e incrementar el almacenamiento de agua en el suelo, Pombosa (2016)

Para nivelar el terreno se debe realizar de 2 a 3 grados sucesivos, esta actividad ayudará a disminuir el encharcamiento y la presencia de malezas. Se recomienda adicionar abonos y enmiendas al momento de los grados, para homogeneizar los fertilizantes con la tierra, Timana (2015).

### **Época de siembra**

Se recomienda sembrar al empezar la época lluviosa, es decir, en los meses de Noviembre, Diciembre e inicios de Enero, debido a que la fase inicial del cultivo de alfalfa requiere de una alta cantidad de agua, sin embargo, si se dispone de agua de riego se la puede sembrar en cualquier época

del año. Previo a la siembra se debe realizar melgas de aproximadamente 4 a 5 m de ancho por 100 m de largo y se siembra al voleo o con maquinaria, Timana (2015).

### **Cantidad de semilla**

La cantidad de semilla dependerá de si es un cultivo asociado o solo, dado que en cultivo asociado la cantidad de semilla debe estar entre 6 a 8 kg/ha en praderas con pastoreo y en cultivo solo debe ser entre 12 a 16 kg/ha, Timana (2015).

### **Profundidad de siembra**

La profundidad dependerá del tipo de suelo, puesto que en terrenos pesados la profundidad deberá ser entre 1 a 1,25 cm y en suelos ligeros la profundidad será de 2,5 cm, Timana (2015).

### **Riego**

Al igual que la profundidad de siembra, el riego dependerá del tipo de suelo, debido a que se debe considerar la capacidad de retención de agua en el suelo. La alfalfa es un cultivo que necesita riego de manera fraccionada, debido a que sus necesidades de agua varían de acuerdo con el ciclo productivo, Soriano (2003).

El aporte de agua en el caso de que se realice riego por inundación deberá ser de 1000 m<sup>3</sup>/ha y en riego por aspersión será de 880 m<sup>3</sup>/ha, este último sistema de riego ofrece grandes ventajas en el cultivo de alfalfa, dado que puede distribuir adecuadamente la cantidad de agua en franjas donde las condiciones no son apropiadas para su distribución, Soriano (2003).

### **Fertilización**

La fertilización se recomienda realizarla a los 30 a 45 días después de la siembra, debido a que en este tiempo la planta presenta un sistema radicular capaz de asimilar los nutrientes. La cantidad de fertilizantes dependerá del contenido de macronutrientes que posea el suelo, Sánchez (2005).

La alfalfa es un cultivo poco exigente en abonos nitrogenados, debido a que las bacterias que se encuentran en sus nudos son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico, por tal razón se puede colocar abonos orgánicos o inorgánicos, Soriano (2003).

### **Nitrógeno**

La planta de alfalfa obtiene este elemento a través de las bacterias que encuentran en sus nudos, sin embargo, la planta en su fase vegetativa requiere el nitrógeno del suelo, puesto que no forman sus nódulos y no pueden fijar el nitrógeno por sí misma. Por tal motivo se recomienda suministrar 20 kg/ha de nitrógeno, teniendo en cuenta que al abonar más de lo mencionado ocasiona un efecto negativo por que inhibe el desarrollo de los nódulos, Soriano (2003).

### **Fósforo**

En el año de establecimiento del cultivo es fundamental la fertilización fosfórica, dado que este elemento es el encargado del desarrollo del sistema radicular, se recomienda aplicarlo junto a la semilla en el momento de la siembra dado que se desplaza lentamente en el suelo, Soriano (2003).

### **Calcio**

El calcio es uno de los nutrientes esenciales, debido a que su deficiencia produce desórdenes fisiológicos que no se corrigen, sino con la misma aplicación de este elemento. El calcio estimula el desarrollo de nuevas hojas y el sistema radicular, dado que forma compuestos que son parte de la pared celular, esto favorece el desarrollo de la planta, además el calcio disminuye los nitratos en los tejidos y activa varios procesos enzimáticos, Huera (2003).

### **Potasio**

El potasio es el elemento que más demanda la planta de alfalfa, dado que este elemento les otorga resistencia a las sequías, al frío y ayuda al almacenamiento de reservas. Al igual que el fósforo, se recomienda aplicarlo de fondo al momento de la siembra y realizar un abonado de mantenimiento cada año, Soriano (2003).

## **Azufre**

Por lo general, la carencia de este elemento sabe presentarse junto a la deficiencia de nitrógeno, al aplicar sulfato amónico cubre las necesidades de la planta, Soriano (2003).

## **Boro**

La ausencia de este elemento en el cultivo de la alfalfa conlleva a la detención del crecimiento, las hojas terminales se tornan de color amarillo y el desarrollo de los nódulos son escasos. Se lo coloca mezclado con otros fertilizantes para asegurar una adecuada distribución, se recomienda aplicarlos después del corte y en la época de invierno, Soriano (2003).

## **Molibdeno**

El molibdeno afecta principalmente a las bacterias fijadoras de nitrógeno. La cal y el fósforo ayudan a que el molibdeno sea más asimilable por la planta, Soriano (2003).

## **Época de corte**

El corte se debe realizar cuando la planta de alfalfa alcanza una altura promedio de brotes de 5 cm, el 80 % de brotes flores y 10% de floración. Se debe tener en cuenta que el rebrote dependerá del nivel de reservas, disminuyendo estas cuando los cortes son seguidos, Pombosa (2016).

La alfalfa almacena sus alimentos en la corona y raíz, estos alimentos desempeñan un papel importante dado que de estos dependerá el vigor y la recuperación del cultivo después del corte, por lo que el tiempo entre corte y corte debe ser el tiempo necesario para la recuperación. La frecuencia de corte varía de acuerdo con el manejo de la cosecha, siendo un parámetro importante junto a la fecha del último corte para establecer el rendimiento y la persistencia foliar, Timana (2015).

Se debe tener en cuenta que al realizar cortes seguidos la planta se agota causando una disminución del rendimiento y densidad. Por lo mencionado anteriormente se recomienda cortar cuando la planta presente un 10% de flores, dado que en esta etapa la planta tiene mayor número de hojas, la corona y raíz han acumulado materias de reserva para mantenerse en los primeros días

después del corte, dado que la planta en los primeros días después del corte no es capaz de sintetizar sus propios alimentos sino hasta que alcanza los 15 cm de altura, Timana (2015).

El rebrote no dependerá netamente de las reservas de carbohidratos que se encuentran en la raíz y corona, sino también de la parte aérea residual, es decir, se debe tener en cuenta la altura de corte, puesto que la alfalfa cortada alta deja tallos ramificados y yemas que permiten un rebrote continuado. La altura de corte es un parámetro que se debe considerar a la hora de la cosecha, la máxima producción se obtiene con menores alturas de corte y cortadas a intervalos largos, sin embargo, una siega muy raza perjudica al retoño debido a que lo despunta conllevando a retrasar la recuperación, Pombosa (2016).

El primer corte después de la siembra se lo realiza a los 80 a 90 días y los cortes posteriores deben realizarse de la siguiente manera: en épocas cálidas, al observar un 10% de floración, y durante el invierno, cuando los brotes alcancen una altura de 3 a 6 cm, Pombosa (2016).

### **Alfalfa hidropónica**

El cultivo de alfalfa en un sistema hidropónico es una técnica muy innovadora y rentable económicamente, ya que se puede programar el cultivo y la cosecha del forraje, permitiendo tener un forraje verde durante todo el año, González (2011).

### **Ventajas de la alfalfa hidropónica**

Al emplear este tipo de siembra se obtienen diversas ventajas como son: no necesita de grandes espacios para su siembra, debido a que puede ser sembrada en pequeños estantes; su crecimiento es rápido a comparación de un sistema convencional, etc., González (2011).

### **Requerimientos de macro y micronutrientes del cultivo de alfalfa**

Los micro y macronutrientes son esenciales para el desarrollo productivo de la planta de alfalfa, por lo que al sembrarla en un sistema hidropónico se debe conocer las cantidades que requiere de cada nutriente, como se indica en la tabla 4.

**Tabla 4***Requerimientos de macro y micronutrientes en el cultivo de alfalfa*

<b>Nutrientes</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>
<b>Ton/ha</b>	<b>Kg/ha</b>							
Hasta 9	227	25	205	99	17	18	0.2	0.06
9 a 11.2	253	32	270	121	21	22	0.3	0.07
11.2 a 13.4	351	38	315	148	28	0.3	0.3	0.08
13.4 a 15.7	418	45	379	162	32	0.4	0.4	0.09
15.7 a 17,9	480	53	451	187	38	0.4	0.4	0.1
Más de 17.9	559	61	525	226	47	0.5	0.5	0.12

*Nota.* La tabla indica la cantidad de macro y micronutrientes para el cultivo de alfalfa. Autor: Timana (2015)

### **Sistema semi-hidropónico**

El sistema semi-hidropónico se refiere a una técnica pasiva de la hidroponía, en donde se colocan las plantas en sustratos que les sirvan de soporte a las raíces y en los cuales se apliquen soluciones nutritivas necesarias para el desarrollo de las plantas, Molina & Reconco (2020).

Este tipo de sistema tiene la ventaja de combinar lo mejor de la hidroponía y lo mejor de las técnicas de siembra en suelo. Este tipo de sistema le permite a la planta acceder a todos los nutrientes del suelo junto con una nutri-irrigación. Los cultivos semi-hidropónicos se emplean para flores, frutas y otros cultivos cuya raíz y parte aérea son más desarrolladas, Molina & Reconco (2020).

Normalmente, para la implementación de un sistema semi-hidropónico se emplean canales, bolsas o vasos con material inerte, como perlita, pomina, arena, lana de roca, turba y fibra de coco, en donde la solución nutritiva es filtrada por el material y drenada por el cultivo a través de un sistema de riego gota a gota, Morales (2022).

En cuanto al impacto ambiental, el sistema semi-hidropónico, presentan grandes ventajas como es la reducción del consumo de agua aproximadamente del 95%, elimina el uso de químicos para el

control de plagas y enfermedades, elimina el uso de fertilizantes y al no necesitar de maquinaria reduce los gases dañinos para la atmósfera, Morales (2022).

### **Ventajas del sistema semi-hidropónico.**

Al ser un sistema que se desarrolla con soluciones nutritivas y con sustratos inertes, se obtiene diferentes ventajas como son:

- Se puede sembrar en cualquier época del año
- No depende de las propiedades edafológicas
- No emplea maquinarias pesadas
- Controla la cantidad de nutrientes de forma objetiva
- Reduce el empleo de agentes tóxicos para el control de plagas y enfermedades
- Tiene un menor error en cuanto al retorno económico a comparación de un cultivo tradicional.
- Es altamente automatizado
- No requiere de grandes extensiones de terreno
- Los cultivos se desarrollan uniformemente
- Se puede implementar tanto en zonas suburbanas como urbanas, Morales (2022).

### **Desventaja del sistema semi-hidropónico**

Como cualquier otro sistema, este también presenta diversas desventajas como son:

- Las plantas son susceptibles a cualquier cambio
- No se asegura rendimientos superiores que un cultivo tradicional
- Al inicio del proyecto, la inversión es alta
- Las plantas son netamente dependientes del sistema, Morales (2022).

### **Sustratos**

El sustrato es el material que va a ser utilizado para reemplazar al suelo, por ende, cumple con funciones como la de ser el sostén de la raíz y la retención de agua. El sustrato puede ser natural,

mineral, sintético u orgánico, este es colocado en estado puro en un contenedor, permitiendo el fondeo del sistema radicular, Molina & Reconco (2020).

Al momento de seleccionar el sustrato se debe considerar las propiedades físicas y químicas del sustrato, puesto que los mejores sustratos de aplicación son los que apoyan a tener entre el 20 al 60% de agua y el 15 al 35 % de aire en relación con el volumen total, López (2019).

La base del sistema semi-hidropónico son los sustratos sólidos, dado que por estos circulan las soluciones nutritivas, protegen a las raíces de la luz, permiten la respiración y almacenan los nutrientes y agua que requieren los cultivos para su correcto desarrollo. Existen dos tipos de sustratos, los inorgánicos como la arena, vermiculita o perlita, y los sustratos orgánicos como la tierra, compost, cascarilla de arroz, fibra de coco, etc., López (2019).

### **Tipos de sustratos**

La optimización de la producción en viveros y para prevenir la erosión del suelo, se debe elegir adecuadamente el tipo de sustrato a emplear. La mayoría de los sustratos empleados son de origen natural, los cuales se dividen en dos categorías, los sustratos orgánicos e inorgánicos; dentro de los sustratos orgánicos se encuentran la fibra de coco, turbas, aserrín, cáscara de arroz, compost, etc., López (2019).

Los sustratos inorgánicos son aquellos que se emplean sin ningún proceso previo aparte de la homogeneización granulométrica como las gravas, arenas, picón, etc., y los que sufren un tratamiento previo con altas temperaturas, modificando así la estructura de la materia prima dentro de este grupo se encuentran la perlita, pomina, vermiculita, lana de roca, etc., López (2019).

### **Características físicas y químicas del sustrato**

Las propiedades físicas y químicas del sustrato juegan un papel importante en el desarrollo de la planta, puesto que de estas características dependerá el potencial productivo del cultivo, dado que constituyen el medio en el que se desarrolla el sistema radicular, las cuales influyen directamente en el

crecimiento de las plantas, Trujillo (2019). Algunas de las características fundamentales que deben tener los sustratos son:

- Retener humedad.
- Dar una adecuada aireación y buen drenaje.
- Tener una adecuada estabilidad física.
- Tener capilaridad y ser liviano.
- Ser inerte biológica y químicamente.
- Ser de bajo costo.

Los sustratos inertes deben capturar entre el 20 % al 30 % en volumen del agua, deben tener un tamaño de partícula que posibilite una adecuada relación agua/aire, alta porosidad > 85%, baja o nula capacidad de intercambio catiónico, no presente, elementos tóxicos como hongos, bacterias y virus; estructura y composición homogénea y estable, Trujillo (2019).

### **Pomina**

La pomina es de origen volcánico, para modificar su estructura se lo somete a una temperatura de 1000 °C, su composición química es bióxido de magnesio y sodio en forma de óxidos. Al emplearse como sustrato incrementa la capacidad de drenaje y aireación, Trujillo (2019).

La pomina se obtiene en diferentes tamaños granulométricos, se caracteriza por tener una buena capacidad de retención de humedad, buena estabilidad química y física, se considera completamente estéril siempre y cuando no se encuentre mezclado con otros sustratos, es ampliamente utilizado en sistemas semi-hidropónicos, por ser un sustrato inerte y que sirve para dar sostenibilidad a las plantas. Las propiedades químicas y físicas de este sustrato se lo observan en las tablas 5 y 6, López (2019).

**Tabla 5***Propiedades químicas de la pomina*

Propiedades	Cantidad
pH	6,4
Conductividad eléctrica	0,07 mS/cm

*Nota.* La tabla indica las propiedades químicas de la pomina. Autor: López (2019)

**Tabla 6***Propiedades físicas de la pomina*

Propiedades	Cantidad
Granulometría	2,00 mm 3,7% -850 µm 88,9%
Conductividad hidráulica	4,19 x 10 <sup>-3</sup> (medio)
Capacidad de campo	36,20%
Punto de marchitez	18,70 %
Total, agua disponible	28,70 %
Porosidad	24,2

*Nota.* La tabla indica las propiedades físicas de la pomina. Autor: López (2019)

**Solución nutritiva**

La solución nutritiva, al igual que los sustratos, son claves para los cultivos semi-hidropónicos. Existen más de 300 soluciones nutritivas distintas para los diversos cultivos, la mayoría de estas soluciones se obtienen al mezclar los diversos nutrientes en distintas porciones, evaluando los requerimientos de cada cultivo. Se debe tener en cuenta que recomendar una solución no garantiza que pueda existir otra solución que dé mejores resultados en cuanto al rendimiento, Molina & Reconco (2020).

La solución nutritiva se constituye de nutrientes esenciales para el desarrollo de cada cultivo, por lo general las plantas asimilan estos elementos del suelo a través de sus raíces, sin embargo, en los sistemas hidropónicos y semi-hidropónicos no se usa el suelo, por lo que es preciso aplicar soluciones

que contengan los nutrientes esenciales para el crecimiento, González (2011). Una solución básica debe contener nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre, calcio y micronutrientes, estos micronutrientes determinan la conductividad eléctrica, potencial osmótico, pH y otros parámetros, Encalada (2020).

## **pH**

El parámetro del pH mide la alcalinidad o acidez de la solución en un rango de 0 a 14, este parámetro afecta a la especiación elemental, composición y biodisponibilidad de la solución. El control de este factor es primordial debido a que permite que los iones estén disponibles para el cultivo, Guacapiña (2020).

Cada elemento presenta diferentes respuestas a los cambios de pH. El nitrógeno está disponible en la solución en un rango de 2 a 7, dado que cuando el pH es mayor a 7 la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y la concentración de  $\text{NH}_3$  disminuye. El fósforo está disponible cuando tiene un pH 5. El calcio, magnesio y potasio es asimilable cuando los iones se encuentran libres en un pH de 2 a 9. En cuanto al zinc, boro, cobre, hierro y manganeso, se encuentra disponible en la solución con un pH < 6,5. En general, la solución nutritiva debe tener un pH de 5,5 a 6,5 para que exista una adecuada asimilación de todos los nutrientes, Guacapiña (2020).

## **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica hace referencia a la concentración iónica total de sales disueltas en la solución nutritiva, esta concentración iónica ejerce una presión osmótica sobre el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas, Guacapiña (2020).

Este parámetro permite determinar de manera indirecta la presión osmótica, los iones relacionados con la conductividad eléctrica en una solución son:  $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{Mg}_2^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{OH}^-$ . Cabe recalcar que los micronutrientes no intervienen en este parámetro puesto a que se encuentran en cantidades pequeñas, Guacapiña (2020).

## **Temperatura y oxigenación**

La temperatura influye en la captación de agua y nutrientes de manera distinta para cada cultivo, este parámetro interfiere en la solubilidad de oxígeno, se debe mantener una temperatura aproximada de 15 a 25 °C, dado que en este rango la solubilidad es de 10,08 y 8,25 mg/L respectivamente, Guacapiña (2020).

La concentración de solubilidad de oxígeno va a depender de las necesidades del cultivo, cuando esta concentración es baja ocasiona que el crecimiento del sistema radicular disminuya y tomen un color café, en el caso de que esto suceda se debe aumentar la concentración con el uso de peróxido de potasio, Guacapiña (2020).

## **Balance de cationes-aniones**

Este parámetro se refiere a la relación de aniones  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{SO}_4^-$  y cationes  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}_2^+$  y  $\text{Mg}_2^+$  dentro de la solución nutritiva. Las plantas captan los nutrientes de la solución de manera distinta, por lo que, al tener un desbalance de iones, estos afectarán al rendimiento del cultivo, Guacapiña (2020).

## **Cálculo de soluciones nutritivas**

### **Método del tanteo**

El método del tanteo es una técnica sencilla a comparación del método de sistemas de ecuaciones, sin embargo, se debe tener en cuenta que no es muy útil cuando se trata de manejar gran cantidad de variables. Para la elaboración de una solución nutritiva por este medio es necesario conocer la cantidad de abono deseada y de un equilibrio adecuado para cada tipo de cultivo, Santos & Ríos (2016).

El primer paso para la elaboración de una solución nutritiva es realizar una tabla de doble entrada en la cual se colocarán los abonos que se emplearán y los aportes de nutrientes que proporcionan cada uno, finalizando con los totales. El tanteo consiste en colocar una cierta cantidad de fertilizantes y calcular los aportes de los abonos, considerando siempre el requerimiento del cultivo.

Finalmente logrado el equilibrio se recalcula la cantidad total de los fertilizantes aportados para que coincida con la concentración de conseguida, Santos & Ríos (2016).

## **Índices fisiotécnicos**

### **Relación hoja/tallo (H: T)**

La relación Hoja-tallo es un parámetro indicador de la calidad de la alfalfa, se basa en la cantidad de hojas respecto a la proporción de tallos que posee una planta en un determinado momento; por lo general se pretende que este valor sea alto, Trucco (2020).

Las hojas son más digestibles y contienen un valor superior de proteína conllevando a que tenga un valor nutritivo alto. Se debe tener en cuenta que a medida que se desarrolla el cultivo hacia su madurez este valor disminuye por consiguiente su valor nutritivo disminuye, Trucco (2020).

Por lo mencionado con anterioridad al productor le interesa que exista una mayor cantidad de materia seca proporcionada por las hojas, esto debido a que las hojas sintetizan y asimilan los carbohidratos, tienen un alto volumen del tejido parenquimatoso en el mesófilo; lo cual ayuda a una mayor reserva de proteínas y carbohidratos no estructurales otorgándole una mayor cantidad nutritiva, Liendo *et al.*, (2019).

Los tallos a comparación de las hojas tienen una mayor cantidad de tejido vascular y de sostén, por lo tanto, su contenido nutricional es relativamente bajo al de las hojas. Este parámetro se obtiene al hacer una relación con el valor del peso seco de las hojas y tallos, Liendo *et al.*, (2019).

### **Índice área foliar (IAF)**

El índice de área foliar (IAF) es un parámetro que permite conocer la dinámica del cultivo, los requerimientos de agua y la productividad del cultivo. Mendoza *et al.* (2020); el IAF es una expresión numérica adimensional, la cual se da al dividir el área de las hojas en  $m^2$  y el área del suelo sobre el cual se encuentra establecido el cultivo en  $m^2$ , Mendoza *et al.*, (2020).

El índice de área foliar permite predecir el tiempo de cosecha y la capacidad de captura de luz del dosel vegetal, además es un parámetro que permite estimar los requerimientos hídricos, nutricionales, eficiencia bioenergética y para determinar el potencial de daños fitosanitarios, Casierra *et al.*, (2008).

Este parámetro se puede medir a través de métodos destructivos y no destructivos; los métodos destructivos se basan en tomar muestras representativas del cultivo, de las cuales se contabilizará el área foliar empleando ceptometros, fotografías digitales y técnicas de interpretación de imágenes para medir el área foliar, Institución dedicada a la capacitación agrícola y a la transferencia de tecnología (Intagri, 2016, September 3). Los métodos no destructivos consisten en el uso de ceptometros lineales, los cuales calculan el índice de área foliar *in situ*; el principio de este método consiste en medir la intensidad lumínica del dosel del cultivo, Mendoza *et al.*, (2020).

### **Relación de área foliar (RAF)**

La relación de área foliar es una medida de balance entre el costo respiratorio y la capacidad potencial de la fotosíntesis. Se expresa entre el área foliar total y la biomasa del cultivo, Archila P' *et al.*, (1998).

### **Duración del área foliar (DAF)**

La duración del área foliar es un método que permite determinar el potencial fotosintético de la corona de las plantas, Casierra *et al.*, (2008); el DAF indica la duración de la superficie asimilatoria y se aprovecha para comprender el costo energético del rendimiento y la unidad de superficie foliar en la producción de asimilatos (glúcidos, proteínas, lípidos y carbohidratos), Aguilar-García *et al.*, (2005).

### **Tasa de asimilación neta (TAN)**

La tasa de asimilación neta permite conocer la eficiencia del follaje, la cual es la principal fuente de fotoasimilados para la producción de materia seca, Gardner & Pearce (2000); a través de este parámetro se puede conocer la velocidad de la fotosíntesis neta en un determinado tiempo, para lo cual

es indispensable saber el valor del área foliar y el peso del cultivo expresado en  $\text{g cm}^{-2}\text{d}^{-1}$ , Morales *et al.*, (2015).

La superficie foliar es el principal órgano fotosintético, por lo que a veces es conveniente expresar el crecimiento por unidad de superficie foliar; La TAN mide la eficiencia fotosintética en promedio de las hojas del cultivo. Este valor es elevado cuando las plantas son pequeñas debido a que la mayoría de las hojas están expuestas al sol, por lo que a medida que el cultivo crece y desarrolla más hojas éstas comienzan a sombreadarse provocando que el valor de la TAN disminuya, Gardner & Pearce (2000).

La TAN es en sí la tasa de incremento neto del  $\text{CO}_2$  por unidad de área foliar, se debe tener en cuenta que este parámetro no considera la fotosíntesis no laminar, es decir, de los peciolos, tallos, vainas e inflorescencias, las cuales pueden ayudar a incrementar el rendimiento del cultivo, Gardner & Pearce (2000).

### **Tasa relativa de crecimiento (TRC)**

La tasa relativa de crecimiento difiere al tipo de especie y representa al aumento de biomasa por unidad de masa existente en un determinado tiempo. Esta variable es la principal para determinar el crecimiento de la planta, por lo que es empleada para analizar las posibles causas del crecimiento del cultivo, Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (Fontagro, 2020).

### **Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).**

La tasa de crecimiento del cultivo es el índice de productividad y está relacionada estrechamente con la interceptación de la luz solar, en donde los valores más altos indican una mayor producción de órganos de cosecha del cultivo, en el caso del cultivo de la alfalfa este valor está determinado por el tamaño y número de hojas, Colorado *et al.* (2010).

La tasa de crecimiento del cultivo se calcula a través de muestras a intervalos frecuentes y pesando la materia seca entre una muestra y la próxima, por lo general se expresa en  $\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ . Cabe

recalcar que este parámetro mide cualquier tejido vivo del cultivo en crecimiento en un área, sin embargo, la dificultad de recolectar muestra de raíces hace que este órgano no sea tomado en cuenta en muchos estudios sobre la TCC, Gardner & Pearce (2000).

### CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### Características del Área Experimental

##### Ubicación política

El presente trabajo de investigación fue realizado en el invernadero de horticultura de la hacienda "El Prado", perteneciente a la carrera de ingeniería agropecuaria IASA I de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ubicada en el cantón de Rumiñahui, provincia Pichincha- Ecuador (Figura 2).

##### Ubicación geográfica

Geográficamente se encuentra:  $0^{\circ}23'27''S$   $78^{\circ}24'47''W$ ; latitud: -0,3909607; longitud: -78,4136189; altitud: 2.738 msnm. La temperatura media anual es de  $14^{\circ}C$ , y la precipitación anual es de 1300 mm.

#### Figura 2

*Mapa de localización y ubicación del área experimental*



*Nota.* La figura indica la ubicación del invernadero de horticultura del IASA I, realizada en el software QGis. Autoría propia

## Ubicación ecológica

Dentro de las instalaciones de la hacienda "El Prado" encontramos una estación agrometeorológica, la cual nos proporciona distintos parámetros como se indica en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Ubicación ecológica del área de estudio*

<b>Ubicación Ecológica</b>	
Piso altitudinal	Montano bajo
Región latitudinal	Templado
Temperatura promedio	13,96°C
Precipitación	1332,72 mm
Humedad relativa	66,33%

*Nota.* La tabla indica la ubicación ecológica del área de estudio. Autor: Guacapiña (2020)

## Materiales empleados

### Materiales de campo

- Sustrato de pomina
- Plástico de polietileno
- Sistema de riego
- 2 temporizadores
- 2 bombas sumergibles
- 2 tanques de 200 L
- 300 g de semillas de alfalfa var. CUF-101
- 300 g de semillas de alfalfa var. Abunda Verde
- Flexómetro
- Fundas de papel periódico

- 1 Hoz metálica
- Estacas
- Piola
- Alambre

#### **Materiales de laboratorio**

- Estufa
- Probeta
- Varilla de agitación
- Balanza electrónica de precisión

#### **Insumos**

- Soluciones nutritivas

#### **Equipos**

- Equipo Water Quality Tester (Multifunction) Modelo EZ-9908
- Kit para análisis de dureza

#### **Software**

- ImageJ
- Infostat
- AutoCAD
- SketchUp
- QGis

#### **Características ambientales**

El invernadero de horticultura, de la carrera de ingeniería agropecuaria, presenta las siguientes características ambientales (Tabla 8).

**Tabla 8***Parámetros ambientales del área de estudio*

Valores	Temperatura		Humedad		Luminosidad	
	°C	Hora	%	Hora	Lux	Hora
Mínimo	11,75	6 a.m.	30	3 p.m.	7	7 p.m.
Máximo	33,73	12 p.m.	69	6 a.m.	83167	12 p.m.
Promedio	22,5		49		29494	

*Nota.* La tabla indica las condiciones ambientales del invernadero de horticultura del IASA I. Autoría propia.

**Factores de estudio****Material de siembra**

El material vegetal empleado fue 300 g de semillas certificadas de alfalfa por cada una de las variedades, CUF - 101 y Abunda Verde, cuyas características se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9***Características de semillas certificadas de Alfalfa variedades CUF – 101 y Abunda Verde*

Característica	CUF -101	Abunda Verde
Descripción	Ideal para pastoreo continuo y corte es una variedad de alto vigor; aporta proteína de gran calidad, macronutrientes, micronutrientes y vitaminas de forma natural.	Ideal para pastoreo dado a que es muy precoz y es una excelente productora de forraje; sus tallos y hojas son suculentos y son de alta digestibilidad y palatabilidad.
Densidad de siembra	50 lb/ha	45 a 50 lb/ha
Densidad de siembra en mezcla	6 a 8 lb/ha	6 a 8 lb/ha
Altura de siembra	1600 a 3200 msnm	1500 a 3400 msnm
Días de germinación	4 a 7 días	3 a 7 días
Fertilidad	Media – alta	Alta
Hábito de crecimiento	Herbáceo, erecto	Herbáceo, erecto
Ciclo vegetativo	Perenne	Perenne

Característica	CUF -101	Abunda Verde
Calidad nutricional	Alta	Alta
Palatabilidad	Buena	Alta

*Nota.* La tabla indica las características de semillas certificadas de alfalfa. Autor: Agrosad (2021)

### Solución nutritiva

Se formuló dos tipos de soluciones nutritivas basándonos en los requerimientos nutricionales del cultivo de alfalfa; La solución nutritiva 1 fue realizada en base a la solución nutritiva propuesta por Vallejo (1999) y la segunda solución nutritiva fue realizada mediante el método del tanteo, con los fertilizantes convencionales, para lo cual se utilizaron dos tanques de 200 L. El tanque A contenía la solución nutritiva 1 y el tanque B la solución nutritiva 2; para ambas soluciones nutritivas se manejó un pH de 6,41, CE de 796 uS/cm y TDS 401 ppm para el tanque A y un pH de 6,24, CE de 772 uS/cm y TDS 387 ppm para el tanque B. La composición de las dos soluciones nutritivas se indica en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Formulación de la solución nutritiva 1 y 2*

Composición	Solución nutritiva 1	Solución nutritiva 2	
Macronutrientes (g/m <sup>3</sup> )	Ca	53,25	120
	N	67,5	108,8
	P	6,98	22,71
	K	48,47	35,75
	S	21,5	31,67
Micronutrientes (g/m <sup>3</sup> )	Mg	8,18	24
	Fe	61,6	5
	Mn	6,25	-

*Nota.* La tabla indica el contenido de macro y micronutrientes de las soluciones nutritivas 1 y 2 para el fertirriego. Autoría propia.

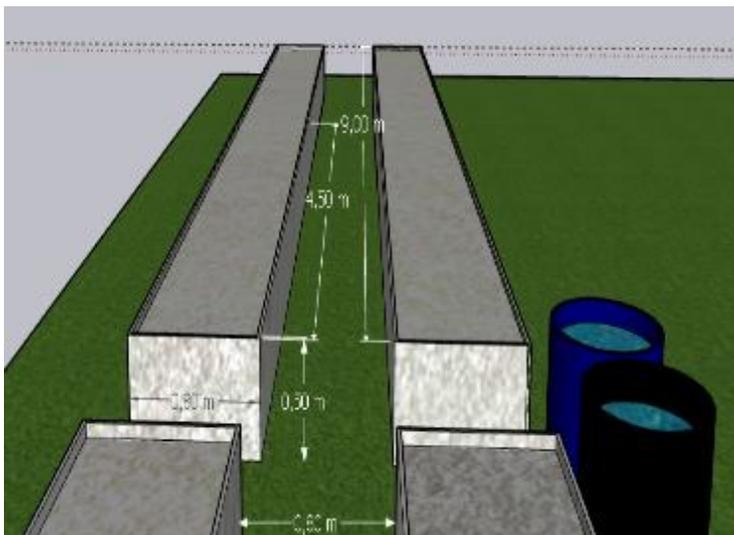
## Implementación del sistema semi-hidropónico

### Preparación de camas de siembra

El cultivo experimental de alfalfa (*Medicago sativa* L), se realizó en seis camas de pomina, las cuales se dividieron en 3 camas para la solución nutritiva 1 y 3 camas para la solución nutritiva 2. Estas camas tienen la siguiente dimensión: 9 m de largo, 0,8 m de ancho y 0,5 m de alto estructuradas con alambre y plástico transparente, estas se separaron a una distancia de 0,8 m entre camas, como se indica en la figura 3.

### Figura 3

*Dimensiones de las camas de siembra en SketchUp*



*Nota.* La figura indica las dimensiones y la distancia de las camas de pomina para la siembra del cultivo de alfalfa. Autoría propia

## Evaluación de las propiedades físicas y químicas del sustrato

### Propiedades físicas

#### Densidad Aparente (DA)

Para evaluar este parámetro se tomó una muestra de pomina y se colocó en una probeta hasta alcanzar un volumen de 110 cm<sup>3</sup> y se pesó. Subsiguientemente, se llevó el vaso con la muestra a una estufa por 24 horas a 95 °C. Para determinación de este parámetro se empleó la siguiente fórmula:

$$DA = \frac{Ms}{Vs} = \frac{62}{110} = 0,56$$

Guacapiña (2020)

Donde:

**DA** = Densidad aparente (g.cm<sup>3</sup>)

**Ms** = Masa del sustrato (g)

**Vs** = Volumen del sustrato (cm<sup>3</sup>)

### **Porosidad Total**

La porosidad total del sustrato de pomina, se evaluó mediante la siguiente ecuación:

$$PT = 95.83 - 32.43 Da$$

$$PT = 95.83 - 32.43 * 0,56 = 77,55$$

Guacapiña (2020)

Donde:

**PT** = Porosidad total (%)

**Da** = Densidad aparente

### **Capacidad de retención de humedad**

Para evaluar este parámetro, se pesó 100 g de pomina y se colocó en la estufa a 95 °C por 24 horas. Posteriormente, el sustrato se lo saturó con agua en un recipiente con fondo hueco y papel filtro en la base; transcurrido 15 minutos se pesó la pomina húmeda; para este valor se utilizó la siguiente fórmula:

$$CRH = \frac{PSH - PSS}{DH20} = \frac{139 - 100}{1} = 39 \%$$

Guacapiña (2020)

Donde:

**CRH** = Capacidad de retención de humedad

**PSH** = Peso del sustrato húmedo

**PSS** = Peso del sustrato húmedo

**D<sub>H2O</sub>** = Densidad del agua

### Propiedades químicas

Las propiedades químicas de la pomina fueron evaluadas por medio del equipo Water Quality Tester (Multifunction) Modelo EZ-9908 y del kit para análisis de dureza, para lo cual se tomó una muestra de pomina y se mezcló el sustrato con agua en una relación 1:1 (V/V). Se removió con una varilla, hasta homogeneizar la muestra y se procedió a filtrar el agua en un vaso de precipitación para su análisis.

### Implementación del sistema de fertirrigación

Para el sistema de fertirrigación se contó con dos tanques de fertilización y dos bombas sumergibles conectadas al sistema de riego, el cual tiene las siguientes características (Tabla 11).

**Tabla 11**

*Características de los materiales del sistema de fertirrigación*

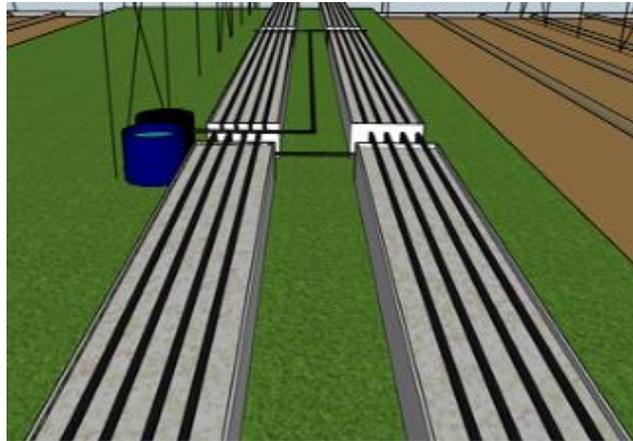
<b>Sistema de fertirriego</b>	
Volumen de tanque (L)	200
Largo de cama (m)	9
N° emisores/lateral	30
N° emisores totales/cama	120
N° camas/operación	3
N° Laterales/ cama	4
N° Laterales totales	12
Caudal del emisor (L/h)	2,1

*Nota.* La tabla muestra los materiales utilizados para el sistema de fertirriego. Autoría propia

Previo a la implementación del sistema de riego, se realizó un diseño en los software SketchUp y AutoCAD, como se indica en las figuras 4 y 5.

**Figura 4**

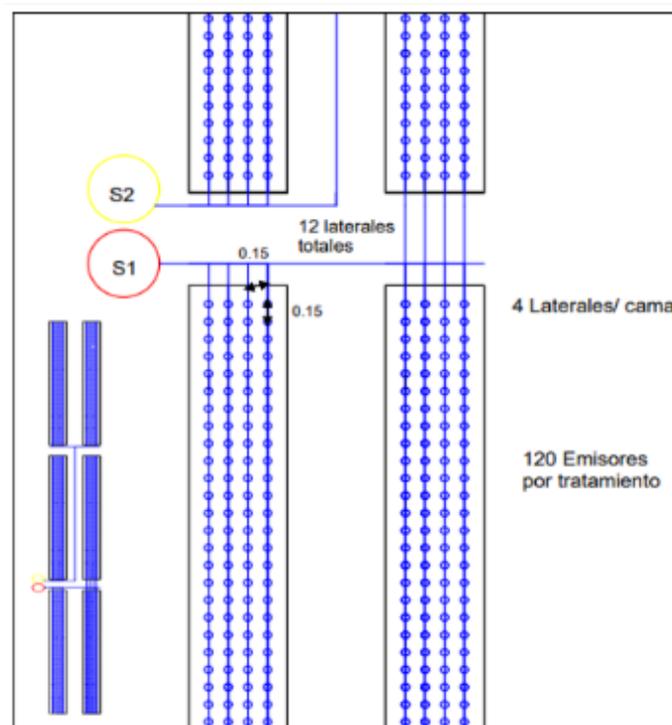
*Diseño en SketchUp del sistema de fertirriego*



*Nota.* La figura muestra el esquema del sistema de fertirrigación realizado en SketchUp. Autoría propia

**Figura 5**

*Esquema del sistema de fertirrigación realizada en AutoCAD*



*Nota.* La figura muestra el esquema del sistema de fertirrigación realizado en AutoCAD. Autoría propia.

Para conocer el tiempo de riego de cada solución nutritiva, es prescindible conocer el caudal de operación, para lo cual se determinó a través de las siguientes formulas:

$$Q_{lateral} = Q_e * \left( N^{\circ} \frac{\text{emisores}}{\text{lateral}} \right)$$

$$Q_{operación} = Q_l * N^{\circ} \text{ laterales totales}$$

### Tiempo de Riego

El tiempo de riego va a depender del caudal de operación y la potencia de las bombas sumergibles; para asegurar un correcto funcionamiento de las bombas se las colocaron a una altura de seguridad de 18,5 cm, lo que conlleva a que el volumen del tanque disminuyera, por lo que se calculó el volumen del tanque mediante la siguiente fórmula:

$$Vol. \text{ Tanque} = \pi * r^2 * h$$

Una vez obtenido el valor real del tanque de fertilización, se calculó el tiempo de riego empleando la siguiente fórmula:

$$Q \text{ operación} = \frac{V \text{ Tanque}}{\text{Tiempo}} ; \text{Tiempo} = \frac{V \text{ Tanque}}{Q \text{ Operación}}$$

Para vaciar el tanque que contiene 151,919 L de la solución nutritiva se requiere de un tiempo de riego de 12,057 min, sin embargo, se debe considerar que para el presente proyecto se realizó un cronograma de fertilización, en donde se estableció un tiempo de riego de 2 min diarios con 3 días de riego a la semana, siendo un total de 6 minutos de riego semanal de la solución nutritiva. Todos los resultados obtenidos se muestran en la tabla.12.

### Consumo de solución nutritiva diaria y semanal

Para conocer el volumen diario y semanal de la solución nutritiva consumida, se empleó la fórmula de caudal:

$$Q = \frac{V}{T} \Rightarrow V = Q * T$$

### Cantidad de solución suministrada por tratamiento

$$6 \text{ camas} \rightarrow 25,2 \text{ L}$$

$$1 \text{ cama} \rightarrow x = 4,2 \text{ L de solución}$$

Cada tratamiento recibe 4,2 L de solución diariamente y a la semana de 12,6 L.

### Tiempo de duración de la solución madre

La formulación de las soluciones nutritivas está calculada para 1000 L o 1 m<sup>3</sup> y teniendo en cuenta el consumo semanal de la solución es de 75,6 L, por lo tanto:

$$75,6 \text{ L} \rightarrow 1 \text{ semana}$$

$$1000 \text{ L} \rightarrow x$$

$$x = 13,22 \approx \mathbf{13 \text{ semanas}}$$

### Tabla 12

*Caudales y tiempo de duración del sistema de fertirriego*

Sistema de fertirriego	
Caudal lateral	63 L/h
Caudal de operación	756 L/h
Volumen del tanque	151,919 L
Tiempo de riego	12,057 min.
Volumen diario de la solución nutritiva	25,2 L solución
Volumen semanal de la solución nutritiva	75,6 L solución
Consumo de solución nutritiva por tratamiento	12,6 L.
Tiempo de duración de la solución madre	13 semanas

*Nota.* La tabla indica los tiempos y caudales del sistema de fertirrigación. Autoría propia

### Siembra

El cultivo de alfalfa se estableció a primeras horas de la mañana en hileras, previó a un día de riego y que el sustrato esté a capacidad de campo; en el presente proyecto se empleó dos variedades de alfalfa CUF-101 y Abunda Verde, cuyas características se indican en la tabla 9.

El método de siembra empleada fue el de marco real, dónde se colocó aproximadamente 300 g de semilla por variedad, repartiéndose en 4 hileras por tratamiento a una distancia entre plantas de 0,15 m, distancia entre hileras de 0,15 m y con una profundidad de 1 cm, obteniendo una densidad de 120 plantas por tratamiento como se muestra en la figura 6, este último valor fue obtenido a través la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Su}{m^2}$$

Permacultura (2020)

Dónde:

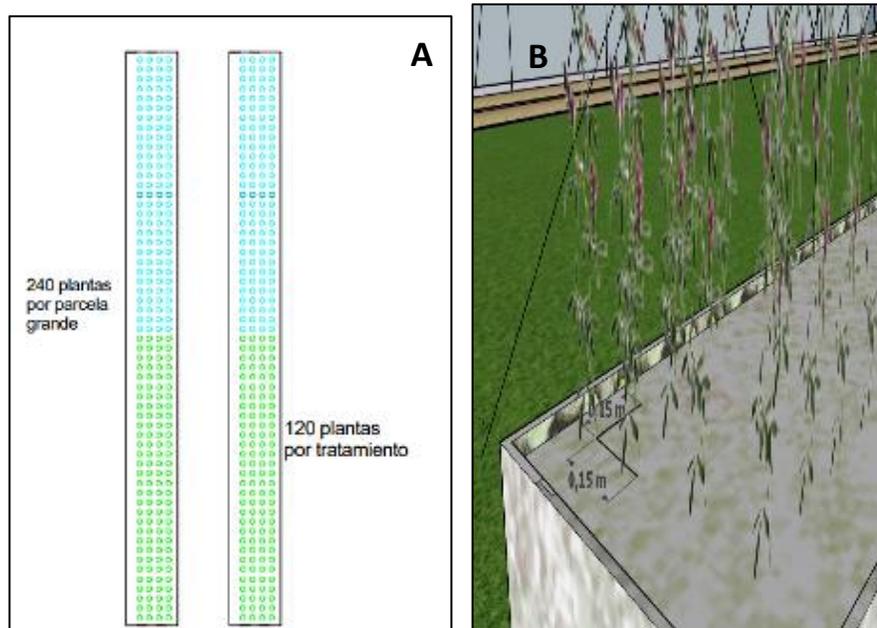
**n** =Número de plantas

**Su** = Superficie de campo (m<sup>2</sup>)

**m<sup>2</sup>** = distancia entre plantas (m) \* distancia entre hileras (m)

### Figura 6

*Diseño del número y distancia entre plantas empleando el método de siembra de marco real*



*Nota.* La figura (A) indica el número de plantas y la figura (B) la distancia entre plantas. Autoría propia.

## Métodos estadísticos

### Diseño experimental

Se utilizó dos tipos de diseño de acuerdo con la variable de respuesta; el primero tipo fue un Diseño Completamente al Azar (DCA) de parcela dividida 2x2 con 3 repeticiones y el segundo tipo fue un Diseño Completamente al Azar (DCA) de parcela subdividida 2x2x2 con 3 repeticiones. Se analizaron 10 variables, las cuales se dividieron en 6 variables para el primer tipo de diseño y 4 variables para el segundo diseño como se indica en la tabla 13.

**Tabla 13**

*Variables de respuesta de acuerdo con el tipo de diseño experimental*

<b>Tipo de diseño</b>	<b>Variables de respuesta</b>
<b>DCA parcela subdividida</b>	Altura (H)
	Índice de área foliar (IAF)
	Número de hojas (NH)
	Número de brotes basales (NB)
	Relación Hoja/Tallo (H: T)
	Relación Área Foliar (RAF)
<b>DCA parcela dividida</b>	Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)
	Tasa relativa de crecimiento (TRC)
	Tasa de asimilación neta (TAN)
	Duración del área foliar (DAF)

*Nota.* La tabla indica las variables de respuesta para cada uno de los diseños.

Autoría propia

### Modelo Matemático

#### DCA parcela subdividida

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

Donde:

- $Y_{ijkl}$  Variable de respuesta; H, IAF, RAF, NH, NB y H: T

- $\mu$  = Media general.
- $A_i$  = Efecto principal de la parcela grande de la  $i$  – ésima solución nutritiva.
- $\delta_1(i)$  = 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
- $\sigma_{1(i)}$  = 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.

#### **DCA parcela dividida**

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + \delta_K(i) + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

- $Y_{ijkl}$  Variable de respuesta; TCC, TRC, TAN y DAF
- $\mu$  = Media general.
- $A_i$  = Efecto principal de la parcela grande de la  $i$  – ésima solución nutritiva.
- $\delta_k(i)$  = 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
- $e_{ijk}$  = Error de la parcela pequeña.

#### **Unidad experimental**

El diseño experimental estuvo conformado por 6 parcelas grandes cuya dimensión fue de 9 m de largo, 0.80 m de ancho y una altura de 0.50 m; cada una de las parcelas grandes se las dividió en dos

parcelas pequeñas cuya dimensión fue de 4.5 m de largo, 0.80 m de ancho y 0.50 m de alto con un total de 120 plantas por parcela.

### **Factores**

Para el DCA de parcela subdividida, se evaluaron los factores A, B y C, mientras que para el DCA de parcela dividida se evaluaron los factores A y B.

#### **Factor A: Solución**

**S1:** Solución nutritiva 1

**S2:** Solución nutritiva 2

#### **Factor B: Variedades**

**V1:** CUF-101

**V2:** Abunda Verde

#### **Factor C: Tiempo de corte**

**C1:** Primer corte (104 días después de la siembra)

**C2:** Segundo corte (129 días después de la siembra)

### **Tratamientos**

La conformación de los tratamientos para el DCA de parcela dividida se indica en la tabla 14.

**Tabla 14**

*Formación de los tratamientos para el DCA de parcela dividida*

<b>Solución</b>	<b>Variedad</b>	<b>Tratamientos</b>
S1	V1	S1V1
S1	V2	S1V2
S2	V1	S2V1
S2	V2	S2V2

*Nota.* La tabla indica la confirmación de los tratamientos para el DCA de parcela dividida.

Autoría propia

La conformación de los tratamientos para el DCA de parcela subdividida se indica en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Formación de los tratamientos para el DCA de parcela subdividida*

Solución	Variedad	Corte	Tratamientos
S1	V1	C1	S1V1C1
S1	V2	C1	S1V2C1
S1	V1	C2	S1V1C2
S1	V2	C2	S1V2C2
S2	V1	C1	S2V1C1
S2	V2	C1	S2V2C1
S2	V1	C2	S2V1C2
S2	V2	C2	S2V2C2

*Nota:* La tabla indica la conformación de los tratamientos para el DCA de parcela subdividida.

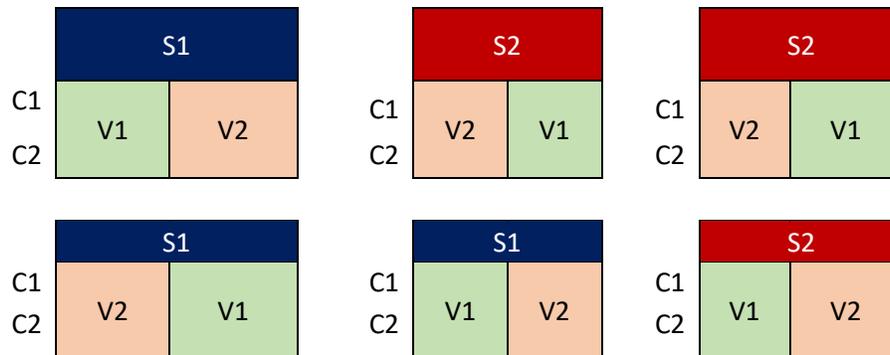
Autoría propia.

**Croquis Experimental**

Al trabajarse con dos tipos de diseño experimental se obtuvo dos croquis experimentales, los cuales se indican en las figuras 7 y 8.

**Figura 7**

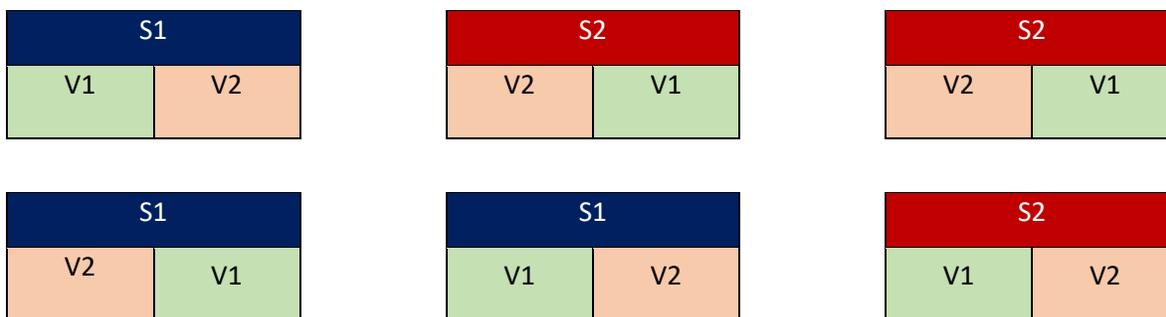
*Croquis experimental para el DCA de parcelas subdivididas*



*Nota.* S = Tipo de solución nutritiva; V = Tipo de variedad y C = Tiempo de corte. Autoría propia

**Figura 8**

*Croquis experimental del DCA de parcela dividida*



*Nota.* S = Tipo de solución; V = Tipo de variedad. Autoría propia

### **Análisis de resultados**

Las características morfológicas e índices de crecimiento del cultivo de alfalfa: altura, número de hojas, número de brotes, relación hoja/tallo, relación área foliar, duración del área foliar, tasa de crecimiento del cultivo, tasa relativa de crecimiento y la tasa de asimilación neta se caracterizaron mediante una prueba estadística descriptiva (media  $\pm$  desviación estándar).

Las variables fueron analizadas mediante una ANAVA (análisis de varianza) empleando modelos matemáticos lineales, además se aplicó una prueba de comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $p \leq 0,05$ , exceptuando para las variables de número de hojas y duración de área foliar las cuales fueron analizadas mediante la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis. Todos los análisis fueron realizados mediante el software estadístico Infostat. Di Rienzo *et al.*, (2010)

### **Variables de respuesta**

Para realizar todos los análisis se realizaron dos cortes, el primero a los 104 días (primer corte) y el segundo a los 129 días después de la siembra (segundo corte), cuando la planta se encontraba en estadio de botón floral temprano, es decir, cuando entre uno a tres nudos presenta frutos en formación de color verde.

### **Altura (H)**

Para evaluar la altura de la alfalfa se tomó una muestra de 10% de la cama, es decir 12 plantas por tratamiento y se midió desde la base hasta la parte más alta de la planta con ayuda de un flexómetro, este parámetro se evaluó a los 104 días después de la siembra (primer corte) y a los 129 días después de la siembra (segundo corte).

### **Número de hojas (NH)**

El parámetro de número de hojas se realizó mediante la toma de 12 plantas completamente al azar de cada tratamiento y se realizó un conteo directo de las hojas trifoliadas que se encuentren formadas completamente. Este parámetro se midió durante el primer y segundo corte.

### **Número de brotes (NB)**

El número de brotes se evaluó tomando el 10% de las plantas totales de cada tratamiento, es decir, se tomó un total de 12 plantas de alfalfa al azar por cada tratamiento, en las cuales se contó los brotes o tallos presentes en la corona de cada planta como se indica en la figura 9, este parámetro se lo tomó a los 104 días después de la siembra y a los 129 días después de la siembra.

### **Figura 9**

*Brote o tallo de la corona de la planta de alfalfa*



Nota. La figura indica los brotes o tallo de la corona que fueron analizados. Autoría propia.

### Relación Hoja/Tallo (H: T)

Se tomó 12 plantas al azar, de cada tratamiento de estudio, luego de esto se separó en hojas y tallos, estos fueron llevados al laboratorio de química y suelos ubicado en el bloque 1 de la hacienda El Prado, las muestras fueron colocadas en fundas de papel periódico y llevados a una estufa por 24 horas a 95 °C, tiempo en que alcanzaron peso constante, el cual se registró con una balanza eléctrica, como se indica en la figura 10.

#### Figura 10

*Secado y pesado de hojas y tallos de la planta de alfalfa*



*Nota.* Secado y pesado de la muestra separado hojas y tallos para la relación hoja/tallo.

Autoría propia.

El valor de este parámetro se calculó al realizar la relación de hoja/tallo a través de la siguiente ecuación:

$$H:T = \frac{PSH}{PST}$$

Luna *et al.*, (2017).

Donde:

**H: T** = Relación hoja: tallo

**PSH** = Peso seco del componente hoja (g)

**PST** = Peso seco del componente tallo (g)

Este parámetro fue evaluado en dos tiempos, el primer tiempo a los 104 días después de la siembra y el segundo tiempo a los 129 días después de la siembra.

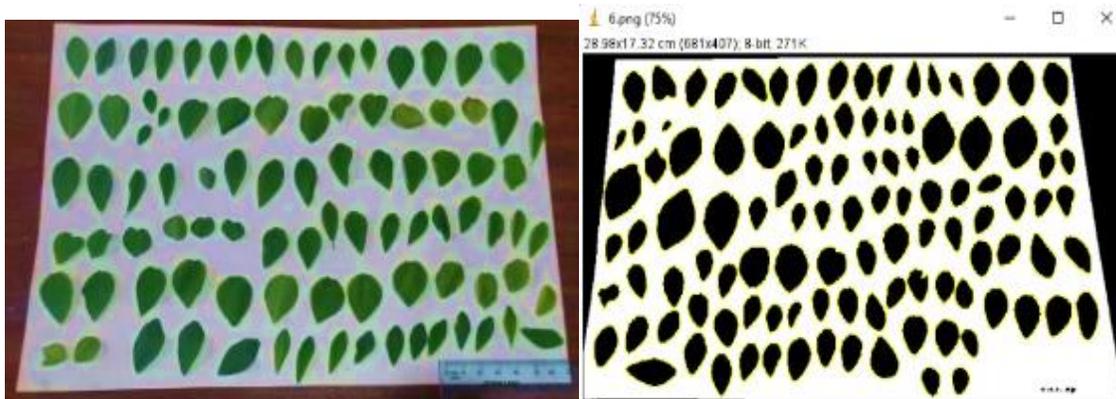
### Índice de área foliar (IAF)

Se realizó un análisis computarizado para evaluar el IAF, la metodología para este parámetro consistió en cosechar al azar 12 plantas por tratamiento y de cada planta se tomó 4 tallos al azar con la finalidad de separar las hojas de los tallos, a su vez se tomó la medida del área por planta la cual fue de 0.36 m<sup>2</sup>. Este parámetro fue evaluado en dos tiempos, el primer tiempo a los 104 días después de la siembra y el segundo tiempo a los 129 días después de la siembra.

Se debe tener en cuenta que la hoja de la alfalfa está conformada por tres folíolos, por lo que para tener mayor precisión estos fueron separados, identificados y fijados sobre una cartulina A4 blanca, la cual tenía una regla en la parte final que sirvió como una guía de medida para obtener el área foliar, posteriormente fueron fotografiados y evaluados utilizando el software ImageJ, como se indica en la figura 11.

### Figura 11

*Identificación y fijación de los folíolos en el software ImageJ*



*Nota.* La figura indica la identificación y fijación de los folíolos en ImageJ, para la determinación del área foliar. Autoría propia

Cabe recalcar que el software nos arroja el valor de área foliar por lo que para calcular el IAF se empleó la siguiente ecuación:

$$IAF = \frac{L_A}{P}$$

Barrientos *et al.*, (2015)

Donde:

**IAF** = índice de área foliar

**L<sub>A</sub>** = Área foliar (m<sup>2</sup>)

**P** = Área foliar por unidad de superficie de suelo (m<sup>2</sup>)

#### **Relación de área foliar (RAF)**

La relación de área foliar se evaluó tomando una muestra del 10 % de la cama, es decir, 12 plantas por tratamiento, de estas plantas a través del software ImageJ se calculó el área foliar y se mandó la muestra a secar en la estufa por 24 horas a 95 °C, posteriormente se pesó con la ayuda de una balanza electrónica; este parámetro se calculó durante el primer y segundo corte. Para obtener el dato del RAF se empleó la siguiente ecuación:

$$RAF = \frac{L_A}{W}$$

Barrientos *et al.*, (2015)

Donde:

**RAF** = Relación de área foliar (cm<sup>2</sup>/g)

**L<sub>A</sub>** = Área foliar (cm<sup>2</sup>)

**W** = Materia seca total (g)

### Duración del área foliar (DAF)

Este parámetro se evaluó mediante los datos obtenidos del IAF y en el periodo de tiempo de 104 días después de la siembra y 129 días después de la siembra. Para lo cual se empleó la siguiente ecuación:

$$DAF = \frac{(IAF_1 + IAF_2) * (T_2 - T_1)}{2}$$

Hernández *et al.*, (1995)

Donde:

**DAF** = Duración de área foliar (días)

**IAF<sub>1</sub>** = Índice de área foliar a los 104 días después de la siembra

**IAF<sub>2</sub>** = Índice de área foliar a los 129 días después de la siembra

**T<sub>1</sub>** = Tiempo del primer corte (días)

**T<sub>2</sub>** = Tiempo del segundo corte (días)

### Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

Para evaluar la ganancia de biomasa en el área de superficie ocupada por la alfalfa en un periodo de tiempo, se empleó la tasa de crecimiento del cultivo, para lo cual se tomó 12 plantas por tratamiento a los 104 y 129 días después de la siembra, estas fueron colocadas en la estufa por 24 horas a 95 °C y pesadas en una balanza electrónica con la finalidad de obtener los valores de materia seca del primer y segundo corte, con estos valores se empleó la siguiente ecuación:

$$TCC = \frac{1}{P} * \frac{(MSf - MSi)}{(Tf - Ti)}$$

Hernández *et al.*, (1995)

Donde:

**TCC** = Tasa de crecimiento del cultivo ( $\frac{g}{cm^2 * días}$ )

**P** = Área foliar por unidad de superficie de suelo (cm<sup>2</sup>)

**MSi** = Materia seca total en los 104 días después de la siembra (g)

**MSf** = Materia seca total en los 129 días después de la siembra (g)

**Ti** = Tiempo del primer corte (días)

**Tf** = Tiempo del segundo corte (días)

#### **Tasa relativa de crecimiento (TRC)**

El crecimiento de materia seca en un periodo de tiempo se calculó a partir de la materia seca obtenida en el primer corte y el segundo corte. Este valor se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$TRC = \frac{(\ln MSf - \ln MSi)}{(Tf - Ti)}$$

Silva *et al.*, (2019)

Donde:

**TRC** = Tasa relativa de crecimiento (g/gd<sup>-1</sup>)

**MSi** = Materia seca total en los 104 días después de la siembra (g)

**MSf** = Materia seca total en los 129 días después de la siembra (g)

**Ti** = Tiempo del primer corte (días)

**Tf** = Tiempo del segundo corte (días)

#### **Tasa de asimilación neta (TAN)**

La ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en un determinado tiempo se calculó con los datos de índices foliares y materia seca total antes y después del corte. Para este parámetro se empleó la siguiente ecuación:

$$TAN = \frac{(MSf - MSi)}{(AFf - AFi)} * \frac{(\ln AFf - \ln AFi)}{(Tf - Ti)}$$

Silva *et al.*, (2019)

Donde:

**TAN** = Tasa de asimilación neta (g/cm<sup>2</sup>\* día)

**AFi** = Área foliar a los 104 días después de la siembra (g)

**AFf** = Área foliar a los 129 días después de la siembra (g)

**MSi** = Materia seca total en los 104 días después de la siembra (g)

**MSf** = Materia seca total en los 129 días después de la siembra (g)

**Ti** = Tiempo del primer corte (días)

**Tf** = Tiempo del segundo corte (días)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Resultados

##### Evaluación de las características físicas y químicas de la pomina

La evaluación de las características físicas de la pomina dio como resultado que, al someterle a la retención de la solución nutritiva, estas propiedades no sufrieron grandes cambios a comparación de las propiedades químicas, las cuales como el pH presentaron cambios por la capacidad de retención de agua que en este caso la pomina absorbió agua y nutrientes provenientes de la solución nutritiva causando un incremento en la alcalinidad. Por lo mencionado anteriormente se obtuvo una deposición de minerales, lo que aumento la conductividad eléctrica y dureza afectando al desarrollo del cultivo, por lo tanto, al presentar estos cambios se realizó lavados y chequeos constantes, logrando tener los valores presentados en las tablas 16 y 17.

##### Tabla 16

*Características físicas del sustrato de pomina para el cultivo de alfalfa*

Sustrato	Da (g.cm <sup>3</sup> )	PT (%)	CRH (%)
Pomina	0.563	77.55	39

*Nota.* La tabla indica la Da: densidad aparente, PT: porosidad total y CRH: capacidad de retención de humedad. Autoría propia

##### Tabla 17

*Características químicas del sustrato de pomina para el cultivo de alfalfa*

Sustrato	pH	CE (mS/cm)	TDS (ppm)
Pomina	6,4	0,08	187

*Nota.* La tabla indica el pH: potencial de hidrógeno, CE: conductividad eléctrica y TDS: total de sólidos disponibles. Autoría propia

## Obtención de datos morfológicos e índices de crecimiento del cultivo de alfalfa

Para cada periodo de corte se cosechó el 10% de plantas de cada cama, es decir, de cada tratamiento se recolectó 12 plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.), las cuales fueron sometidas a dos tipos de soluciones nutritivas, en las cuales se determinó el índice área foliar (IAF), altura (H), número de hojas (NH), número de brotes (NB), relación hoja/tallo (H:T), relación de área foliar (RAF), tasa de asimilación neta (TAN), duración de área foliar (DAF), tasa relativa de crecimiento (TRC) y la tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Los datos obtenidos se presentan en las tablas 18 y 19.

**Tabla 18**

*Datos obtenidos en el primer y segundo corte*

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	IAF	Altura (cm)	NH	NB	H: T	RAF (cm <sup>2</sup> /g)
S2V1C1	R1	3,662	44,042	74,167	3,250	1,229	7,091
S2V1C1	R2	7,011	54,808	147,000	5,167	0,945	13,673
S2V1C1	R3	5,336	49,425	110,583	4,208	1,087	10,382
S2V2C1	R1	3,000	49,942	122,833	4,333	1,523	5,023
S2V2C1	R2	4,014	48,613	128,667	5,000	1,567	7,049
S2V2C1	R3	5,029	47,283	134,500	5,667	1,611	9,075
S1V2C1	R1	4,261	49,417	96,583	4,250	1,657	8,040
S1V2C1	R2	1,881	35,642	53,667	2,667	2,241	3,677
S1V2C1	R3	2,724	40,958	76,500	3,583	1,961	4,673
S1V1C1	R1	1,965	40,292	76,167	3,417	1,566	3,741
S1V1C1	R2	2,881	55,033	151,667	5,333	1,728	5,692
S1V1C1	R3	2,061	44,242	62,667	3,250	1,480	3,665
S2V1C2	R1	13,747	63,167	156,333	8,667	1,161	15,020
S2V1C2	R2	12,385	65,875	170,500	9,667	1,260	15,557
S2V1C2	R3	13,066	64,521	163,417	9,167	1,210	15,289
S2V2C2	R1	10,570	59,083	124,125	6,917	1,225	14,910
S2V2C2	R2	10,541	54,967	132,438	9,125	1,307	14,394
S2V2C2	R3	10,513	50,850	140,750	11,333	1,390	13,878
S1V2C2	R1	11,172	56,867	112,917	6,500	1,514	15,194

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	IAF	Altura (cm)	NH	NB	H: T	RAF (cm <sup>2</sup> /g)
S1V2C2	R2	6,978	46,808	143,750	10,917	1,277	10,130
S1V2C2	R3	6,744	45,617	114,417	11,083	1,112	11,194
S1V1C2	R1	7,765	52,258	124,917	9,667	1,189	11,001
S1V1C2	R2	6,873	60,258	181,000	12,667	1,021	7,435
S1V1C2	R3	6,728	48,150	103,500	6,333	1,400	9,558

*Nota.* La tabla indica los datos del DCA de parcela subdividida donde IAF: índice de área foliar, NH: número de hojas, NB: Número de brotes, H:T: relación de hojas/tallo y RAF: relación de área foliar.

Autoría propia

**Tabla 19**

*Datos obtenidos en el periodo de crecimiento de la alfalfa*

TRATAMIENTO	TCC(g/cm <sup>2</sup> d)	TRC (g/g. d)	TAN (g/cm <sup>2</sup> d)	DAF (días)
S2V1	0,025	0,047	0,0033	7834,082
S2V1	0,011	0,018	0,0012	8728,388
S2V1	0,018	0,032	0,002	8281,235
S2V2	0,004	0,007	0,0007	6106,289
S2V2	0,006	0,010	0,001	6550,013
S2V2	0,008	0,013	0,0011	6993,738
S1V2	0,008	0,013	0,0011	6944,998
S1V2	0,007	0,012	0,0018	3986,529
S1V2	0,001	0,001	0,0002	4260,834
S1V1	0,007	0,012	0,0017	4378,317
S1V1	0,017	0,024	0,0036	4389,205
S1V1	0,006	0,009	0,0014	3954,966

*Nota.* La tabla indica los datos obtenidos para el DCA de parcela dividida, donde TCC: Tasa de crecimiento del cultivo, TRC: Tasa relativa de crecimiento, TAN: Tasa de asimilación neta y DAF: Duración del área foliar. Autoría propia

#### **Evaluación de los parámetros morfológicos e índices de crecimiento.**

En el DCA de parcela subdividida no se encontraron diferencias significativas en la triple interacción entre el tipo de solución nutritiva (solución 1 y solución 2), las variedades (CUF-101 y

Abunda Verde) y el tiempo de corte (primer y segundo corte), en las variables de altura, número de hojas, número de brotes, relación hoja/ tallo, índice de área foliar y relación de área foliar, como se indica en la tabla 20.

Sin embargo, se encontró diferencias significativas en la interacción doble entre el tipo de solución nutritiva y el tiempo de corte para la variable de relación hoja/ tallo con un  $F_{1,8} = 7,33$ ;  $p = 0,0268$ ; de igual manera se encontró un efecto significativo en la interacción doble entre el tipo de solución nutritiva y el tipo variedades de alfalfa para la variable de relación área foliar con un  $F_{1,8} = 7,67$ ;  $p = 0,0504$ , como se indica en la tabla 20.

De igual manera, al analizar las distintas interacciones se encontró un efecto significativo para el tipo de solución en las variables de altura con un  $F_{1,4} = 13,39$ ;  $p = 0,0216$  y para el índice de área foliar con un  $F_{1,4} = 20,95$ ;  $p = 0,0102$ . Asimismo, se encontró un efecto significativo en el tiempo de corte para las variables de altura con un  $F_{1,4} = 54,80$ ;  $p = 0,0001$ , índice de área foliar con un  $F_{1,4} = 157,22$ ;  $p < 0,0001$ , el número de brotes con un  $F_{1,4} = 70,40$ ;  $p < 0,0001$  y el número de hojas con un  $H = 5,60$ ;  $p = 0,0179$ , este último valor se lo visualiza en la tabla 22.

**Tabla 20**

*ANAVA de las variables morfológicas e índices de crecimiento del cultivo de alfalfa*

Fuentes de variación	F y P	Altura	Número de brotes	Relación hoja: tallo	Índice de área foliar	Relación área foliar
Solución	$F_{1,4}$	13,39	0,08	47,31	20,95	13,69
	P	0,0216*	0,7917	0,0023*	0,0102*	0,0208*
Variedad	$F_{1,4}$	1,32	0,0036	26,71	0,11	0,01
	P	0,3147	0,9549	0,0067*	0,7604	0,9266
Tiempo de corte	$F_{1,8}$	54,80	70,40	12,42	157,22	71,55
	P	0,0001*	<0,0001*	0,0078*	<0,0001*	<0,0001*
Solución*Variedad	$F_{1,4}$	2,2E-05	0,16	0,34	3,12	7,67
	P	0,9965	0,7061	0,5889	0,1522	0,0504*

Fuentes de variación	F y P	Altura	Número de brotes	Relación hoja: tallo	Índice de área foliar	Relación área foliar
Solución*Tiempo	F <sub>1,8</sub>	0,58	1,01	7,33	0,76	0,04
de corte	P	0,4696	0,3443	0,0268*	0,4102	0,8435
Variedad*Tiempo	F <sub>1,8</sub>	1,58	0,03	3,76	0,0046	2,19
de corte	P	0,2440	0,8782	0,0885	0,9478	0,1775
Solución*Variedad*	F <sub>1,8</sub>	3,42	0,27	0,13	0,18	0,06
Tiempo de corte	P	0,1016	0,6174	0,7306	0,6844	0,8123

Nota. *Nota.* La tabla muestra el resultado ANAVA para las características morfológicas para el DCA de parcela subdividida donde se identifican el F y P valor en cada variable, en el cual valores con \* de  $p < 0,05$ , muestran significancia. Autoría propia

En el DCA de parcela dividida se encontró diferencias significativas en la doble interacción entre el tipo de solución nutritiva (solución 1 y solución 2) y los tipos de variedades (CUF-101 y Abunda Verde) en la variable de duración de área foliar con un  $H = 54,80$ ;  $p = 0,0415$  como se indica en la tabla 22; sin embargo, para las variables de tasa de crecimiento del cultivo, tasa relativa de crecimiento y la tasa de asimilación neta no hubo diferencias significativas en esta interacción como se indica en la tabla 21.

Sin embargo, al analizar las distintas interacciones se encontró un efecto significativo para el tipo de variedades en las variables de tasa de crecimiento del cultivo con un  $F_{1,4} = 8,56$ ;  $p = 0,0430$ , la tasa relativa de crecimiento con un  $F_{1,4} = 7,99$ ;  $p = 0,0475$  y para la tasa de asimilación neta con un  $F_{1,4} = 9,43$ ;  $p = 0,0373^*$ , como se muestra en la tabla 21.

**Tabla 21**

*ANAVA de las variables de índices de crecimiento del cultivo de alfalfa*

Fuentes de variación	F y p	Tasa de crecimiento del cultivo	Tasas relativa de crecimiento	Tasa de asimilación neta
Solución	F <sub>1,4</sub>	2,02	3,03	0,02
	P	0,2279	0,1566	0,8993

Fuentes de variación	F y p	Tasa de crecimiento	Tasas relativa	Tasa de
		del cultivo	de crecimiento	asimilación neta
Variedad	F <sub>1,4</sub>	8,56	7,99	9,43
	P	0,0430*	0,0475*	0,0373*
Solución*Variedad	F <sub>1,4</sub>	1,66	2,49	0,0018
	P	0,2674	0,1898	0,9685

*Nota.* La tabla muestra el resultado ANAVA para los índices de crecimiento para el DCA de parcela dividida donde se identifican el F y P valor de cada variable, en el cual valores con \* de  $p < 0,05$ , muestran significancia. Autoría propia

**Tabla 22**

*Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis*

Fuentes de variación	Número de hojas		Duración de área foliar	
	H	P	H	P
Solución	3,20	0,0735	6,56	0,0087*
Variedad	0,85	0,3556	0,41	0,5887
Tiempo de corte	5,60	0,0179*	-	-
Solución*Variedad	4,14	0,2467	8,23	0,0415*
Solución* Tiempo de corte	8,82	0,0318*	-	-
Variedad*Tiempo de corte	7,02	0,0713	-	-
Solución* Variedad* Tiempo de corte	11,65	0,11	-	-

*Nota.* La tabla muestra el resultado de la prueba no paramétrica para las variables de número de hojas (DCA de parcela subdividida) y duración de área foliar (DCA de parcela dividida), donde se identifican el H y el P valor de cada variable, en el cual valores con \* de  $p < 0,05$ , muestran significancia. Autoría propia

### Altura de la planta

Al analizar las distintas interacciones se encontró un efecto significativo para el tipo de solución nutritiva con un  $F_{1,8} = 13,39$ ;  $p = 0,0216$  y el tiempo de corte con un  $F_{1,8} = 54,80$ ;  $p = 0,0001$  sobre la variable de altura.

Al analizar cada factor se encontró que existe un efecto significativo a un nivel de confianza del 5% en el tiempo de corte, donde las plantas cortadas a los 129 días después de la siembra (segundo corte) presentaron un mayor tamaño con una altura promedio de  $55,70 \pm 7,03$  cm a comparación de las plantas cortadas a los 104 días después de la siembra (primer corte) con una altura promedio de  $46,64 \pm 5,83$  cm (Tabla 24). De acuerdo con Proaño (2015) estos resultados se encuentran en lo correcto debido a que en su estudio manifiesta que a partir del segundo corte el cultivo de alfalfa se establece logrando alcanzar alturas entre los 50 a 90 cm, lo que concuerda con el estudio de Timana (2015) donde menciona que después del primer corte la alfalfa tiene almacenado alimentos en la corona y raíz, los cuales desempeñan un papel importante dado que de estos dependerá el vigor y la recuperación del cultivo después del corte permitiendo un rápido crecimiento de la alfalfa.

Dentro de esta misma variable se encontró un efecto significativo para el tipo de solución nutritiva a un nivel de significancia del 5% en donde las plantas tratadas con la solución nutritiva 2 presentaron una mayor altura de  $54,38 \pm 7,28$  cm a diferencia de las plantas tratadas con la solución nutritiva 1 las cuales presentaron una altura de  $47,96 \pm 7,27$  cm (Tabla 23) esto puede ser debido a las concentraciones de los macronutrientes de cada solución nutritiva, dado que en la solución nutritiva 2 se encuentran en mayor cantidad, como lo señala Sánchez (2005) las plantas que son fertilizadas con una mayor cantidad de fósforo tienen un mejor desarrollo en tamaño y altura, esto debido a que el fósforo es necesario en el proceso de la fotosíntesis y formación de los compuestos orgánicos, de igual manera es de suma importancia para la respiración celular, almacenamiento y transporte de energía, logrando fomentar enraizamiento y desarrollo del tallo. Asimismo, Díaz (2014) menciona que los nutrientes como el N y Ca tienen amplia relación con la síntesis y acción de las giberelinas, las cuales son hormonas que estimulan el crecimiento principalmente vía división y alargamiento celular, siendo protagónicas en este último, dando como resultado una mayor elongación en el tallo al incrementar la extensibilidad de la pared.

### **Número de brotes**

Se encontró un efecto significativo para el tiempo de corte con un  $F_{1,8} = 70,40$ ;  $p < 0,0001$  sobre el número de brotes de la planta de alfalfa

Al establecer el análisis de la varianza para el número de brotes o tallos por corona se determinó que no existió diferencias significativas para la triple interacción, pero si existió un efecto significativo para el tiempo de corte a un nivel de significancia del 5%, donde las plantas de alfalfa cortadas a los 129 días (segundo corte) presentaron un mayor número de brotes promedio de  $9,34 \pm 2,01$ , que las plantas cortadas a los 104 días (primer corte), esto debido a que al realizar el primer corte las yemas axilares se estimulan para generar nuevos brotes. Estos resultados coinciden con Romero (1995) el cual menciona que los brotes o tallos de la corona aumentan con la madurez y la frecuencia de corte. De igual manera, Tovar (1962) menciona que al realizar cortes con más frecuencia se obtienen mayor número de brotes, siempre y cuando los cortes sean realizados cuando la planta tenga el 10% de floración, dado que en esta etapa la planta tiene mayor número de hojas, la corona y raíz han acumulado materias de reserva para mantenerse en los primeros días después del corte, a su vez menciona que al cortar alta deja tallos ramificados y yemas que permiten un rebrote continuo.

### **Número de hojas**

Al no cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se realizó el análisis de la varianza no paramétrica de Kruskal Wallis. En donde no se encontraron diferencias significativas para la triple interacción entre el tipo de solución nutritiva (solución 1 y solución 2), las variedades de alfalfa y el tiempo de corte (primer y segundo corte), sobre la variable de número de hojas con un  $H = 11,75$ ;  $p = 0,1126$ .

Sin embargo, al analizar todas las interacciones se encontró un efecto significativo en la interacción doble entre el tipo de solución nutritiva y el tiempo de corte a un nivel de significancia del 5%, en donde las plantas tratadas con la solución nutritiva 2 y cortadas a los 129 días (segundo corte)

presentan un mayor número de hojas en promedio de  $147 \pm 18,32$  que las plantas tratadas con la solución nutritiva 1 y cortadas a los 104 días (primer corte)(Tabla 25). Estos datos coinciden con el estudio de Mendoza et al., (2010) el cual menciona que se obtiene una mayor calidad nutritiva a partir del segundo corte debido a que la planta de alfalfa presenta un mayor porcentaje de número de hojas, otro factor que influye en el parámetro de número de hojas es la cantidad de macronutrientes, en especial del nitrógeno el cual está en gran cantidad en la solución nutritiva 2 permitiendo que se desarrollen nuevas hojas, este dato lo corrobora Huera (2003) el cual indica que el nitrógeno es usado por las plantas para producir hojas y mantener un buen color verde, en otras palabras es el responsable de la formación de masa vegetal, esto dado que el nitrógeno participa en la formación y síntesis de proteínas y en el proceso de fotosintéticos.

### **Índice de área foliar**

Se encontró un efecto significativo para el tipo de solución con un  $F_{1,4} = 20,95$ ;  $p = 0,0102$  y el tiempo de corte con un  $F_{1,8} = 157,22$ ;  $p < 0,0001$  sobre el índice del área foliar de la planta de alfalfa.

Mediante el análisis de varianza en el parámetro de índice de área foliar se encontró un efecto significativo entre los tipos de solución nutritiva a un nivel de significancia del 5%, donde las plantas tratadas con la solución nutritiva 2 mostraron valores altos para el índice de área foliar con un promedio de  $8,24 \pm 3,97$  que las plantas tratadas con la solución nutritiva 1 cuyo valor promedio fue de  $5,17 \pm 2,96$ , se debe tener en cuenta que estos valores están directamente relacionados al número de hojas y a su área foliar por lo que al obtener más hojas con la solución nutritiva 2, se obtuvo un mayor índice de área foliar, como se indica en la tabla 23. Además, se debe tener en cuenta que al tener más contenido de macronutrientes en la solución 2 se obtuvo una mayor elongación en las hojas, esto lo corrobora Díaz (2014) que menciona que al tener más contenido de calcio este activa a las auxinas, las cuales son las encargadas de crecimiento vía división y alargamiento celular de las hojas, logrando de esta manera un mayor área foliar.

El otro factor que tuvo un efecto significativo fue el periodo de corte dado a que las plantas cortadas a los 129 días después de la siembra (segundo corte) presentaron un mayor promedio de índice de área foliar con un promedio de  $9,76 \pm 2,63$ , que las plantas cortadas a los 104 días después de la siembra (primer corte) con un promedio de  $3,65 \pm 1,56$  (Tabla 24) Estos datos coinciden con Mendoza et al., (2010) en donde menciona que se obtienen datos mayores del índice de área foliar a partir del segundo corte, debido a que la planta ya se encuentra establecida generando mayor número de brotes y consiguiente un mayor número de hojas.

**Tabla 23**

*Media  $\pm$  desviación estándar para las variables de altura e índice de área foliar*

Solución	Altura	IAF
S1	$47,96 \pm 7,27$ b	$5,17 \pm 2,96$ b
S2	$54,38 \pm 7,28$ a	$8,24 \pm 3,97$ a

*Nota.* La tabla indica la media  $\pm$  desviación estándar, donde medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Autoría propia

**Tabla 24**

*Media  $\pm$  desviación estándar para las variables de altura, número de brotes e índice de área foliar*

Corte	Altura	Número de Brotes	IAF
C1	$46,64 \pm 5,83$ b	$4,18 \pm 0,96$ b	$3,65 \pm 1,56$ b
C2	$55,70 \pm 7,03$ a	$9,34 \pm 2,01$ a	$9,76 \pm 2,63$ a

*Nota.* La tabla indica la media  $\pm$  desviación, donde medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ). Autoría propia

### **Relación Hoja/Tallo (H: T)**

Se encontró un efecto significativo para la interacción entre el tipo de solución y el tiempo de corte con un  $F_{1,8} = 7,33$ ;  $p = 0,0268$  sobre la relación de hoja/tallo de la planta de alfalfa (*Medicago sativa* L)

De acuerdo a los resultados obtenidos para la variable relación hoja/tallo no se encontró diferencias significativas para la triple interacción, pero si hubo un efecto significativo para la interacción doble entre el tipo solución nutritiva y el tiempo de corte a un nivel de significancia del 5%, donde las plantas del primer corte tratadas con la solución nutritiva 1 presentaron una mayor relación de hoja/tallo con un promedio de  $1,77 \pm 0,28$  que las plantas cortadas a los 129 días (segundo corte) y sometidas a la solución nutritiva 2 las cuales presentan promedio de  $1,26 \pm 0,08$  (Tabla 25). Estos datos no coinciden con el estudio realizado por Tovar (1962) donde se obtuvo una mayor relación de hoja/tallo en el segundo corte a comparación del primer corte, sin embargo, se debe tener en cuenta que en ese estudio la relación de hoja/tallo fue menor a 1 en el primer corte, a diferencia de la presente investigación donde se obtuvo un valor mayor de 1, esto demostrando que la alfalfa es de buena calidad dado a que Dammer (2004) menciona que para tener una planta de alfalfa de calidad el valor de la relación hoja/ tallo debe de ser igual o superior a 1.

**Tabla 25**

*Media  $\pm$  desviación estándar para las variables de número de hojas y relación de hoja/tallo*

<b>Tratamiento</b>	<b>Número de hojas</b>	<b>Relación Hoja /Tallo</b>
S1C1	86,21 $\pm$ 35,22 b	1,77 $\pm$ 0,28 a
S1C2	130,08 $\pm$ 28,47 ab	1,25 $\pm$ 0,18 b
S2C1	119,63 $\pm$ 25,34 ab	1,33 $\pm$ 0,28 b
S2C2	147,93 $\pm$ 18,32 a	1,26 $\pm$ 0,08 b

*Nota.* La tabla indica la media  $\pm$  desviación estándar para la variable de número de hojas de la planta de alfalfa, donde medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ). Autoría propia

### **Relación del área foliar**

Se encontró un efecto significativo para la interacción doble entre el tipo de solución nutritiva y el tiempo de corte con un  $F_{1,4} = 7,67$ ;  $p = 0,0504$  sobre la relación del área foliar de las plantas de alfalfa.

Al evaluar la relación del área foliar se encontró que existió diferencias significativas a un nivel del 5% para la interacción doble entre el tipo de solución nutritiva y las variedades de alfalfa, donde las plantas de alfalfa variedad CUF-101 tratadas con la solución nutritiva 2, mostraron diferencias altas para el valor de la relación del área foliar con un promedio de  $12,84 \pm 3,40 \text{ cm}^2/\text{g}$ , que las plantas de alfalfa variedad CUF-101 tratadas con la solución nutritiva 1 las cuales presentan un promedio de  $6,85 \pm 3,04 \text{ cm}^2/\text{g}$  (Tabla 26). Estos datos indican que las plantas tratadas con la solución nutritiva propuesta en la investigación la cual tiene un mayor contenido de macronutrientes tienden a desarrollar más número de hojas y por ende más cantidad de material asimilatorio por unidad de materia seca. De acuerdo con Quero (2018) la relación del área foliar va a depender de la nutrición y el manejo de las plantas, es decir, si las plantas tienen los nutrientes necesarios van a obtener valores altos en el índice de relación de área foliar.

#### **Duración del área foliar (DAF)**

Al no cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se realizó el análisis de la varianza no paramétrica de Kruskal Wallis. En donde se encontraron diferencias significativas para la doble interacción entre el tipo de solución nutritiva (solución 1 y solución 2) y las variedades (Cuf-101 y Abunda Verde), sobre la variable de número de hojas con un  $H = 8,23$ ;  $p = 0,0415$ .

Al realizar el análisis de la varianza no paramétrica para la duración del área foliar de la alfalfa se encontró que existió un efecto significativo a un nivel del 5% en la interacción doble entre el tipo de solución nutritiva y el tipo de variedad de la alfalfa, donde las plantas de alfalfa variedad CUF-101 tratadas con la solución nutritiva 2, presentaron un DAF promedio mayor de  $230,03 \pm 12,42$  días, que las plantas de alfalfa variedad CUF-101 tratadas con la solución nutritiva 1 con un DAF promedio de  $117,80 \pm 3,33$  días (Tabla 26). Estos valores nos indican el potencial fotosintético que tiene la corona, demostrando que al tratar a las plantas con la solución nutritiva 2 se obtiene un mayor potencial fotosintético. De acuerdo con Rojas et al., (2016) este valor obtenido es alto para la variedad CUF-101,

demostrando así que al sembrar esta variedad en un sistema semi-hidropónico se logró aumentar su potencial fotosintético. Asimismo, al suministrar a las plantas más cantidad de nitrógeno en la solución nutritiva dos se logra un mayor DAF y esto lo corrobora LLuna (2006) el cual menciona que el nitrógeno está directamente relacionado con la acción de las citoquininas, las cuales son hormonas que evitan la senescencia en las hojas, con llevando a que la duración de área foliar sea mayor.

**Tabla 26**

*Media ± desviación estándar para las variables de relación de área foliar y duración de área foliar*

<b>Tratamiento</b>	<b>RAF (cm<sup>2</sup>/g)</b>	<b>(DAF)</b>
S1V1	6,85 ± 3,04 b	117,80 ± 6,88 a
S1V2	8,82 ± 4,30 ab	140,67 ± 45,41 a
S2V1	12,84 ± 3,40 a	181,94 ± 12,33 a b
S2V2	10,72 ± 4,23 ab	230,03 ± 12,42 b

*Nota.* La tabla indica la media ± desviación estándar para la variable relación del área foliar, donde medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ). Autoría propia

#### **Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)**

Se encontró un efecto significativo para el tipo de variedad con un  $F_{1,4} = 8,56$ ;  $p = 0,0430$  sobre la tasa de crecimiento del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L).

Existieron diferencias significativas para las variedades de alfalfa a un nivel de significancia del 5%, donde las plantas de alfalfa variedad CUF-101, mostraron diferencias altas para el valor de la tasa de crecimiento del cultivo que las plantas de alfalfa variedad Abunda Verde.

#### **Tasa relativa de crecimiento (TRC)**

Se encontró un efecto significativo para el tipo de variedad con un  $F_{1,4} = 7,99$ ;  $p = 0,0475$  sobre la tasa relativa de crecimiento del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L).

Existieron diferencias significativas para las variedades de alfalfa a un nivel de significancia del 5%, donde las plantas de alfalfa variedad CUF-101, mostraron diferencias altas para el valor de la tasa relativa de crecimiento del cultivo que las plantas de alfalfa variedad Abunda Verde.

### **Tasa de asimilación neta (TAN)**

Se encontró un efecto significativo para el tipo de variedad con un  $F_{1,4} = 9,43$ ;  $p = 0,0373$  sobre la tasa de asimilación neta del cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L).

Existieron diferencias significativas para las variedades de alfalfa a un nivel de significancia del 5%, donde las plantas de alfalfa variedad CUF-101, mostraron diferencias altas para el valor de la tasa de asimilación neta del cultivo que las plantas de alfalfa variedad Abunda Verde.

Para los parámetros de TCC, TRC y TAN, no se encontró diferencias significativa para la interacción doble entre el tipo de solución nutritiva y el tipo de variedad de la alfalfa, sin embargo, al evaluar cada factor se coincide que en las tres variables de estudio existió un efecto significativo en el tipo de variedad a un nivel de significancia del 5%, dado que las plantas de alfalfa variedad CUF-101 presentaron un valor promedio mayor en la tasa de crecimiento del cultivo con  $0,014 \pm 0,007$  g/cm<sup>2</sup>.d, tasa relativa de crecimiento de  $0,024 \pm 0,014$  g/g.d y una tasa de asimilación neta de  $0,002 \pm 0,001$  g/cm<sup>2</sup>.d, a comparación de las plantas de alfalfa variedad Abunda Verde que presentaron un valor promedio menor con una tasa de crecimiento del cultivo de  $0,006 \pm 0,003$  g/cm<sup>2</sup>.d, tasa relativa de crecimiento de  $0,009 \pm 0,005$  g/g.d y una tasa de asimilación neta de  $0,001 \pm 0,001$  g/cm<sup>2</sup>.d, como se indica en la tabla 27. Estos datos coinciden con lo mencionado por Burboa et al., (1996) en donde resalta que las plantas de alfalfa variedad CUF-101 dadas un correcto manejo y una adecuada nutrición logra presentar los más altos índices de crecimiento y producción a comparación de otras variedades.

**Tabla 27**

*Media ± desviación estándar para la tasa de crecimiento de cultivo, tasa relativa de crecimiento y tasa de asimilación neta.*

<b>Variedad</b>	<b>TCC (g/cm<sup>2</sup>d)</b>	<b>TRC (g/g d)</b>	<b>TAN (g/cm<sup>2</sup>d)</b>
V1	0,014 ± 0,007 a	0,024 ± 0,014 a	0,002 ± 0,001 a
V2	0,006 ± 0,003 b	0,009 ± 0,005 b	0,001 ± 0,001 b

*Nota.* La tabla indica la media ± desviación estándar para la variable de la tasa de crecimiento del cultivo, donde medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ). Autoría propia

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

- Las características morfológicas e índices de crecimiento de las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo el sistema semi- hidropónico en sustrato de pomina se encontró que la variedad CUF-101 tratada con la solución nutritiva 2 y cortadas a los 129 días (segundo corte) presentaron mejores características.
- Las plantas de alfalfa variedad CUF-101 presentaron los mejores índices de crecimiento, dado a que se obtuvo una tasa de crecimiento del cultivo del 0,014 g/cm<sup>2</sup>d, tasa relativa de crecimiento de 0,024 g/g d y una tasa de asimilación neta de 0,002 g/cm<sup>2</sup>d a comparación de las plantas de alfalfa variedad Abunda Verde las cuales presentaron valores menores con una tasa de crecimiento del cultivo del 0,006 g/cm<sup>2</sup>d, tasa relativa de crecimiento de 0,009 g/g d y una tasa de asimilación neta de 0,001g/cm<sup>2</sup>d.
- La solución propuesta en la investigación obtuvo mejores resultados que la solución nutritiva 1 en cuanto a las características morfológicas e índice de crecimiento para las plantas de alfalfa variedad CUF-101 y cortadas a los 129 días después de la siembra (segundo corte) dado a que se obtuvo una altura 54,38cm, número de hojas 147,93, número de brotes 9,34, índice de área foliar 8,24, relación de área foliar 12,84 cm<sup>2</sup>/g y duración de área foliar 230,03 días, a excepción de la variable de la relación de hoja/tallo en donde se obtuvo mejores resultados en las plantas de alfalfa tratadas con la solución nutritiva 1 y cortadas a los 104 días con un valor de 1,77.

## Recomendaciones

- Se recomienda emplear la solución nutritiva 2 en las plantas de alfalfa variedad de alfalfa CUF-101 puesto a que se obtiene mejores resultados en cuanto a las características morfológicas e índices de crecimiento tanto en el primer y segundo corte, permitiéndole a los productores obtener una mayor producción y por ende una mayor rentabilidad.
- Se recomienda realizar una nueva investigación con las plantas de alfalfa variedad CUF-101 tratadas con la solución nutritiva dos, pero ya no bajo un sistema semi – hidropónico si no en suelo, para observar si se obtiene los mismos resultados en cuanto a las características morfológicas e índices de crecimiento.

## Bibliografía

- Agrosad. (2021, Septiembre 12). *Semillas de pastos de clima frío*. Agrosad. <https://agrosad.com.ec/index.php/linea-pecuaria/semillas-de-pastos/semillas-de-pastos-clima-frio/alfalfa-cuf-101-detail#:~:text=Semilla%20de%20leguminosa%20recubierta%20con%20inoculante%2C%20fungicida%20y%20fertilizante.&text=Variedad%20de%20gran%20vigor%2C%20desarrollada,pulg%C3%B3n%20verde%20y%20pulg%C3%B3n%20azul>.
- Aguilar-García, L., Alberto Escalante-Estrada, J., Fucikovsky-Zak, L., Tijerina-Chávez, L., & Mark Engleman, E. (2005). Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol Leaf Area, Net Assimilation Rate, Yield and Plant Density in Sunflower. *Terra Latinoamericana*, 23 (3), 3–5. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311101001.pdf>
- Archila P', J., Contreras N', U. H., Pinzor«, H., & Laverde P', H. (1998). *Análisis de crecimiento de cuatro materiales de lechuga (Lactuca sativa)*. *Agronomía Colombiana*, 15(1), 1–3. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/34268>
- Barrientos, H., Castillo, R., & García, M. (2015). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 4–8. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2409-16182015000100010](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182015000100010)
- Basigalup, D. (2007, Junio 21). El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-el\\_cultivo\\_de\\_la\\_alfalfa\\_en\\_la\\_argentina.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-el_cultivo_de_la_alfalfa_en_la_argentina.pdf)
- Burboa, F., Ibarra, G., Zapata, M., Cabanillas, R., & Lizárraga, G. (1996). Índices fisiológicos y de crecimiento de diferentes variedades de alfalfa en la región central de Sonora. *Patronato Del Centro de*

- Investigaciones Pecuarias Del Estado de Sonora, A.C.*, 10(1), 3–7.  
<https://www.patrocipes.org.mx/publicaciones/forrajes/F96004.html>
- Casierra, F., Peña, G., & Peña, J. (2008). Estimación indirecta del área foliar en *Fragaria vesca* L., *Physalis peruviana* L., *Acca sellowiana* (Berg.) Burret, *Rubus glaucus* L., *Passiflora mollissima* (Kunth) L. H. Bailey Y *Ficus carica* L. *Scielo*, 11(1), 2–4.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262008000100012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262008000100012)
- Chávez, M. (2010). *Definición de parámetros ideales para el almacenamiento y preservación de pacas de heno bajo condiciones naturales para la disponibilidad de un buen alimento para el ganado*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional ]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2123>
- Colorado, F., Rodríguez, D., & Cortés, J. (2010). Análisis de crecimiento de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) en la Sabana de Bogotá, bajo dos condiciones ambientales. *Ciencias Agropecuarias y Biológicas*, 13(1), 4–7. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262010000100012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262010000100012)
- Dammer, M. (2004). Adaptación de cuatro variedades de Alfalfa. *La Granja. Revista de Ciencias de La Vida*, 5(1), 1–9. <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047389003.pdf>
- Di Rienzo, J., Balzarini, L., Gonzalez, F., Casanoves, F., & Tablada, M. (2010, Septiembre 29). *InfoStat Software Estadístico*. Infostat. <https://www.infostat.com.ar/>
- Díaz, D. (2014). Hormonas Vegetales y Biorreguladores para la Agricultura. *Fertilab*, 4(2), 4–8.  
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-hormonas-vegetales-en-las-plantas>
- Encalada, J. (2020). *Evaluación de tres soluciones nutritivas en el rendimiento y calidad de dos variedades de Fragaria x ananassa “fresa” en un sistema semihidropónico* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/24771>
- Flórez-Delgado, D. F. (2015). La alfalfa (*Medicago sativa*): origen, manejo y producción. *Conexagro*, 5(1), 27–43. <https://revista.jdc.edu.co/index.php/conexagro/article/view/520>

Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (Fontagro, 2020). Tasa de crecimiento relativo de las gramíneas.

<https://www.fontagro.org/new/exportartech/verPDF/73/es#:~:text=La%20TCR%20es%20un%20atributo,condiciones%20%C3%B3ptimas%20para%20el%20crecimiento.>

Gardner, F., & Pearce, B. (2000). Fijación de carbono por los cultivos. *Physiology of Crop Plants*, 1(1), 31–57.

[http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/ecofisiologia/FIJACION\\_DE\\_CARBONO\\_POR\\_LOS\\_CULTIVOS.pdf](http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/ecofisiologia/FIJACION_DE_CARBONO_POR_LOS_CULTIVOS.pdf)

González, C. (2011). *Producción de forraje verde mediante diferentes técnicas hidropónicas en dos cultivos y ajuste de sus factores de producción* [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Química Aplicada]. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/294>

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>

Hernández, M., Casa, A., Martínez, O., & Galvis, J. (1995). Análisis y estimación de parámetros e índices de crecimiento del árbol de maraco ( *Theobroma bicolor*H.B.K.) a primera floración 1. *Agronomía Colombiana*, , 7(1), 182–191. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/34218>

Herrera, D. (2011, Agosto 4). *Ficha técnica alfalfa CUF-101*. Impulsemillas. <https://issuu.com/almagan/docs/ficha-tecnica-alfalfa-cuf-101>

Huera, E. (2003). *Determinación de la integral térmica y niveles óptimos de fertilización (K, Ca, Mg) en alfalfa (Medicago saliva)*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2020). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua ESPAC*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

- Institución dedicada a la capacitación agrícola y a la transferencia de tecnología (Intagri, 2016, Septiembre 3). El Índice de Área Foliar (IAF) y su Relación con el Rendimiento del Cultivo de Maíz. <https://www.intagri.com/articulos/cereales/el-indice-de-area-foliar-iaf> -
- Lara, C., & Jurado, P. (2014, Septiembre 28). Paquete tecnológico para producir alfalfa en el estado de Chihuahua. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. <https://www.producechihuahua.org/paqs/PT-0010Alfalfa.pdf>
- Liendo, M., González, A., Olea, L., Alegre, A., Suárez, L., Guerineau, M., Martín, G., & Toll, J. (2019). Relación Hoja-Tallo en el estado fenológico de floración, en gramíneas naturales y cultivadas del Chaco Occidental Semiárido del departamento Trancas, Tucumán, Argentina. *Agron. Noroeste Argent*, 39(1), 1–7. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2314-369X2019000100005](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-369X2019000100005)
- LLuna, R. (2006, Octubre 21). *Hormonas vegetales: crecimiento y desarrollo de la planta*. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Reguladores%20general.pdf>
- López, E. (2019). *Evaluación de dos sustratos para la producción de tres cultivares de tomate cherry (Lycopersicum esculentum Mill) Var. Cerasiforme (Dunal) en invernadero* [Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10738>
- López, M., Samán, Y., Figueroa, M., & García, D. (2021, Agosto 9). Informe de Comercio Exterior Alfalfa y Pellets de Alfalfa. *ProSalta*. <https://prosalta.org.ar/wp-content/uploads/2021/08/informe-de-comercio-exterior-alfalfa-y-pellets-de-alfalfa-final-1-1.pdf>
- Luna, J., López, C., Hernández, A., Martínez, P., & Ortega, M. (2017). Evaluación del rendimiento de materia seca y sus componentes en germoplasma de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(3), 1–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4440>

- Mendoza, C., Ramírez, C., Ojeda, W., & Flores, H. (2020). Estimación de índice de área foliar y rendimiento de chile poblano cultivado en invernadero. *Scielo*, 9(1), 39-41.  
<https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.04.009>
- Mendoza, P. (2020, Febrero 16). *Alfalfa Abunda Verde Morada*. AGROSCOPIO.  
<https://agroscoPIO.com/producto/alfalfa-abunda-verde-morada/#:~:text=ABUNDA%2OVERDE%3A%20Variedad%20muy%20precoz,Desarrollada%20principalmente%20para%20pastoreo%20continuo>.
- Mendoza, S., Hernández, A., Pérez, J., Quero, A., Escalante, A., Zaragoza, J., & Ramírez, O. (2010). Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(3), 1-4. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242010000300008](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242010000300008)
- Molina, I., & Reconco, J. (2020). *Evaluación de la producción de (Fragaria spp) bajo sistema semi-hidropónico y tradicional utilizando dos sustratos, módulo agrícola UCATSE - Estelí, 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Católica del Trópico Seco "Pbro. Francisco Luis Espinoza"].  
<http://repositorio.unflep.edu.ni/77/1/D0021-2020.pdf>
- Mora, J. (2005). *Adaptación de ocho variedades comerciales de alfalfa (Medicago sativa) sobre los 2900 m.s.n.m. en el sector de Pailones de la Hda. El Prado* [Proyecto de investigación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/5135>
- Morales, J., Morales, J., Díaz, E., Cruz, J., Medina, N., & Guerrero, M. (2015). Tasa de asimilación neta y rendimiento de girasol en función de urea y urea de liberación lenta. *Scielo*, 49(2), 3-5.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952015000200005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000200005)
- Morales, M. (2022). *Respuesta de la fresa (Fragaria x ananassa) a la aplicación de té de estiércol equino bajo condiciones semi hidropónicas en 4 tipos de sustrato* [Trabajo de titulación, Universidad

- Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/28258/1/UCE-FAG-CIA-MORALES%20MARCO.pdf>
- Permacultura. (2020, Agosto 19). *Plantación en marco real*. Permacultura México. <https://www.permacultura.org.mx/es/herramientas/formulario/marco-real/>
- Pombosa, A. (2016). *Determinación de las etapas fenológicas del cultivo de alfalfa (Medicago sativa) var. Morada Paisana bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos* [Proyecto de investigación, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/19819/1/Tesis-123%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20383.pdf>
- Proaño, D. (2015). *Selección in situ mediante parámetros productivos de variedades cultivadas e introducidas de alfalfa, en Angamarca-Prov. Cotopaxi* [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/24771>
- Quero, A. (2018, Diciembre 4). Defoliación, Rebrote y Fisiología de Gramíneas en Praderas. *Colpos*. <http://fz.uach.mx/util/2018/04/12/1.%20DEFOLIACION%20REBROTE%20Y%20FISIOLIOGIA%20Dr%20Quero.pdf>
- Rojas, A., Hernández, A., Cansino, S., Maldonado, M., Mendoza, S., Álvarez, P., & Torres, M. (2016). Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. *Ciencias Agrícolas*, 7(8), 1855–1866. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342016000801855#:~:text=Existe%20una%20alta%20relaci%C3%B3n%20positiva,altura%20de%20planta%20y%20viceversa.](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000801855#:~:text=Existe%20una%20alta%20relaci%C3%B3n%20positiva,altura%20de%20planta%20y%20viceversa.)
- Romero, N., Comerón, E., & Ustarroz, E. (1995). Manejo y utilización de la alfalfa. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria *INTA*, 1(1), 1–3. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_alfalfa/26-crecimiento\\_y\\_utilizacion.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_alfalfa/26-crecimiento_y_utilizacion.pdf)

- Sánchez, J. (2005). *Rendimiento y calidad de la alfalfa mediante la aplicación de fósforo y riego por goteo subsuperficial* [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"].  
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7584/JOSE%20ELIGIO%20SANCHEZ%20HERNANDEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Santos, B., & Ríos, D. (2016). *Cálculo de Soluciones Nutritivas En suelo y sin suelo*. Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife (Vol. 1).  
[https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro\\_622\\_soluciones\\_nutritivas.pdf](https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf)
- Sheaffer, C., & Marten, G. (1987, Junio 12). Alfalfa harvest. Management strategies for the 1990s. *Crop and Soils*. <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/265290-La-calidad-en-la-alfalfa.html>
- Silva, H., Arrigada, C., & Baginsky, C. (2019). *Efecto de la fecha de siembra en la tasa de crecimiento relativo, tasa de asimilación neta y parámetros derivados en Chia (Salvia hispanica L.) establecida en la Región Metropolitana, Chile*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile].  
[http://www.chia.uchile.cl/docs/articulos/5-analisis-de-crecimiento-chia\\_\(140315\)1\(1\).pdf](http://www.chia.uchile.cl/docs/articulos/5-analisis-de-crecimiento-chia_(140315)1(1).pdf)
- Soriano, S. (2003). *Importancia del Cultivo de Alfalfa (Medicago sativa L.) en el Estado de Baja California Sur*. [Monografía, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"].  
[http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1257/IMPORTANCIA%20DEL%20CULTIVO%20DE%20LA%20ALFALFA%20\(Mdicago%20sativa%20L.\)%20EN%20EL%20ESTADO%20DE%20BAJA%20CALIFORNIA%20SUR.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1257/IMPORTANCIA%20DEL%20CULTIVO%20DE%20LA%20ALFALFA%20(Mdicago%20sativa%20L.)%20EN%20EL%20ESTADO%20DE%20BAJA%20CALIFORNIA%20SUR.pdf?sequence=1)
- Timana, N. (2015). *Efectos de la fertilización química-orgánica en el rendimiento de dos variedades de Alfalfa (Medicago sativa L.), en la comunidad de Calpaquí, provincia de Imbabura* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/738>
- Tovar, J. (1962). Frecuencia de corte en la alfalfa (Medicago sativa L.). *Acta Agronómica*, 7(3), 15–23.  
[https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/48947](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/48947)

Trucco, R. (2020, Mayo 22). *Determinación de la relación hoja tallo y del contenido de carbohidratos en alfalfa (Medicago Sativa L.)*.

<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/2205/R154.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/handle/21000/21025>

Vallejo, T. (1999). *Comportamiento de cinco variedades y dos híbridos de alfalfa para corte en condiciones hidropónicas segunda parte* [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].