



**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Carrera de Agropecuaria**



**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y  
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL FORRAJE VERDE  
HIDROPÓNICO (*Zea mays*) FRENTE A LA APLICACIÓN DE  
SILICIO (Si).**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor:** Cristhian Orlando Pozo Rosales.

**La Libertad, 2021**



**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

**Facultad de Ciencias Agrarias**



**Carrera de Agropecuaria**

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y  
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL FORRAJE VERDE  
HIDROPÓNICO (*Zea mays*) FRENTE A LA APLICACIÓN DE  
SILICIO (Si).**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor/a:** Cristhian Orlando Pozo Rosales.

**Tutor/a:** Ing. Mercedes Santistevan Méndez, PhD.

La Libertad, 2021

## TRIBUNAL DE GRADO



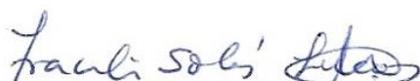
---

Ing. Néstor Acosta Lozano, PhD.  
**DECANO (E) DE LA FACULTAD  
CIENCIAS AGRARIAS  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD.  
**DIRECTOR DE CARRERA  
AGROPECUARIA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Araceli Solís Lucas, PhD.  
**PROFESOR DEL ÁREA MIEMBRO  
DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Mercedes Santistevan Méndez, PhD.  
**PROFESOR TUTOR MIEMBRO  
DEL TRIBUNAL**



---

Abg. Víctor Coronel Ortiz, Mgt.  
**SECRETARIO GENERAL (E)**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por ser mi principal guía, así mismo en haberme permitido culminar una etapa más de mi vida profesional.

A mis padres Juan Rosalino Pozo Guale y Inés Verónica Rosales Pozo por el apoyo incondicional que me han dado en mi trayectoria estudiantil y personal.

A mis hermanos Edgar, Sindy, Arelys, Víctor, Douglas y Juan, sobrinas Valentina Pozo, Dayana Pozo y Fiorella Pozo, a mi tío Marco Pozo y primo Aníbal Pozo por sus apreciaciones en mis estudios.

A los docentes de la Universal Estatal Península de Santa Elena por haberme impartido sus conocimientos y experiencias laborales, en especial al ingeniero Abel Palacios por su apoyo en la obtención de los resultados de laboratorio y a la Psicóloga Maricela Del Rocío por sus consejos y apoyo condicional en mi etapa estudiantil.

A mis tutoras: Ingeniera Mercedes Santistevan y Rosa Pertierra quienes con su apoyo brindado he podido terminar esta investigación.

A mis amigos y compañeros que en el trascurso de esta etapa me dieron su total apoyo para poder crecer de forma personal y profesionalmente.

Cristhian Orlando Pozo Rosales

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a Dios y a mis padres Juan Rosalino Pozo Guale y Inés Verónica Rosales Pozo, que han estado conmigo en las malas y buenas experiencias, cubriéndome con su manto de sabiduría y forjando siempre mi futuro, permitiéndome ser el profesional que hasta ahora he logrado ser.

A mis hermanos Edgar, Sindy, Arelys, Victor, Douglas y Juan, a mi tío Marco Pozo y primo Aníbal Pozo por las palabras, el tiempo y los consejos que me impartían para no desviarme de mis metas.

Cristhian Orlando Pozo Rosales

## RESUMEN

La provincia de Santa Elena tiene dos estaciones, la lluviosa y seca; la segunda ocasiona problemas alimenticios en los animales por falta de pasto durante estas fechas (mayo-diciembre). El forraje hidropónico es una buena alternativa como suplemento alimenticio, debido a su rápida producción y su alto contenido nutricional, por esta razón el objetivo planteado fue evaluar la respuesta de producción y contenido nutricional en el sistema de forraje verde hidropónico (Maíz), frente a la aplicación de Silicio. El ensayo se llevó bajo condiciones de un invernadero, empleando cuatro soluciones: (T<sub>1</sub>) Agua, (T<sub>2</sub>) Solución nutritiva, (T<sub>3</sub>) Solución nutritiva + Si (5%), (T<sub>4</sub>) Solución nutritiva + Si (10%), se utilizó semillas de maíz para el estudio. Se implementó un diseño completamente al azar (DCA) con 9 réplicas. Los resultados muestran que la mejor altura lo obtuvo el T<sub>2</sub> con 25.22 cm, seguido del T<sub>3</sub> (24.89 cm), T<sub>4</sub> (24.33 cm) y el T<sub>1</sub> (22.22 cm). El rendimiento más alto lo obtuvo el T<sub>2</sub>, con un promedio de 2 kg/0.25 m<sup>2</sup>, seguido del T<sub>4</sub> (1.94 kg/0.25 m<sup>2</sup>), T<sub>3</sub> (1.93 kg/0.25 m<sup>2</sup>) y el T<sub>1</sub> (1.66 kg/0.25 m<sup>2</sup>). El mayor porcentaje de MS lo obtuvo el T<sub>1</sub> con 14.19%, seguido del T<sub>2</sub> con 13.19%. La solución con mejor contenido nutricional fue el T<sub>2</sub> (SN), seguido del T<sub>3</sub> (SN + Si “5%”). Se determinó a la solución nutritiva del T<sub>2</sub> como mejor formulación para producir FVH, gracias a los resultados obtenidos en cada variable.

**Palabras claves:** Forraje verde hidropónico, Silicio, Solución nutritiva, Contenido nutricional.

## ABSTRACT

In the province of Santa Elena, there are two seasons: rains and drought; the latter affects animals' diet due to lack of grass from May to December. The hydroponic fodder is a good alternative as supplement due to its fast production and high nutritional content; for this reason, the objective of the present study was to evaluate the production response and nutritional content in the hydroponic green forage system (Corn), compared to the application of Silicon. The test was carried out under greenhouse conditions, using four solutions: (T<sub>1</sub>) Water, (T<sub>2</sub>) Nutritive solution, (T<sub>3</sub>) Nutritive solution + Si (5%), (T<sub>4</sub>) Nutritive solution + Si (10%), used corn seeds for the study. A completely random design was used (DCA) with 9 replicas. The result showed that the best height was obtained by T<sub>2</sub> with 25.22 cm, followed by T<sub>3</sub> (24.89 cm), T<sub>4</sub> (24.33 cm) and T<sub>1</sub> (22.22 cm). The highest yield was obtained by T<sub>2</sub>, with an average of 2 kg / 0.25 m<sup>2</sup>, followed by T<sub>4</sub> (1.94 kg / 0.25 m<sup>2</sup>), T<sub>3</sub> (1.93 kg / 0.25 m<sup>2</sup>) and T<sub>1</sub> (1.66 kg / 0.25 m<sup>2</sup>). The highest percentage of DM was obtained by T<sub>1</sub> with 14.19%, followed by T<sub>2</sub> with 13.19%. The solution with the best nutritional content was T<sub>2</sub> (SN), followed by T<sub>3</sub> (SN + Si "5%"). The nutrient solution of T<sub>2</sub> was determined as the best formulation to produce VHF, thanks to the results obtained in each variable

**Keywords:** Hydroponic green forage, Silicon, Nutritive solution, Nutritional content.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Cristian', is positioned above a horizontal line.

Firma digital del estudiante

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
1.1 Cultivo sin suelo .....	4
1.1.1 Ventajas y desventajas .....	5
1.1.1.1 Ventajas.....	5
1.1.1.2 Desventajas.....	5
1.2 Cultivo de maíz.....	6
1.2.1 Taxonomía del maíz.....	6
1.2.2 Descripción botánica.....	6
1.3 Nacencia y desarrollo del grano .....	7
1.4 Forraje verde hidropónico .....	8
1.5 Características de forraje verde hidropónico .....	8
1.5.1 Ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico .....	8
1.5.1.1 Ventajas del germinado FVH.....	8
1.5.1.2 Desventajas del germinado FVH.....	9
1.6 Contenido nutricional del forraje verde hidropónico de maíz.....	9
1.7 Solución hidropónica o nutritiva .....	10
1.8 Forma de absorción de los nutrientes.....	11
1.9 Calidad de agua.....	12
1.10 Silicio (Si).....	13
1.10.1 Silicio en el suelo y sus beneficios .....	14
1.10.2 Beneficio del Silicio en las plantas .....	15
1.11 Forma de absorción del Silicio .....	16
1.11.1 Absorción del Silicio vía foliar.....	17
1.11.2 Absorción por el apoplasto.....	17
1.11.3 Absorción por el simplasto.....	18
1.11.4 Distribución y translocación del Silicio .....	18
<b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
2.1 Ubicación y descripción del lugar de ensayo .....	19
2.2 Infraestructura.....	19
2.3 Característica de la calidad del agua .....	20
2.4 Materiales .....	20
2.4.1 Material biológico.....	20
2.4.2 Material y equipos .....	21

2.5 GRANSIL.....	22
2.6 Diseño experimental y tratamientos.....	22
2.7 Delineamiento experimental.....	23
2.8 Análisis estadístico.....	25
2.9 Manejo del experimento.....	25
2.9.1 Selección, lavado y desinfección de semillas.....	25
2.9.2 Preparación para el pre germinado .....	25
2.9.3 Solución nutritiva.....	25
2.9.4 Etapa de luz .....	26
2.10 Variables a evaluar.....	27
2.10.1 Porcentaje de germinación .....	27
2.10.2 Humedad relativa (máxima y mínima) .....	27
2.10.3 Temperatura (máxima y mínima) .....	28
2.10.4 Radiación solar .....	28
2.10.5 Altura de la planta.....	28
2.10.6 Rendimiento de materia fresca .....	28
2.10.7 Porcentaje de materia seca .....	28
2.10.8 Análisis proximal.....	29
2.11 Costos del experimento .....	30
2.11.1 Fuente de financiamiento .....	30
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>31</b>
3.1 Variables climáticas .....	31
3.1.1 Temperatura.....	31
3.1.2 Humedad relativa.....	32
3.1.3 Radiación solar .....	33
3.2 Germinación .....	34
3.3 Variables Agronómicas.....	35
3.4 Análisis proximal.....	39
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>41</b>
Conclusiones .....	41
Recomendaciones .....	41
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Rangos de concentraciones de los nutrimentos según diversos autores*...11	11
<b>Tabla 2.</b> Forma disponible de los elementos tomados por la planta.....12	12
<b>Tabla 3.</b> Características del agua.....20	20
<b>Tabla 4.</b> Composición del GRANSIL.....22	22
<b>Tabla 5.</b> Distribución de los grados de libertad.....23	23
<b>Tabla 6.</b> Fertilizantes y concentraciones usados en la solución nutritiva “Sonneveld y Voogt”.....26	26
<b>Tabla 7.</b> Cronograma de la producción del FVH.....27	27
<b>Tabla 8.</b> Costo del experimento.....30	30
<b>Tabla 9.</b> Fuentes de financiamiento.....30	30
<b>Tabla 10.</b> Porcentaje de germinación al segundo y cuarto día después de la siembra..35	35
<b>Tabla 11.</b> Efecto de la solución nutritiva “Sonneveld y Voogt” sometido a diferentes dosis de Silicio sobre la altura del FVH.....36	36
<b>Tabla 12.</b> Efecto de la solución nutritiva “Sonneveld y Voogt” sometido a diferentes dosis de Silicio sobre el rendimiento del FVH.....37	37
<b>Tabla 13.</b> Efecto de la solución nutritiva “Sonneveld y Voogt” sometido a diferentes dosis de Silicio (Si) sobre la materia seca.....39	39
<b>Tabla 14.</b> Efecto de la solución nutritiva “Sonneveld y Voogt” sometido a diferentes dosis de Silicio (Si) sobre la composición nutricional del FVH.....40	40

## ÍNDICES DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución de los tratamientos.....	24
<b>Figura 2.</b> Infraestructura automatizada para Forraje Verde Hidropónico.....	24
<b>Figura 3.</b> Temperatura máxima, mínima y media, registrada dentro del invernadero en la etapa de germinación y desarrollo del FVH en el mes de octubre del 2019.....	32
<b>Figura 4.</b> Humedad máxima, mínima y media dentro del invernadero en la etapa de germinación y desarrollo del FVH en el mes de octubre del 2019, provincia Santa Elena.....	33
<b>Figura 5.</b> Radiación solar presente en el interior y exterior del invernadero tomados en dos diferentes horarios “8:00 y 14:00 horas”, en la etapa de producción del FVH, entre el 10 y 21 de octubre del 2019, en la provincia de Santa Elena.....	34

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Tabla 1A.** Temperatura y humedad relativa tomados dentro y fuera de la cámara de germinación, así mismo dentro y fuera del invernadero.

**Tabla 2A.** Radiación solar tomados al segundo día después de la siembra, datos tomados dentro y fuera del invernadero.

**Tabla 3A.** Altura del FVH a los 15 días después de la siembra.

**Tabla 4A.** Rendimiento del FVH a los 15 días después de la siembra.

**Tabla 5A.** Porcentaje de materia seca a los 15 días después de la siembra.

**Tabla 6A.** Análisis de varianza de la altura del FVH sometido a diferentes soluciones.  
12

**Tabla 7A.** Análisis de varianza del rendimiento del FVH sometido a diferentes soluciones.

**Tabla 8A.** Análisis de varianza de la materia seca del FVH sometido a diferentes soluciones.

**Tabla 9A.** Análisis de varianza de la proteína en el FVH sometido a diferentes soluciones.

**Tabla 10A.** Análisis de varianza del porcentaje de ceniza en el FVH sometido a diferentes soluciones.

**Tabla 11A.** Análisis de varianza del porcentaje de E.E en el FVH sometidas a diferentes soluciones.

**Tabla 12A.** Análisis de varianza del porcentaje de fibra en el FVH sometido a diferentes soluciones.

**Tabla 13A.** Análisis de varianza del porcentaje de E.L.N en el FVH sometido a diferentes soluciones.

**Figura 1A.** Análisis de agua.

**Figura 2A.** Análisis proximal.

**Figura 3A.** Selección de y remojo de la semillas.

**Figura 4A.** Pesaje y ubicación de las semillas en las bandejas de polietileno.

**Figura 5A.** Colocación de las bandejas en el túnel y germinación de las semillas.

**Figura 6A.** Traslados de las unidades experimentales a luz solar.

**Figura 7A.** Infraestructuras para la producción de forraje verde hidropónico.

**Figura 8A.** Producto usado “GRANSIL”.

**Figura 9A.** Pesaje y preparación de los macro y micros nutrientes “solución madre”.

**Figura 10A.** Fertilización del forraje hidropónico.

**Figura 11A.** Equipos utilizados para la medición de los parámetros climáticos.

**Figura 12A.** Tapete del forraje hidropónico de maíz.

**Figura 13A.** Pesaje del forraje hidropónico.

**Figura 14A.** Muestras a analizar en el laboratorio.

## INTRODUCCIÓN

Los pastos constituyen la base en la alimentación de los rumiantes, la producción de ganado bovino y caprino sea de engorde o leche es una de las actividades pecuarias que más se beneficia de este material vegetativo, el cual se traduce en la fuente principal de alimento que se dispone en el campo, al momento de proponer proyectos sustentables en producción pecuaria; ganado bovino, ovino, caprino, cuyes, entre otros, se debe incluir el manejo técnico de las pasturas que permita extraer todos los componentes del mismo (biomasa y composición nutricional) (Núñez y Rodríguez, 2019).

La Costa ecuatoriana tiene dos estaciones en el año, una lluviosa y otra seca, la primera se presenta entre enero - abril y la segunda comienza desde mayo terminando en diciembre, la segunda época provoca un periodo largo de sequías presentando problemas en la obtención de pastos naturales, fuente principal de alimento para las especies de producción, implicando negativamente en la producción, afectando todo el año a los pequeños productores de la provincia de Santa Elena (Farfán, 2018).

El forraje hidropónico (FVH): es un proceso elaborado en un invernadero con las condiciones controladas como la luz, la humedad y la solución nutritiva; es el resultado de la germinación de semillas seleccionadas que se desarrollan en un corto periodo de tiempo, es decir, entre 15 - 20 días llegando a medir entre 20 -25 cm de altura (Zagal *et al.*, 2016). Según Quispe *et al.* (2016) menciona que el FVH ofrece unas series de ventajas, una de ellas es producir durante todo el año, permite desarrollarlo en pequeñas áreas, aporte de elementos proteicos y vitamínicos, esta metodología de producción se están incorporando en los sistemas de producción intensiva como nuevo ingrediente en la alimentación, puede reemplazar uno o más componentes de la ración diaria de los animales.

La implementación del FVH como una técnica de innovación estratégica para el desarrollo pecuario permite resultados inmediatos, alcanzando elevadas cantidades de biomasa de forraje a base de la germinación de semillas (gramíneas y leguminosas) (FAO, 2001). Una de las semillas más utilizadas es el maíz forrajero (*Zea Mays L*) por su elevado valor nutricional y un buen porcentaje de rendimiento, produciendo forraje

a mitad de precio que el costo convencional que actualmente tienen los forrajes cultivados a campo abierto (Aquino, 2014).

La producción de forraje hidropónico permitiría asegurar una fuente constante de alimento homogéneo en volumen de biomasa y calidad nutritiva, mejorando las condiciones de salud, vitalidad y fertilidad del ganado, atribuible a la alta calidad del alimento hidropónico (Avilés, 2015).

El proyecto tiene la finalidad de capacitar a los pequeños productores santaelenenses a la no dependencia de los factores edafoclimáticos, más bien a la aplicación de tecnologías para la producción alimenticia en los hatos ganaderos existentes en la provincia.

Por tal razón la investigación que se realizará con la producción de forraje verde hidropónico no requiere de suelo (las mismas raíces forman un colchón grueso que servirá como sostén de las plantas) y menos de grandes extensiones de área, pues la producción de FVH, admite diseñar estructura que permiten optimizar el espacio y producir elevadas cantidades de alimentos.

La actividad agropecuaria en la provincia de Santa Elena es una de las fuentes de ingreso económicos para el pequeño productor, convirtiéndose en una actividad de importancia, el cual no solo genera ingresos, también provee fuentes de empleo permitiendo el mejoramiento del desarrollo social y cultural de las localidades que poseen la provincia, por tal razón la tecnología para la producción de forrajes debe de contribuir al manejo adecuado de los recursos más importantes como el agua y el suelo.

Analizando la problemática antes mencionada, se propone la siguiente investigación buscando dar soluciones al problema. Consiste en la evaluación de la producción de biomasa y composición nutricional del forraje verde hidropónico frente a la aplicación de silicio (si), que servirá para la alimentación ganadera de la provincia de Santa Elena.

Así mismo, permitirá conocer una solución nutritiva adecuada para la producción de forraje verde hidropónico de maíz, la misma que busca aumentar la biomasa y calidad nutricional del forraje para la alimentación del ganado de las comunas de la provincia

de Santa Elena. En correspondencia con los antecedentes planteados se formula el siguiente **problema científico**:

¿Qué efecto causaría en el rendimiento alcanzado en la producción de forraje verde hidropónico (FVH) sometido a la aplicación de una solución nutritiva junto con el Silicio (Si)?

Mediante la siguiente problemática se generaron los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

Evaluar la respuesta de producción y contenido nutricional del forraje verde hidropónico (maíz), mediante la aplicación de Silicio (Si), en la provincia de Santa Elena.

**Objetivos específicos:**

1. Estimar el rendimiento y la mejor fórmula nutritiva para el FVH
2. Determinar la calidad del forraje bajo distintas soluciones, expresados como contenido proteínico.

Con todo lo antes planteado se manifiesta la siguiente **hipótesis**:

La aplicación de Silicio aumenta la biomasa y propiedades nutricionales en el forraje verde hidropónico (FVH).

# **CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **1.1 Cultivo sin suelo**

El análisis de la escases de agua en todo el mundo se puede verificar en países con regiones semiáridas con problemas de calidad del agua para riego, por lo que la hidroponía es una alternativa para la producción de hortalizas y al uso de aguas con un plan de mejora proporcionando productos en periodos cortos y de calidad, permitiendo una producción rentable (Paulus *et al.*, 2012).

Según Urrestarazu (2015), el cultivo sin suelo es una técnica innovadora, el desarrollo de la planta no va a depender del suelo sino de una solución nutritiva que contiene elementos esenciales para su ciclo vegetativo y reproductivo. Los sistemas hidropónicos están clasificados en dos formas, los que utilizan cien por ciento agua y los que se manejan con sustrato inerte (arena de río, turba, piedra chispa, perlita u otros).

Así mismo, facilita producir plantas de características herbáceas, aprovechando áreas pequeñas, infértiles o inertes. Proporciona un ambiente controlado manteniendo el cultivo sin perder las necesidades básicas para su desarrollo y crecimiento como: nutrientes, agua, humedad y temperatura. Con este concepto se adoptan técnicas que se apoyan en sustratos, en sistemas de aporte de soluciones nutritivas estáticas o de sistemas circulantes (Beltrano y Giménez, 2015).

La técnica hidropónica permite generar producción de mejor calidad que en suelos, gracias a que produce con mayor eficiencia mejorando el control del riego, disminuyendo la ausencia de plagas, enfermedades, malezas, por otra parte, facilita la esterilización de los sustratos, ayuda y posibilita el uso de aguas duras o con menor sanidad, más inocuidad de los productos y mejor manejo en la nutrición (Sánchez del Castillo *et al.*, 2014).

Los denominados cultivos sin suelo son bastantes complejos y amplios, insertando métodos y sistemas que ayuden a crecer a las plantas fuera de su ambiente natural (el suelo), engloba a todos los sistemas que se distribuyen a continuación considerando a

dichos términos como: sistemas hidropónicos, aerológicos e hidrocultivo (Urrestarazu, 2015).

### ***1.1.1 Ventajas y desventajas***

Al momento de producir cultivos hidropónicos se debe considerar la composición del método, esto implica que puede ser favorable para algunos y para otros desfavorable, se debe tener cuenta las siguientes ventajas (Jacobson, 2016; Beltrano y Giménez, 2015).

#### ***1.1.1.1 Ventajas***

- ✓ Las raíces se desarrollan en mejores condiciones.
- ✓ No existe el control de malas hierbas.
- ✓ Permite producir en diferentes épocas.
- ✓ Mayor precocidad de los frutos y cultivos.
- ✓ Minimiza el programa de fertilización de acuerdo a los requerimientos.
- ✓ Permite la producción sin la utilización de suelos agrícolas.
- ✓ Tiene una baja dependencia de los fenómenos agrometeorológicos.
- ✓ Disminuye el consumo de agua y de fertilizantes hasta un 70%.
- ✓ Presenta baja incidencia de plagas y enfermedades.
- ✓ Cero uso de maquinarias agrícolas.
- ✓ Permite mayor número de plantas por metro cuadrado.

#### ***1.1.1.2 Desventajas***

Así como la hidroponía provee muchas ventajas también tiene sus desventajas, complicando el uso de este sistema (Cruz, 2016).

- ✓ Requiere conocimientos técnicos y teóricos.
- ✓ Las soluciones deben ser producidas por manos expertas y calificadas.
- ✓ Costos elevados para la construcción de las instalaciones.
- ✓ Es necesario tener agua de buena calidad.
- ✓ El desbalances de los elementos nutricionales causan efectos inmediatos en los cultivos.
- ✓ El desconocimiento del manejo agronómico apropiado puede reducir significativamente los rendimientos.

## 1.2 Cultivo de maíz

Según Acosta (2009), en 1492 el maíz era desconocido en el viejo mundo hasta el 6 de noviembre 1942, en esta época los hombres de Cristóbal colon exploraron la isla de Cuba, descubriendo un grano el cual los indígenas lo llamaban ma-hiz, este cereal tenía un buen sabor en fresco, asado o procesado (harina). Los hombres de colon encontraron el verdadero tesoro en Cuba (el grano), siendo el alimento básico de los indígenas de la isla.

Así mismo, Vega et al. (2006) recalcan que el maíz es un cereal ampliamente usado en todos los países, ya sea en el consumo humano y animal. Junto con la tapioca y la patata constituyen las materias primas más importante para la obtención del almidón, jarabes de glucosa y bebidas alcohólicas, es utilizada drásticamente para la obtención de harinas, aceites de germen, productos para desayuno, conservas de maíz dulce entre otros.

### 1.2.1 Taxonomía del maíz

**Reino:** Plantae  
**Clase:** Liliopsida  
**Orden:** Poales  
**Familia:** Poaceae  
**Género:** *Zea*  
**Especie:** *Zea Mays L*

### 1.2.2 Descripción botánica

Vega et al. (2006) plantearon para el maíz la siguiente descripción botanita:

#### ➤ **Raíz**

Es fasciculada con un potente desarrollo teniendo tres tipos de raíces:

- ✓ **Seminales:** Nacen después de la radícula para afirma la planta pero no son permanente.
- ✓ **Permanentes:** Estas constituyen el sistema radicular principal, estas nacen por enzimas de las raicillas de la corona. En este grupo están incluida las primarias y las secundarias.

- ✓ **Adventicias:** Estas actúan como sostén de la planta en las últimas etapas de crecimiento, absorben agua y sustancias nutritivas, nacen de los nudos inferiores del tallo

- **Tallo**

Tiene una altura de 2 m según la variedad y una serie de entrenudos de unos 16 cm. El tallo es erguido, nudoso y sencillo. El mesocotilo es el primer tallo que emerge de la semilla, al final de este tallo se forma la corona y luego el tallo final y las raíces.

- **Hoja**

Las hojas son paralelinervias, lanceoladas, alternas, abrasadoras, anchas y ásperas. Su longitud llega a medir entre 40 a 45 cm y 5 a 8 cm de ancho.

- **Flor**

La planta de maíz es monoica, posee dos órganos sexuales. Las flores femeninas se encuentran en las axilas de algunas hojas y las flores masculinas están en la extremidad del tallo agrupado en panículas que se llama vulgarmente penachos.

### **1.3 Nacencia y desarrollo del grano**

El grano tiende a absorber agua del 30 al 35% de su peso. La elongación de la radícula depende mucho de la temperatura. Después de la emergencia de la radícula, 3 o 4 raíces adicionales emergen de la semilla formando el sistema de raíces seminales, su función es la absorción de agua y algunos nutrientes (Endicott *et al.*, 2015).

Los mismos autores, recalcan que en la VE empieza el desarrollo radicular de coronas y raíz principal. El cotiledón permanece bajo la superficie donde la planta demuestra la emergencia “hipogea”. El primer nodo interno o mesocotilo se alargan empujando la punta del coleóptilo hacia la superficie, cuando llega rompe y llega a la superficie entonces se ha producido la emergencia (VE), el periodo desde la siembra hasta la aparición del coleóptico es aproximadamente de 6 a 8 días.

## **1.4 Forraje verde hidropónico**

El forraje verde hidropónico es una técnica de innovación, estratégica, control y de desarrollo, desplegada de la germinación de granos desarrollándose en pequeños lugares, obteniendo resultados inmediatos. El FVH se ha ido implementando durante muchos años siendo una forma de mantener la producción animal, generando un alcance marginal por tener una gran cantidad de biomasa de forraje a base de la germinación de granos de gramíneas y leguminosas (Preciado *et al.*, 2014).

Según González y Valdivia (2014), el FVH es una nueva forma de producir forraje y abastecer las dietas ganaderas en países de épocas críticas (sequías), donde la provisión de pastos es bajo. Es un método de producción apropiado para áreas pequeñas, siendo un sistema muy utilizado en producción animal intensiva.

Los mismos autores, señalan que el FVH se ha convertido en un nuevo suplemento en muchas dietas, aportar altas cantidades de proteína, vitaminas, niveles adecuados de energía y minerales; así mismo, recalcan su alto porcentaje de digestibilidad y palatabilidad haciendo al forraje hidropónico una alternativa de buena calidad para la alimentación animal.

## **1.5 Características de forraje verde hidropónico**

Se caracteriza por tener una rentabilidad óptima, a su vez se obtienen resultados satisfactorios en un corto periodo de tiempo beneficiando al técnico o agricultor. Su manejo es fácil y accesible para la persona administradora (Zagal *et al.*, 2016).

### ***1.5.1 Ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico***

El forraje verde hidropónico a más de tener muchas iniciativas y porcentajes altos de aceptabilidad por los técnicos, tiene desventajas y ventajas que se deben considerar al momento de producir forraje hidropónico para los animales (Carballo, 2005; Méndez y Mahecha, 2015).

#### ***1.5.1.1 Ventajas del germinado FVH***

- ✓ Se puede producir durante todo el año.
- ✓ Tiene un alto valor nutritivo.

- ✓ Tiene alto porcentaje de digestibilidad.
- ✓ Es apetecible para todos los animales.
- ✓ Es muy económico y asequible, por cada 1.7 kilos de grano se obtiene hasta 12 kilos de forraje verde hidropónico.
- ✓ Ayuda al aumento de la producción de leche y carne (bovino, caprino) entre un 12 y 20%, sustituyendo una parte de la ración diaria.
- ✓ Bajos costos de producción.
- ✓ Ayuda a la semi estabulación y estabulación del ganado.
- ✓ Bajo uso de mano de obra.
- ✓ Contiene enzimas digestivas que ayudan a mejorar la asimilación de la ración de alimento.
- ✓ Genera un efecto en la salivación por parte del animal que le ayuda a digerir con facilidad el resto de la dieta.
- ✓ Ayuda a mejorar y aumentar la fertilidad en los animales por el consumo de Vitamina E, proporcionado por el FVH.

#### ***1.5.1.2 Desventajas del germinado FVH***

- ✓ Se debe tener una rutina de trabajo establecida.
- ✓ Requiere de un seguimiento minucioso y cuidados especiales.
- ✓ Se necesita una buena capacitación para manejar este tipo de trabajo.
- ✓ La construcción de los invernaderos son muy costosos.
- ✓ Se necesita tener un sistema eléctrico para la utilización del TIMER.

#### **1.6 Contenido nutricional del forraje verde hidropónico de maíz.**

Los requerimientos nutricionales de los animales son muy elevados por tal motivo es necesario conocer los valores nutricionales del forraje hidropónico, mediante esto se podrá deducir diferentes dietas o concentrados que se debe aportar junto con el forraje convencional, recalando que no es recomendable alimentar cien por ciento con granos germinados a animales de especies mayores.

El forraje producido debe ser cosechado quince días después de la siembra porque el contenido de proteína disminuye al momento que el pasto crece, por esta razón se tiene establecido un día y una altura para su cosecha. Las propiedades más importancia y

analizadas son la materia seca (el contenido de MS oscila entre 8.8 a un 13.4%), la proteína cruda (oscila entre 18.3 a 26.3%) y los nutrientes digestibles (oscila en un 80%) (Maldonado *et al.*, 2013).

### **1.7 Solución hidropónica o nutritiva**

Para los cultivos sin suelo la nutrición es lo más importante, depende de ella la producción. Se utilizan soluciones nutritivas adecuadas a los requerimientos de los cultivos, proporcionando los elementos esenciales para que la planta cumpla todas sus etapas. Las soluciones madres son separadas en solución A (macronutrientes) y B (micronutrientes) por la incompatibilidad entre ellos.

Candía (2014) recalca que la disposición de nutrientes en cultivos hidropónicos es muy importante, la nutrición de la planta depende de la solución nutritiva (macronutrientes y micronutrientes). Está compuesta por sales minerales en cantidades ajustadas a los requerimientos nutricionales del cultivo, se utilizan fertilizantes con alta solubilidad incrementando significativamente el costo de producción (Preciado *et al.*, 2014).

Las plantas absorben las concentraciones de los elementos esenciales y no esenciales en dependencia de la cosecha, desarrollo vegetativo, estación del año, calidad del agua y la influencia del clima. Estos nutrientes han sido usado durante todo el tiempo en la hidroponía, pero no todos se absorben en las mismas cantidades por lo que se diferencian en varias concentraciones y han sido recomendado por diferentes autores (Tabla 1) (Ricardo, 2019).

**Tabla 1.** Rangos de concentraciones de los nutrimentos según diversos autores\*.

Elemento	Concentraciones (ppm)						
	Hoagland y Arnon	Resh	FAO	Jensen	Larsen	Cooper	Steiner
N	210	190	150-225	106	172	200-236	167
P	31	50	30-45	62	41	60	31
K	234	210	300-500	156	300	300	277
Mg	34	200	40-50	48	48	50	49
Ca	160	40	150-300	93	180	170-185	183
S	64	113	-	63	158	68	-
Fe	2.5	5.0	3.6	3.8	3	12	2-4
Mn	0.5	0.5	0.5-1	0.81	21.3	2	0.62
B	0.5	0.5	0.04	0.46	1	0.3	0.44
Cu	0.02	0.1	0.1	0.5	0.3	0.1	0.02
Zn	0.05	0.1	0.1	0.9	0.3	0.1	0.11
Mo	0.01	0.05	0.05	0.3	0.07	0.2	-

**Fuente:** Ricardo (2019).

\*Elementos anunciados por diferentes autores citados por Ricardo, (2019).

### 1.8 Forma de absorción de los nutrientes

La forma de absorción de los nutrientes en el suelo se da por las raíces, puede ser por tres vías:

- ✓ Difusión de iones o moléculas siguiendo un gradiente de concentración.
- ✓ El movimiento pasivo de iones, primordialmente los cationes, con el flujo del agua en la transpiración dada por las plantas.
- ✓ La intercepción de nutrientes por las raíces que crecen y colonizan el suelo.

Las plantas tienen diferentes mecanismos para absorber nutrientes del suelo, la más importante es la vía por difusión. Comúnmente absorben nutrientes en base a la tasa de descomposición, mineralización, solubilidad del mineral, capacidad de intercambio catiónico y la competencia con los microorganismos presentes, el aumento de las malas prácticas agrícolas afectan las características físicas y químicas del suelo, influyendo en la tasa de absorción de los elementos nutritivos (Valladares, 2004).

La composición de las sales disueltas en el agua varía según sus características. Las plantas toman los elementos en forma de iones (aniones “-” y cationes “+”) expresándose en masa (mg), moles (mmol) o equivalentes (meq) (Benavides *et al.*,

2014). Los elementos que están involucrados en la nutrición de las plantas están clasificados en macronutrientes (N, P, K, Ca, S y Mg) y micronutrientes (Cl, B, Fe, Mn, Zn, Cu y Mo) (Howard, 2001).

La cantidad de elementos que necesitan las plantas para su desarrollo y crecimiento se muestran en la siguiente Tabla 2.

**Tabla 2.** Forma disponible de los elementos tomados por la planta.

Elemento	Símbolo	Forma disponible	Peso atómico	ppm	Concentración en tejido seco %
Hidrogeno	H	H <sub>2</sub> O	1.01	60.000	6
Carbono	C	CO <sub>2</sub>	12.01	450.000	45
Oxígeno	O	O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	16.00	450.000	45
<b>Macronutrientes</b>					
Nitrógeno	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	14.01	15.000	1.5
Potasio	K	K <sup>+</sup>	39.10	10.000	1.0
Calcio	Ca	Ca <sup>++</sup>	40.08	5.000	0.5
Magnesio	Mg	Mg <sup>++</sup>	24.32	2.000	0.2
Fósforo	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	30.98	2.000	0.2
Azufre	S	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	32.07	1.000	0.1
<b>Micronutrientes</b>					
Cloro	Cl	Cl <sup>-</sup>	35.46	100	0.01
Boro	B	B <sub>3</sub> <sup>=</sup> , B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> <sup>=</sup>	10.82	20	0.002
Hierro	Fe	Fe <sup>+++</sup> , Fe <sup>++</sup>	55.85	100	0.01
Manganeso	Mn	Mn <sup>++</sup>	54.94	50	0.005
Zinc	Zn	Zn <sup>++</sup>	65.38	20	0.002
Cobre	Cu	Cu <sup>++</sup> , Cu <sup>+</sup>	63.54	6	0.0006
Molibdeno	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	95.95	0.1	0.00001

**Fuente:** Howard (2001).

### 1.9 Calidad de agua

Según Castellón et al. (2015), la calidad del agua es muy considerada en la agricultura gracias a su característica principal de disolver y mantener en suspensión sustancias tóxicas para la planta, factor muy importante después de la disponibilidad del agua. El agua se divide en calidad química y agronómica.

Los mismos autores, manifiestan que se debe tomar en cuenta la calidad química, este parámetro engloba las concentraciones de sales disueltas (CE), presencia relativa de sólidos (RAS), contenido de carbonatos y bicarbonatos (influyen y condicionan el pH), concentraciones de Fe, B, Cl y Mn. Así mismo, se incluyen elementos nutritivos para la planta como el Calcio, Magnesio y Sulfatos, que determinan la cantidad o balance final para la aplicación de los fertilizantes en una solución nutritiva.

### **1.10 Silicio (Si)**

El Silicio es el elemento más abundante de la litosfera, está presente en mayor cantidad en la cubierta terrestre con el 28%, precedido por el oxígeno con 47%. Los elementos C, H, O, N, P, K y S son considerados primordiales en los seres vivos, mientras que el Si es considerado elemento traza pero en algunas especies “algas verde-amarillas y diatomeas” se considera como un elemento esencial para la formación de las paredes celulares “frústulas” (Aguirre, 2007).

Sánchez (2015) recalca una mayor tolerancia a las condiciones climáticas como sequedad, frío, toxicidad mineral o deficiencia, salinidad, resistencias a insectos y hongos, siendo aplicado de forma foliar y suplementada a las soluciones nutritivas.

El Silicio ayuda a las paredes epidérmicas a mejorar las estructuras de las hojas, fuerza del tallo permitiendo resistencia a insectos. Tiene beneficios en las paredes de los vasos del xilema, previniendo condensaciones de los vasos bajo transpiraciones altas, debido a la tensión de calor. Las funciones metabólicas son afectadas si las temperaturas son superiores a 32 °C porque pierden agua a través de la transpiración, produciendo daños intracelulares y aumento de minerales que inhiben sus funciones (Sánchez, 2015).

Sánchez, (2015) agrega que el uso de Silicio soluble ayuda a controlar hongos así mitigando la aplicación de funguicidas gracias a que promueve las defensas de las plantas e incrementando la fertilidad del polen y las funciones metabólicas del fruto, se mencionan las siguientes funciones:

- Resistencia a la marchitez (vida de anaquel).
- Resistencia a cambios bruscos en el ambiente (frío y sequedad).
- Presencia de hoja reforzada y mejorada.

- Aumenta la tolerancia al Fosforo, Manganeso, Sodio, concentraciones altas de Aluminio y deficiencias de Zinc.

### *1.10.1 Silicio en el suelo y sus beneficios*

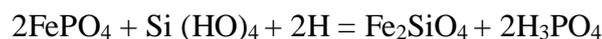
En la solución del suelo también se encuentra el Silicio y es absorbido por las plantas, debido a la afinidad de este elemento por los metales pesados para formar compuestos sólidos. El Ácido monosilícico y el Ácido polisilícico, son los principales compuestos de Silicio solubles, el Ácido monosilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) predominante en la solución del suelo y el compuesto más asimilable para las plantas, disponible en un rango de pH de 2 a 9 (Álvarez y Osorio, 2014).

El Silicio es absorbido por las raíces junto con el agua de la solución del suelo y cómodamente alterado en el xilema. La cantidad de fertilizante Silicatado que debe ser suministrada aún no ha sido establecida para la mayoría de suelos y cultivos, pero todo indica que a mayor cantidad de Silicio soluble activo, mejores serán los resultados para el suelo y la planta (Brady, 1984).

Sánchez (2015) señala que las aplicaciones edáficas de Silicio presentan beneficios en la agricultura, destacando lo siguiente:

**Estrés mineral:** La clasificación de estos es en dependencia a la deficiencia o exceso de elementos esenciales. Reportes mencionan que el Silicio ha tenido buenos beneficios cuando hay exceso de Fósforo (P), Sodio (Na), Manganeso (Mn), Nitrógeno (N) y Aluminio (Al), incluso cuando el Fósforo (P) se encuentra en deficiencia o en exceso el Silicio (Si) ayuda a regular la absorción de este elemento.

El Silicio ayuda a liberar el Fósforo fijado por el Hierro por la siguiente reacción:



- Para que la reacción ocurra se debe dar la aplicación de Silicio (Si) en fuentes edáficas (suelos).
- Además de ayudar en la liberación del Fosforo y hacerlo asimilables, inactiva el Hierro del suelo para que sea asimilado por las plantas formando

phyllosilicatos de Hierro. Compuestos muy estables que no permite la resolubilización del Hierro (Fe).

**Estrés por sales:** los beneficios del Silicio en los cultivos bajo estrés salino han tenido buenos resultados. La translocación de Sodio a los nuevos brotes está ligada a la transpiración de la planta. Los efectos benéficos del Silicio en condiciones salinas ayuda a disminuir la transpiración, lo que reduce el flujo de Sodio hacia la planta (Sánchez, 2015).

#### *1.10.2 Beneficio del Silicio en las plantas*

Según Piedrahíta (2008), la presencia del Silicio en las plantas ayuda aumentar la resistencia a enfermedades, plagas, sequías, rendimiento de biomasa. También es un ayudante a la disponibilidad del Fosforo en el suelo, reduciendo la toxicidad del Hierro, Aluminio, Manganeso.

Estudios demuestran que en cultivos en suelo, el Silicio ha sido de gran ayuda en el crecimiento y desarrollo de cultivos en condiciones de estrés biótico y abiótico. Por lo que se le agrega muchas atribuciones y mucho más cuando son aplicadas a cereales. Los beneficios son: reducción de toxicidad por minerales, mejora el balance de nutrientes, mitiga las enfermedades fungosas (Ortiz *et al.*, 2017).

Castellanos et al. (2015) manifiestan que el desorden de los nutrientes ayuda a la planta a debilitar sus estructuras foliares, induciendo al incremento de las concentraciones de compuestos orgánicos de bajo peso molecular y a ser propensas a las plagas. Con este criterio consideran que el Silicio es muy importante contra ataques de plagas y enfermedades fungosas.

El crecimiento, desarrollo y las estructuras de las plantas son mejorados gracias al Silicio, además, aumenta la productividad y protege de enfermedades fungosas gracias a la acumulación del Silicio en los tejidos de la plantas. El Silicio es esencial para el metabolismo que ayuda a la formación de hidratos de carbono y producir clorofila (Herrera, 2011).

Herrera, (2011) adjunta que la aplicación de este elemento ayuda a la fertilidad del suelo mejorando la disponibilidad del agua y mantenido los nutrientes en forma

asimilable para la planta, gracias a la estimulación de la macro y micro fauna, también ayuda a mejorar el pH en los suelos ácidos.

### **1.11 Forma de absorción del Silicio**

Piedrahíta (2008) indica que los vegetales absorben el Silicio en forma de Ácido monosilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) y Ácido ortosilícico [ $\text{Si}(\text{OH})_4$ ], encontrándose en la solución del suelo en concentraciones de 0.1 a 0.6 mol  $\text{m}^{-3}$  cuando esta asimilable, así mismo, el Silicio en rangos de pH de 2 a 9 se encuentra como Sílice hidratada o como Ácido silícico (Navarro, 2003).

Furcal y Herrera (2013) recalca que el Silicio se absorbe en forma Ortosilícico  $\text{Si}(\text{OH})_4$  y Metasilícico ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ). Para lograr niveles altos de Silicio asimilable se debe contar con productos que contengan niveles altos de este componente que al aplicarse al agua formen Ácido silícico.

SEPHU (2009) añade que el Silicio es absorbido por la raíz en forma de Ácido monosilícico, se dirige y se concentra en los brotes nuevos debido a la pérdida de agua que tiene la planta, primero se polimeriza a Sílice coloidal y después a Silica gel al seguir incrementándose la concentración de Ácido silícico. Cantidades excesivas de Silicio no causa ningún problema en la planta.

Las plantas absorben Silicio transportándolo desde la raíz al tallo, hojas y frutos por el torrente de agua que pasa por el xilema, por la transpiración y de segunda instancia por medio de difusión. Finalizado la absorción por la planta, se pierde el agua por medio de la transpiración acumulándose el Silicio en el haz de las hojas, vainas y corteza, formando una barrea protectora (Bustos, 2017). Al llegar a su destino esta genera una capa gruesa de 2.5n micra de espesor debajo de la cubierta cuticular (SEPHU, 2009).

Garbanzo (2018) concuerda con lo antes mencionado, las plantas absorben Silicio (Si) acumulándose en la cutícula creando una doble capa asociándose con los polifenoles y las pectinas de la pared celular formando barreras mitigando la pérdida de agua, transpiración cuticular e infecciones fungosas, de igual forma evita el stress biótico y abiótico. Ortiz et al. (2017) recalcan que el Silicio es transportado a grandes distancias

gracias al xilema, estos elementos se depositan en los vasos del xilema, siendo importante cuando la transpiración es alta.

### ***1.11.1 Absorción del Silicio vía foliar***

Las hojas pueden absorber nutrientes por el haz y envés gracias a los poros hidrófilicos que poseen, la absorción es determinada a la cantidad de estomas, de igual forma los poros están relacionados con la cantidad de estomas. La fertilización foliar es más eficiente y menos contaminante que la edáfica, considerada complementaria en etapas de desarrollo ya que muchos elementos presentan limitantes al momento de ser absorbido por la planta el cual se debe suministrar en proporciones grandes (Micronutrientes) (Bustos, 2017).

El uso de soluciones de detergente al momento de la aplicación de fertilizantes foliares ayuda a disminuir la tensión superficial en la entrada de los micronutrientes. La hoja tiene una cutícula externa que está compuestas por ceras hidrofóbicas impidiendo fuertemente el ingreso de soluciones o líquidos.

### ***1.11.2 Absorción por el apoplasto***

El apoplasto está formado por los espacios intercelulares de los tejidos, el xilema y la pared celular (el apoplasto está formado por parte abiótica de la planta). El agua y los nutrientes penetran la epidermis y corteza hasta llegar a la endodermis vía apoplástica, si la planta no tiene exodermis la vía que toma es la del simplasto, de no ser así la solución solo puede llegar por la vía apoplástica hasta la estela (Arjona, 1996). El apoplasto mantiene una concentración de pH determinante para el paso de los nutrientes al simplasto “esto puede ser manejado con aditivos reguladores de pH en las soluciones foliares” (Álvarez y Osorio, 2014).

La solución de nutrientes es absorbida por las plantas gracias a la penetración en la capa externa cuticular (células epidérmicas exteriores) de las hojas, así mismo a través de la raíz atraviesa por el xilema para llegar a la parte aérea de la planta; el Silicio se acumula gracias a la transpiración, formando fitolitos (fitolitos son partículas microscópicas de silicio acumulados en el tejido epidérmico “complejo silicio-celulosa”), denominada silicificación (Álvarez y Osorio, 2014).

El Silicio acumulado no es móvil su retorno es cuando los restos de la planta caen y se descomponen en el suelo, de esta forma es el ciclo bioquímico del Silicio, indicando la teoría de la formación de barreras permanentes en los tejidos epidérmicos de las plantas, mucho más en las hojas y frutos (Álvarez y Osorio, 2014).

### ***1.11.3 Absorción por el simplasto***

La solución (agua + nutrientes) es transportada vía apoplasto hasta llegar a las bandas de Caspari (la banda de Caspari está impregnada de suberina y lignina, estas capas impiden el movimiento del agua por el apoplasto), el agua y los nutrientes están obligado a penetrar el citoplasma de la células de la endodermis y continuar por vía simplasto hasta llegar a la estela. Esta vía está constituida por la energía y regulada por proteínas de transporte con  $H^+$  ATP, aumentando la absorción en la membrana celular (Arjona, 1996).

La forma de absorción del Silicio depende mucho de la planta. En el arroz su ingreso es activa, más rápido que el agua; y en plantas como el pepino con absorción pasiva, el Silicio ingresa a igual velocidad que el agua presentando cambios no significativos de la concentración de Silicio en el suelo, y en otras el Silicio tiende a ser excluido, esto se da en plantas selectivas como por ejemplo el tomate (Bustos, 2017).

### ***1.11.4 Distribución y translocación del Silicio***

Los nutrientes no tienen la misma distribución dentro de la plantas, lo que se da por su movilidad, existen elementos móviles como el N, P, K y Mg, se mueven de forma acropetal (xilema) y de forma basipetal (floema); los de mayor inmovilidad son el Ca, S entre otros y se mueven de forma basipetal (floema) (Bustos, 2017). Caicedo y Chavarriaga (2007), también añaden que el Si es absorbido juntamente con el agua de la solución del suelo, el cual ayuda a facilitar su translocación en el xilema.

Este elemento al ser absorbido por las raíces es transportado a la parte aérea depositándolo en los tejidos como Silicio amorfa hidratada (Castellano, Prado y Campos, 2015). El Silicio no tiene una gran diferencia en la absorción y distribución de los demás elementos en la planta, de igual manera, al no llegar ser redistribuido una vez acumulado como ópalo, su translocación en la planta es fuertemente influenciado con la corriente de la transpiración (Álvarez y Osorio, 2014).

## **CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Ubicación y descripción del lugar de ensayo**

El presente trabajo se llevó a cabo en el centro de prácticas de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, ubicada en el cantón La Libertad perteneciente a la provincia de Santa Elena, entre los meses de agosto a octubre, ubicación geográfica 2°12'55.83" de latitud sur y 80°52'33.30" de longitud oeste.

La clasificación climática de la provincia de Santa Elena es semiárido con una vegetación desértica tropical, una altitud de 44 m.s.n.m, la temperatura promedio es de 22.9 °C, con una humedad relativa de 82%. Los datos fueron obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, estación ubicada en UPSE (INAMHI, 2019).

### **2.2 Infraestructura**

El trabajo se realizó en una infraestructura (invernadero) de hierro galvanizado de 200 m<sup>2</sup> (20 m “largo” x 10 m “ancho” x 4 m “alto”), la parte aérea cubierta con una malla de polietileno UV/IR calibre 6, las paredes laterales y frontales estuvieron cubiertas por una malla blanca (50% de sombreo).

Así mismo, consta en la parte exterior de un sistema de riego, con un tanque de 200 litros en un agujero con una profundidad de 0.5 m. Para el sistema de riego se utilizó una bomba eléctrica de 1.5 HP, mangueras flex de 1” y ½”, llaves de pasos y nebulizadores (54 unidades), el cual fue automatizado gracias al uso de un programador de riego (TIMER) con impulsos de riego de 3 minutos por cada 2 horas. Para la instalación del sistema del experimento se utilizó infraestructuras de hierro (6.50 m “largo”, 1.30 m “ancho”, 2 m “alto”), con cuatro niveles, que sirve de soporte para cada unidad experimental (bandejas “60 cm x 40 cm”; con 11 orificios de 8 mm de diámetro en la cara frontal), el mismo que fue dividido en tres unidades experimentales, el volumen de agua por unidad experimental (bandeja) fue el siguiente (0.5 litros x riego). Para la fertilización manual se utilizó bombas mochila JactoXP12-16-29.

## 2.3 Característica de la calidad del agua

El agua utilizada en el proyecto, es la que distribuye AGUAPEN, sirvió como solvente de la solución nutritiva, previo a esto se obtuvo un análisis de la calidad del agua, la misma que fue realizada en el laboratorio INIAP-Pichilingue (Anexo 1). Los resultados presentaron baja salinidad apta para riego y fertirriego, pero el pH y los niveles de bicarbonatos podrían dificultar la asimilación y disponibilidad de los nutrientes, los niveles de cloruros y sodio son adecuados, pero hay que tomar en cuenta su antagonismo con los demás elementos (Tabla 5).

**Tabla 3.** Características del agua.

Parámetro	Contenido	Unidad	Interpretación
CE	0.23	dS/m	
TDS	104	mg/l	
Ca	23	mg/l	Normal (sin restricción en el uso)
Mg	7.8	mg/l	
Na	6.9	mg/l	
K	7.02	mg/l	
CO <sup>3</sup>	0	mg/l	
HCO <sub>3</sub>	53.7	mg/l	Puede causar restricción en el uso
Cl	45.5	mg/l	
SO <sub>4</sub>	2.5	mg/l	
NO <sub>3</sub>	0	mg/l	Normal (sin restricción en el uso)
Fe	0.03	mg/l	
B	0.08	mg/l	
pH	7.2		Puede causar restricción en el uso
RAS	0.32	(meq/l) <sup>1/2</sup>	Normal (sin restricción en el uso)
Dureza	90	mg/l	Blanda

**Fuente:** Laboratorio INIAP-Pichilingue (2016).

## 2.4 Materiales

### 2.4.1 Material biológico

El maíz utilizado fue un material reciclado del híbrido EMBLEMA. Esta híbrido es originaria de Tailandia y de la misma línea de los AVANTAS, consta de las siguientes características (Moreira, 2019):

- El emblema puede alcanzar un desarrollo de 260 cm de altura.
- La altura de inserción de la mazorca es a los 150 cm desde el suelo.

- Puede llegar a tener 14 a 16 hileras en la mazorca.
- El ciclo productivo es de 125 días
- Los días de la cosecha están entre los 120 a los 140 días después de la siembra.
- Puede emitir la capa florar a los 54 días después de la siembra en condiciones favorables.
- Desarrolla un grano semi cristalino con un color naranjado Rojizo.
- Tolera moderadamente las enfermedades foliares y moderadamente resistente a enfermedades de la mazorca.

#### **2.4.2 Material y equipos**

##### **Materiales**

Tanque de 200 litros	Canecas o pomas
Sistema de riego	Bandejas plásticas (charolas)
Polietileno negro	Colador
Macro y micronutrientes y Silicio	Bolsa (saco)
Flexómetro	

##### **Equipos**

- Programador de riego: GALCON
- Bomba de mochila
- Bomba eléctrica: Pedrollo top II de 1.5 HP
- Conductímetro: OAKTON ECTester11
- pH-metro: Milwaukee pH55
- Balanza digital: BOECO BWL 61
- Termohigrómetro: Testlab modelo BOE327
- Estufa EquipLab: modelo GX125BE
- Luxómetro: Hanna HI 97500

## 2.5 GRANSIL

Es un producto potencializador agrícola 100% natural. Puede ser usado en todo tipo de cultivos. En suelos aumenta la conductividad eléctrica generando una mayor capacidad de intercambio catiónico, incorporando minerales insolubles, estimulando la actividad microbiana en el suelo, así mismo, mejora la estructura de los suelos y por ende el manejo del agua. Las plantas tendrán acceso a más nutrientes y resistirán mejor el stress (calidad de agua y efectos de calor).

**Aplicación:** La aplicación de este producto es vía foliar, actúa como biocatalizador, estimula la función de respiración: El tallo, hojas y cortezas se hacen ásperas y resistentes, de esta manera se estimulan los mecanismos de defensas de las plantas contra el ataque de hongo. Otras ventajas del producto es ayudar al endurecimiento de la raíz, aumenta la eficacia de la fotosíntesis, que maximiza la producción. Fortalece los tallos, pedúnculos de flores y frutas siendo bastante difícil que caigan. También realza el tiempo de durabilidad post-corte de verduras y frutas.

**Tabla 4.** Composición del GRANSIL.

Elemento	% p/p	% p/v
Silicio (SiO <sub>2</sub> )	12.38	16.10
Potasio (K <sub>2</sub> O)	1.31	1.7
Ácido monosilícico	19.32	25.11

## 2.6 Diseño experimental y tratamientos

El ensayo se llevó bajo un diseño completamente al azar (DCA), 4 tratamientos y 9 repeticiones. Los tratamientos fueron los siguientes y los grados de libertad los presenta la Tabla 7:

- Agua (T1)
- Solución nutritiva (T2)
- Solución nutritiva + Si (5% “2.5 ml 10 L<sup>-1</sup>”) (T3)
- Solución nutritiva + Si (10% “5 ml 10 L<sup>-1</sup>”) (T4)

**Tabla 5.** Distribución de los grados de libertad.

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de Libertad (-1)</b>
<b>Total</b>	35
<b>Tratamientos</b>	3
<b>Error</b>	32

## **2.7 Delineamiento experimental**

a) Diseño experimental	DCA
b) Número de tratamientos	4
c) Número de repeticiones	9
d) Número de bandejas	36
e) Superficie (Unidad Experimental)	0.25 m <sup>2</sup>
f) Altura de la unidad experimenta	0.60 m
g) Cantidad de plantas por UE	500 g

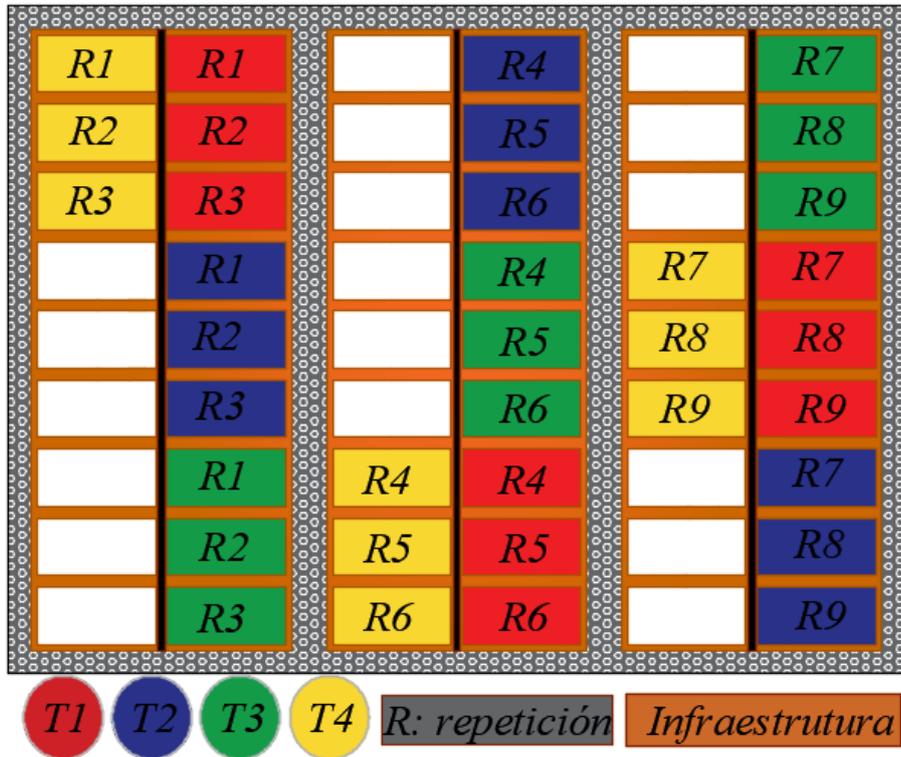


Figura 1. Distribución de los tratamientos.

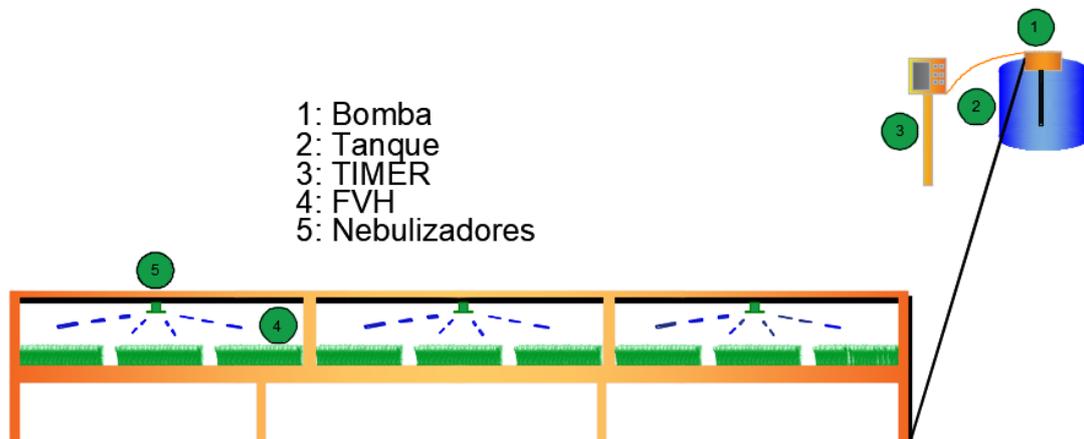


Figura 2. Infraestructura automatizada para Forraje Verde Hidropónico.

## **2.8 Análisis estadístico**

Los datos fueron sometidos al análisis de varianza. Se aplicó la prueba de Tukey con un 95% de confianza. Los análisis se realizaron con el programa “InfoStat” versión estudiantil.

## **2.9 Manejo del experimento**

La dosis de semilla utilizada fue 0.5 kg por cada 0.25 m<sup>2</sup>. La semilla al ser humedecida aumenta a un 10% de su peso. Se utilizaron 36 bandejas para el experimento, con un total de semillas de 18 kg en los 9 m<sup>2</sup>, que al humedecer aumentaron un 10% (19.8 kg).

### ***2.9.1 Selección, lavado y desinfección de semillas***

La selección consistió en separar las semillas sanas de las contaminadas de hongos o alguna alteración por la polilla, se retiraron las impurezas (cuerpos extraños, semillas con daños físicos y lanas).

Para finalizar, el lavado se hizo una desinfección de las semillas con una solución de hipoclorito de sodio “cloro” en una concentración del 1% (10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua) durante 1 minuto, se retiró y enjuagó con abundante agua limpia, tres veces para eliminar restos de cloro (Acosta, 2016).

### ***2.9.2 Preparación para el pre germinado***

Se colocó las semillas en una bolsa (saco) y se sumergió en un recipiente (tanque) con agua limpia, 1 litro de agua por kilo de semilla durante 24 horas (Yanes, 2013). Después del remojo se colocó las semillas en las respectivas unidades experimentales (bandejas) y luego fueron llevados a un túnel de polietileno negro de 0.2 mm de espesor para generar una adecuada temperatura para su germinación durante 72 a 96 horas.

### ***2.9.3 Solución nutritiva***

La solución establecida para el ensayo fue la de Sonneveld y Voogt. Está considerada la preparación de la solución madre con los macros y micros nutrientes esenciales para

la planta (Tabla 8). Por otro lado, la relación aplicada para la solución madre fue de 1:100, donde cada litro de solución madre se diluyó en 100 litros de agua “se utilizó 5 litros de solución madre (5:500)”.

Para la preparación se aplicó los fertilizantes según la solubilidad de cada uno, primero el menos soluble. Al preparar la solución fertilizante se aplica primero el ácido fosfórico; y después las soluciones A, B y C y el Silicio.

**Tabla 6.** Fertilizantes y concentraciones usados en la solución nutritiva “Sonneveld y Voogt”.

<b>Nombre comercial</b>	<b>Formulación</b>	<b>Concentración</b>	
Ácido fosfórico	PO <sub>4</sub> H <sub>3</sub>	0.016 cc L <sup>-1</sup> Agua	
<b>Macronutrientes (solución A)</b>		<b>1 L de SM (g/L)</b>	<b>5 L de SM (g/5L)</b>
Nitrato de potasio	NO <sub>3</sub> K	60.66	303.3
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub>	16.2	81
Fosfato monopotásico	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	20.4	102
<b>Solución B</b>			
Nitrato de calcio	(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca	67.26	336.3
<b>Micronutrientes (solución C)</b>			
Quelato de hierro	Fe–Quelato	7.5	37.75
Molibdato de sodio	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	0.01	0.05
Sulfato de manganeso	MnSO <sub>4</sub>	0.23	1.15
Ácido bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.15	0.75
Sulfato de cobre	CuSO <sub>4</sub>	0.39	1.95
Sulfato de zinc	ZnSO <sub>4</sub>	0.04	0.2

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **2.9.4 Etapa de luz**

Una vez que las plántulas alcanzaron una altura de 4 cm, las unidades experimentales fueron trasladadas a las infraestructuras para la captación de energía solar (luz).

Estuvieron bajo riego por 5 días, después comenzó el periodo de fertilización por el tiempo de 5 días más, tal como se explica en el cronograma detallado (Tabla 9). En los últimos 4 días el forraje alcanzó una altura entre 20 y 25 cm, listo para la cosecha. Se dejó un día de riego con agua para eliminar residuos minerales que puedan ser tóxicos para el ganado.

**Tabla 7.** Cronograma de la producción del FVH.

<b>Día</b>	<b>Secuencia de las etapas de producción del FVH</b>
1	Selección, desinfección y lavado de las semillas
2	Remojo de la semillas (duración de la actividad 24 horas)
3-6	Etapas de pregerminado en oscuridad con riego
7-11	Desarrollo en luz – riego con agua cada 2 horas
12-16	Desarrollo en luz – fertilización cada 2 horas
17	Riego con agua (lavado)
18	Día de seca
19	Cosecha (forraje con 20 a 25 cm)

**Fuente:** Elaboración propia.

## **2.10 Variables a evaluar**

Las variables climáticas fueron medidas diariamente, desde el comienzo hasta el final. Los datos recolectados solo fueron de 13 días, durante el mes de octubre debido al tiempo que se demora la producción.

### **2.10.1 Porcentaje de germinación**

Se seleccionó cuatro bandejas de las unidades experimentales, las que fueron identificadas y colocadas en diferentes lugares del túnel, en cada bandeja se tomó como referencia 100 granos para cuantificar el porcentaje de germinación, los datos fueron tomados el día 1 y 3 después de la siembra.

### **2.10.2 Humedad relativa (máxima y mínima)**

Para esta variable se utilizó un termohigrómetro digital BOE324. Se midió la humedad relativa los primeros días de germinación, el termohigrómetro fue colado en el interior del túnel de polietileno negro.

También se midió la humedad relativa cuando las bandejas fueron pasadas a la luz, colocando el termohigrómetro dentro del invernadero a una altura de 1.2 m, a esa altura estaban colocadas las unidades experimentales.

### ***2.10.3 Temperatura (máxima y mínima)***

Se utilizó un termohigrómetro digital BOE324. Se midió la temperatura los primeros días de germinación, el termohigrómetro fue colado en el interior del túnel de polietileno negro.

Así mismo se tomó la temperatura cuando las unidades experimentales pasaron a la etapa de luz, colocando el termohigrómetro a la altura del forraje hidropónico.

### ***2.10.4 Radiación solar***

La intensidad lumínica o radiación solar se recolecto usando un luxómetro en la parte interna y externa de la nave, los datos fueron tomados a las 8:00 y 14:00, la radiación solar esta expresada en Klux (1 Klux = 1000 lux).

### ***2.10.5 Altura de la planta***

La altura de la planta se lo tomo en la parte central de cada bandeja, desde la base hasta la parte aérea del forraje, se utilizó una regla.

### ***2.10.6 Rendimiento de materia fresca***

Para determinar el rendimiento se empleó una balanza (BOECO BWL 61), con capacidad máxima de 6 kg con una precisión de 0.1 kg. El rendimiento alcanzado por una bandeja, con una regla de tres simples se llevó a  $m^2$  (4 bandejas =  $m^2$ ).

### ***2.10.7 Porcentaje de materia seca***

Para la determinación de materia seca se tomó 100 g de forraje fresco, de la sección central transversal de la bandeja (aprox. 5 cm) e introducidas en una funda de papel, identificándolas por el tratamiento y repeticiones ( $T_1R_1$ ). Las muestras fueron colocadas en una estufa “EquipsLab modelo GX125BE”, con una duración de 72 horas a 65 °C. El porcentaje de materia seca (MS) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\%MS = (PS/PF) \times 100$$

**PF:** Peso fresco de la muestra (g)

**PS:** Peso seco de la muestra (g).

#### *2.10.8 Análisis proximal*

En este análisis se obtuvo el porcentaje de proteína, fibra, ceniza, E.E y E.L.N. Para realizar el análisis proximal se recolecto las muestras y luego se los envió al laboratorio de nutrición de Santa Catalina del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Quito “INIAP”, para saber la calidad nutricional del FVH. Sin embargo, se recalca que para el análisis estadístico se utilizó por cada tratamiento tres muestras homogenizadas por todas las repeticiones.

## 2.11 Costos del experimento

**Tabla 8.** Costo del experimento.

<b>Costos del experimento "FVH"</b>				
<b>Descripción del producto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>V. Total</b>
<b>Costos para la producción del forraje verde hidropónico</b>				
<b>Material biológico</b>				
Maíz	Qq	1.00	\$15.00	\$15.00
Silicio (GRANSIL)	L	1.00	\$27.80	\$27.80
Agua	L/Día	108.00	\$0.60	\$64.40
Cloro	Funda de 250 ml	2	\$0.60	\$1.20
Plásticos negro	M	10	\$1.50	\$15.00
Fundas de papel	Paquete 100 und	1	\$1.50	\$1.50
				<b>\$124.90</b>
<b>Análisis de laboratorio</b>				
<b>Análisis proximal</b>				<b>\$720</b>
<b>Subtotal</b>				<b>\$844.90</b>
<b>Imprevistos 5%</b>				<b>\$42.25</b>
<b>Total</b>				<b>\$ 887.15</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.11.1 Fuente de financiamiento

El presente trabajo fue financiado con los recursos materiales de la Institución (UPSE). Los análisis de laboratorios fueron abalados por el Dr. Héctor Abel Palacios, quien desarrolla una investigación y uno de sus objetivos son los resultados del proyecto de investigación realizada en la UPSE. Así mismo se invirtió dinero para la compra de los materiales biológicos a utilizar, que fue dada por recursos propios (Tabla 11).

**Tabla 9.** Fuentes de financiamiento.

<b>Descripción</b>	<b>Dinero (\$)</b>	<b>Cantidad (%)</b>
UPSE (Las infraestructuras, el sistema de riego y los utensilios básicos para realizar el ensayo).	\$10,082.89	90.04
INIAP (Análisis proximal).	\$720.00	6.42
Recursos humanos propios.	\$395.00	3.53

**Fuente:** Elaboración propia.

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 3.1 Variables climáticas

#### 3.1.1 Temperatura

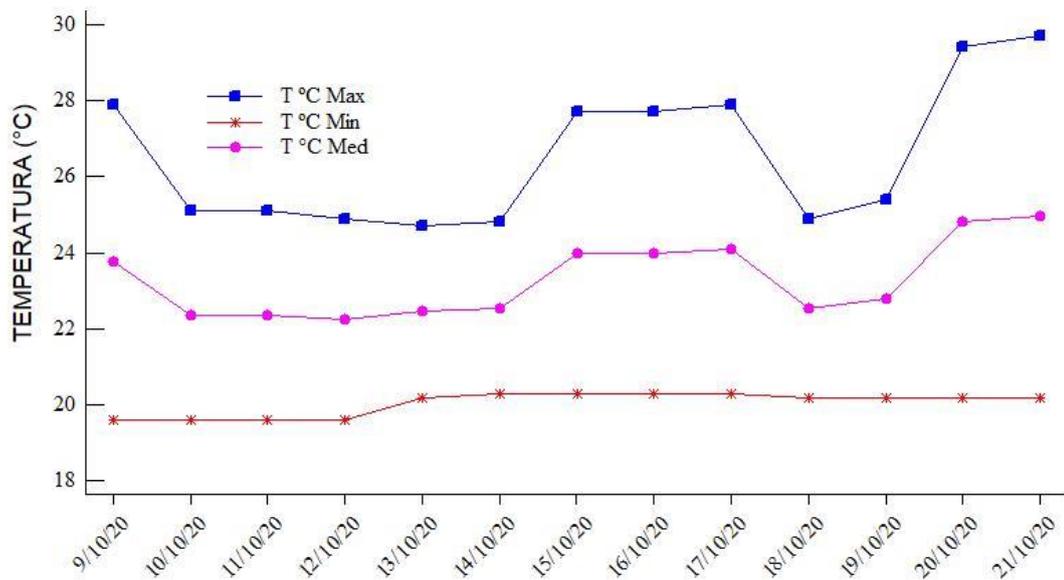
En la Figura 3 se observa que esta variable en el experimento mantuvo una temperatura máxima (Tmax) de 24.9 a 27.9 °C y de temperatura mínima (Tmin) 19 °C, durante el primer periodo de toma temperaturas.

La temperatura máxima encontrada en el ensayo, es similar a los mencionados por Cruz (2013), quien en su trabajo obtuvo en la etapa de germinación una Tmax de 27 °C, a excepción de la Tmin que fue menor a 15 °C. Por otro lado, los datos encontrados por Tranquilino et al. (2016) concuerdan con la información entregada por Cruz, el mismo que encontró una Tmin de 15 °C; al mismo tema Soto y Ramírez (2018) manifiestan que para el proceso de la germinación se debe utilizar unas Tmax que va desde 23 a 25 °C, valores similares al ensayo realizado.

**Segundo periodo de toma de temperaturas:** los datos encontrados en la segunda etapa de desarrollo del FVH, fueron los siguientes; para la Tmax oscilaron de 24.8 a 29.7 °C y para la Tmin estuvieron de 20.2 a 20.3 °C (Figura 3). Estas temperaturas encontradas son óptimas para el desarrollo del cultivo acorde a los manifestado por Tranquilino et al. (2016), quienes señalan que las temperaturas deben fluctuar entre 24 a 30 °C para el desarrollo morfológico del FVH, a este criterio se adjunta lo que manifiesta Juárez et al. (2013), se debe tener una temperatura ejemplar (Tmax 28 y °C Tmin 21°C).

Una investigación realizada por Soto y Ramírez (2018) señalan que mantuvieron temperaturas más exactas gracias al monitoreo realizado cada cinco minutos (se utilizó un modelos Data logger HOB0 U23 Pro v2), encontrando un promedio de Tmax 31.5 °C y una Tmin 19.7 °C, con una temperatura media de 23.9 °C. Monroy, Rolón y Sepúlveda, (2017) recalcan que la temperatura influye directamente en la tasa de

desarrollo y crecimiento, lo cual depende la respiración, fotosíntesis, transpiración, absorción de agua, permeabilidad de la membrana celular y actividades enzimáticas.



**Figura 3.** Temperatura máxima, mínima y media, registrada dentro del invernadero en la etapa de germinación y desarrollo del FVH en el mes de octubre del 2019.

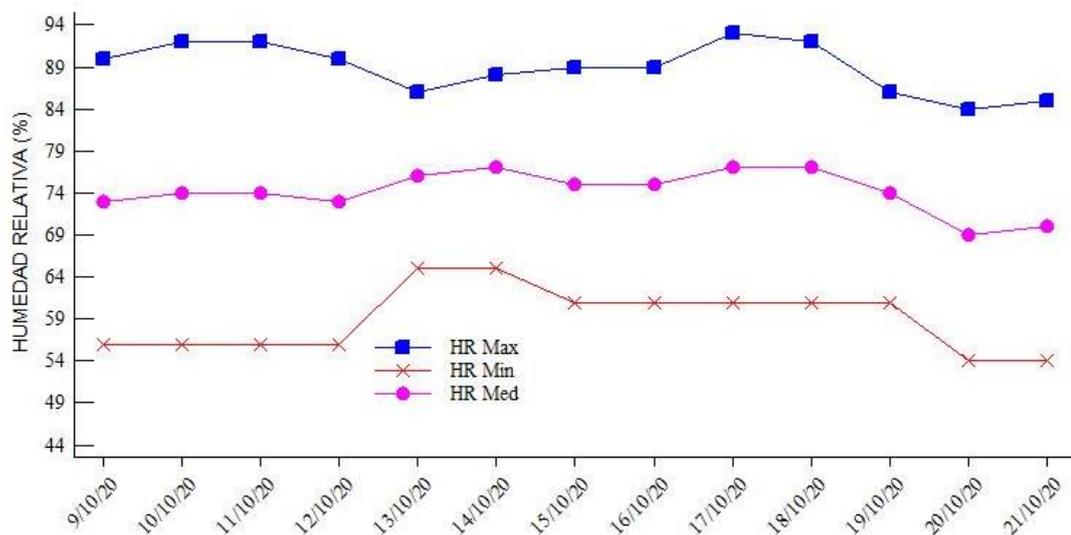
### 3.1.2 Humedad relativa

En el primer periodo de recolección de datos, la humedad máxima (Hmax) estuvo entre 90 a 92%, la mínima (Hmin) se mantuvo en 56% y con una media entre 73 y 74%, valores dado en la etapa de germinación (Figura 4). Los valores antes mencionados durante el experimento son elevados; al compararlos con lo obtenido por Soto y Ramírez (2018), que, en la etapa de germinación la humedad relativa estuvo en un 85%.

Durante el segundo periodo de toma de datos (etapa de luz), la Hmax oscilo entre 84 a 93%, la Hmin entre 54 a 65% y una media entre 69 a 77% (Figura 4). Los datos antes mencionados fueron más altos a lo obtenido por Maldonado et al. (2013), los cuales la Hmax alcanzo 78.4% y la Hmin fue de 30.4%, con una media de 54.4%.

Según Juárez et al. (2013), la humedad no tiene que ser superior a 90%, ni ser menor a 70%, a este criterio se suma Fernández (2012), quien está acorde con el criterio antes mencionado, señala también, que a menor porcentaje de humedad puede existir proliferación de enfermedades fungosas y bacterianas.

El mismo autor, menciona que lo ideal es, trabajar en sistemas cerrados con un riego tecnificado de micro aspersión o nebulización; a este criterio se suma Sánchez et al. (2013), citando a (Resh, 2001), la mayoría de los sistemas comerciales para producción de forraje hidropónico son sistemas cerrados con luz artificial para poder mantener temperaturas y humedades optimas, así mismo, García (2013) concuerda que utilizar sistemas cerrados ayuda a mantener temperaturas y humedades aptas para producir forraje hidropónico.



**Figura 4.** Humedad máxima, mínima y media dentro del invernadero en la etapa de germinación y desarrollo del FVH en el mes de octubre del 2019, provincia Santa Elena.

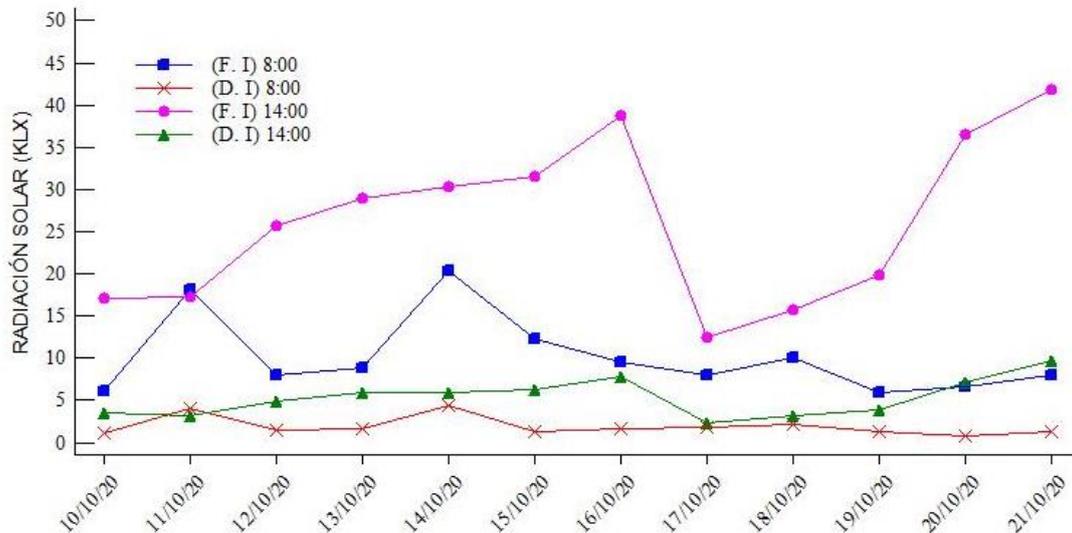
### 3.1.3 Radiación solar

**Radiación solar en la mañana (8:00 pm):** la mayor incidencia solar dentro y fuera del invernadero estuvo entre 4.1 y 18.21 Klx (kilolux) respectivamente, con los datos antes mencionados se puede decir que existió un 22.5% menos de radiación solar dentro de la nave (Figura 5).

**Radicación solar en la tarde (14:00 pm):** la mayor incidencia solar dentro y fuera del invernadero estuvo entre 9.66 y 41.8 Klx respectivamente, con los datos antes mencionados se puede decir que existió un 23.1% menos de radiación solar dentro de la nave (Figura 5).

La radiación solar dentro del invernadero emitida durante el ensayo fue menor, debido a la protección de una malla de polietileno con un 50% de sombra, el cual no presento ningún problema, a este razonamiento se puede discutir con lo manifestado por Sánchez

et al. (2013), quienes señalan que utilizo una maya de polietileno con un 70% de sombra y no presento problemas en la producción de FVH.



**Figura 5.** Radiación solar presente en el interior y exterior del invernadero tomados en dos diferentes horarios “8:00 y 14:00 horas”, en la etapa de producción del FVH, entre el 10 y 21 de octubre del 2019, en la provincia de Santa Elena.

Según Monroy, Rolón y Sepúlveda (2017), la importancia de los parámetros climáticos discutidos anteriormente dentro de un invernadero es muy considerada, puesto que, si no se toma en cuenta puede causar muchos problemas en la producción. El metabolismo y consumo de agua en los vegetales obtenidos en un invernadero varían gracias a los cambios de radiación solar, humedad, temperatura y velocidad de viento (Ramos *et al.*, 2017).

### 3.2 Germinación

Los datos obtenidos para esta variable fueron tomados desde el segundo día después de la siembra, se obtuvo un promedio de 93.5% de germinación y al día cuatro se obtuvo un promedio de 96.5% de germinación (Tabla 12). Los porcentajes encontrados en el experimento fueron superiores a lo alcanzado por Murillo (2009) y García, (2013), quienes obtuvieron entre 95% y 90% respectivamente, utilizando variedades diferentes de maíz.

Para obtener buenos rendimientos en la producción de forraje verde hidropónico es fundamental usar semillas con buenas características y un porcentaje de germinación

arriba del 90% (Juárez, 2013). Una investigación realizada por Maldonado et al. (2013), utilizando semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) alcanzaron un porcentaje de germinación del 90%, en un invernadero tipo capilla con cubierta de vidrio, corroborando la información antes mencionada.

**Tabla 10.** Porcentaje de germinación al segundo y cuarto día después de la siembra.

		Germinación (%)			
Bandeja	N de semilla	9/10/2019		11/10/2019	
		S no germinada	%	S no germinada	%
1	100	5	95	2	98
2	100	9	91	6	94
3	100	7	93	4	96
4	100	5	95	2	98
		<b>Promedio</b>	<b>93.5</b>		<b>96.5</b>

**Fuentes:** Elaboración propia.

\*S= Semillas

### 3.3 Variables Agronómicas

En la Tabla 3A presenta el efecto ocurrido con cada una de las soluciones de fertilizantes sobre la altura de las plantas del forraje hidropónico a los 15 días después de la siembra. El T<sub>1</sub> presento estadísticamente diferencias significativas comparados con los otros tratamientos (p-valor 0.0001), la altura obtenida fue de 22.22 cm. Los T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> no presentaron diferencias significativas entre ello (Tabla 13).

El Tratamiento 3 con una dosis de Si de 2.5 ml 10 L<sup>-1</sup> alcanzó una altura de 24.89 cm, superando al tratamiento 4 con 24.33 cm el cual contenía una dosis de Si de 5 ml 10 L<sup>-1</sup> (Tabla 13). Los datos obtenidos con el uso de Silicio están acorde a lo manifestado por González, Ceballos y Benavides, (2015), quienes señalan que la aplicación de Silicio a la solución fertilizante ayuda a la altura del FVH, ellos encontraron mayores alturas, con la dosis mayor utilizada en su investigación (0.025 ml L<sup>-1</sup> de Silicio).

Por otro lado, un estudio realizado en un cultivo de arroz forrajero reveló que la aplicación de Silicio (Ácido monosilícico) con una dosis de 50 y 100 mg kg<sup>-1</sup> ayuda en el crecimiento de la planta y en la etapa reproductiva, gracias a este elemento que

genero un efecto positivo en el balance nutricional mejorando la disposición del P (Borda, 2007). Así mismo, Villalón et al. (2018) manifiestan que el Silicio tiene efectos positivos en el crecimiento y calidad de las plantas de chile piquín (*Capsicum annum L. var. glabriusculum*), al utilizar Dióxido de silicio, lo que permite mejorar la calidad de la planta y aumentar el crecimiento.

**Tabla 11.** Efecto de la solución nutritiva “Sonneveld y Voogt” sometido a diferentes dosis de Silicio sobre la altura del FVH.

Variable	p-valor	CV (%)	Soluciones			
			Agua	SN	SN + Si (5%)	SN + Si (10%)
Altura (cm)	0.0001	3.43	22.22 <sup>b</sup>	25.22 <sup>a</sup>	24.89 <sup>a</sup>	24.33 <sup>a</sup>

**Fuente:** Elaboración propia.

Los valores con letra común, no presentan diferencias significativas con p-valor  $\leq 0.05$ .

Nota: p-valor = nivel de significancia; CV = Coeficiente de variación.

La Tabla 4A muestra el efecto de cada solución fertilizantes en el rendimiento a los 15 días después de la siembra. En la Tabla 14 muestra que el tratamiento 1 alcanzo un rendimiento de 1.66 kg/0.25 m<sup>2</sup>, presentando diferencias significativas frente a los demás tratamiento (p-valor 0.0003). Además, el T<sub>2</sub> (2 kg/0.25 m<sup>2</sup>), T<sub>3</sub> (1.93 kg/0.25 m<sup>2</sup>) y T<sub>4</sub> (1.94 kg/0.25 m<sup>2</sup>) no presentaron diferencias significativas, mientras que el tratamiento 2 (SN) fue el que mayor rendimiento alcanzo, con 2 kg/0.25 m<sup>2</sup>. De acorde a los datos antes mencionados Rivera et al. (2010) adjuntan que el rendimiento alcanzado estuvo entre 3.86 y 3.32 kg/kg de semilla, utilizando bandejas de 0.125 m<sup>2</sup>. Por otro lado, Según Salas et al. (2012), obtuvieron un mayor rendimiento de 19.71 kg/m<sup>2</sup>, explicada por la densidad de siembra que utilizaron (3.5 kg/m<sup>2</sup>) y la implementación de una solución orgánica de Té de Vermicompost (TVC).

Los tratamientos con distintas dosis de Silicio no tuvieron diferencias significativas, el T<sub>3</sub> obtuvo 1.93 kg/0.25 m<sup>2</sup> y el T<sub>4</sub> alcanzo 1.94 kg/0.25 m<sup>2</sup> (Tabla 14). González, Ceballos y Benavides, (2015) mencionan que alcanzaron 10.34 kg/m<sup>2</sup> con una dosis de Silicio de 0.025 ml L<sup>-1</sup> y utilizando 3 kg de semillas por bandeja.

Castillo y Galecio (2019) demuestran que el Silicio no influye estadísticamente en el rendimiento pero si en otros parámetros como la resistencia a plagas. Sin embargo (López, Cuesta y Eraso (2015); Castellanos et al. (2015)) manifiestan que al aplicar

Silicio en dosis altas con los macronutrientes, manteniendo buenas relaciones entre ellos ayudan a aumentar el rendimiento, la altura, materia seca. Así mismo, la aplicaciones de macronutrientes junto con Silicio mejora la concentración de Silicio en las hojas de arroz y conlleva el aumento a la resistencia de enfermedades fungosas (Albornoz, Silva y Torres, 2016).

Araya et al. (2015) realizaron un ensayo en un invernadero utilizando semillas de sorgo demostrando así que la aplicación de Silicato de potasio junto con Ca y Mg en dosis de 4 ml ayudan en la producción de biomasa aérea, además produce un incremento muy significativo de K. Por otro lado, demuestran que la aplicación de Silicato de potasio sin Ca y Mg no ayuda en la producción de biomasa por la relación que deben tener estas moléculas.

Con lo antes mencionado, las soluciones nutritivas a base de fertilización orgánica o inorgánica son muy importantes para el desarrollo y el rendimiento del FVH. Los resultados obtenidos utilizando diferentes soluciones nutritivas, satisficieron las necesidades nutricionales del FVH, en el ensayo realizado en el Instituto Tecnológico de Torreón por (Pérez *et al.*, 2012).

**Tabla12.** Efecto de la solución nutritiva “Sonneveld y Voogt” sometido a diferentes dosis de Silicio sobre el rendimiento del FVH.

Variable	p-valor	CV (%)	Soluciones			
			Agua	SN	SN + Si (5%)	SN + Si (10%)
R (kg)	0.0003	8.42	1.66 <sup>b</sup>	2.00 <sup>a</sup>	1.93 <sup>a</sup>	1.94 <sup>a</sup>

**Fuente:** Elaboración propia.

Los valores con letra común no presentan diferencias significativas con  $p$ -valor  $\leq 0.05$ .

Nota:  $p$ -valor = nivel de significancia; CV = Coeficiente de variación.

Con respecto al porcentaje de materia seca (MS) a los 15 días después de la siembra (Tabla 5A), se analizó los datos recolectados permitiendo observar que el T<sub>1</sub> alcanzó 14.19%, presentando significancia estadística frente al T<sub>2</sub> con 12.1% y el T<sub>4</sub> con 12.5% ( $p$ - valor 0.0048), sin embargo, no presento diferencia significativa con el T<sub>3</sub> (13.19%) (Tabla 15).

Los valores obtenidos en el ensayo muestran que el tratamiento 1 fue el que obtuvo mayor porcentaje de materia seca (Tabla 15), mientras que Vargas (2008), alcanzó un

11.28% de materia seca en el forraje hidropónico producido a base de la germinación de granos de maíz. Sin embargo, ambos ensayos alcanzaron valores menores a lo obtenido por Rivera et al, (2010), quienes añaden que llegaron a un promedio de 17.2% de materia seca, indicando que los porcentajes de MS no se afectan drásticamente por las condiciones climáticas y factores externos, sino por la capacidad genética de la variedad de maíz, siendo diferentes por cada una.

Así mismo, la Tabla 15 presenta el porcentaje de materia seca alcanzado aplicando dosis de Silicio. Se observó que la concentración al 5% de Silicio ( $2.5 \text{ ml } 10 \text{ L}^{-1}$ ) presentó mayor porcentaje de MS, con estos resultados se puede deducir que la aplicación de Silicio aumenta el porcentaje de MS, gracias a Cázares et al. (2019) quienes manifiestan que al aplicar Silicio a la solución nutritiva ayuda en el aumento de materia seca, debido a que obtuvieron mayor porcentaje aplicando una dosis de Silicio de  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , un 33% en la parte aérea y 100% en la parte radicular en el cultivo de tomate F3.

Borda (2007) recalca que al aplicar Silicio aumenta la materia seca, esto gracias a su investigación donde demostró que obtuvo 130 g de MS al aplicar  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ácido monosilícico, por otro lado, Mejía y López (2019), obtuvieron mayor porcentaje de materia seca (25.03%) aplicando una dosis de 1500 ml/ha de Quick sol, en el pasto King grass texas-25.

Según Pérez et al. (2012), obtuvieron 18.24% de MS en el FVH aplicando Té de compost. Por otro lado, mencionan que se debe considerar mucho al nitrógeno (N), por ser la molécula que incide en la acumulación de materia seca en cultivos sometidos a altas densidades. Con lo antes referido Maldonado et al. (2013) señalan no estar de acuerdo, la adicción del nitrógeno en forma de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) no ayuda al porcentaje de materia seca, ya que obtuvieron 12.25%, causado por procesos de etiolación, produciendo hojas delgadas y mayor crecimiento debido a la competencia de luz y la densidad de 0.8 kg de semilla seca por charola (superficie de charola  $0.25 \text{ m}^2$ ).

**Tabla 13.** Efecto de la solución nutritiva “Sonneveld y Voogt” sometido a diferentes dosis de Silicio (Si) sobre la materia seca.

Variable	p-valor	CV (%)	Soluciones			
			Agua	SN	SN + Si (5%)	SN + Si (10%)
MS (%)	0.0048	9.18	14.19 <sup>a</sup>	12.10 <sup>b</sup>	13.19 <sup>ab</sup>	12.53 <sup>b</sup>

**Fuente:** Elaboración propia.

Los valores con letra común, no presentan diferencias significativas con  $p\text{-valor} \leq 0.05$ .

Nota: p-valor = nivel de significancia; CV = Coeficiente de variación.

### 3.4 Análisis proximal

En la siguiente Tabla 16 presenta el análisis estadístico al 5% de confiabilidad de los tratamientos planteados en el ensayo, por otro lado en el la Figura 2A se presentan los valores dados en el laboratorio.

**Porcentaje de proteína:** la Tabla 16 muestra dos grupos estadísticos diferentes, demostrando que hay diferencias entre el T<sub>1</sub> con las demás soluciones. Sin embargo, la solución del T<sub>2</sub> alcanzo el mayor porcentaje de proteína con un 16.66%. Chavarria y Del Socorro (2018) mencionan que obtuvieron valor similar de proteína cruda (16%), en un ensayo realizado en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

**Porcentaje de fibra:** los valores de fibra muestran que solo se encontró un grupo estadístico, aclarando que no hay diferencias entre las soluciones utilizadas. A pesar de esto la solución del T<sub>2</sub> mostro el valor mayor de fibra con un 20.15% (Tabla 16). Estos valores fueron superiores a lo encontrado por Chavarria y Del Socorro (2018), quienes manifiestan haber obtenido un valor de fibra de 12.9%, en un ensayo realizado en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

**Porcentaje de ceniza:** este análisis dio a conocer la cantidad de minerales presentes en el forraje hidropónico, la Tabla 16 muestra que se presentan dos grupos estadísticos, donde la solución del T<sub>1</sub> tiene diferencias con las demás soluciones. La solución con mayor porcentaje de ceniza lo adquirió la solución del T<sub>3</sub> con 5%. En la investigación realizada por Chavarria y Del Socorro, (2018) señalan que obtuvieron un valor de un 3%, valor menor a lo encontrado en la investigación.

**Porcentaje de E.E:** este análisis (extracto etéreo o lípidos crudos) demostró la cantidad de grasa presente en el forraje hidropónico, mostrando solo un grupo estadístico donde no hubo diferencias estadísticas. La solución del T<sub>3</sub> alcanzó el valor mayor con un 4.23% Tabla 16.

**Porcentaje de E.L.N:** este parámetro permitió saber la cantidad de carbohidratos presentes en el forraje hidropónico, se contempla dos grupos estadísticos diferentes entre la solución del T<sub>1</sub> frente a los demás tratamientos. Por otro lado, la solución del T<sub>1</sub> demostró superioridad con un 62.24% Tabla 16. Chavarria y Del Socorro (2018) añaden que el porcentaje que obtuvieron de E.L.N (62.6%) fue similar a lo obtenido en la investigación.

En resumen, acorde a los resultados obtenidos en el laboratorio del INIAP **Anexo 2A**, los mejores resultados en el análisis proximal lo obtuvo el T<sub>2</sub> (SN).

**Tabla 14.** Efecto de la solución nutritiva “Sonneveld y Voogt” sometido a diferentes dosis de Silicio (Si) sobre la composición nutricional del FVH.

VARIABLES	p-valor	CV (%)	SOLUCIÓN FERTILIZANTE			
			Agua	SN	SN + Si (5%)	SN + Si (10%)
<b>Proteína (%)</b>	0.0007	4.00	13.33 <sup>b</sup>	16.66 <sup>a</sup>	16.36 <sup>a</sup>	15.66 <sup>a</sup>
<b>Fibra (%)</b>	0.0868	5.82	17.67 <sup>a</sup>	20.15 <sup>a</sup>	19.44 <sup>a</sup>	20.07 <sup>a</sup>
<b>Ceniza (%)</b>	0.0001	5.79	2.80 <sup>b</sup>	4.91 <sup>a</sup>	5.00 <sup>a</sup>	4.91 <sup>a</sup>
<b>E.E (%)</b>	0.1759	5.66	3.95 <sup>a</sup>	3.97 <sup>a</sup>	4.23 <sup>a</sup>	3.77 <sup>a</sup>
<b>E.L.N (%)</b>	0.0036	3.43	62.24 <sup>a</sup>	54.31 <sup>b</sup>	54.97 <sup>b</sup>	55.58 <sup>b</sup>

**Fuente:** Elaboración propia.

Los valores con letra común, no presentan diferencias significativas con p-valor  $\leq 0.05$ .

Nota: p-valor = nivel de significancia; CV = Coeficiente de variación.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### *Conclusiones*

- En la variable altura la solución que domino fue el T<sub>2</sub> con una altura de 25.22 cm, presentando diferencia significativa frente a la solución del T<sub>1</sub> (22.22 cm) pero no presento significancia con el T<sub>3</sub> (24.89 cm) y T<sub>4</sub> (24.33 cm).
- El mayor rendimiento lo alcanzo el T<sub>2</sub> (2 kg/0.25 m<sup>2</sup>), pero no presento significancia con el T<sub>3</sub> (1.93 kg/0.25 m<sup>2</sup>) y T<sub>4</sub> (1.94 kg/0.25 m<sup>2</sup>), sin embargo, presentaron diferencias con el T<sub>1</sub> (1.66 kg/0.25 m<sup>2</sup>). Por otro lado, el rendimiento alcanzado por metro cuadrado fue de 8 kg/m<sup>2</sup>, utilizando 2 kg de semillas, así mismos, se determinó al T<sub>2</sub> (Sonneveld y Voogt) como la mejor solución para este ensayo.
- El mayor porcentaje de materia seca lo obtuvo el T<sub>1</sub> con 14.19%, presentando diferencias significativas frente a las demás soluciones; T<sub>2</sub> (12.10%), T<sub>3</sub> (13.19%) y T<sub>4</sub> (12.53%).
- Los mejores resultados del análisis bromatológico lo obtuvo el T<sub>2</sub> (Solución nutritiva), con 16.66% de proteína, 20.15% de fibra, 4.91% de ceniza, 3.99% de E.E y 54.25% de E.L.N. En base a esto se concluso que el Silicio no influye en el contenido nutricional del pasto hidropónico.

### *Recomendaciones*

- El uso del forraje verde hidropónico de maíz por el alto contenido pretina, ceniza, fibra, E.L.N, por la facilidad y el tiempo de producción debe ser considerado como un suplemento a las dietas que le dan al ganado caprino y bovino de la provincia de Santa Elena.
- Probar la aplicación del Silicio en otros cultivos en la provincia de Santa Elena, ya que el Si es un elemento que inhibe el estrés, la evapotranspiración y la protección de enfermedades causadas por hongos.
- Tener consideración la presencia de aflatoxinas en las producciones de forraje verde hidropónico debido a su alto potencial de toxicidad ya que ocasionan problemas graves en la salud del animal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta Lozano, N. V. (2016) *Evaluación de la biomasa hidropónica de maíz como alimento para caprinos criollos en crecimiento-ceba*. Doctorado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.

Aguirre, C., Chávez, T., García, P. and Raya, J. (2007) 'El silicio en los organismos vivos'. *Interciencia*, 32(8), pp. 504-509.

Albornoz, C., Silva, P. and Torres, M. (2016) 'Fertirriego con silicio en variedades de rosa sobre la severidad de mildiu polvoso (*Sphaerotheca pannosa* var. *rosae*)'. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), pp. 84-94.

Álvarez, C. and Osorio, W. 2014. *Silicio agronómico esencial* (No. DC-0483). Multisulfatos SAS, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

Aquino, M. 2014. *Manual de Hidroponía*. México, s.n., pp. 7-11.

Araya, M., Camacho, M., Molina, E. and Cabalceta, G. (2015) 'Evaluación de fertilizantes líquidos con silicio, calcio o magnesio sobre el crecimiento del sorgo en invernadero'. *Agronomía. Costarricense*, 39(2), pp. 47-60.

Arjona, H. (1996) 'Toma, transporte y metabolismo del agua y nutrientes en la planta'. *Agronomía Colombiana*, 13(2), pp. 138-141.

Beltrano, J. and Giménez, D. 2015. *Cultivo en hidroponía*. Primera edición ed. Buenos Aires: Edulp.

Benavides, A., Preciado, P. and Favela, E. 2014. *Manual para la preparación de soluciones nutritivas*. Segunda edición., Lima-Perú: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Borda, O. (2007) 'El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L.): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo'. *Agronomía. Colombiana*, 25(2), pp. 273-279.

Brady, N. 1992. The nature and properties of soils. Nueva York: *Macmillan Publishing Company*. 10 ed, pp. 750.

Bustos Cueva, G. S. (2017) *Efecto de un compuesto a base de silicio, sobre el manejo fitosanitario del cultivo de cacao CCN-51*. Trabajo de Titulación. Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE.

Caicedo, M. and Chavarriaga, W. (2007) 'Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almacigo de plántulas de café variedad Colombia'. *Agron*, 15(1), pp. 27-37.

Camacho, R., Mendoza, M., Soriano, E., Villa, M. and De León, M. (2006) 'Fertilización foliar con silicio como alternativa contra la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* (SHELD) en tomate de cascara'. *Revista Chapingo*, 12(1), pp. 69-75.

Candia, L. (2014) 'Evaluación de la calidad nutritiva de forraje verde de cebada *Hordeum vulgare* hidropónico, fertilizado con soluciones de guano de cuy cavia porcellus a dos concentraciones'. *Salud y tecnología veterinaria*, 2(1), pp. 55-62.

Carballo, C. 2005. *Manual de procedimiento para la producción de forraje verde hidropónico, Isla del Carmen*: s.n.

Castellano, L., Prado, R. and Campos, N. (2015) 'El silicio en la resistencia en los cultivos'. *Cultivos Tropicales*, 36(n), pp. 16-25.

Castellanos, L., De Mello Prado, R., Da Silva Junior, G., Campos, C., Fernández, O., Da Silva, R. and Puente, R. (2015) 'Daños por *spodoptera frugiperda* Smith en maíz en función de nitrógeno, potasio y silicio'. *Revista de protección vegetal*, 30(3), pp. 176-184.

Castellón, J., Hernández, M. and Muñoz, R. (2015) 'Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala'. *Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería*, 19(1), pp. 39-50.

Castillo, R. and Galecio, M. (2019) 'Efecto del silicio orgánico en el rendimiento de maracuyá (*Passiflora edulis*) cultivada en Somate-Sullana'. *Revista de investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 6(1), pp. 25-37.

Cázares, L., Velázquez, T., Partida, L., Ayala, F., Díaz, Tomás., López, C., Oropeza, T. and Zazueta, N., (2019) 'Efecto del silicio en el crecimiento de plántulas y rendimiento de plantas de tomate F3'. *Compendio científico en ciencias agrícolas y biotecnología*, (1), pp. 41.

Chavarria, A. and Del Socorro, S. (2018) 'The hydroponic green fodder (FVH), corn as a nutritional and nutritional alternative for all farm animals'. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio clim.* 4(8), pp. 1032-1039.

Cruz, A. (2016) 'Evaluación de tres variedades del cultivo de lechuga (*Lactuca Sativa* L.) en dos sistemas de hidroponía bajo ambiente semi controlado en el centro experimental chocloca'. *Ventana Científica*, 7(12), pp. 31-39.

Endicott, S., Brueland, B., Keith, Ray., Schon, R., Bremer, C., Framham, D., DeBruin, J., Clausen, C., Strachan, S. and Carter, P. (2015) *PIONEER*. Disponible en: [https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin\\_America\\_Central/Chile/Servicios/Informacion\\_tecnica/Corn\\_Growth\\_and\\_Development\\_Spanish\\_Version.pdf](https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf). Consultado: 10/01/2020.

FAO, 2001. *Manual Técnico de Forraje Verde Hidropónico*. Editorial Santiago, Chile 55 pág.

Farfán, F.P., 2018. *Agroclimatología del Ecuador*. Editorial Abya-Yala.

Fernández, S. (2012) *Proyecto para la factibilidad para la creación de una empresa de producción y comercialización de forraje verde hidropónico ubicado en la parroquia de valle grande perteneciente al cantón Cuenca*. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2983/1/UPS-CT002495.pdf>. Consultado en: 15/05/2020.

Furcal, P. and Herrera, A. (2013) 'Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz'. *Agronomía mesoamericana*, 24(2), pp. 365-378.

Garbanzo, G. (2018) 'Evaluación de Si aplicado al suelo en el crecimiento, absorción y severidad de enfermedades en vivero de palma aceitera'. *Agronomía costarricense*, 42(1), pp. 91-114.

García, M. (2013) 'Producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz'. *Agronomía mesoamericana*, 24(1), pp. 169-176.

González González, J. H. and Valdivia, C. N. (2014) *Efectos de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de sorgo (sorghum) variedad Inta tortillero precoz, en un invernadero no tradicional*. Trabajo de Titulación. Facultad de Ciencia Animal. Universidad Nacional Agraria.

Gonzalez Ovando, C. E. (2009) *Metodología para el control de hongos y bacterias en sistemas de producción de forraje verde hidropónico*. Grado. Centro de Investigación en Química Aplicada.

González, E., Ceballos, J. and Benavides, O. (2015) 'Evaluation of the production of green fodder hydroponically grown with different doses of silicon from two varieties of maize *Zea mays. L.* under greenhouse conditions'. *Revista de ciencias agrícolas*, 32(1), pp. 75-83.

Herrera, A. (2011) 'Efectos del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades del cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*)'. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Howard, R. 2001. Cultivos hidropónicos nuevas técnicas de producción. *Mundi-Prensa* ed. Madrid: Editorial Aedos, s. a.

Jacobson, A. 2016. '*Hydroponics Essential Guide: The Step-By-Step Hydroponic Gardening Guide to Grow Fruit, Vegetables, and Herbs at Home (Hydroponics for Beginners, Homesteading, Home Grower)*'. 2da edición, Estados Unidos.

Juárez, P., Morales, H., Sandoval, M., Gomez, A., Cruz, E., Juarez, C., Aguirre, J., Alejo, G. and Ortiz, M. (2013) 'Producción de forraje verde hidropónico'. *Revista fuente nueva época*, 4 (13).

López, D., Cuesta, G. and Eraso, H. (2015) 'Respuestas del pasto raigrass aubade (*Lolium sp.*) a dosis de silicio en interacción con diferentes dosis de NPK'. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), pp. 99-109.

Maldonado, R., Álvarez, M., Cristóbal, D. and Ríos, E. (2013) 'Nutrición mineral de forraje verde hidropónico'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(2), pp. 211-223

Mejía, H. and López, F. (2019) 'Use of silicon as growth promoter of grass Texas-25 King Grass for bioenergy generation'. *Rev. Ibeoam. Bioecon. Cambio clim*, 5(9), pp. 1144-1156.

Mendez Polanco, L. A. and Mahecha Contreras, E. J. (2015) *Producción ganadera a través de la técnica de forraje verde hidropónico en Restrepo, META*. Proyecto de Titulación. Universidad de los llanos.

Miraba Rosales, C. C. (2015) *Cinética de degradación y digestibilidad del forraje verde hidropónico de maíz (Zea maíz) en cabras criollas en Santa Elena, Ecuador*. Proyecto de Titulación. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal de Santa Elena.

Monroy, G., Rolon, D. and Sepúlveda, S. (2017) 'Sistema inalámbrico modular de bajo costo para supervisar variables ambientales en invernaderos: un respaldo al agricultor de pequeña escala'. *Revista Científica*, 2(29), pp. 164-179.

Mora Agüero, C. E. (2009) *Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) sobre la producción de leche de vacas en pastoreo*. Trabajo de titulación. Escuela de Agronomía. Instituto tecnológico de Costa Rica.

Moreira, B. (2019) *Evaluación agronómica de híbridos de maíz (Zea Mays l.), en la época lluviosa en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos*. Proyecto de Titulación. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica de Quevedo.

Murillo, B. (2009) 'El forraje verde hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas'. *Interciencia*, 34(2), pp. 121-126.

Navarro, G. G., 2003. *Química agrícola*. Segunda edición., Madrid: Mundi-Prensa

Núñez, O. and Rodríguez, M. (2019) 'Subproductos agrícolas, una alternativa en la alimentación de rumiantes ante el cambio climático'. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 6(1), pp. 24-37.

Oñate Zúñiga, L. A. (2016) *Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (Zea mays) var. Blanco harinoso criollo, bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos*. Trabajo de titulación. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Técnica de Ambato.

Quintero, J., Osorio, D., Mercado, C., Hernández, C. and Hernández, M. (2017) 'Respuesta en chile manzano a la absorción de silicio en un sistema hidropónico'. III Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII 2017.

Paulus, D., Paulus, E., Nava, G. and Andrade Moura, C. (2012) 'Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada'. *Revista Ceres*, 59(1), pp. 110-117.

Pérez, L., Rivera, J., Rangel, P., Reyna, V., Velázquez, J., Martínez, J. and Ortiz, M. (2012) 'Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) producido en invernadero bajo fertilización orgánica'. *Interciencia*, 37(3), pp. 215-220.

Preciado, P., García, J., Segura, M., Salas, L., Ayala, A., Esparza, J. and Troyo, E. (2014) 'Effect of vermicompost leachate on the production of hydroponic corn forage'. *Terra latinoamericana*, 32(4), pp. 333-338.

Quispe, A., Paquiyaui, Z., Ramos, Y., Contreras, J. and Véliz, M. (2016) 'Influencia de Niveles de Azufre en la Producción, Composición Química Bromatológica y Digestibilidad del Forraje Verde Hidropónico de Cebada (*Hordeum vulgare* L.)'. *Rev Inv Vet Perú*, 27(1), pp. 31-38.

Ramos, L., Martínez, G., Morales, I., Escamirosa, C. and Pérez, A. (2017) 'Consumo de agua y rendimiento de tomate de cascara bajo diferentes cubiertas de invernaderos'. *Horticultura Brasileira*, 35(2), pp. 265-270.

Ricardo Morales, J. J. (2019) *Evaluación del cultivo de lechuga hidropónica (Lactuca Sativa L.) en raíz flotante bajo diferentes soluciones nutritivas*. Trabajo de Titulación. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Rivera, A., Moronta, M., González, M., González, D., Perdomo, D., García, D. and Hernández, G. (2010) 'Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays L.*) en condiciones de iluminación deficiente'. *Zootecnia tropical*, 28(1), pp. 33-41.

Rodríguez Muñoz, J. (2013) *Comportamiento agronómico de cinco híbridos de maíz (Zea mays l.) en estado de choclo cultivados a dos distancias de siembra*. Proyecto de Titulación. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Guayaquil.

Sánchez del Castillo, F., González, L., Moreno, E., Pineda, J. and Reyes, C. (2014) 'Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva'. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(3), pp. 261-269.

Sánchez Tapia, H. M. (2015) *Determinación de dos formas de aplicación de silicio con cinco dosis en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.)*. Trabajo de Titulación, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Guayaquil.

Sánchez, F., Moreno, E., Contreras, M. and Morales, G. (2013) 'Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso de borregos'. *Revista chapingo*, 19(4), pp. 35-43.

Santacruz, L. (2018) *GREPALMA*. Disponible en:

<https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2018/09/boletin-No8-Noviembre2016-02-vf.pdf>. Consultado en: 3/08/2020.

SEPHU. (2009) Sociedad española de productos húmicos. Noticias SEPHU, Boletín No 28. Zaragoza. España.

Soto, F. and Ramirez, C. (2018) 'Effect of mineral nutrition on the yield and bromatological characteristics of corn hydroponic green forage'. *Pastos y forrajes*, 41(2), pp. 106-113.

Zagal, M., Martínez, S., Salgado, S., Escalera, F., Peña, B. and Carrillo, F. (2016) 'Hydroponics maize green forage production with watering every 24 hours'. *Abanico veterinario*, 6(1), pp. 29-34.

Urrestarazu, M. 2015. *Manual práctico del cultivo sin suelo e Hidroponía (Primera ed.)*. España: Mundi-Prensa.

Valladares, F. 2004. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante, Naturaleza y parques nacionales Serie técnica*. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.

Vargas, C. (2008) 'Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero'. *Agronomía mesoamericana*, 19(2), pp. 233-240.

Vega, A., Lara, E. and Lemus, R. (2006) 'Isotermas de absorción en harina de maíz (*Zea mays* L.)'. *Food science and technology*, 26(4), pp. 821-827.

Villalón, H. and otros, (2018) 'Dióxido de silicio como estimulante del índice de calidad de plantas de chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) producidas en vivero'. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(50), pp. 294-303.

***Anexos***

**Tabla 1A.** Temperatura y humedad relativa tomados dentro y fuera de la cámara de germinación, así mismo dentro y fuera del invernadero.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA									
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS									
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA									
Planilla de la variables climáticas (Termo higrómetro)									
Día	Fecha	OUTSIDE				INSIDE			
		T °C Max	T °C Min	HR% MAX	HR% MIN	T °C Max	T °C Min	HR% MAX	HR% MIN
1	9/10/2019	25.9	19.6	90	56	27.9	19.6	90	56
2	10/10/2019	24.4	19.6	92	56	25.1	19.6	92	56
3	11/10/2019	27.6	19.6	93	56	25.1	19.6	92	56
4	12/10/2019	24.5	19.6	90	56	24.9	19.6	90	56
5	13/10/2019	24.7	20.1	88	65	24.7	20.2	86	65
6	14/10/2019	23.7	20.1	88	65	24.8	20.3	88	65
7	15/10/2019	26.4	20.1	89	62	27.7	20.3	89	61
8	16/10/2019	26.1	20.1	86	62	27.7	20.3	89	61
9	17/10/2019	26.2	20.1	93	61	27.9	20.3	93	61
10	18/10/2019	26.2	20.1	92	61	24.9	20.2	92	61
11	19/10/2019	24.1	20.1	86	61	25.4	20.2	86	61
12	20/10/2019	27.7	20.1	84	54	29.4	20.2	84	54
13	21/10/2019	27.7	20.1	85	54	29.7	20.2	85	54

**Tabla 2A.** Radiación solar tomados al segundo día después de la siembra, datos tomados dentro y fuera del invernadero.

Radiación solar (RS) Klx					
Día	Fecha	8:00		14:00	
		(F. I)	(D. I)	(F. I)	(D. I)
2	10/10/2019	6.05	1.21	17.1	3.61
3	11/10/2019	18.21	4.1	17.2	3.14
4	12/10/2019	8.01	1.52	25.7	4.9
5	13/10/2019	8.77	1.64	28.9	5.87
6	14/10/2019	20.4	4.38	30.4	5.86
7	15/10/2019	12.28	1.34	31.6	6.32
8	16/10/2019	9.48	1.56	38.8	7.82
9	17/10/2019	8.01	1.75	12.42	2.27
10	18/10/2019	10.07	2.19	15.64	3.12
11	19/10/2019	6	1.28	19.83	3.89
12	20/10/2019	6.66	0.86	36.49	7.11
13	21/10/2019	8.03	1.31	41.8	9.66

**Tabla 3A.** Altura del FVH a los 15 días después de la siembra.

Repeticiones	Altura			
	T1	T2	T3	T4
R1	22	25	26	24
R2	22	26	26	24
R3	22	26	25	23
R4	23	25	25	25
R5	23	25	25	26
R6	22	26	24	26
R7	22	25	23	23
R8	22	24	25	24
R9	22	25	25	24
<b>Promedio</b>	22	25	25	24

**Tabla 4A.** Rendimiento del FVH a los 15 días después de la siembra.

Repeticiones	Rendimiento			
	T1	T2	T3	T4
R1	1.69	2.15	1.86	1.66
R2	1.78	2.10	1.96	1.75
R3	1.66	2.04	1.88	1.57
R4	1.53	2.06	2.00	2.15
R5	1.77	2.08	2.17	2.26
R6	1.49	2.09	1.91	2.08
R7	1.79	1.96	1.80	1.95
R8	1.59	1.86	1.90	2.08
R9	1.63	1.69	1.85	1.99
<b>Promedio</b>	1.66	2.00	1.93	1.94

**Tabla 5A.** Porcentaje de materia seca a los 15 días después de la siembra.

Repeticiones	MS			
	T1	T2	T3	T4
R1	13.50	11.60	12.80	15.30
R2	14.00	12.20	13.10	14.60
R3	13.30	11.80	12.20	15.00
R4	15.80	12.20	13.10	11.20
R5	13.90	12.10	11.50	11.10
R6	14.90	11.60	13.50	10.90
R7	13.20	12.00	15.30	11.90
R8	14.50	11.80	13.20	11.10
R9	14.60	13.60	14.00	11.70
<b>Promedio</b>	14.19	12.10	13.19	12.53

**Tabla 6A.** Análisis de varianza de la altura del FVH sometido a diferentes soluciones.

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup>Aj</b>	<b>CV</b>	
% Altura	36	0.69	0.66	3.43	
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-Valor</b>
Modelo	49.00	3	16.33	23.76	<0.0001
Tratamiento	49.00	3	16.33	23.76	<0.0001
Error	22.00	32	0.69		
Total	71.00	35			

**Tabla 7A.** Análisis de varianza del rendimiento del FVH sometido a diferentes soluciones.

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup>Aj</b>	<b>CV</b>	
% Rendimiento	36	0.44	0.39	8.42	
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-Valor</b>
Modelo	61.81	3	20.6	189.13	<0.0001
Tratamiento	61.81	3	20.6	189.13	<0.0001
Error	3.49	32	0.11		
Total	65.3	35			

**Tabla 8A.** Análisis de varianza de la materia seca del FVH sometido a diferentes soluciones.

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup>Aj</b>	<b>CV</b>	
% MS	36	0.33	0.27	9.18	
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-Valor</b>
Modelo	22.29	3	7.43	5.22	<0.0048
Tratamiento	22.29	3	7.43	5.22	<0.0048
Error	45.56	32	1.42		
Total	67.85	35			

**Tabla 9A.** Análisis de varianza de la proteína en el FVH sometido a diferentes soluciones.

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup>Aj</b>	<b>CV</b>	
% Proteína	12	0.87	0.82	4.00	
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-Valor</b>
Modelo	20.38	3	6.79	17.70	<0.0007
Tratamiento	20.38	3	6.79	17.70	<0.0007
Error	3.07	8	0.38		

Total	23.45	11
-------	-------	----

**Tabla 10A.** Análisis de varianza del porcentaje de ceniza en el FVH sometido a diferentes soluciones.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% Fibra	12	0.54	0.37	5.82

F.V.	SC	gL	CM	F	P-Valor
Modelo	11.95	3	3.98	3.14	<0.0868
Tratamiento	11.95	3	3.98	3.14	<0.0868
Error	10.14	8	1.27		
Total	22.08	11			

**Tabla 11A.** Análisis de varianza del porcentaje de E.E en el FVH sometidas a diferentes soluciones.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% Ceniza	12	0.95	0.93	5.79

F.V.	SC	gL	CM	F	P-Valor
Modelo	10.27	3	3.42	52.61	<0.0001
Tratamiento	10.27	3	3.42	52.61	<0.0001
Error	0.52	8	0.07		
Total	10.79	11			

**Tabla 12A.** Análisis de varianza del porcentaje de fibra en el FVH sometido a diferentes soluciones.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% E.E	12	0.44	0.23	5.66

F.V.	SC	gL	CM	F	P-Valor
Modelo	0.32	3	0.11	2.12	<0.1759
Tratamiento	0.32	3	0.11	2.12	<0.1759
Error	0.41	8	0.05		
Total	0.73	11			

**Tabla 13A.** Análisis de varianza del porcentaje de E.L.N en el FVH sometido a diferentes soluciones.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% E.L.N	12	0.80	0.73	3.43

F.V.	SC	gL	CM	F	P-Valor
Modelo	121.93	3	40.64	10.71	<0.0036

---

Tratamiento	121.93	3	40.64	10.71	<0.0036
Error	30.37	8	3.80		
Total	125.30	11			

---



**ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"**  
**LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS**  
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24  
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.aetp@iniap.gob.ec

**REPORTE DE ANALISIS DE AGUAS**

<b>DATOS DEL PROPIETARIO</b> Nombre : Universidad Estatal de la Península de Sta. Elena Dirección : Ciudad : Santa Elena Teléfono : Fax :	<b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b> Nombre : Universidad de Santa Elena Provincia : Península de Santa Elena Cantón : Santa Elena Parroquia : Ubicación :
<b>DATOS DEL LOTE</b> Superficie : Identificación : Muestra 1	<b>PARA USO DEL LABORATORIO</b> N° Reporte : 905 N° Muestra Lab. : 1956 Fecha de Muestreo : 25/08/2016 Fecha de Ingreso : 25/08/2016 Fecha de Reporte : 05/09/2016

Parámetro	Unidad	Contenido	Interpretación
CE	dS/m	0,23	Normal(Sin Restricciones en el uso)
TSD	mg/l	104,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Ca	mg/l	23,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Mg	mg/l	7,80	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Na	mg/l	6,90	Normal(Sin Restricciones en el uso)
K	mg/l	7,02	Normal(Sin Restricciones en el uso)
CO <sub>3</sub>	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
HCO <sub>3</sub>	mg/l	53,70	Puede Causar Restricción en el uso
Cl	mg/l	45,50	Normal(Sin Restricciones en el uso)
SO <sub>4</sub>	mg/l	2,50	Normal(Sin Restricciones en el uso)
NO <sub>3</sub>	mg/l	0,00	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Fe	mg/l	0,03	Normal(Sin Restricciones en el uso)
B	mg/l	0,08	Normal(Sin Restricciones en el uso)
pH		7,20	Puede Causar Restricción en el uso
RAS	(meq/l) <sup>1/2</sup>	0,32	Normal(Sin Restricciones en el uso)
Dureza	mg/l	90	Blanda

**Interpretación de pH**  
 pH < 4,5 ó pH > 8 (Severa restricción en el uso)

**Unidades:**  
 dS/m = decíSiemens/metro  
 mg/l = miligramos/litro = ppm  
 meq/l = miliequivalentes/litro  
 (meq/l)<sup>1/2</sup> = raíz cuadrada de meq/l  
 ppm = partes por millón

**OBSERVACIONES**  
 Cl Agua de baja salinidad, agua para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy permeabilidad  
 Si Agua con bajo contenido en sodio. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles

  
 LIDER DPTO. NAC. SUELOS Y AGUAS


  
 RESPONSABLE LABORATORIO

**Figura 1A.** Análisis de agua.

MC-LSAIA-2201-04



**INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS**

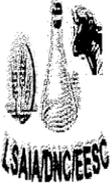
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA

DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD

**LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS**

Panamericana Sur Km. 1. Cutuglagua Tlts. 2690691-3007134. Fax 3007134

Casilla postal 17-01-340



**INFORME DE ENSAYO No: 20-020**

NOMBRE PETICIONARIO:	Dr. Iván Samaniego	INSTITUCION:	INIAP-Nutrición
DIRECCION:	Quito	ATENCION:	Dr. Iván Samaniego
FECHA DE EMISION:	5/3/2020	FECHA DE RECEPCION:	20/1/2020
FECHA DE ANALISIS:	Del 20 de enero al 4 de marzo de 2020	HORA DE RECEPCION:	14H03
		ANALISIS SOLICITADO	Proximal, Aflatoxinas

ANÁLISIS	HUMEDAD	CENIZAS <sup>11</sup>	E.E. <sup>11</sup>	PROTEÍNA <sup>11</sup>	FIBRA <sup>11</sup>	E.L.N. <sup>11</sup>	IDENTIFICACIÓN
	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.02	MO-LSAIA-01.03	MO-LSAIA-01.04	MO-LSAIA-01.05	MO-LSAIA-01.06	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	
UNIDAD	%	%	%	%	%	%	
20-0176	8,29	2,88	3,99	13,34	17,06	62,73	Ensayo 3 T1R1
20-0177	8,41	2,75	4,02	13,45	17,09	62,69	Ensayo 3 T1R2
20-0178	8,70	2,78	3,83	13,21	18,87	61,31	Ensayo 3 T1R3
20-0179	8,93	4,94	4,15	16,71	20,49	53,71	Ensayo 3 T2R1
20-0180	8,78	4,98	3,87	16,77	20,12	54,25	Ensayo 3 T2R2
20-0181	8,31	4,80	3,90	16,49	19,84	54,97	Ensayo 3 T2R3
20-0182	8,24	5,29	4,68	16,82	20,06	53,16	Ensayo 3 T3R1
20-0183	7,14	5,00	4,02	16,75	18,97	55,26	Ensayo 3 T3R2
20-0184	7,60	4,70	3,99	15,50	19,30	56,50	Ensayo 3 T3R3
20-0185	6,44	4,47	3,62	14,56	17,89	59,46	Ensayo 3 T4R1
20-0186	7,36	5,01	3,86	16,40	21,18	53,55	Ensayo 3 T4R2
20-0187	8,63	5,25	3,83	16,03	21,15	53,74	Ensayo 3 T4R3

**Figura 2A. Análisis proximal.**



**Figura 3A.** Selección de y remojo de la semillas.



**Figura 4A.** Pesaje y ubicación de las semillas en las bandejas de polietileno.



**Figura 5A.** Colocación de las bandejas en el túnel y germinación de las semillas.



**Figura 6A.** Traslados de las unidades experimentales a luz solar.



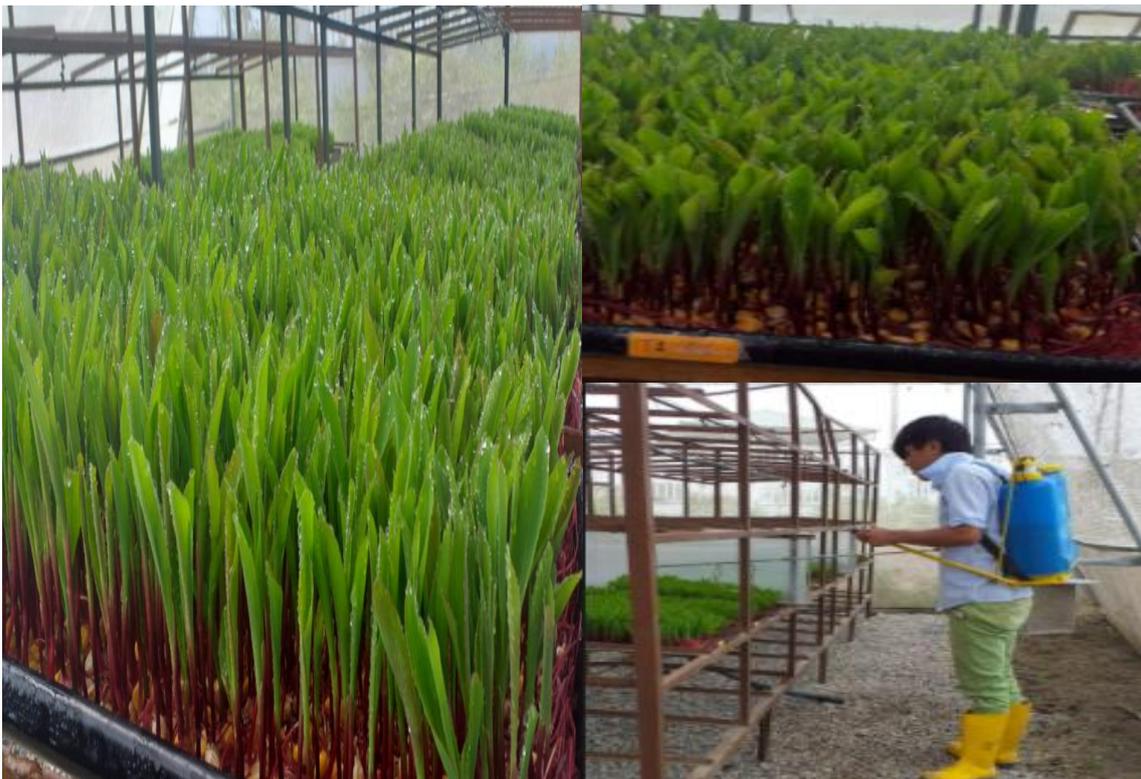
**Figura 7A.** Infraestructuras para la producción de forraje verde hidropónico.



**Figura 8A.** Producto usado "GRANSIL".



**Figura 9A.** Pesaje y preparación de los macro y micros nutrientes “solución madre”.



**Figura 10A.** Fertilización del forraje hidropónico.



**Figura 11A.** Equipos utilizados para la medición de los parámetros climáticos.



**Figura 12A.** Tapete del forraje hidropónico de maíz.



**Figura 13A.** Pesaje del forraje hidropónico.



**Figura 14A.** Muestras a analizar en el laboratorio.