



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**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



# INTRODUCCIÓN



Es un cultivo perenne, empleado principalmente como forraje para alimentación animal.



## Ciclo fenológico

- Estado vegetativo
- Botón floral
- Floración
- Fructificación

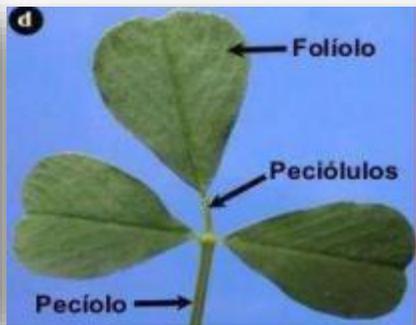


## Características

- Gran cantidad de materia seca
- Alto contenido de proteína
- Palatabilidad y digestibilidad



- Azuay con 392,84 ha.
- Pichincha con 149,62 ha.
- Cotopaxi con 294,85 ha



# JUSTIFICACIÓN



- Uso excesivo de agroquímicos
- Infertilidad del suelo
- Pastos con bajo contenido nutricional

Malas prácticas agrícolas

Disminución en la producción

- Estrés
- Baja conversión alimenticia.
- Enfermedades

- Forrajes con alto contenido nutricional.
- Disminución de tiempo y costos de producción

Cultivos semi-hidropónicos





# 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.

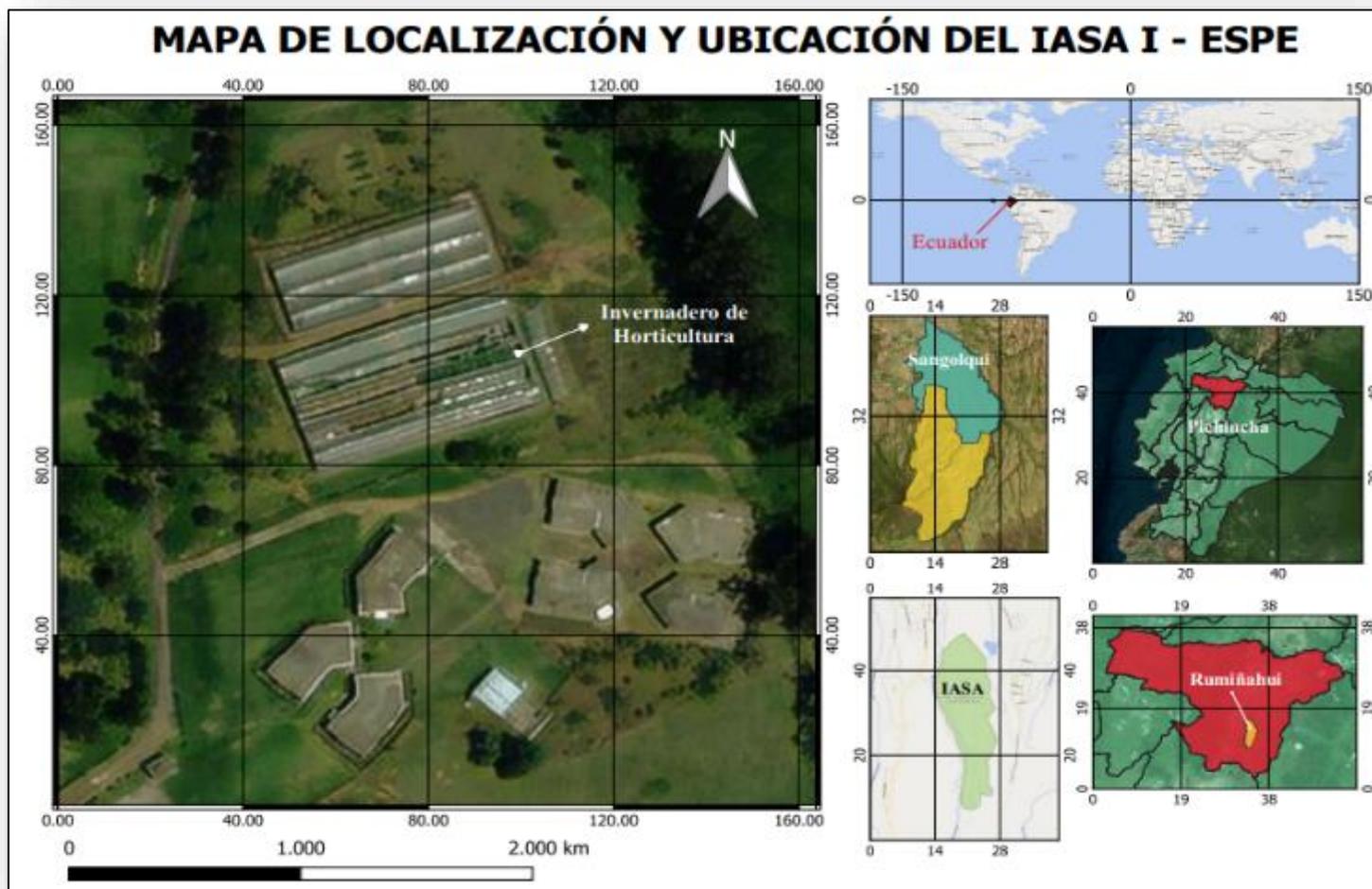
# HIPOTESIS

**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.

# METODOLOGÍA

## Características del Área Experimental



La investigación se llevó a cabo en la hacienda El Prado, ubicada en el cantón Rumiñahui en la provincia de Pichincha-Ecuador, a unos 2.738 msnm.

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.

# MATERIALES



## CAMPO

- Plástico de polietileno
- 2 temporizadores
- 2 bombas sumergibles
- 2 tanques de 200 L
- Flexómetro
- Fundas de papel periódico
- 1 Hoz metálica
- Estacas
- Piola
- Alambre



## LABORATORIO

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



## EQUIPOS

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



## INSUMOS

- 300 g de semillas de alfalfa var. CUF-101 y var. Abunda Verde
- Pomina
- Soluciones nutritivas



## SOFTWARE

- ImageJ
- Infostat
- AutoCAD
- SketchUp
- QGis



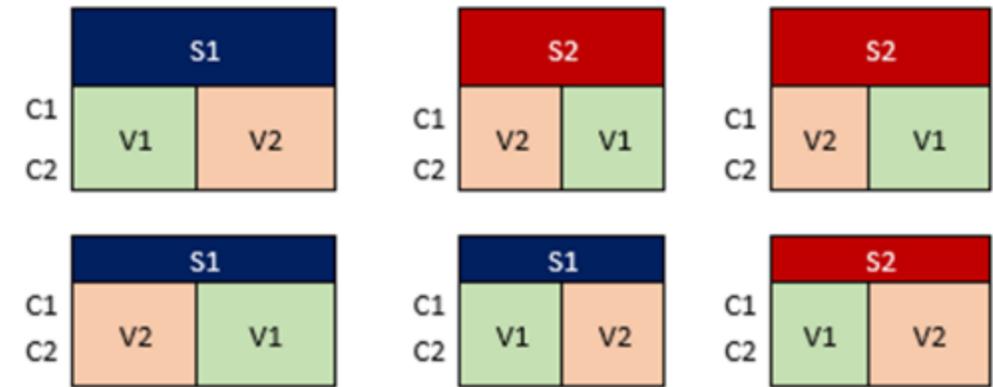
# MÉTODOS ESTADÍSTICOS

## Diseño experimental

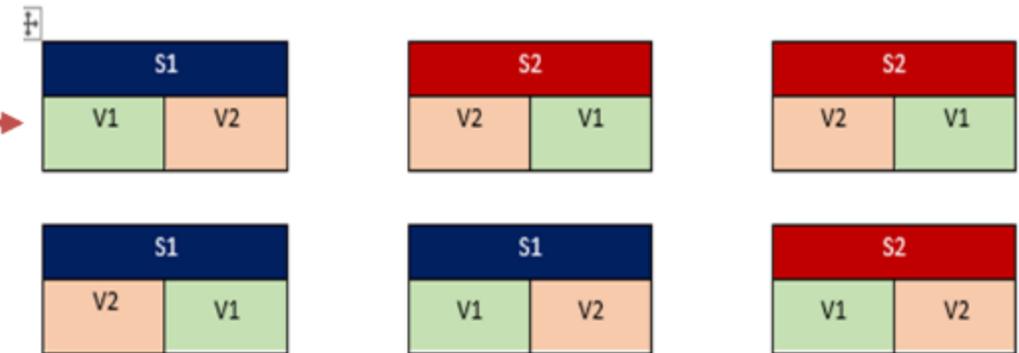
Tipo de diseño	Variables de respuesta
<b>DCA parcela subdividida</b>	Altura (H)
	Índice de área foliar (IAF)
	Número de hojas (NH)
	Número de brotes basales (NB)
	Relación Hoja/Tallo (H: T)
	Relación Área Foliar (RAF)
<b>DCA parcela dividida</b>	Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)
	Tasa relativa de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

## Croquis experimental



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



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



# MODELOS MATEMÁTICOS

## 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, NH, NB y H: T
- $\mu$  = Media general.
- $A_i$  = Efecto principal de la parcela grande de la  $i$  – ésima solución nutritiva.
- $\delta_l(i)$  = Error de la parcela grande.
- $B_j$  = Efecto principal de la parcela mediana de la  $j$  – ésima variedad de alfalfa
- $(AB)_{ij}$  = Interacción de la solución nutritiva con la variedad de alfalfa
- $\sigma_{jl(i)}$  = Error de la parcela mediana.
- $C_k$  = Efecto principal de la parcela pequeña del  $k$  – ésima tiempo de corte.
- $AC_{ik}$  = Interacción de la solución nutritiva con el tiempo de corte.
- $BC_{jk}$  = Interacción de la variedad de alfalfa con el tiempo de corte.
- $ABC_{ijk}$  = Interacción de la solución nutritiva , variedad y tiempo de corte.
- $e_{ijkl}$  = Error de la parcela pequeña.

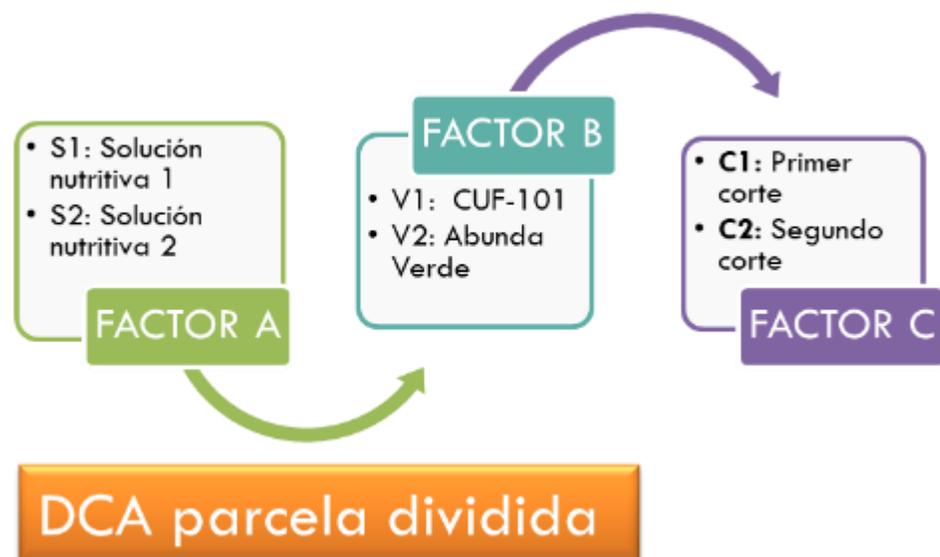
## DCA parcela dividida

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

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.

# TRATAMIENTOS



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

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

## DCA parcela subdividida

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

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

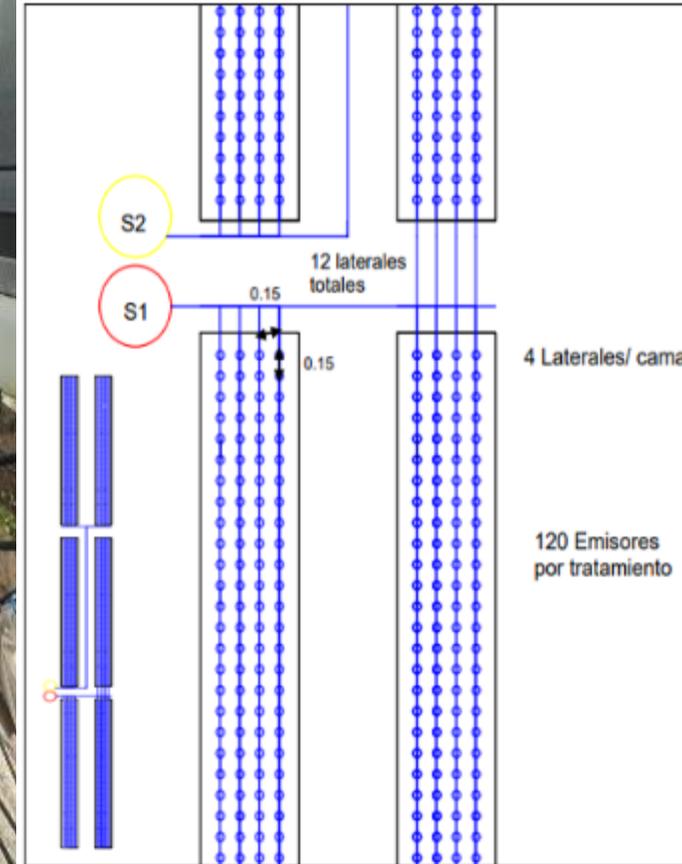
# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SEMI-HIDROPÓNICO

## Preparación de camas de siembra



Dimensión: 9 m de largo, 0,8 m de ancho y 0,5 m de alto estructuradas con alambre y plástico transparente.

## Implementación del sistema de



## Preparación de soluciones nutritivas



Tanque A: pH de 6,41, CE de 796 uS/cm y TDS 401 ppm.  
Tanque B: pH de 6,24, CE de 772 uS/cm y TDS 387 ppm.

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	0

Nota. La tabla indica el contenido de macro y micronutrientes de las soluciones nutritivas 1 propuesta por Vallejo (1999) y solución nutritiva 2 para el fertirriego. Autoría propia.



# Variedades de alfalfa



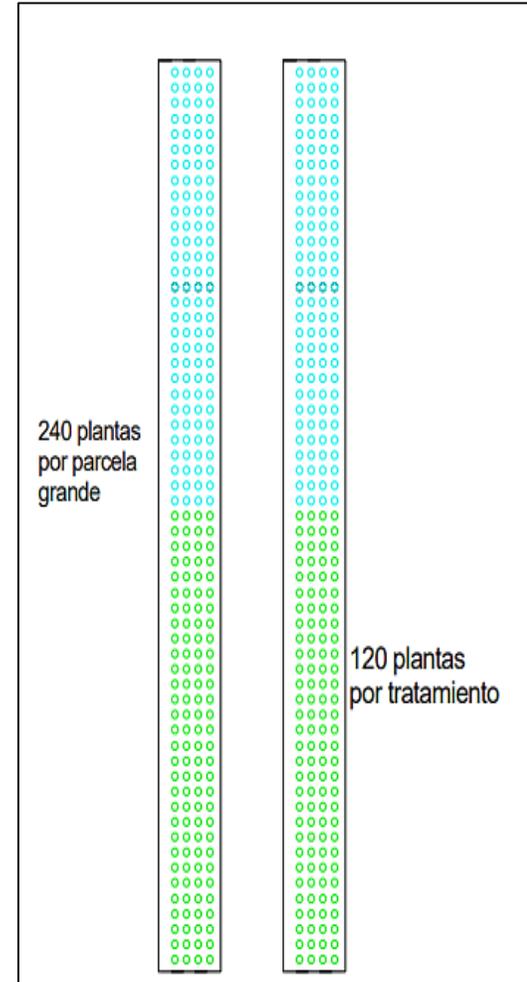
## CUF-101

Ideal para henificación, variedad de alto vigor; aporta proteína de gran calidad, macronutriente, micronutrientes y vitaminas de forma natural



## Abunda Verde

Ideal para pastoreo dado a que es muy precoz y es una excelente productora de forrajes sus tallos y hojas son suculentos y son de alta digestibilidad y palatabilidad



Método de marco real: 120 plantas por tratamiento

# VARIABLES DE RESPUESTA

## Altura de la planta



## Número de hojas



## Número de brotes



## Relación Hoja/Tallo



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

Donde:

**H: T** = Relación hoja: tallo

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

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



## Índice de área foliar



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

Donde:

IAF = índice de área foliar

$L_A$  = Área foliar ( $m^2$ )

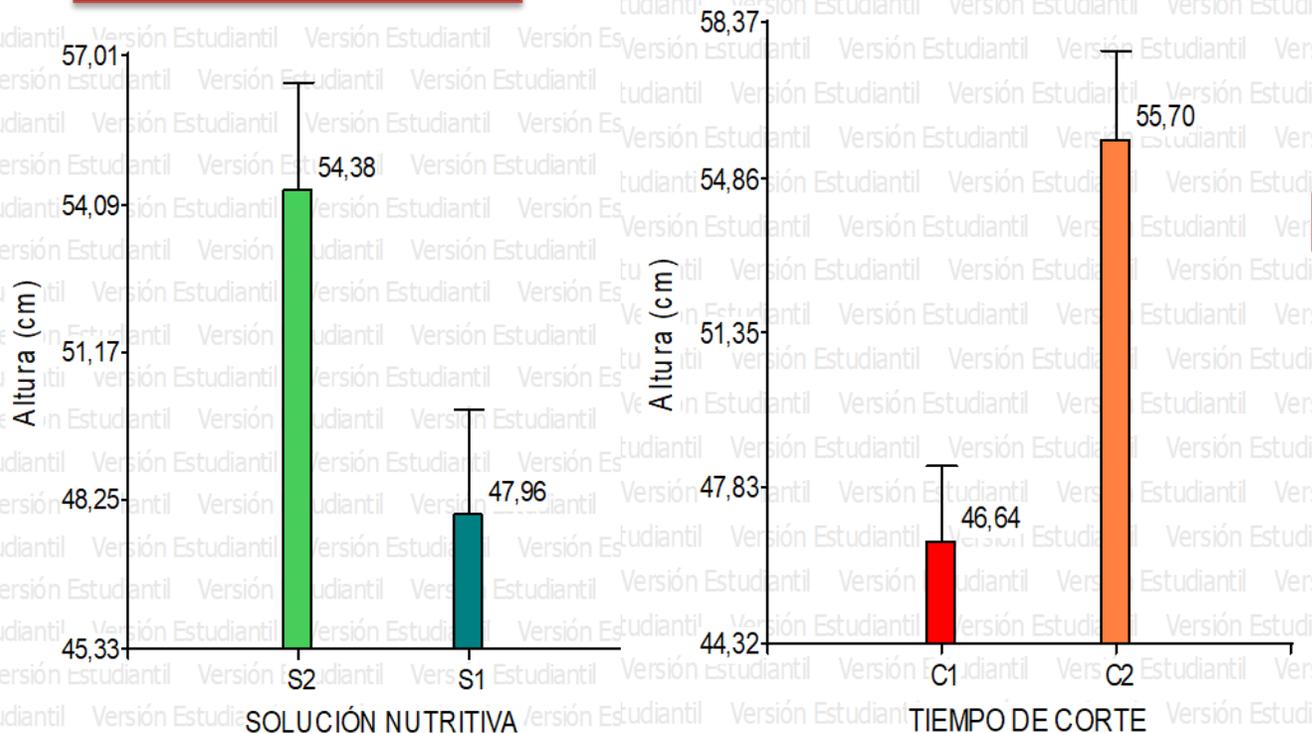
$P$  = Área foliar por unidad de superficie de suelo ( $m^2$ )

VARIABLES	FÓRMULA
Duración de área foliar	$DAF = \frac{(IAF_1 + IAF_2) * (T_2 - T_1)}{2}$
Relación del área foliar	$RAF = \frac{L_A}{W}$
Tasa de crecimiento del cultivo	$TCC = \frac{1}{P} * \frac{(MSf - MSi)}{(Tf - Ti)}$

VARIABLES	FÓRMULA
Tasa relativa de crecimiento	$TCR = \frac{(\ln Msf - \ln MSi)}{(Tf - Ti)}$
Tasa de asimilación neta	$TAN = \frac{(MSf - MSi)}{(AFf - AFi)} * \frac{(\ln AFf - \ln AFi)}{(Tf - Ti)}$

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Altura de la planta



**Nota.** Las figuras muestran una gráfica de barras, realizado en el software Infostat, donde se representa la altura de la planta para solución y tiempo de corte. Autoría propia

Fuentes	F	P-valor
Solución (S)	13,39	0,0216
Variedad (V)	1,32	0,3147
Corte (C)	54,80	0,0001
SxV	2,2E-05	0,9965
SxC	0,58	0,4696
VxC	1,58	0,2440
SxVxC	3,42	0,1016

Proaño (2015) manifiesta que a partir del segundo corte el cultivo de alfalfa se establece logrando alcanzar alturas entre los 50 a 90 cm. Timana (2015) donde menciona que después del primer corte la alfalfa tienen almacenado sus alimentos en la corona y raíz.

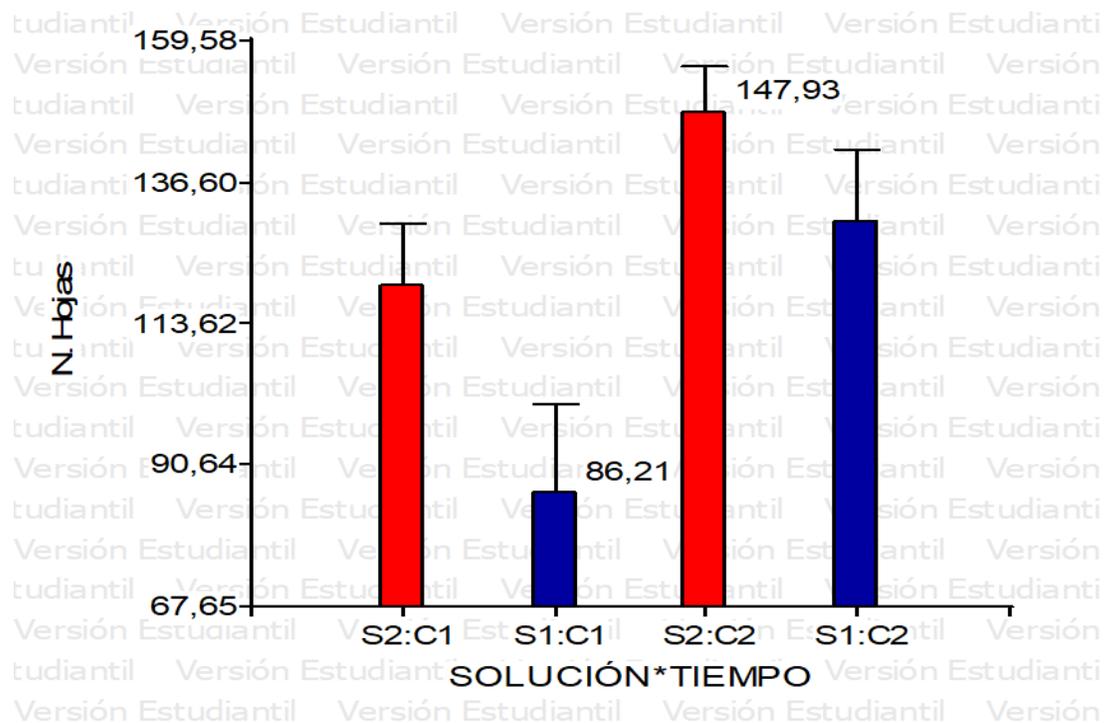
Solución	Altura
S1	47,96±7,27 b
S2	54,38±7,28 a

Corte	Altura
C1	46,64±5,83 b
C2	55,70±7,03 a

Sánchez (2005) las plantas que son fertilizadas con mayor cantidad de fósforo tienen un mejor desarrollo en tamaño y altura. Rotondaro (2019) ayuda a la fijación del nitrógeno y promueve el enraizamiento, a su vez este nutriente participa en la síntesis y acción de las giberelinas.

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Número de hojas



*Nota.* Las figuras muestran una gráfica de barras, realizado en el software Infostat, donde se representa el número de hojas para la interacción entre la solución y tiempo de corte. Autoría propia

Fuentes	H	P-valor
Solución (S)	3,20	0,0735
Variedad (V)	0,85	0,3556
Corte (C)	5,60	0,0179
SxV	4,14	0,2467
SxC	8,82	0,0318
VxC	7,02	0,0713
SxVxC	11,65	0,11

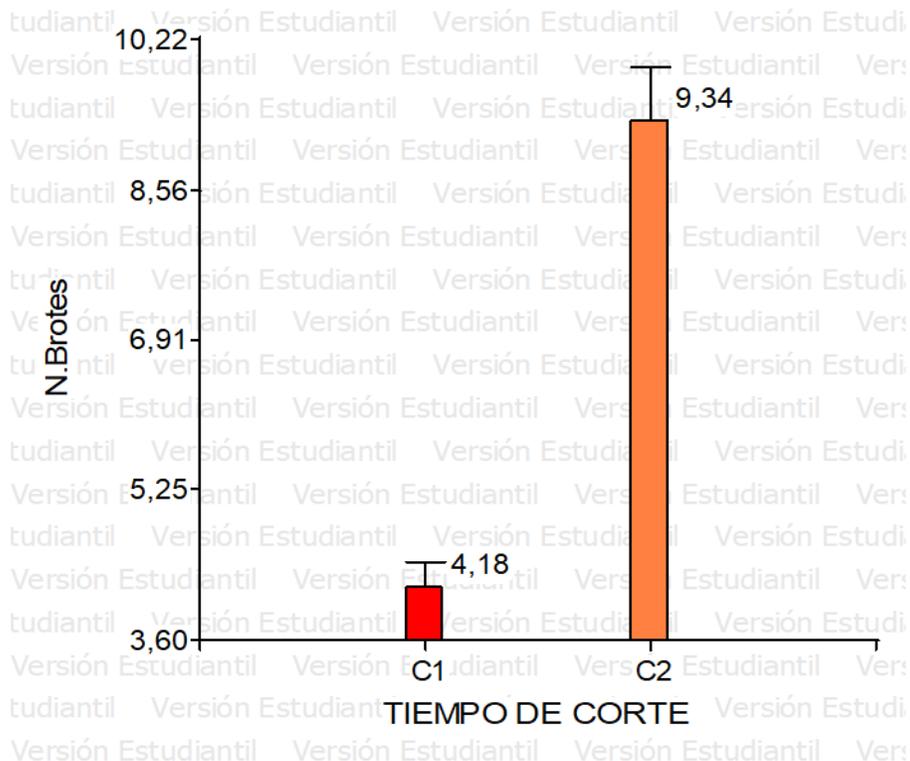
Huera (2003) el cual indica que el nitrógeno es usado por las plantas para producir hojas y mantener un buen color verde

Tratamiento	Número de hojas
S1C1	86,21 ± 35,22 b
S1C2	130,08 ± 28,47 ab
S2C1	119,63 ± 25,34 ab
S2C2	147,93 ± 18,32 a

Oñate (2019) 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

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Número de brotes



Nota. La figura muestran una gráfica de barras, realizado en el software Infostat, donde se representa el número de brotes para el tiempo de corte. Autoría propia

Fuentes	F	P-valor
Solución (S)	0,08	0,7917
Variedad (V)	0,0036	0,9549
Corte (C)	70,40	<0,0001
SxV	0,16	0,7061
SxC	1,01	0,3443
VxC	0,03	0,8782
SxVxC	0,27	0,6174

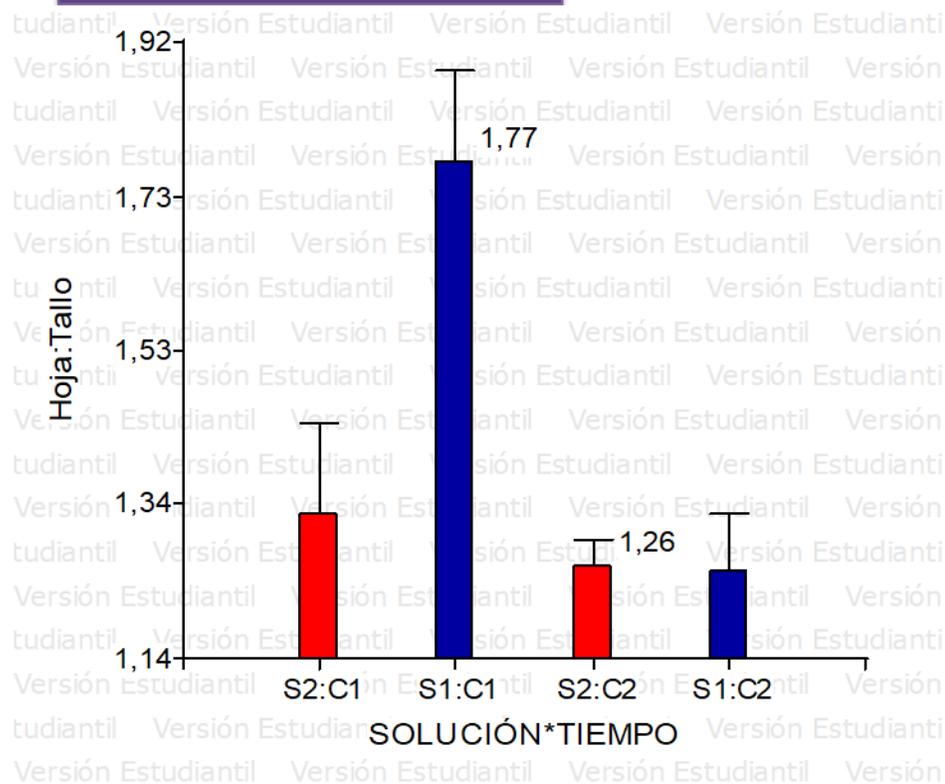
Corte	Número de Brotes
C1	4,18±0,96 b
C2	9,34±2,01 a

Romero (1995) menciona que los brotes o tallos de la corona aumentan con la madurez y la frecuencia de corte.

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

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Relación Hoja/Tallo



Nota. Las figuras muestran una gráfica de barras, realizado en el software Infostat, donde se representa la relación hoja/tallo para la interacción entre la solución y tiempo de corte. Autoría propia

Fuentes	F	P-valor
Solución (S)	47,31	0,0023
Variedad (V)	26,71	0,0067
Corte (C)	12,42	0,0078
SxV	0,34	0,5889
SxC	7,33	0,0268
VxC	3,76	0,0885
SxVxC	0,13	0,7306

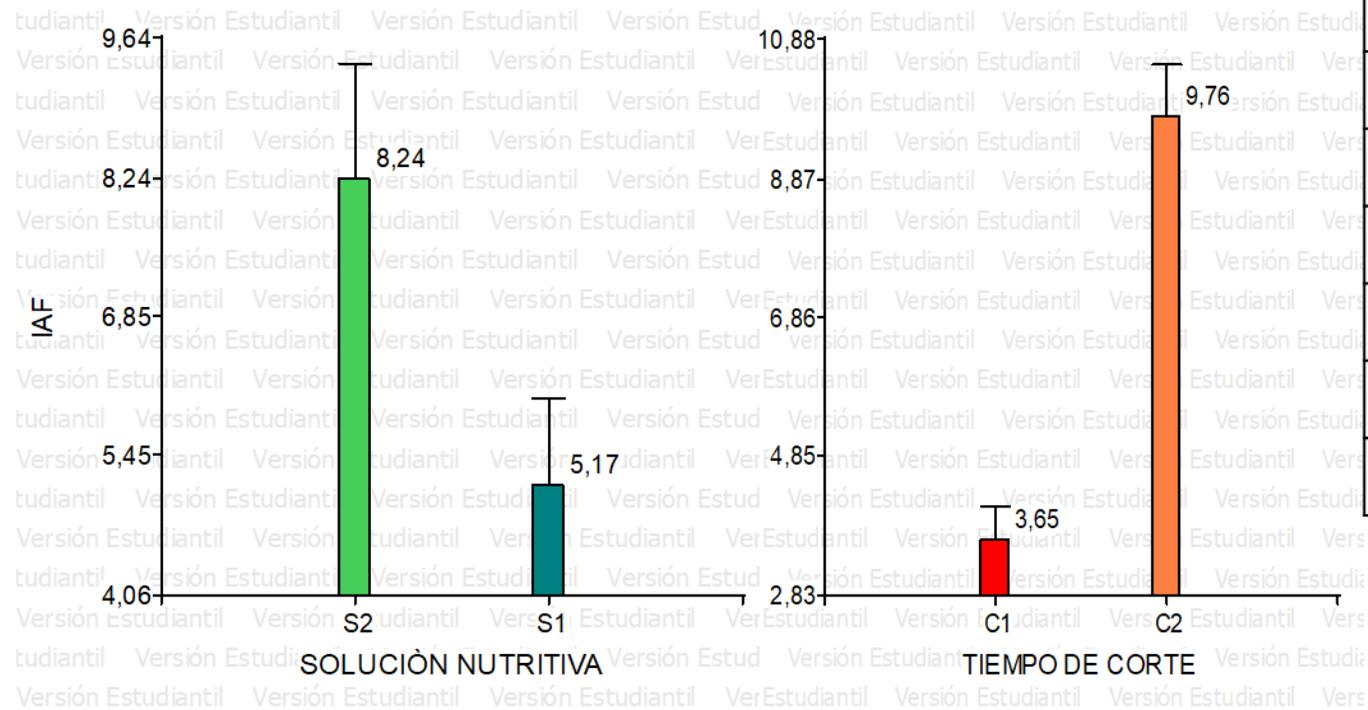
Tovar (1962) obtuvo una mayor relación de hoja/tallo en el segundo corte a comparación del primer corte, sin embargo, se debe tener en cuenta que en ese estudio la relación de hoja/tallo fue menor a 1 en el primer corte.

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

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

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Índice de área foliar



**Nota.** Las figuras muestran una gráfica de barras, realizado en el software Infostat, donde se representa el índice de área foliar para solución y tiempo de corte. Autoría propia

Fuentes	F	P-valor
Solución (S)	20,95	0,0102
Variedad (V)	0,11	0,7604
Corte (C)	157,22	<0,0001
SxV	3,12	0,1522
SxC	0,76	0,4102
VxC	0,0046	0,9478
SxVxC	0,18	0,6844

Solución	IAF
S1	5,17 ± 2,96 b
S2	8,24 ± 3,97 a

Corte	IAF
C1	3,65 ± 1,56 b
C2	9,76 ± 2,63 a

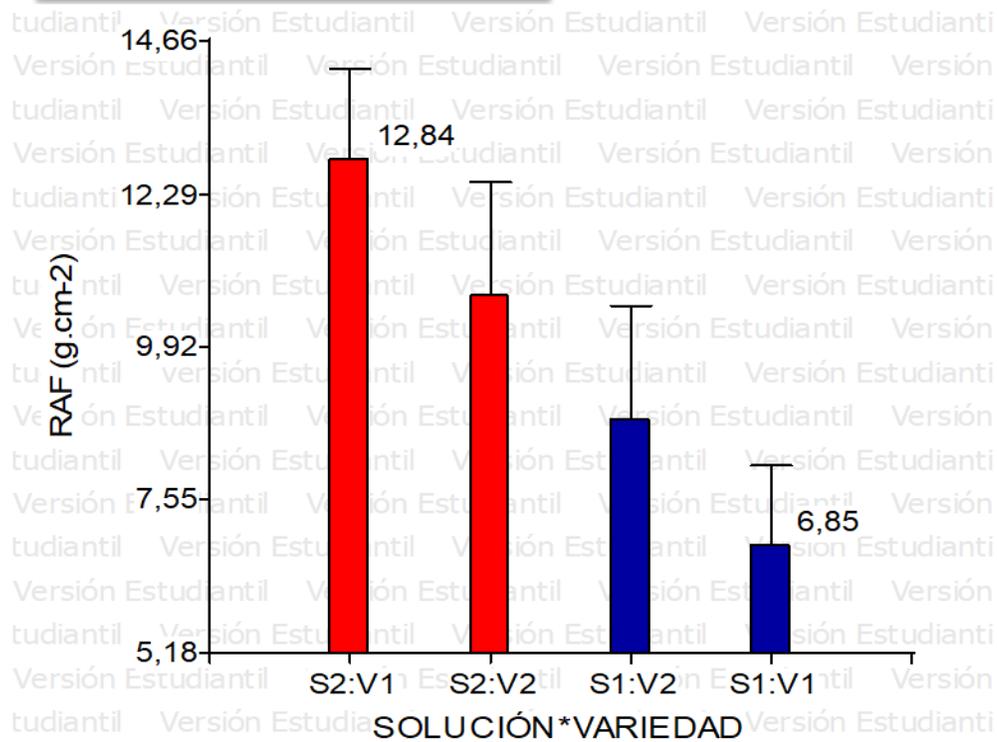
Mendoza et al. (2010) menciona que se obtienen datos mayores del índice de área foliar a partir del segundo corte, debido a que la planta ya se encuentra establecida generando mayor número de brotes y consiguiente un mayor número de hojas.

Díaz (2014) menciona que al tener más contenido de calcio este activa a las auxinas, las cuales son las encargadas de crecimiento vía división y alargamiento de las hojas, logrando de esta manera un mayor área foliar.



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Relación del área foliar



Nota. Las figuras muestran una gráfica de barras, realizado en el software Infostat, donde se representa la relación del área foliar para la interacción de la solución y variedad de las plantas de alfalfa. Autoría propia

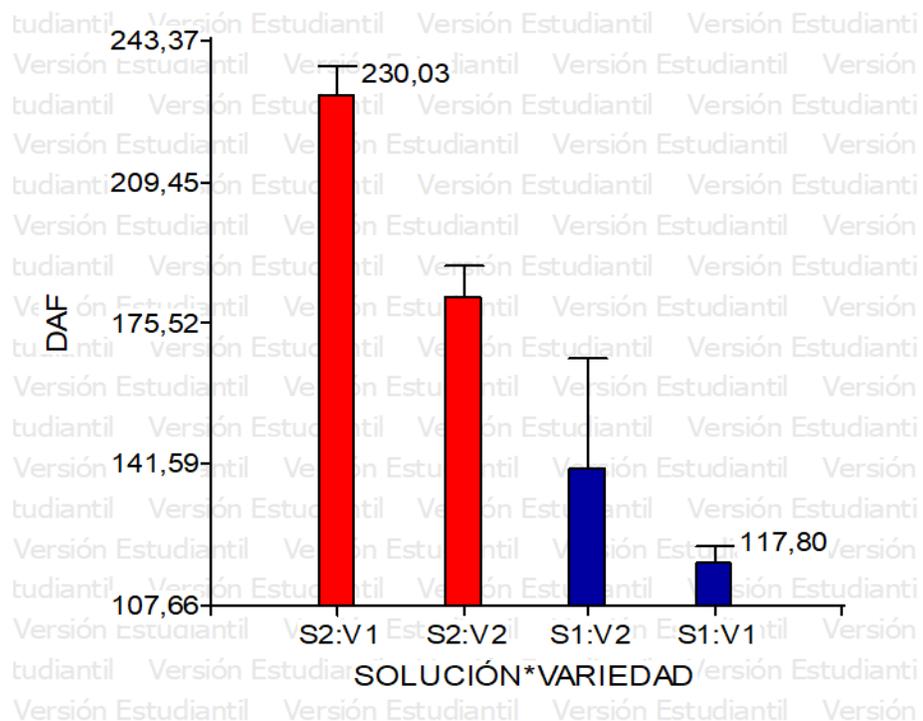
Fuentes	F	P-valor
Solución (S)	13,69	0,0208
Variedad (V)	0,11	0,9266
Corte (C)	157,22	<0,0001
SxV	7,67	0,0504
SxC	0,04	0,8435
VxC	2,19	0,1775
SxVxC	0,06	0,8123

Tratamiento	RAF (cm <sup>2</sup> /g)
S1V1	6,85 ± 3,04 b
S1V2	8,82 ± 4,30 a b
S2V1	12,84 ± 3,40 a
S2V2	10,72 ± 4,23 a b

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.

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Duración del área foliar



Nota. Las figuras muestran una gráfica de barras, realizado en el software Infostat, donde se representa la duración del área foliar para solución y tiempo de corte. Autoría propia

Fuentes	F	P-valor
Solución (S)	13,39	0,0216
Variedad (V)	1,32	0,3147
SxV	2,2E-05	0,9965

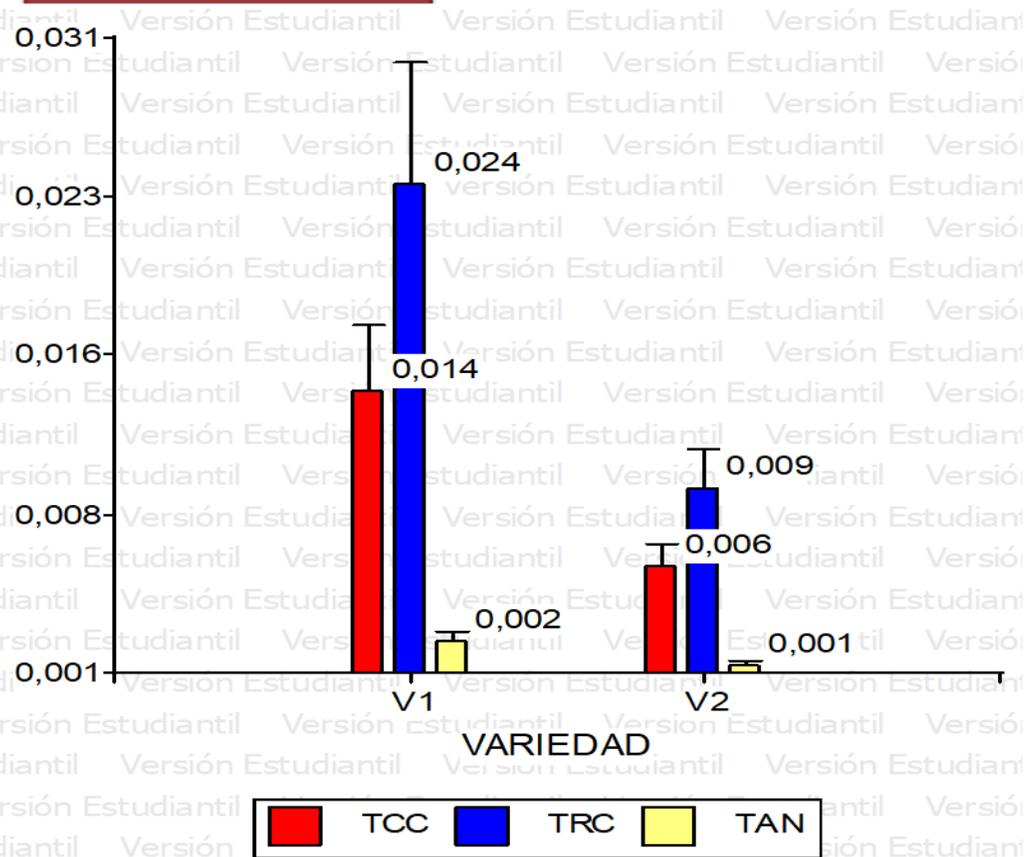
Tratamiento	(DAF)
S1V1	117,80 ± 6,88 a
S1V2	140,67 ± 45,41 a
S2V1	181,94 ± 12,33 a b
S2V2	230,03 ± 12,42 b

Rojas et al. (2016) menciona que 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.

LLuna (2006) menciona que el nitrógeno esta 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.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### TCC, TRC y TAN



Nota. Las figuras muestran una gráfica de barras, realizado en el software Infostat, donde se representa la altura para solución y tiempo de corte. Autoría propia

Fuentes	F y p	TCC	TRC	TAN
Solución	F <sub>1,4</sub>	2,02	3,03	0,02
	P	0,2279	0,1566	0,8993
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

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

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

## 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.



Gracias



por su



atención



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA