



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE AGROPECUARIA

**RESPUESTA DE MAÍZ (*Zea mays*) Y CEBADA (*Hordeum vulgare*) A LA SOLUCIÓN
NUTRITIVA DE STEINER PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR: ANDERSON MARCELO CADENA CACUANGO

TUTOR: GUSTAVO ALEJANDRO ARTEAGA CHAMORRO

Quito-Ecuador

2024

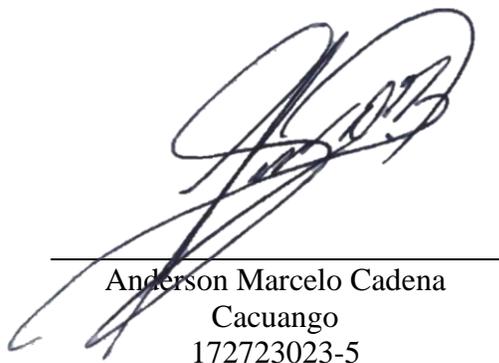
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Anderson Marcelo Cadena Cacuangó con documento de identificación N° 172723023-5 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 29 de enero del año 2024

Atentamente,



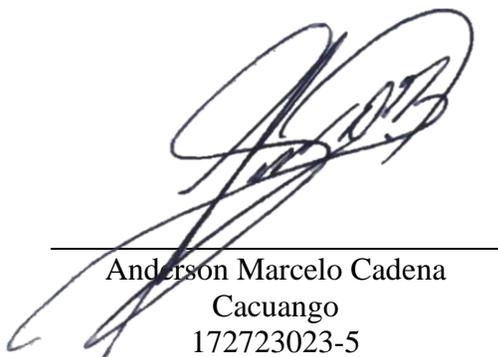
Anderson Marcelo Cadena
Cacuangó
172723023-5

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Anderson Marcelo Cadena Cacuango con documento de identificación No. 172723023-5 expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo experimental: Respuesta de maíz (*Zea mays*) y cebada (*Hordeum vulgare*) a la solución nutritiva de Steiner para la producción de forraje verde hidropónico, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Agropecuario, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de enero del año 2024

Atentamente,



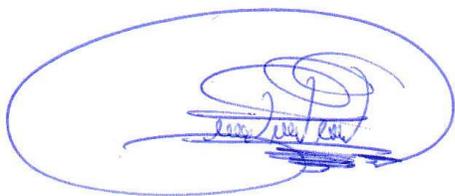
Anderson Marcelo Cadena
Cacuango
172723023-5

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Gustavo Alejandro Arteaga Chamorro con documento de identificación N° 0401140074, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Respuesta de maíz (*Zea mays*) y cebada (*Hordeum vulgare*) a la solución nutritiva de Steiner para la producción de forraje verde hidropónico, realizado por Anderson Marcelo Cadena Cacuangó con documento de identificación N° 172723023-5, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de enero del año 2024

Atentamente,



Gustavo Alejandro Arteaga
Chamorro
CI 0401140074

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y por permitirme cumplir este sueño, que al inicio parecía inalcanzable. gracias por brindarme sabiduría, esperanza y la fuerza para cumplir este objetivo de vida.

A mí querida madre Gloria y a mi padrastro Luis, por darme su amor incondicional, su apoyo moral, su tiempo al escuchar mis pesares y sobre todo por incentivar me a que alcance todas las metas que me he propuesto.

A mi querida mujer Selina he hijo Jeyden, ella por darme su amor, su comprensión y a lo más valioso que tengo en mi vida que es mi hijo, el que me enseñó amar y luchar cada día por verlo feliz.

A mis queridos hermanos Sebastián, Stiven y Mikeyla; por todo el apoyo y cariño brindado. Muchas gracias, queridos hermanos.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, que me han apoyado siempre impulsando mis sueños y anhelos. gracias infinitas porque sin ustedes, todo esto no habría sido posible. Su amor y sacrificio han sido el impulso que guio mi sendero a través de este viaje académico.

Al Ingeniero. Gustavo Alejandro Arteaga Chamorro. Por su paciencia y gran aporte en este trabajo. Muchas gracias por su interés en este trabajo y enseñarme nuevas aptitudes para aplicarlas a nivel profesional.

Un sincero agradecimiento a todos mis amigos Sander, Jeison, Cesar, Fernando, Erika y al cielo Jefferson que estuvieron conmigo en los momentos más difíciles y alegres de vida durante este largo camino.

Gracias por ser quienes son y por creer en mí.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
2 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
2.1 Cultivares utilizados.....	4
2.2 Importancia de la producción de forraje verde hidropónico	5
2.3 Usos del FVH.....	5
2.4 Densidad de siembra y cosecha.....	6
2.5 Eficiencia en el uso de agua	6
2.6 Ventajas de la producción de FVH.....	6
2.7 Desventajas de la producción FVH.....	7
2.8 Proceso de producción de forraje verde hidropónico (FVH)	7
2.9 Solución Ajustada de Steiner.....	8
3 MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Lugar de Experimentación	13
3.2 Preparación de semillas.....	13
3.3 Riego	16
3.4 Cantidad de fertilizante	17
3.5 Sistema de aplicación	17
3.6 Cosecha	18
3.7 Semillas	18
3.8 Proceso Estadístico.....	19
3.9 Variables evaluadas	20
3.10 Análisis estadístico	20
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1 Longitud de plantas del FVH	21
4.2 Biomasa foliar del FVH	22
4.3 Biomasa radicular del FVH.....	25

4.4	Calidad nutricional	27
5	CONCLUSIONES	30
6	RECOMENDACIONES	31
7	BIBLIOGRAFÍA.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Relación mutua entre los aniones, en la solución nutritiva universal de Steiner	9
Figura 2	Relación mutua entre los cationes, en la solución nutritiva universal de Steiner	10
Figura 3	Ubicación del invernadero donde se desarrolló el experimento	13
Figura 4	Limpieza de las semillas a) Preselección tras aventar las semillas, b) Cernido de impurezas y semillas inviables	14
Figura 5	Etapas de lavado y desinfección a) Medición del hipoclorito de sodio, b y c) Colocación de 60ml de hipoclorito de sodio a los 6 litros de agua con las semillas, d) Mezclado de la solución, el agua y las semillas, e y f) Escurrimiento de las semillas, g y h) Cambio de agua de las semillas.....	15
Figura 6	Etapas de preparación de las semillas a y b) Primeras 12 horas de remojo de las semillas, c) Escurrimiento y oxigenación de las semillas, d) Segundas 12 horas de remojo de las semillas, e y f) Escurrimiento y colocación de las semillas en recipientes inocuos en ausencia de luz para su pre- germinación radicular, g y h) Pesaje y colocación de las semillas en las bandejas, i) Ubicación de las bandejas en el estante.....	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Rangos aceptables de relaciones entre iones en soluciones nutritivas según (Steiner, 1996).....	11
Tabla 2	Concentración de micro- nutrientes en las diferentes soluciones nutritivas .	11
Tabla 3	Minerales utilizados en gramos por 21 litros de agua de riego para la solución ajustada de Steiner a dos conductividades eléctricas (CE): 0,25 y 0,50 dS/m.....	17
Tabla 4	Cantidad de semillas utilizadas para la UE en la respuesta de maíz (<i>Zea mays</i>) y cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) a la solución nutritiva de Steiner para la producción de forraje verde hidropónico.....	18
Tabla 5	Tratamiento s utilizados en la respuesta de maíz (<i>Zea mays</i>) y cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) a la solución nutritiva de Steiner para la producción de forraje verde hidropónico	19
Tabla 6	Análisis de varianza para la variable longitud de plantas a los 15 días con la prueba de Tukey ($p > 0,05$)	22
Tabla 7	Medias de especies (Factor A) y de soluciones (Factor B) para la variable longitud de plantas a los 15 días con la prueba de Tukey ($p > 0,05$).....	22
Tabla 8	Análisis de varianza para la variable biomas foliar en gr/MS de plantas a los 15 días con la prueba de Tukey ($p > 0,05$)	23
Tabla 9	Medias de especies (Factor A) y de soluciones (Factor B) para la variable biomasa foliar a los 15 días con la prueba de Tukey ($p > 0,05$)	24
Tabla 10	Análisis de varianza para la variable biomas radicular en gr/MS de plantas a los 15 días con la prueba de Tukey ($p > 0,05$).....	26
Tabla 11	Medias de especies (Factor A) y de soluciones (Factor B) para la variable biomasa radicular a los 15 días con la prueba de Tukey ($p > 0,05$)	27
Tabla 12	Análisis total del porcentaje de proteína en las dos variedades (maíz y cebada) en interacción de una solución ajustada a los 15 días de producción	28

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Promedios generales y promedios totales de la altura de planta a los 15 días (cm)	36
Anexo 2	Promedios generales y promedios totales de la biomasa foliar a los 15 días (gr/MS)	36
Anexo 3	Promedios generales y promedios totales de la biomasa radicular a los 15 días (gr/MS)	36
Anexo 4	Análisis nutricional del maíz con la interacción de la solución al 0,25 (CE) ..	37
Anexo 5	Análisis nutricional del maíz con la interacción de la solución al 0,5 (CE) ...	38
Anexo 6	Análisis nutricional del maíz con la interacción del testigo (T)	39
Anexo 7	Análisis nutricional de la cebada con la interacción de la solución al 0,25 (CE)	40
Anexo 8	Análisis nutricional de la cebada con la interacción de la solución al 0,5 (CE)	41
Anexo 9	Análisis nutricional de la cebada con la interacción del testigo (T)	42
Anexo 10	Implementación a) pre- germinación radicular del maíz, b) pre- germinación radicular de la cebada y c) sistema de (FVH)	43
Anexo 11	Preparación de la solución a diferentes concentraciones de (CE)	44
Anexo 12	Aplicación de la solución en modo manual, del sistema automatizado de fertirriego por un intervalo de un minuto y medio a las 6:00 horas	44
Anexo 13	Cosecha y separación de las hojas y las raíces para el análisis de biomasa foliar y radicular	45
Anexo 14	Medición para determinar de la longitud de plantas en maíz y cebada	45
Anexo 15	Análisis nutricional a) molida de los forrajes, b) pesaje de las diferentes alícuotas y c) empacado de las alícuotas para su posterior uso	46
Anexo 16	determinación de la proteína y nitrógeno mediante un proceso de destilación de gases, química y titulación	46
Anexo 17	determinación de la calidad de agua de riego en la comunidad Santa Rosa de Ayora, barrio norte.	47

RESUMEN

El Ecuador es un país eminentemente agrícola, donde los pequeños productores enfrentan desafíos significativos en la alimentación de sus animales por la escasez de tierras destinadas a la ganadería, la discontinuidad climática, los altos costos de producción y el desconocimiento de tecnologías innovadoras, provocando dificultades en salud y en la reproducción animal, así como la sostenibilidad económica de los productores. En este contexto se propuso la presente investigación cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento agronómico y nutricional de dos especies vegetales bajo el sistema de producción de forraje verde hidropónico en interacción con dos conductividades eléctricas de la solución ajustada de Steiner, destinadas a la alimentación de animales de interés zootécnico. Esta investigación experimental se enfoca en la examinación del comportamiento agronómico de dos especies vegetales maíz (*Zea mays*) (I) y cebada (*Hordeum vulgare*) (II) en respuesta a dos niveles de conductividades eléctricas (CE); (1) 0,25 dS m⁻¹, (2) 0,5 dS m⁻¹ (3) testigo de la solución universal de Steiner, buscando así comprender como la variación y concentración de una solución nutritiva afecta en crecimiento y el desarrollo de las variedades antes mencionadas. Para la ejecución del experimento, se produjeron las especies forrajeras en un intervalo estandarizado de 15 días tras a pre- germinación de las semillas bajo un sistema controlado y automatizado de (FVH). El experimento reveló resultados significativos: se observó que el maíz necesita de mayor tiempo de pre- germinación radicular que la cebada y que en caso del maíz más la interacción con la solución (1) tuvo mayor nivel proteico, con la solución (2) tuvo mayor longitud y biomasa foliar, con el tratamiento (T) tuvo mayor biomasa radicular, por otra parte, la cebada más la interacción con la solución (2) tuvo mayor longitud, mayor biomasa foliar, biomasa radicular y calidad nutricional. Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que el adicionamiento de una fuente nutricional a la producción de (FVH) favorecen a la obtención de características deseables en la producción en este tipo de sistemas.

PALABRAS CLAVE: Especies forrajeras, solución de Steiner, biomasa foliar, biomasa radicular, análisis nutricional.

ABSTRACT

Ecuador is a generally agricultural country, where small producers face significant challenges in feeding their animals due to the scarcity of land for livestock farming, climatic discontinuity, high production costs and lack of knowledge of innovative technologies, causing difficulties in animal health and animal reproduction, as well as the economic sustainability of producers. In this context, the present research was proposed, the objective of which was to evaluate the agronomic and nutritional behavior of 2 plant species under the hydroponic green forage production system in interaction with two electrical conductivities of the adjusted Steiner solution, intended for feeding livestock animals. zootechnical interest. This experimental research focuses on the examination of the agronomic behavior of two plant species, corn (*Zea mays*) (I) and barley (*Hordeum vulgare*) (II) in response to two levels of electrical conductivities (EC); (1) 0.25 dS, (2) 0.5 dS (3) control of Steiner's universal solution, thus seeking to understand how the variation and concentration of a nutrient solution affects the growth and development of the aforementioned varieties. To carry out the experiment, the forage species were produced at a standardized interval of 15 days after pre-germination of the seeds under a controlled and automated (FVH) system. The experiment revealed significant results: it was observed that corn needed a longer root pre-germination time than barley and that in the case of corn plus the interaction with solution (1) it had a higher protein level, with solution (2) it had greater leaf length and biomass, with treatment (T) it had greater root biomass, on the other hand, barley plus the interaction with the solution (2) had greater length, greater leaf biomass, greater root biomass and greater nutritional quality. The results obtained in this research show that the addition of a nutritional source to the production of (FVH) favors obtaining desirable characteristics in production in this type of systems.

KEYWORDS: Forage species, Steiner solution, leaf biomass, root biomass, nutritional analysis.

RESPUESTA DE MAÍZ (*Zea mays*) Y CEBADA (*Hordeum vulgare*) A LA SOLUCIÓN NUTRITIVA DE STEINER PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

1 INTRODUCCIÓN

El cultivo de plantas sin suelo surgió a partir de investigaciones que buscaron determinar la composición de las sustancias que hacían crecer a las plantas. A inicios de la década de los treinta, científicos de la Universidad de California, realizaron ensayos de nutrición vegetal, denominándolos sistema de cultivo “Hidropónico”, palabra que proviene del griego *hydro* (agua) y *ponos* (labor, trabajo), es decir, “trabajo en agua” (López & Mcfield, 2013) La hidroponía es un sistema productivo en el cual las raíces de la planta toman directamente los nutrientes de la solución sin que la planta esté establecida en el suelo (Castro, 2012). Una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de la hidroponía es la producción del forraje verde hidropónico (FVH) (Borja & Perlaza, 2009).

El FVH es una forma de producción vegetal a partir de la germinación y desarrollo de semillas viables en el corto plazo (Vargas, 2008). Estas semillas pueden ser de cereales o leguminosas (cebada, maíz, sorgo, soya, etc.), teniendo altos índices de digestibilidad y calidad nutritiva lo que lo hace adecuado para la alimentación animal (Juárez et al., 2013), permitiendo el engorde de animales para producir carne y/o leche (Flores & Chilon, 2019). Este producto crece bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y luminosidad y sin suelo (Flores & Chilon, 2019; Rivera et al., 2010). Una manera de controlar las condiciones de cultivo es realizar el FVH en invernaderos, los cuales permiten la producción bajo condiciones climáticas adversas (Flores & Chilon, 2019). El FVH se puede desarrollar en un periodo de 9 a 15 días, tiempo en el cual puede alcanzar de 20 a 25 cm (Tigre, 2015) dependiendo de la especie utilizada, la cual capta la energía del sol y asimila los compuestos disueltos en la solución nutritiva (López & Mcfield, 2013; Suazo & Zelaya, 2020).

A nivel mundial el FVH es una alternativa muy acogida en países donde existen limitantes como espacio, agua o sequías que pueden ser prolongadas. Nueva Zelanda, España y Japón que han optado por producir variedades forrajeras mediante módulos horizontales y ambientes controlados, reduciendo la utilización de productos sintéticos para el control de plagas y/o enfermedades, así como la pérdida de agua que en la agricultura convencional de más del 65% (Bladimir & Javier, 2020).

En países de Sudamérica se ha evaluado el comportamiento (Flores & Chilon, 2019) y la productividad de FVH (Rivera et al., 2010) del (FVH) frente a diferentes tratamientos de fertilización (Morales et al., 2012). En México y Venezuela se han evaluado densidades de siembra y cosecha del (FVH) (Carranco, 2005), estableciendo parámetros de rendimiento, composición nutritiva y la suficiencia antioxidante de la biomasa producida (Pérez et al., 2012).

En Colombia se ha producido para la valoración nutricional en pollos a partir de maíz como suplementación alternativa (Borja & Perlaza, 2009). En Perú se ha evaluado el comportamiento nutricional de tres variedades de cebada en un sistema de (FVH) en la alimentación cuyes (Saavedra et al., 2021; Sierra, 2018), . También se ha probado el (FVH) en la alimentación de ganado caprino con variedades de leguminosas comparando su factibilidad nutricional en climas desérticos (Mezones & Quito, 2021).

La producción de forraje verde de manera tradicional en el Ecuador es muy efímera en pequeños productores, ya que depende principalmente de la pluviosidad del sector o de la disponibilidad de agua de riego por turnos (Miranda, 2016). A todo esto se suma que los productores ganaderos de nuestro país poseen escaso conocimiento sobre el mejoramiento y la innovación en la producción de forraje verde hidropónico destinado a la alimentación animal (Castro, 2012).

En el Ecuador se han realizado investigaciones de (FVH) relacionadas a la producción de biomasa forrajera con semillas de: lenteja (*Lens culinaris*), haba (*Vicia faba*), avena (*Avena sativa*), arroz (*Oryza sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*), trigo (*Triticum aestivum* L) y maíz (*Zea mays*),

siendo el maíz el más utilizado y estudiado en comparación con las demás especies. La familia Poaceae frente a la familia Fabaceae, presentó mejores rendimientos en rendimiento por área “maíz” y el trigo y avena presentan mayor altura y longitud a nivel de raíces, con respecto a la calidad nutricional el maíz y avena presentaron niveles altos en contenido proteico; mientras que la cebada presento valores altos de fibra (Tomalá, 2022).

En este contexto se propuso la presente investigación cuyos objetivos se detallan a continuación:

1.1 Objetivos

Objetivo general

Evaluar el comportamiento agronómico y nutricional de dos especies vegetales bajo el sistema de producción de forraje verde hidropónico en interacción con dos conductividades eléctricas de la solución ajustada de Steiner, destinadas a la alimentación de animales de interés zootécnico.

Objetivos específicos

Determinar el comportamiento agronómico y nutricional de la especie vegetal maíz (*Zea mays*) como productora de FVH a partir de dos conductividades eléctricas de la solución ajustada de Steiner.

Determinar el comportamiento agronómico y nutricional de la especie vegetal cebada (*Hordeum vulgare*), como productora de FVH a partir de dos conductividades eléctricas de la solución ajustada de Steiner.

2 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Cultivares utilizados

MAÍZ

El maíz es el tercer cereal más cultivado en el mundo, solamente inferior al trigo y el arroz, el maíz puede desarrollar en una gran variedad de micro- climas, que van desde el trópico hasta los climas templados, con latitudes ecuatoriales entre 23° norte y 23° sur desde el Ecuador (Bonilla, 2012). Una de las plantas para fines forrajeros más utilizadas ha sido el maíz, debido a su disponibilidad en el mercado local, por su valor nutricional atractivo de (de carbohidratos, proteínas, minerales y vitaminas) y los altos rendimientos, produciendo elevados volúmenes de forraje a nivel hidropónico y con bajo costo de producción (Morales et al., 2012; Villota, 2013). En la producción del forraje verde hidropónico, el maíz artesanal o maíz criollo, es un alimento poco usado por falta de conocimiento en nuestras zonas, pero que internacionalmente es muy reconocido por su facilidad de manejo y el gran porcentaje nutricional que contiene (Chavarria & Castillo, 2018), una característica importante en la producción de (FVH) de maíz prueba que el adicionamiento de una solución nutritiva no otorga un resultado favorable en la calidad nutricional resultante y que resulta más favorable el no poner la solución nutritiva con excepción del agua de riego común (Villota, 2013).

VARIEDAD MISHKA

La variedad MISHKA proviene de la Provincia de Imbabura, en el sector de Cajas límite con la provincia de Pichincha y Tungurahua. Esta variedad tiene un alto poder germinativo, entre los 10 y 12 días aproximadamente desde su siembra, las primeras raíces se dan a los 6 a 8 días esto con temperaturas de 12 a 14 °C. Sus plantas tienen una altura promedio de 150 a 180 cm. Esta variedad es mucho más pequeña en comparación de una especie forrajera, con un color del grano amarillo pálido (Bonilla, 2012).

CEBADA

la cebada como plata forrajera se utiliza como alimento animal tanto el grano como la planta entera, su producción forrajera va de las 5-8 t/ha que varía del grano que va de las 1,3 t/ha (Segarra,

2013). La cebada es una de las opciones viables en la producción de FVH, ya que presenta altos índices de rendimiento de biomasa resultante por kg de semilla, valores proteicos altos para la ingesta, además la semilla tiene un menor precio en el mercado (Mezones & Quito, 2021). Desde un punto nutricional la cebada es una materia prima con alto contenido energético aunque pobre en proteína (Saavedra et al., 2021),

VARIEDAD INIAP- Cañicapa

Esta variedad de cebada se adapta a los 2400 msnm a 3200 msnm, contiene un gran porcentaje de contenido proteico, así mismo tiene un rendimiento de 30 granos por espiga, el color es amarillo claro en la espiga, la altura va desde 110-130 cm; tiene de 85- 90 días al espigamiento; el ciclo del cultivo es de 170- 180 días, es muy tolerante al stress hídrico y muy resistente a enfermedades transmitidos por patógenos, la variedad destinada al cultivo forrajero puede tener un muy buen rendimiento de biomasa con relación al contenido proteico (Jumbo, 2014).

2.2 Importancia de la producción de forraje verde hidropónico

El FVH favorece y ayuda en gran medida a la sustentabilidad de las actividades agropecuarias con el propósito de alimentar animales de explotación zootécnica, aprovechado eficientemente el recurso agua, mejorando la producción, reduciendo los espacios por m² de producción y aumentando la ganancia de peso de los animales (Castro, 2012; Flores & Chilon, 2019; Palacios & Agustín, 2020). Esta técnica representa una metodología suplementaria nutricional produciendo biomasa vegetal fresca de manera rápida con alta digestibilidad y germinación temprana de semillas de cereales (Ramírez & Soto, 2017). Este sistema está vinculado a la sostenibilidad económica y alimentaria, teniendo un impacto social, ecológico por ser útil en lugares que la producción de alimentos es escasa o nula (Morales et al., 2012). Por consiguiente para un cultivo convencional se necesita de 10000 m² para producir 180,000 kg de forraje al año, por el contrario, él (FVH) ocupa 60 m² para producir 175,200 kg por año (Castro, 2012).

2.3 Usos del FVH

El FVH se utiliza para solventar alimento necesario de manera escalonada para su mejor manejo y abastecimiento constante durante todo el año (Castro, 2012), produciendo alimento de

calidad y a bajos costos de producción durante todo el año (Suazo & Zelaya, 2020). Este tipo de sistema es una alternativa tecnología de precisión con el 95% de eficacia en la producción forrajera (Chavarria & Castillo, 2018).

2.4 Densidad de siembra y cosecha

En el sistema hidropónico se puede producir a partir de 1 kg de semilla una masa de 6 a 9 kg (Vargas, 2008). La capacidad de producción del FVH dependerá del área del invernadero, por ejemplo: un invernadero de 4 a 5 m² con un área de producción de 12m² por estantes tendrá un rendimiento de 14 Kg/m² y el área de producción total será de 48 m² considerando que el estante es de 4 niveles producirá 672 Kg en un ciclo de producción de 15 días en promedio, proporcionando 1 Kg diario para 10 animales durante 67 días. Esta producción debe ser escalonada para que biomasa salga por etapas y se debe considerar que se necesitara 3,7 q por cada ciclo (Palacios & Agustín, 2020).

2.5 Eficiencia en el uso de agua

Se debe realizar un análisis químico para formular un nutrimento que vaya de acuerdo a la electro- conductividad del agua con un pH promedio de 5,75 (Juárez et al., 2013), para los cereales el pH no debe estar por encima de 7 (Carranco, 2005). En la etapa de germinación se debe aplicar 0,5 L de agua por m² al día, en la etapa de crecimiento 0,9 L/m² al día y desarrollo y salida 1,5 L/m² al día, dividiendo los intervalos de riego en 6 o 9 veces en el día con una duración de 2 mm (Juárez et al., 2013). Este sistema impide la pérdida de agua y según la técnica que se utilice 2 L de agua puede producir 1 Kg de forraje y 8 L para 1 Kg de materia seca (Suazo & Zelaya, 2020).

2.6 Ventajas de la producción de FVH

El FVH ofrece la ventaja de producir biomasa vegetal durante todo el año con alto índices proteicos y minerales dependiendo el tipo de forraje a producirse (Rivera et al., 2010).

El FVH reduce el espacio de producción a comparación de uno convencional, debido a que ocupan espacios tanto horizontales como verticales de manera eficaz (Carranco, 2005).

El FVH contiene alta palatabilidad entre los animales y dependiendo la variedad a producirse tendrá mayor calidad nutricional (Carranco, 2005).

2.7 Desventajas de la producción FVH

La desinformación, sobrevaloración tecnológica y los costos de instalación dificultan la implementación de este tipo de sistema (López & Mcfield, 2013).

La principal limitante para la producción agropecuaria es el agua sin este recurso no se podrá desarrollar la implementación del sistema de (FVH) (Carranco, 2005).

2.8 Proceso de producción de forraje verde hidropónico (FVH)

Selección de las especies utilizadas en FVH:

Las semillas que se pueden utilizar para la producción de (FVH) son especialmente cereales como: cebada, maíz, trigo y sorgo (Juárez et al., 2013).

Selección de semilla.

La semilla deben ser de excelente calidad con altos índices de germinación y rendimiento por m² libres de impurezas evitado semillas certificadas, ya que son tratadas con agroquímicos (Juárez et al., 2013).

Lavado y desinfección de semillas.

Las semillas deben pasar por un lavado y desinfectado de 30 segundos exactos con una solución de NaCl al 1% (10ml de solución por 1L de agua) (Juárez et al., 2013).

Pre- germinación (remojo de las semillas).

Para garantizar una correcta pre- germinación se debe remojar tres veces las semillas con intervalos de tiempo de 12 horas, las tres etapas de remojo, escurrir durante 1 hora las semillas en todas las etapas, todo esto para mejorar la oxigenación del agua y semillas (Juárez et al., 2013).

Siembra y densidad.

Dependiendo de la capacidad de las bandejas se debe aplicar 2,2 a 3,4 Kg de semilla con una delgada capa de 1,5 cm de espesor (Juárez et al., 2013).

Germinación.

Se recomienda tapar las semillas de la exposición lumínica para promover la estimulación germinativa y mejorar la humedad, después de la germinación se debe retirar la cobertura (Juárez et al., 2013).

Riego.

El riego debe realizarse por micro-aspersores, nebulizadores o bombas de mano. El riego por inundación no es factible ya que provocaríamos la pudrición de las semillas (Juárez et al., 2013).

Fertirriego.

Para la fertirrigación se debe tener en consideración los requerimientos nutricionales de la variedad a producción, como la capacidad del sistema de riego, el momento del fertirriego, las cantidades de sales en el agua de riego, y la concentración del fertilizante a utilizarse en conjunción a un previo análisis de agua para su adición al riego (Kafkafi & Tarchitzky, 2012).

Cosecha y rendimiento.

La cosecha y el rendimiento estará asociada al factor tiempo de producción de la biomasa de 10 a 14 días pero dependiendo de la masa que se desea se puede cosechar antes o después (Suazo & Zelaya, 2020).

2.9 Solución Ajustada de Steiner

El erudito holandés Abram A. Steiner en 1961 estableció el concepto de mutualidad y correlación de los aniones y cationes. Partiendo de esto estableció que una solución nutritiva o fertilizante tiene que estar regulada en sus macronutrientes teniendo la misma equivalencia de aniones y cationes (SADER, 2021).

La solución nutritiva universal de Steiner, se encuentran disueltos minerales que son necesarios para el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas. Esta solución fertilizante se compone de micronutrientes como: “N” nitrógeno, “P” fósforo y “K” potasio, siendo los elementos más utilizados y demandados para el desarrollo de los cultivos, y micronutrientes como: “Cl” cloro, “Ca” calcio, “Mg” magnesio, “S” azufre, “B” boro, “Fe” hierro, “Mn” manganeso, “Zn” zinc y “Mo” molibdeno, microelementos que se requieren en menor proporción en los cultivos (SADER, 2021). Además Steiner propone que la concentración de amonio en la solución nutritiva es la fuente de N más adecuada para la mayoría de los cultivos y debe evitarse que sobrepase el 80 % de la suma de los aniones en la solución nutritiva (Chavez et al., 2006).

Para la formulación óptima de una solución nutritiva dependerá de la especie y el estado fenológico de la planta, la parte deseada a cosechar de la planta, la época del año, el clima y duración del día, todo ello acompañado del método de cultivo (Chavez et al., 2006; SADER, 2021), debido a estos factores, la solución nutritiva debe ser sistemáticamente desarrollada con la mezcla de nutrientes minerales previo a un análisis de las variables deseables para el cultivo (Chavez et al., 2006). Con base a lo anterior, Steiner propone una relación entre aniones y cationes que equilibren la formulación de una solución nutritiva, la primera relación la constituye los aniones NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} y la segunda relación la constituye los cationes K^+ , Ca^{2+} , y Mg^{2+} (Chavez et al., 2006).

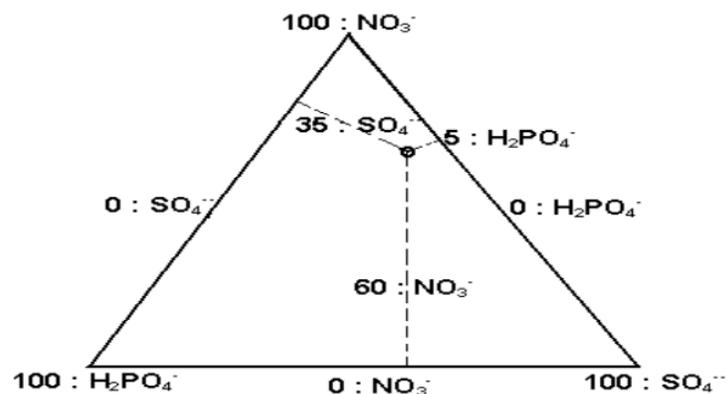


Figura 1 Relación mutua entre los aniones, en la solución nutritiva universal de Steiner (Chavez et al., 2006).

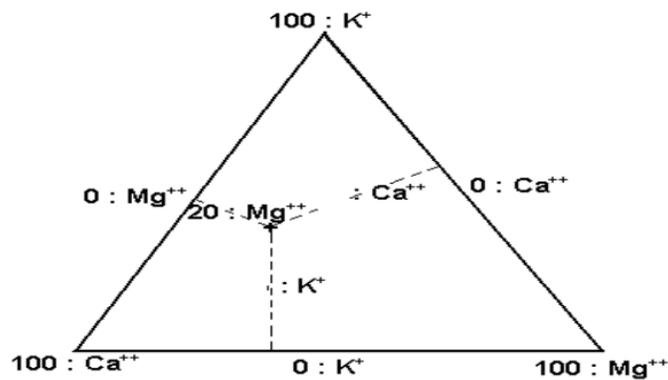


Figura 2 Relación mutua entre los cationes, en la solución nutritiva universal de Steiner

(Chavez et al., 2006).

Una solución nutritiva debe contener agua con oxígeno y de nutrimentos en forma iónica, relacionando los aniones y los cationes a la solución a usarse (Chavez et al., 2006). Esta relación no depende de la cantidad absoluta de cada ion, sino en cuantificar los iones entre si ya que si existiera una relación inadecuada reduciría el rendimiento de la solución nutritiva (Chavez et al., 2006; Santos et al., 2016).

Según Steiner para la formulación de una solución nutritiva determinada se debe cumplir con los siguientes requisitos (SADER, 2021):

- La misma relación mutua de aniones.
- La misma relación mutua de cationes.
- La misma presión osmótica.
- El mismo pH.

Steiner propone trabajar con los porcentajes de concentración de los aniones o cationes en (meq/L) respecto al total de las valencias iónicas, así proponiendo rangos universales expresados como en la tabla 1 y 2 (Santos et al., 2016):

Tabla 1 Rangos aceptables de relaciones entre iones en soluciones nutritivas según (Steiner, 1996)

	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Rango	% sobre total cationes				% sobre total aniones			
aceptable	25-45	35-55	17-23	0-15	35-65	3-12	25-45	0-20

(Santos et al., 2016)

Tabla 2 Concentración de micro- nutrientes en las diferentes soluciones nutritivas

Autor	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
	mg L ⁻¹					
Steiner	2,0	0,7	0,02	0,09	0,5	0,04

(Chavez et al., 2006)

La solución universal de Steiner contiene N-NO₃⁻, el cual tiende a alcalinizarse a medida que las plantas la absorban dándose por la liberación de HCO₃⁻ u OH⁻, para evitar esto se debe trabajar con la adición de N-NH₄⁺ amortiguando el pH ya que la planta absorbe N-NH₄⁺, el H⁺ lo libera los raíces y la solución nutritiva se acidifica evitando la alcalinización en un sistema de reflujo (Chavez et al., 2006; Santos et al., 2016). Por otra parte, la Presión Osmótica influye directamente en la absorción del agua y nutrientes adicionados a las plantas, ya que a mayor presión osmótica menor absorción de la solución nutritiva que adicionemos al agua desbalanceándola y provocando de manera diferencial la restricción en la absorción de SO₄ que la de NO₃ y H₂PO₄, el Ca que se absorba menos que el Mg y el Mg a menor medida que el K (Chavez et al., 2006).

Una buena forma que sea directa para determinar la Presión Osmótica de una solución nutritiva es la “Conductividad Eléctrica”, que nos ayuda a identificar el total de sales que están en el agua, así Steiner propone el cálculo de la presión osmótica de la solución nutritiva multiplicándola con el número de mmol por el factor 0,024, siendo útil para los valores de 0 a 5 dS m⁻¹ de conductividad eléctrica (Chavez et al., 2006).

La temperatura de la solución nutritiva debe tener relación directa con la cantidad de oxígeno que consumen las plantas e inversa con el oxígeno disuelto las plantas. En la solución nutritiva a 10 °C, la saturación es de 10.93; a 15 °C, de 10.2 ppm de concentración; a 25 °C, de 8.5 ppm; a 35 °C, de 7.1 ppm de concentración; a 45 °C, de 6 ppm de concentración de oxígeno (Chavez et al., 2006).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de Experimentación

El proceso experimental se desarrollará en la comunidad de Santa Rosa de Ayora (Fig.1), ubicada en la parroquia Ayora al norte del cantón Cayambe en la provincia de Pichincha, a una altitud de 2996 m.s.n.m., en las coordenadas 0.086077° , -78.117970°

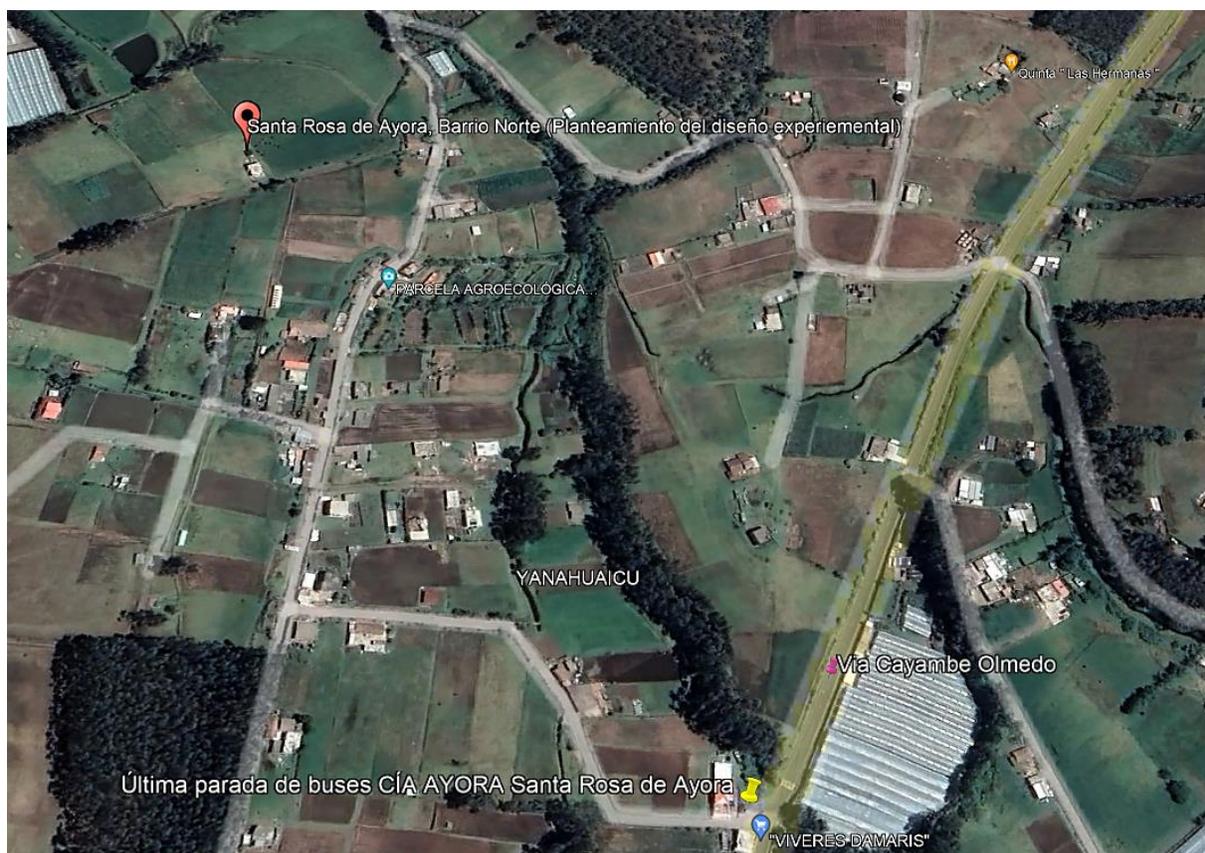


Figura 3 Ubicación del invernadero donde se desarrolló el experimento

3.2 Preparación de semillas

Selección de semillas

Se debe separar las semillas de las impurezas como basuras, material vegetal o piedrillas, mediante un proceso de aventado y cernido.



Figura 4 Limpieza de las semillas a) Preselección tras aventar las semillas, b) Cernido de impurezas y semillas inviables

Lavado y desinfección de semillas

Una vez seleccionadas las semillas se lavan y desinfectan con agua destilada en la cual se coloca la solución de hipoclorito de sodio al 1% (10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua), las semillas deben permanecer por 20 segundos exactos en el agua con la solución, luego serán escurridas y enjuagadas cuatro veces con agua destilada, todo esto con el fin de eliminar la mayor parte de microorganismos patógenos que pueden estar presentes en las semillas.



Figura 5 Etapas de lavado y desinfección a) Medición del hipoclorito de sodio, b y c) Colocación de 60ml de hipoclorito de sodio a los 6 litros de agua con las semillas, d) Mezclado de la solución, el agua y las semillas, e y f) Escurrimiento de las semillas, g y h) Cambio de agua de las semillas

Remojo, Imbibición y Pre-germinación de las semillas

Se sumergió completamente las semillas a remojo en agua potable por un periodo de 24 horas para que se logre una completa imbibición y activación de las semillas, las 24 horas serán divididas en 2 periodos de 12 horas:

- a. A las 12 primeras horas de estar las semillas en remojo se las escurrió durante 1 hora, esto con el fin de oxigenarlas y evitar la pudrición o pérdida del embrión.
- b. Después, se sumergió las semillas nuevamente por 12 horas, para finalmente escurrirlas por última vez.
- c. Posteriormente las semillas se colocaron en un recipiente inocuo durante 72 horas (Los tiempos de pre-germinación dependió de la especie forrajera a utilizarse), controlando la humedad y la entrada de luz en los recipientes para estimular la pre-germinación radicular.
- d. Después de la etapa de la pre-germinación radicular, las semillas se colocaron de manera homogénea en las bandejas de acuerdo con la cantidad que se estableció utilizar para el estudio.
- e. Finalmente, Las bandejas de cada tratamiento fueron ubicadas en un estante diseñado a medida para todos los tratamientos.

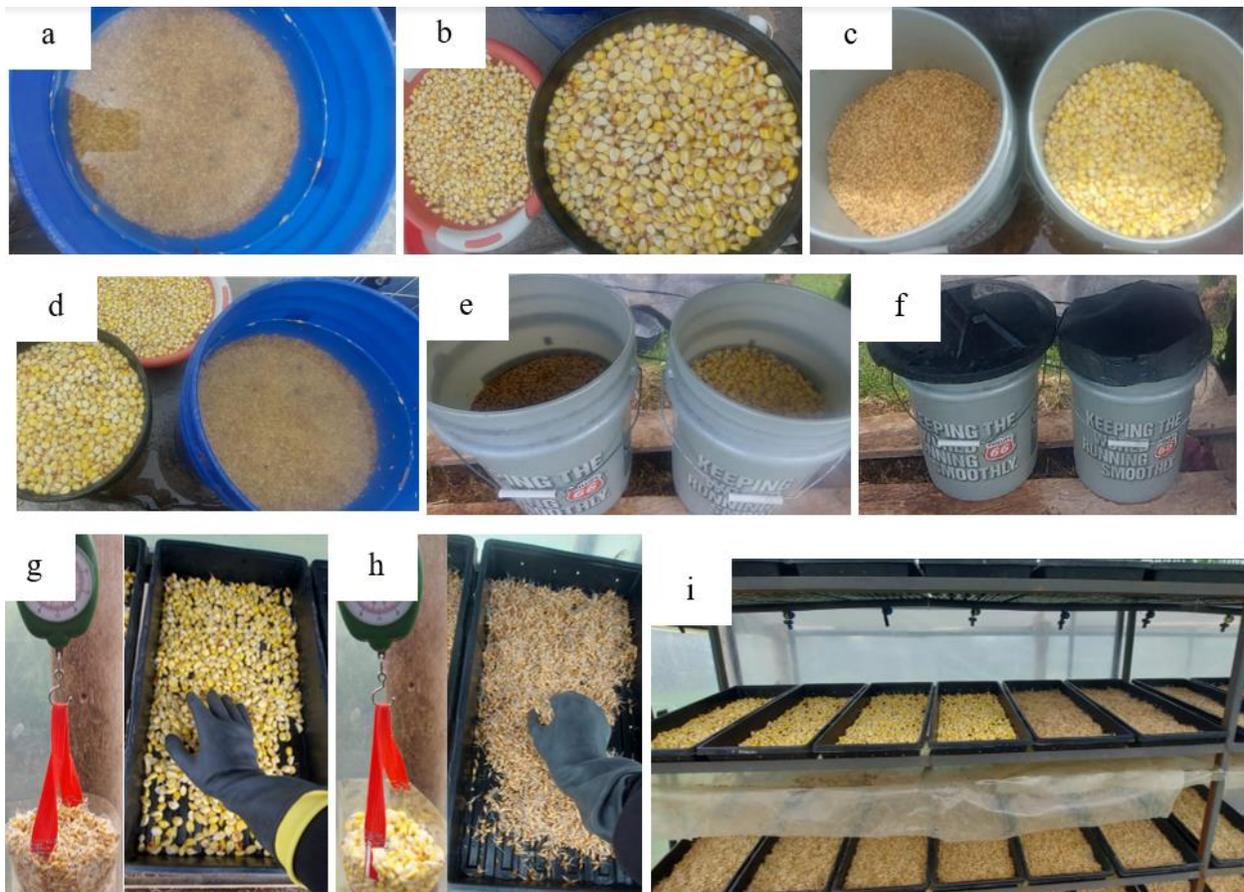


Figura 6 Etapas de preparación de las semillas a y b) Primeras 12 horas de remojo de las semillas, c) Escurrimiento y oxigenación de las semillas, d) Segundas 12 horas de remojo de las semillas, e y f) Escurrimiento y colocación de las semillas en recipientes inocuos en ausencia de luz para su pre-germinación radicular, g y h) Pesaje y colocación de las semillas en las bandejas, i) Ubicación de las bandejas en el estante

3.3 Riego

El agua de riego se aplicó en un intervalo de 15 días, los primeros 10 días de riego se acompañó con una aplicación al día de la solución nutritiva por un minuto y medio, posterior a ello se dio de manera constante el riego por un minuto en intervalos de 3 horas en el día y en intervalos de 4 horas en la noche.

Los 5 días posteriores solo se aplicó agua de riego, esto con el fin de evitar la residualidad de la solución nutritiva.

3.4 Cantidad de fertilizante

Se aplicó la solución de Steiner a dos conductividades eléctricas: 0,25 y 0,50 dS/m por un intervalo de riego de un minuto y medio por día en los primeros 10 días, esto con la finalidad de evitar la residualidad de la solución nutritiva. La aplicación se realizó a las 06:00 horas.

Productos utilizados para la solución universal de Steiner

Tabla 3 Minerales utilizados en gramos por 21 litros de agua de riego para la solución ajustada de Steiner a dos conductividades eléctricas (CE): 0,25 y 0,5 dS m⁻¹

N°	Orden de mezcla	compuesto	Conductividad Eléctrica (CE) de 0,25 dS m ⁻¹	Conductividad eléctrica (CE) de 0,5 dS m ⁻¹
			gramos	gramos
1	Nitratos	Nitrato de potasio	0,9723	1,7808
		Nitrato de calcio	2,2554	5,0316
2	Sulfatos	compuesto	gramos	gramos
		Sulfato de potasio	0,7182	1,6212
		Sulfato de magnesio	0,7686	2,0727
3	Ácidos	compuesto	mililitros	mililitros
		Ácido Fosfórico	0,168	0,336
4	Aditivos	compuesto	gramos	gramos
		Tradecorp AZ	0,71	0,71

3.5 Sistema de aplicación

La solución y el agua de riego, se aplicó mediante un sistema de riego automatizado por nebulización, el cual cuenta con una caja de conexión eléctrica y un programador de control de los tiempos de fertirriego.

El primer riego se programó a las 6:00 horas, se lo realizó en un tiempo estipulado de un minuto y medio, esto con el fin de evitar la pérdida excesiva de fertilizante.

Posteriormente la programación de riego consistió en un riego durante un minuto por cada 3 horas durante todo el día y un riego durante un minuto por cada 4 horas en la noche.

3.6 Cosecha

La cosecha del FVH para este estudio en particular, se lo realizó a los 15 días contados a partir de la colocación de las semillas en las bandejas de acuerdo con (Carranco, 2005).

3.7 Semillas

Se utilizo: Maíz variedad “Mishca” y Cebada variedad “INIAP-Cañicapa”

Tabla 4 Cantidad de semillas utilizadas para la UE en la respuesta de maíz (*Zea mays*) y cebada (*Hordeum vulgare*) a la solución nutritiva de Steiner para la producción de forraje verde hidropónico

ESPECIE VEGETAL	CANTIDAD DE SEMILLA POR TRATAMIENTOS POR 4 REPETICIONES (kg)	CANTIDAD DE SEMILLA POR BANDEJA (gr/cm ²)
Maíz (Mishca) + solución Steiner a 0,25 CE.	1,94616	486,54
Maíz (Mishca) + solución Steiner a 0,5 CE	1,94616	486,54
Maíz (Mishca) + agua	1,94616	486,54
Cebada (INIAP-Cañicapa) + solución Steiner a 0,25 CE	1,94616	486,54
Cebada (INIAP-Cañicapa) + solución Steiner a 0,5 CE	1,94616	486,54

Cebada (INIAP-Cañicapa) + agua	1,94616	486,54
-----------------------------------	---------	--------

El total de UE será de 24 bandejas.

3.8 Proceso Estadístico

Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 4 repeticiones.

Los factores en estudio fueron:

- A: Especies forrajeras.
- B: Solución nutritiva de Steiner.

En este caso el Factor en estudio A; maíz (I) y cebada (II), en caso de el Factor en estudio B; (CE) de 0,25 dS m⁻¹ (1), (CE) de 0,5 dS m⁻¹ (2) y el tratamiento testigo agua de riego (3).

Unidad Experimental

Unidad Experimental (UE): La UE fue constituida por una bandeja de plástico de un volumen de 8586 cm³ (53 cm de largo, 27 cm de ancho y 6 cm de alto) de color negro, en donde se colocó las semillas de las especies vegetales en estudio en las siguientes cantidades, considerando que una buena densidad de siembra debe tener como máximo 3.4 kg/m², considerando a la vez que la disposición de las semillas no debe superar 1.5 cm de altura de la bandeja (Carranco, 2005). La tabla a continuación muestra los tratamientos que fueron evaluados:

Tabla 5 Tratamientos utilizados en la respuesta de maíz (*Zea mays*) y cebada (*Hordeum vulgare*) a la solución nutritiva de Steiner para la producción de forraje verde hidropónico

FACTOR EN ESTUDIO “A”	FACTOR EN ESTUDIO “B”	TRAT.	DESCRIPCIÓN
Maíz (I)	Formulación de Steiner a las conductividades	T1	Maíz + formulación de Steiner 0,25 CE
		T2	Maíz + formulación de Steiner 0,5 CE
		T3	Maíz + Agua (testigo)

Cebada (II)	eléctricas de 0,25 (1);	T4	Cebada + formulación de Steiner 0,25 CE
	0,5 (2) y Testigo (3).	T5	Cebada + formulación de Steiner 0,5 CE
		T6	Cebada + Agua (testigo)

3.9 Variables evaluadas

Longitud de plantas.

Se tomo la longitud en centímetros desde la base la raíz hasta el ápice de la hoja más larga al momento de la cosecha, es decir a los 15 días.

Biomasa foliar

La biomasa foliar se determinó en gramos de la materia seca por metro cuadrado al momento de la cosecha. La materia seca se obtuvo al someter a la materia verde a una temperatura de 105 grados centígrado por 24 horas, con la ayuda de una estufa.

Biomasa radicular

La biomasa radicular se determinó en gramos de materia seca por metro cuadrado al momento de la cosecha. La materia seca se obtuvo al someter a la materia verde a una temperatura de 105 grados centígrado por 24 horas, con la ayuda de una estufa.

Calidad nutricional

Se determinó el contenido de proteína total de cada uno de los tratamientos sin repeticiones después de la cosecha, en el laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Politécnica Salesiana, como punto adicional se determinó el contenido de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) de cada uno de los tratamientos para la interpretación del lector.

3.10 Análisis estadístico

Para las dos especies forrajeras, se efectuó el análisis de varianza (DCA), de acuerdo con el diseño experimental planteado y con la prueba de significancia de Tukey al 5%. Para todos los análisis se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Longitud de plantas del FVH

En la prueba de Tukey al 5% para longitud de planta (Tabla 6), se obtuvieron dos rangos significativos, en los cuales T2 (maíz + 0.5 CE) obtuvo la mayor altura con 35.99 cm, seguido de T5 (cebada + 0.5 CE) con 31.34 cm, en cambio que, la menor longitud de planta presentó T1 (maíz + 0.25 CE) con 23.10 cm, a pesar de este menor valor se encuentra en el mismo rango estadístico que T5, T3, T4 y T6.

Si realizamos una comparación en entre especies del (Factor A) (Tabla 7), el maíz presentó una mejor altura de planta con 28.78 cm, en comparación con la cebada que obtuvo 27.66 cm pero estando ambas en el mismo rango, para el caso de la solución nutritiva (Factor B), la CE de 0.25 dS m⁻¹ tuvo un mejor comportamiento, con un promedio de 33.67 cm. Adicionalmente si realizamos una interacción entre los dos factores A y B para la variable longitud de planta, se puede mencionar que las dos especies forrajeras tienen una mejor comportamiento con la CE de 0.25 dS m⁻¹, presentando una mayor longitud si se compara con el resto de combinaciones.

Esta mayor altura de las dos especies forrajeras con una aplicación de sales nutritivas (T2 y T5) ratifica que a una mayor aplicación de fertilizante (dentro de los rangos adecuados para la CE) se obtiene un mejor crecimiento, lo cual concuerda con López & Mcfield. (2013) quienes produjeron maíz bajo un sistema hidropónico probando diferentes soluciones donde obtuvieron un rango de (32,50 ± 35 cm) con una solución a base de nitratos + triple 15 y micronutrientes con una conductividad de 0,6 dS m⁻¹. Ramírez & Soto. (2017) reportaron que con una solución nutritiva alta tuvo alturas de 30,21 cm a una conductividad de que va de 0,2 a 2 dS/m⁻¹. Por su parte Morales et al. (2012) reportaron una altura de 32,33 cm con una solución porcentual de cien de acuerdo a los gramos de la solución estandarizada de Morard. En caso de la cebada Villota. (2013) tuvo una altura de plántula de 26,9 cm con la adición de una solución de superfosfato triple + sulfato de magnesio + micronutrientes no sobrepasando la conductividad de 0,5 dS m⁻¹. Por su parte Flores & Chilon. (2019) presentó una altura de 23,04 cm con un biofertilizante AOLA al 80% proponiendo una máximo de conectividad de 1,41 dS/m⁻¹. Tigre. (2015) reporto una altura 23,80 cm par una CE 0,5 dS/m⁻¹ y consiguiente una altura de 25,30 cm par una CE 0,75 dS/m⁻¹ para una solución estandarizada propuesta por la FAO del manual “La Huerta Hidropónica Popular”. Adicionalmente, estas aturas de planta para FVH concuerdan con lo reportado por López & Mcfield. (2013) y

Villota. (2013) quienes trabajaron con una solución nutritiva de base de (nitratos + micronutrientes) (superfosfato triple + sulfato de magnesio + micronutrientes) con una conductividad tentativa de $\pm 0,6 \text{ dS m}^{-1}$.

Tabla 6 Análisis de varianza para la variable longitud de plantas a los 15 días con la prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Tratamiento	Medias (cm)	Prueba de Tukey*	Coefficiente de variación (CV)
T2	35,99	A	13,08
T5	31,34	A B	
T3	27,25	B	
T4	26,62	B	
T6	25,03	B	
T1	23,10	B	

Tratamientos de clasificación: Factor A para maíz (I) y cebada (II); Factor B para 0,25 (1); 0,5 (2) y agua T (3)

Tabla 7 Medias de especies (Factor A) y de soluciones (Factor B) para la variable longitud de plantas a los 15 días con la prueba de Tukey ($p > 0,05$)

	Medias (cm)	Prueba de Tukey*
Factor A		
I	28,78	A
II	27,66	A
Factor B		
1	33,67	A
2	26,14	B
3	24,86	B

Tratamientos de clasificación: Factor A para maíz (I) y cebada (II); Factor B para 0,25 (1); 0,5 (2) y agua T (3)

4.2 Biomasa foliar del FVH

En la prueba de Tukey al 5% para la biomasa foliar planta (Tabla 8), se obtuvieron dos rangos significativos, en primer instancia el T4 (cebada + 0.25 CE) obtuvo la mayor cantidad de

biomasa foliar con 135,38 gr, seguido de T5 (cebada + 0.5 CE) con 113,47gr este encontrándose aceptable para el segundo rango, en segunda instancia el T2 (maíz + 0,5) con 103,70 gr, seguido de T6 (cebada + testigo) con 87,76 gr este encontrándose aceptable para el tercer rango que es el más bajo y finalmente la menor cantidad de biomasa foliar fue el T1 (maíz + 0,25) con 68,09 gr, seguido de T3 (maíz + Testigo) con 65,14 gr.

Si realizamos una comparación en entre especies del (Factor A) (Tabla 9), la cebada presentó una mayor cantidad de biomasa foliar con 112,20 gr, en comparación con el maíz que obtuvo la menor cantidad con 78,97 gr, para el caso de la solución nutritiva del (Factor B), la CE de 0.5 dS m⁻¹ tuvo un mejor comportamiento, con un promedio de 108,58 gr, seguido por la CE de 0,25 dS m⁻¹ con 108,58 gr estados ambos en el mismo rango. Adicionalmente si realizamos una interacción entre los dos factores A y B para la variable cantidad de biomasa foliar, se puede mencionar que la especie forrajera maíz tiene mejor comportamiento con la CE de 0.5 dS m⁻¹ y que la cebada tiene mejor comportamiento con la CE de 0.25 dS m⁻¹, presentando cada una reacción a diferente concentración en (CE).

Tabla 8 Análisis de varianza para la variable biomasa foliar en gramos de MS de plantas a los 15 días con la prueba de Tukey (p > 0,05)

Tratamiento	Medias (gr/MS)	Prueba de Tukey*		Coefficiente de variación (CV)
T4	135,38	A		12,99
T5	113,47	A	B	
T2	103,70		B	
T6	87,76		B	C
T1	68,09			C
T3	65,14			C

Tratamientos de clasificación: Factor A para maíz (I) y cebada (II); Factor B para 0,25 (1); 0,5 (2) y agua o T (3). (MS)= materia seca, (MV)= materia verde y (%)= porcentaje de disociación de la cantidad de agua que están presentes en la materia verde frente a la materia seca.

La mayor cantidad de biomasa foliar de las dos especies con una aplicación de sales nutritivas (T2, T5 y T4) ratifica que una mayor aplicación de fertilizante a CE 0,5 dS m⁻¹ se obtiene mayor biomasa en maíz y seguida por la cebada, por otra parte con una aplicación de fertilizante a

CE 0,25 dS m⁻¹ se obtiene mayor biomasa en cebada, interpretando que el maíz y la cebada se puede manejar con fertilizante a la CE 0,5 dS m⁻¹, ratificando que a una mayor aplicación de fertilizante (dentro de los rangos adecuados para la CE) se obtiene un mejor crecimiento, lo cual concuerda con Trevizan & Challapa (2020), quienes obtuvieron 177,25 gramos de MS con diferentes calidades de aguas y una CE de 0,80 dS/m⁻¹; de otro lado, Carpio. (2016) obtuvo un promedio del tratamiento con mayor biomasa de 280 gramos de MS sin la utilización de ninguna solución nutritiva pero recomendado ampliamente la utilización mineral para elevar los niveles de rendimiento del forraje.

Tabla 9 Medias de especies (Factor A) y de soluciones (Factor B) para la variable biomasa foliar a los 15 días con la prueba de Tukey (p > 0,05)

Factor A	Medias (gr)	Prueba de Tukey*
II	112,20	A
I	78,97	B
Factor B		
2	108,58	A
1	101,74	A
3	76,45	B

Tratamientos de clasificación: Factor A para maíz (I) y cebada (II); Factor B para 0,25 (1); 0,5 (2) y agua T (3)

(Villota, 2013) menciona que obtuvo una cantidad de biomasa de plántula de 199 gramos de MS cm con la adición de una solución de superfosfato triple + sulfato de magnesio + micronutrientes no sobrepasando la conductividad de 0,5 dS m⁻¹. Por otra parte, Segarra. (2013) encontró un peso de biomasa de 184 gramos de MS con una solución estandarizada 5 gr L⁻¹ de Fertimax que es un fertilizante foliar con macro y micronutrientes. Cristopher. (2019) menciona que obtuvo 125,57 gramos de MS con una solución estandarizada de 4n-20. Por su parte (Flores & Chilon, 2019) encontraron un promedio de 317 gr m⁻³ con biofertilizante AOLA al 80% proponiendo una máximo de CE 1,42 mS cm⁻¹. Adicionalmente, la cantidad de biomasa foliar de las plantas para FVH concuerdan con lo reportado por Trevizan & Challapa. (2020) y Cristopher.

(2019) quienes trabajaron con una solución nutritiva de aguas que presentaron CE de $0,80 \text{ dS m}^{-1}$ y con una solución estandarizada de 4n-20 respectivamente. El caso del maíz presenta discontinuidad de en la producción del forraje a los 15 días ya que por el tema de pre- germinación radicular que demanda en el caso de maíz de más tiempo no tuvo el desarrollo que se hubiese esperado por ende biomasa baja considerablemente.

4.3 Biomasa radicular del FVH

En la prueba de Tukey al 5% para cantidad biomas radicular (Tabla 10), se obtuvieron dos rangos significativos, en primera instancia el T5 (cebada + 0.5 CE) obtuvo la mayor cantidad de biomasa radicular con $692,06 \text{ gr}$, seguido de T4 (cebada + 0.25 CE) con $606,56 \text{ gr}$ y por último el T3 (maíz + Testigo) con $537,87$ estos últimos T4 y T3 encontrándose también aceptable para el segundo rango, en segunda instancia el T1 (maíz + $0,25$) con $454,59 \text{ gr}$ encontrándose aceptable para el tercer rango, en tercera instancia el T2 (maíz + $0,5$) con $396,36 \text{ gr}$ encontrándose aceptable para el cuarto rango, y finalmente la menor cantidad de biomasa foliar fue el T6 (cebada + testigo) con $342,30 \text{ gr}$. Si realizamos una comparación entre especies del (Factor A) (Tabla 11), la cebada presentó una mayor cantidad de biomasa radicular con $546,97 \text{ gr}$, en comparación con el maíz que obtuvo la menor cantidad con $462,91 \text{ gr}$, para el caso de la solución nutritiva del (Factor B), la CE de 0.5 dS m^{-1} tuvo un mejor comportamiento, con un promedio de $544,21 \text{ gr}$ seguido por la CE de $0,25 \text{ dS m}^{-1}$ con $530,52 \text{ gr}$, estados ambos en el mismo rango. Adicionalmente si realizamos una interacción entre los dos factores A y B para la variable cantidad de biomasa radicular, se puede mencionar que la especie forrajera maíz tiene mejor comportamiento con el tratamiento testigo (agua de riego) y que la cebada tiene mejor comportamiento con la CE de 0.5 dS m^{-1} , expresando que el maíz no necesito de una solución para mayor desarrollo radicular, siendo suficiente en agua de riego con su caracterización mineral (Anexo 17). La mayor cantidad de biomas radicular de las dos especies con una aplicación de agua y sales nutritivas (T3 y T5; T4) ratifica que con la aplicación agua de riego nos da mayor biomasa en maíz, por otra parte, que una mejor aplicación de fertilizante a la CE $0,5$ y $0,25 \text{ dS m}^{-1}$ nos da mayor biomasa en cebada, siendo superior el fertilizante a la CE $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, interpretando que las raíces del maíz se puede manejar tan solo con agua de riego y la cebada se puede manejar con un fertilizante a la CE $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, todo esto (dentro de los rangos adecuados para la CE) , lo cual concuerda con Gómez. (2007) reportando que obtuvo

693 gramos de MS de maíz tras probar diferentes densidades de siembra bajo un sistema de forraje verde hidropónico. Barquero et al. (2019) mencionan que obtuvieron 406,13 gramos de MS en una solución nutritiva a diferente CE entre 1,5 a 2,0 dS m⁻¹. por otra parte Segarra, (2013) obtuvo 840 gr de biomasa radicular teniendo mayor biomasa a los 21 días con la adición de 5 g/l de Fertimax. Por su parte Gómez. (2007) obtuvo como promedio de 235,84 gramos de MS de cebada tras probar diferentes densidades de siembra bajo un sistema de forraje verde hidropónico. Adicionalmente Ramirez. (2015) tuvo los siguientes resultados en la producción de biomasa con 364, 65 gramos de MS con la adición de una solución hidropónica denominada La Molina a 1mg L⁻¹ con una CE menor que 2 dS m⁻¹. Palacios & Agustín. (2020) reportaron una biomasa en raíz de 370,76 gramos de MS con una solución obtenida del Manual FAO “La Huerta Hidropónica Popular” Finalmente, la biomasa radicular de las plantas para FVH concuerdan con lo reportado por Barquero et al. (2019) y Ramirez. (2015) quienes trabajaron con una solución nutritiva estandarizada a diferente CE entre 1,5 a 2,0 dS m⁻¹ y la adición de una solución hidropónica denominada la molina a 1mg/L con una CE menor que 2 dS m⁻¹ respectivamente.

Tabla 10 Análisis de varianza para la variable biomas radicular en gramos de MS de plantas a los 15 días con la prueba de Tukey (p > 0,05)

Tratamiento	Medias (gr/MS)	Prueba de Tukey*			Coefficiente de variación (CV)
T5	692,06	A			15,83
T4	606,56	A	B		
T3	537,89	A	B	C	
T1	454,59		B	C	D
T2	396,36			C	D
T6	342,30				D

Tratamientos de clasificación: Factor A para maíz (I) y cebada (II); Factor B para 0,25 (1); 0,5 (2) y agua o T (3). (MS)= materia seca, (MV)= materia verde y (%)= porcentaje de disociación de la cantidad de agua que estan presentes en la materia verde frente a la materia seca.

Tabla 11 Medias de especies (Factor A) y de soluciones (Factor B) para la variable biomasa radicular a los 15 días con la prueba de Tukey ($p > 0,05$)

Factor A	Medias (gr)	Prueba de Tukey*
II	546,97	A
I	462,91	B
Factor B		
2	544,21	A
1	530,52	A
3	440,10	B

Tratamientos de clasificación: Factor A para maíz (I) y cebada (II); Factor B para 0,25 (1); 0,5 (2) y agua T (3)

4.4 Calidad nutricional

Para el análisis de Proteína y nutrientes totales se utilizó el método SM 4500-N org: B, para el análisis de (P) total el método SM 4500-P: E y para el análisis de (K), (Ca) y (Mg) total el método SM 3111-B en el laboratorio de suelo y agua de la Universidad Politécnica Salesiana. Después de haber analizado por separado a cada una de las especies forrajeras, se realizó un análisis generalizado, cuyo resultado arrojó que los tratamientos en los que se aplicó soluciones nutritivas fueron los mejores; con respecto a la relación biomasa- calidad nutricional la especie forrajera cebada presentó los mejores resultados.

En la (Tabla 12) se reportan los resultados del porcentaje de proteína bruta de maíz, en donde se destaca el tratamiento el T1 (maíz + 0,25 CE) con un total de 15,32%, seguido por el T2 (maíz + 0,5 CE) con un total de 13,67% y en última instancia el T3 (maíz + testigo T) con un total de 13,58%. En cuanto a los resultados del porcentaje de proteína bruta de cebada, se destaca T5 (cebada + 0,5 CE) con un total de 15,86%, seguido por el T4 (cebada + 0,25CE) con un total de 14,52% y en última instancia el T6 (cebada + testigo T) con un total de 13,82%.

Realizando una correlación entre el maíz y la cebada podemos decir que el mejor tratamiento a nivel proteico fue la cebada con la solución CE de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, seguido por el maíz con la solución CE de $0,25 \text{ dS m}^{-1}$. Estos resultados son comparables con lo reportado por Pérez et al. (2012), quienes reportaron una cantidad de proteína cruda en maíz de 13,52% con una solución

química estandarizada en mg L^{-1} a una CE de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$. López & Mcfield. (2013) reportaron la obtención de proteína en un rago porcentual de 17,80% con una solución en base de triple 15. Castro (2012) presentó una composición de 16,8% en un kilogramo de maíz sin solución nutritiva pero recomienda ampliamente la aplicación mediante una evaluación de agua de riego. Saavedra et al. (2021) reporta una cantidad de proteína en cebada de 15,6% para la suplementación alimentaria sin solución. Por su parte Tigre. (2015) tuvo una respuesta favorable con 25% de proteína bruta en cebada tras el adición de una solución nutritiva estandarizada con 100 ppm de nitrógeno y un rango óptimo de CE de una solución nutritiva que estaría en torno a 1,5 a 2,0 dS m^{-1} . Flores & Chilon. (2019) reporta que tras la aplicación de abonos orgánicos en una variedad criolla de cebada tuvo una cantidad de proteína de 12,15% con la aplicación de Abono Orgánico Líquido Aeróbico (AOLA) a un máximo de (CE) $1,42 \text{ dS m}^{-1}$.

Tabla 12 Análisis total del porcentaje de proteína en las dos variedades (maíz y cebada) en interacción de una solución ajustada a los 15 días de producción

Tratamiento	Proteína (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
T1	15,32	2,40	0,45	1,06	0,58	0,13
T2	13,67	2,14	0,33	0,90	0,53	0,11
T3	13,58	2,13	0,56	1,10	0,58	0,12
T4	14,52	2,28	0,56	0,82	0,54	0,15
T5	15,86	2,48	0,52	0,83	0,63	0,17
T6	13,82	2,17	0,82	1,09	0,69	0,15

Tratamientos de clasificación: Factor A para maíz (I) y cebada (II); Factor B para 0,25 (1); 0,5 (2) y agua o T (3) y (%)= porcentaje total de proteína, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

En caso de los nutrientes que están presentes en las dos especies forrajeras, los mejores porcentajes proteicos fueron del T5 (cebada + 0,5 CE) con: 2,48% (N), 0,52% (P), 0,83% (K), 0,63% (Ca) y 0,17% (Mg), para la especie forrajera de maíz el T1 (maíz + 0,25) con: 2,40% (N), 0,45% de (P), 1,06% (K), 0,58% (Ca) y 0,13% (Mg). Estos resultados son comparables con los obtenidos por Ramírez & Soto. (2017) quienes tras realizar un análisis bromatológico del maíz

bajo un sistema hidropónico, determinaron las cantidades minerales de 3,60% (N), 0,65% (P), 1,66% (K), 0,53% (Ca) y 0,28% (Mg) tras realizar una fertilización alta a una conductividad del fertilizante de 2,5 dS m⁻¹. Por su parte Castro (2012), determinó la cantidad mineral del maíz bajo un cultivo hidropónico obteniendo valores de 0,47% (P), 0,104% (Ca) y 0,14% (Mg) en un intervalo de 12 a 20 días. Borja & Perlaza (2009), reportaron la caracterización bromatológica del FVH a base de una variedad de maíz “chocosito” con una carga mineral después de 15 días del cultivo de 0,2% (P) y 0,2% (Ca) sin la aplicación de una solución nutritiva enfocada a la nutrición de pollos de engorde. Carpio. (2016) determinó la cantidad mineral del maíz en diferentes edades de cosecha, obteniendo a los 24 días una cantidad de 0,49% (P) y 1,52% (Ca) sin la adición de una solución nutritiva, por otra parte, Flores & Chilon (2019), reportaron contenidos elevados de minerales en cebada con AOLA (Abono Orgánico Líquido Aeróbico) de 1,94% (N) sin solución nutritiva, 0,32% (P) con 10% AOLA + 90% agua, 0,75% (K) con 20% AOLA + 80% agua, 0,55% (Ca) con 20% AOLA + 80% agua y 0,17% (Mg) 30% AOLA + 70% agua. Todo esto con una CE máxima de 1,42 dS m⁻¹.

5 CONCLUSIONES

- Para la especie forrajera Maíz (*Zea mays*), el tratamiento que recibió la solución al 0,5 dS m⁻¹ de CE a los 15 días, presentó la mayor longitud de plantas con 35,99 cm, la mayor biomasa foliar con (103,70 gramos de MS), por el contrario, el tratamiento que recibió la solución al 0,25 dS m⁻¹ de CE, obtuvo la mayor cantidad de proteína bruta con (15,32%) y el tratamiento Testigo presentó la mayor biomasa radicular (537,89 gramos de MS)
- Para la especie forrajera de Cebada (*Hordeum vulgare*), el tratamiento que recibió la solución al 0,5 dS m⁻¹ de CE, presentó la mayor longitud de plantas con 31,34 cm, la mayor biomasa radicular con 692,06 gramos de MS, y la mayor cantidad de proteína bruta con 15,86 %, por el contrario, el tratamiento que recibió la solución al 0,25 dS m⁻¹ de CE presento la mayor biomasa foliar con 135,38 gramos de MS.
- Con la solución al 0,5 dS m⁻¹ de CE se obtuvo las mejores características de longitud y biomasa foliar en maíz, por otra parte, con la cebada se obtuvo mejor de longitud, biomasa radicular y mayor cantidad de proteína bruta.
- Para el caso de la solución al 0,25 dS m⁻¹ de CE, se obtuvo las mejores características de cantidad de proteína bruta en maíz, en cambio que, con la cebada se obtuvo la mejor biomasa foliar.
- Para el tratamiento testigo se obtuvo la mejor biomasa radicular en maíz, por otra parte, con la cebada no se obtuvo ningún parámetro deseable.

6 RECOMENDACIONES

- Investigar más especies forrajeras con el sistema de producción FVH.
- Evaluar el comportamiento de las especies forrajeras de maíz y cebada a una mayor aplicación de nutrientes, es decir a una mayor CE.
- Investigar la aplicación de otras soluciones nutritivas, tanto minerales como orgánicas en la producción de FVH.
- Realizar los análisis bromatológicos para proteína como para los contenidos de nutrientes a diferentes tiempos de cosecha, con el fin de obtener los mayores valores nutricionales.
- Compartir el conocimiento obtenido en la realización de esta investigación con los productores de la zona, ya sea en especies menores como mayores.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Barquero, V., Nieuwenhuyse, A., & García-Arguedas, R. (2019). Efecto de diferentes concentraciones de sales fertilizantes sobre la producción primaria de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.). *Revista AgroInnovación en el Trópico Húmedo*, 2(1), 12–17. <https://doi.org/10.18860/rath.v2i1.4688>
- Bladimir, L., & Javier, M. (2020). *Diseño de un módulo de cultivo hidropónico FVH para la crianza de animales de corral basado en IoT (Internet de las cosas)*. Trabajo de graduación- Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Bonilla, R. (2012). *aevaluación del cultivo de maíz (Zea mays), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento*. En *Tesis*.
- Borja, T., & Perlaza, R. (2009). Producción y evaluación de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) a base de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de pollos de engorde en la Estación Ambiental Tutunendo, Chocó, Colombia. *Revista Bioetnia*, 6(2), 127–134. <https://doi.org/10.51641/bioetnia.v6i2.76>
- Carpio, M. (2016). Producción de biomasa y calidad nutricional del forraje verde hidropónico del (*Zea mays*) maíz a diferentes edades de cosecha. En *Facultad De Zootecnia*.
- Carranco, Z. (2005). *Evaluación de variedades de maíz y densidad de siembra en la producción de forraje verde hidropónico*. Trabajo de graduación- Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Castro, V. (2012). *Cultivo hidropónico de forrajes para ganado bovino en el Ecuador*. Trabajo de graduación- Universidad técnica de Babahoyo.
- Chavarria, A., & Castillo, S. (2018). El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(8), 1032–1039. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i8.6716>
- Chavez, E., Rangel, P., & Mendoza, A. (2006). *Soluciones nutritivas*.
- Cristopher, D. (2019). *Abonos foliares (japaj húmico, 4n-20 y biol) en el rendimiento del forraje*

verde hidropónico de cebada.

- Flores, S., & Chilon, E. (2019). Aplicación de abono orgánico líquido aeróbico en la producción de forraje verde hidropónico, en dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el Centro Experimental de Cota Cota. *Apthapi*, 5(1), 1430–1440. http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S0102-03042019000100007&script=sci_arttext&tlng=es
- Gómez, M. (2007). *Evaluación del forraje verde hidropónico de maíz y cebada, con diferentes dosis de siembra para las etapas de crecimiento y engorde de cuyes.* <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1813/1/17T0725.pdf>
- Juárez, P., Morales, H., Sandoval, M., Gómez, A., Cruz, E., Juárez, C., Aguirre, J., Alejo, G., & Ortiz, M. (2013). Producción de forraje verde hidropónico. *Revista Fuente nueva época*, 4(13), 16–26.
- Jumbo, J. (2014). *Evaluación del efecto del Biol a diferentes concentraciones en la producción de cebada (Hordeum vulgare) y maíz (Zea mays) hidropónico como una alternativa de aprovisionamiento de forraje para cuyes (Cavia porcellus) en las etapas de desarrollo y engorde.* <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6231>
- Kafkafi, U., & Tarchitzky, J. (2012). Fertirrigación una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua. En *Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA)*.
- López, P., & Mcfield, S. (2013). *Efectos de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (Zea mays) variedad NB6, en un invernadero no tradicional.* Trabajo de graduación- Universidad Nacional Agraria-Nicaragua.
- Mezones, H., & Quito, I. (2021). *Estudio de factibilidad del cultivo de pasto hidropónico como alimentación continua durante todo el año para ganado caprino del caserío de Cruz de Caña-Piura.* Trabajo de graduación- Universidad privada Antenor Orrego- Cañar.
- Miranda, R. (2016). *Evaluación de tres soluciones hidropónicas comerciales en la producción de dos asociaciones de forraje verde hidropónico (FVH) como alternativa de transferencia de tecnología, Latacunga, 2015.* <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>

- Morales, H., Gómez, A., Juárez, P., Loya, L., & Ley de Coss, A. (2012). Forraje verde hidropónico de maíz amarillo (*Zea maíz* L.) con diferente concentración de solución nutritiva. *Abanico Veterinario*, 2(3), 20–28. <https://doi.org/2448-6132>
- Palacios, C., & Agustín, S. (2020). *Producción de forraje verde hidropónico en condiciones agroclimáticas de la región occidental de Guatemala*. Trabajo de Graduación- Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Pérez, S., Rivera, L., Rangel, J., Reyna, P., Velazques, V., & Ortiz, J. (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), 215–220. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33922725009>
- Ramírez, C., & Soto, F. (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 79–91. <https://doi.org/10.15517/rac.v41i2.31301>
- Ramirez, J. (2015). *Efecto de la utilizacion de forraje verde hidropónico de hordeum vulgare consocia do a la vicia sativa sobre la ganancia de peso vivo en cavia porcellus destetados*.
- Rivera, A., Moronta, M., González, M., González, D., Perdomo, D., García, D., & Hernández, G. (2010). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente. *Zootecnia Tropical*, 28(1), 33–41.
- Saavedra, D., Gómez, J., Loa, G., & Gómez, N. (2021). Forraje verde hidropónico de tres variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) en la dieta de cuyes (*Cavia porcellus*) en recría, Abancay, Perú. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 16, 67–71.
- SADER. (2021). Solución Steiner. *Estrategia de Acompañamiento Técnico*, 31. <https://www.gob.mx/produccionparaelbienestar%0A#EstrategiadeAcompañamientoTécnico>
- Santos, B., Domingo, C., & Mesa, R. (2016). *Cálculo de soluciones nutritivas en suelo y sin suelo*. https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf
- Segarra, L. (2013). *Traatamiento pre- germinatiivo de semillas de trigo (Triticum sativum), avena*

- (*Avena sativa*) y cebada (*Hordeum vulgare*) en cultivos hidropónicos” (Vol. 26, Número 4).
- Sierra, D. (2018). *forraje verde hidropónico de tres variedades de cebada (Hordeum vulgare) en la dieta de cuyes (Cavia porcellus) en recría*. Trabajo de graduación- Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac- abncay Perú.
- Suazo, D., & Zelaya, A. (2020). *Exploración para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo para la alimentación de ganado lechero: Revisión de Literatura*.
- Tigre, E. (2015). *Evaluación de tres niveles de fertilización en forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare)*. Trabajo de graduación- Universidad Politécnica Salesiana- Cuenca.
- Tomalá, A. (2022). *Análisis documental de la producción de forraje verde hidropónico en Ecuador y su efecto en la alimentación de animales pecuarios*.
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4666/1/UPSE-TAE-2019-0016.pdf>
- Trevizan, J., & Challapa, G. (2020). *Comparación del rendimiento de forraje verde hidropónico con maíz lluteño y maíz comercial, utilizando cuatro calidades de agua*. 38(3), 113–122.
<https://doi.org/10.4067/s0718-34292020000300113>
- Vargas, C. (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 19(2), 233–240.
<https://doi.org/10.15517/am.v19i2.5005>
- Villota, G. (2013). *Efecto de dos soluciones nutritivas en la producción y calidad de forraje verde hidropónico de maíz, trigo y cebada en el cantón mocha provincia de Tungurahua*.
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/6807/T-ESPE-002476.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Tratamiento		Promedios generales				Total	Promedio general
Factor A	Factor B	I	II	III	IV		
Maíz (I)	0,25 CE	21,09	23,46	20,10	27,76	92,41	23,10
	0,5 CE	33,37	34,86	36,33	39,40	143,96	35,99
	T	30,79	22,53	25,86	29,83	109,00	27,25
Cebada (II)	0,25 CE	21,09	23,46	20,10	27,76	92,41	23,10
	0,5 CE	33,37	34,86	36,33	39,40	143,96	35,99
	T	30,79	22,53	25,86	29,83	109,00	27,25

Anexo 1 Promedios generales y promedios totales de la altura de planta a los 15 días (cm)

Tratamiento		Promedios generales				Total	Promedio totales
Factor A	Factor B	I	II	III	IV		
Maíz (I)	0,25	63,80	71,04	67,53	70,00	272,38	68,09
	0,5	92,14	90,07	108,56	124,01	414,77	103,69
	T	61,85	73,76	64,89	60,04	260,54	65,14
Cebada (II)	0,25	137,32	148,01	126,18	130,00	541,51	135,38
	0,5	96,81	120,10	98,51	138,44	453,87	113,47
	T	91,48	71,48	100,05	88,04	351,06	87,77

Anexo 2 Promedios generales y promedios totales de la biomasa foliar a los 15 días (gr/MS)

Tratamiento		Promedios generales				Total	Promedio totales
Factor A	Factor B	I	II	III	IV		
Maíz (I)	0,25	425,52	464,23	440,17	488,02	1817,95	454,49
	0,5	354,92	459,15	414,65	356,71	1585,42	396,36
	T	478,32	525,83	555,66	591,76	2151,57	537,89
Cebada (II)	0,25	587,99	601,77	813,07	423,41	2426,25	606,56
	0,5	744,29	728,35	701,62	593,97	2768,23	692,06
	T	344,63	344,63	403,02	276,94	1369,21	342,30

Anexo 3 Promedios generales y promedios totales de la biomasa radicular a los 15 días (gr/MS)

Cliente: Anderson Cadena

Dirección: Santa Rosa

tratamiento: maíz + 0,25 (CE)

Cantidad de muestras: 2

Fecha de ingreso: Viernes 5 de enero del 2023

Matriz: Muestra vegetativa

Tel/Cel.: (+593) 984863083

E-mail: acadenac1@est.ups.edu.ec

N° de Informe: 23 01

Fecha Emisión: enero 27, 2024

Fecha de Análisis: 8 al 13 de enero 2024

INFORME DE RESULTADOS

Identificación de Usuario	Unidad	T1	MÉTODO DE VALORACIÓN
Código de laboratorio Parámetros			
Nitrógeno	(% p/p)	2,40	SM 4500-N org: B
Proteína	(%p/p)	15,32	SM 4500-N org: B
Fósforo	(%p/p)	0,45	SM 4500-P: E
Potasio	(%p/p)	1,06	SM 3111-B
Calcio	(%p/p)	0,58	SM 3111-B
Magnesio	(%p/p)	0,13	SM 3111-B

DATOS ADICIONALES:

U pH: unidades; mS/cm: milisiemens por centímetro; %: porcentaje; mg/L: miligramos por litro; ppm: partes por millón;

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22h Edition, 2012 -AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. "APHA" ;

Observaciones

Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE;

Ing. Agr. Orlando Gualavisi

Técnico de Suelos y Agua

Anexo 4 Análisis nutricional del maíz con la interacción de la solución al 0,25 (CE)

Cliente: Anderson Cadena

Dirección: Santa Rosa

tratamiento: maíz + 0,5 (CE)

Cantidad de muestras: 2

Fecha de ingreso: Viernes 5 de enero del 2023

Matriz: Muestra vegetativa

Telf/Cel.: (+593) 984863083

E-mail: acadenac1@est.ups.edu.ec

Nº de Informe: 23 01

Fecha Emisión: enero 27, 2024

Fecha de Análisis: 8 al 13 de enero 2024

INFORME DE RESULTADOS

Identificación de Usuario	Unidad	T2	MÉTODO DE VALORACIÓN
Código de laboratorio			
Parámetros			
Nitrógeno	(% p/p)	2,14	SM 4500-N org: B
Proteína	(%p/p)	13,67	SM 4500-N org: B
Fósforo	(%p/p)	0,33	SM 4500-P: E
Potasio	(%p/p)	0,90	SM 3111-B
Calcio	(%p/p)	0,53	SM 3111-B
Magnesio	(%p/p)	0,11	SM 3111-B

DATOS ADICIONALES:

U pH: unidades; mS/cm: milisiemens por centímetro; %: porcentaje; mg/L: miligramos por litro; ppm: partes por millón;

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22h Edition, 2012 -AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. "APHA" ;

Observaciones

Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE;

Ing. Agr. Orlando Gualavisi
Técnico de Suelos y Agua

Anexo 5 Análisis nutricional del maíz con la interacción de la solución al 0,5 (CE)

Cliete: Anderson Cadena

Dirección: Santa Rosa

tratamiento: maíz + (T)

Cantidad de muestras: 2

Fecha de ingreso: Viernes 5 de enero del 2023

Matriz: Muestra vegetativa

Tel/Cel.: (+593) 984863083

E-mail: acadenc1@est.ups.edu.ec

Nº de Informe: 23 01

Fecha Emisión: enero 27, 2024

Fecha de Análisis: 8 al 13 de enero 2024

INFORME DE RESULTADOS

Identificación de Usuario	Unidad	T3	MÉTODO DE VALORACIÓN
Código de laboratorio			
Parámetros			
Nitrógeno	(% p/p)	2,13	SM 4500-N org: B
Proteína	(%p/p)	13,58	SM 4500-N org: B
Fósforo	(%p/p)	0,56	SM 4500-P: E
Potasio	(%p/p)	1,10	SM 3111-B
Calcio	(%p/p)	0,58	SM 3111-B
Magnesio	(%p/p)	0,12	SM 3111-B

DATOS ADICIONALES:

U pH: unidades; mS/cm: milisiemens por centímetro; %: porcentaje; mg/L: miligramos por litro; ppm: partes por millón;

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22h Edition, 2012 -AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. "APHA" ;

Observaciones

Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE;

Ing. Agr. Orlando Gualavisi

Técnico de Suelos y Agua

Anexo 6 Análisis nutricional del maíz con la interacción del testigo (T)

Cliente: Anderson Cadena

Dirección: Santa Rosa

tratamiento: cebada + 0,25 (CE)

Cantidad de muestras: 2

Fecha de de ingreso: Viernes 5 de enero del 2023

Matriz: Muestra vegetativa

Tel/Cel.: (+593) 984863083

E-mail: acadenac1@est.ups.edu.ec

N° de Informe: 23 01

Fecha Emisión: enero 27, 2024

Fecha de Análisis: 8 al 13 de enero 2024

INFORME DE RESULTADOS

Identificación de Usuario	Unidad	T4	MÉTODO DE VALORACIÓN
Código de laboratorio			
Parámetros			
Nitrógeno	(% p/p)	2,28	SM 4500-N org: B
Proteína	(%p/p)	14,52	SM 4500-N org: B
Fósforo	(%p/p)	0,56	SM 4500-P: E
Potasio	(%p/p)	0,82	SM 3111-B
Calcio	(%p/p)	0,54	SM 3111-B
Magnesio	(%p/p)	0,15	SM 3111-B

DATOS ADICIONALES:

U pH: unidades; mS/cm: milisiemens por centímetro; %: porcentaje; mg/L: miligramos por litro; ppm: partes por millón;

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22h Edition, 2012 -AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. "APHA" ;

Observaciones

Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE;

Ing. Agr. Orlando Gualavisi

Técnico de Suelos y Agua

Anexo 7 Análisis nutricional de la cebada con la interacción de la solución al 0,25 (CE)

Cliente: Anderson Cadena

Dirección: Santa Rosa

tratamiento: cebada + 0,5 (CE)

Cantidad de muestras: 2

Fecha de de ingreso: Viernes 5 de enero del 2023

Matriz: Muestra vegetativa

Telf/Cel.: (+593) 984863083

E-mail: acadenac1@est.ups.edu.ec

N° de Informe: 23 01

Fecha Emisión: enero 27, 2024

Fecha de Análisis: 8 al 13 de enero 2024

INFORME DE RESULTADOS

Identificación de Usuario	Unidad	T5	MÉTODO DE VALORACIÓN
Código de laboratorio			
Parámetros			
Nitrógeno	(% p/p)	2,48	SM 4500-N org: B
Proteína	(%p/p)	15,86	SM 4500-N org: B
Fósforo	(%p/p)	0,52	SM 4500-P: E
Potasio	(%p/p)	0,83	SM 3111-B
Calcio	(%p/p)	0,63	SM 3111-B
Magnesio	(%p/p)	0,17	SM 3111-B

DATOS ADICIONALES:

U pH: unidades; mS/cm: milisiemens por centímetro; %: porcentaje; mg/L: miligramos por litro; ppm: partes por millón;

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22h Edition, 2012 -AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. "APHA" ;

Observaciones

Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE;

Ing. Agr. Orlando Gualavisi

Técnico de Suelos y Agua

Anexo 8 Análisis nutricional de la cebada con la interacción de la solución al 0,5 (CE)

Cliente: Anderson Cadena

Dirección: Santa Rosa

tratamiento: cebada + (T)

Cantidad de muestras: 2

Fecha de de ingreso: Viernes 5 de enero del 2023

Matriz: Muestra vegetativa

Telf/Cel.: (+593) 984863083

E-mail: acadena1@est.ups.edu.ec

Nº de Informe: 23 01

Fecha Emisión: enero 27, 2024

Fecha de Análisis: 8 al 13 de enero 2024

INFORME DE RESULTADOS

Identificación de Usuario	Unidad	T6	MÉTODO DE VALORACIÓN
Código de laboratorio			
Parámetros			
Nitrógeno	(% p/p)	2,17	SM 4500-N org: B
Proteína	(%p/p)	13,82	SM 4500-N org: B
Fósforo	(%p/p)	0,82	SM 4500-P: E
Potasio	(%p/p)	1,09	SM 3111-B
Calcio	(%p/p)	0,69	SM 3111-B
Magnesio	(%p/p)	0,15	SM 3111-B

DATOS ADICIONALES:

U pH: unidades; mS/cm: milisiemens por centímetro; %: porcentaje; mg/L: miligramos por litro; ppm: partes por millón;

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22h Edition, 2012 -AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. "APHA" ;

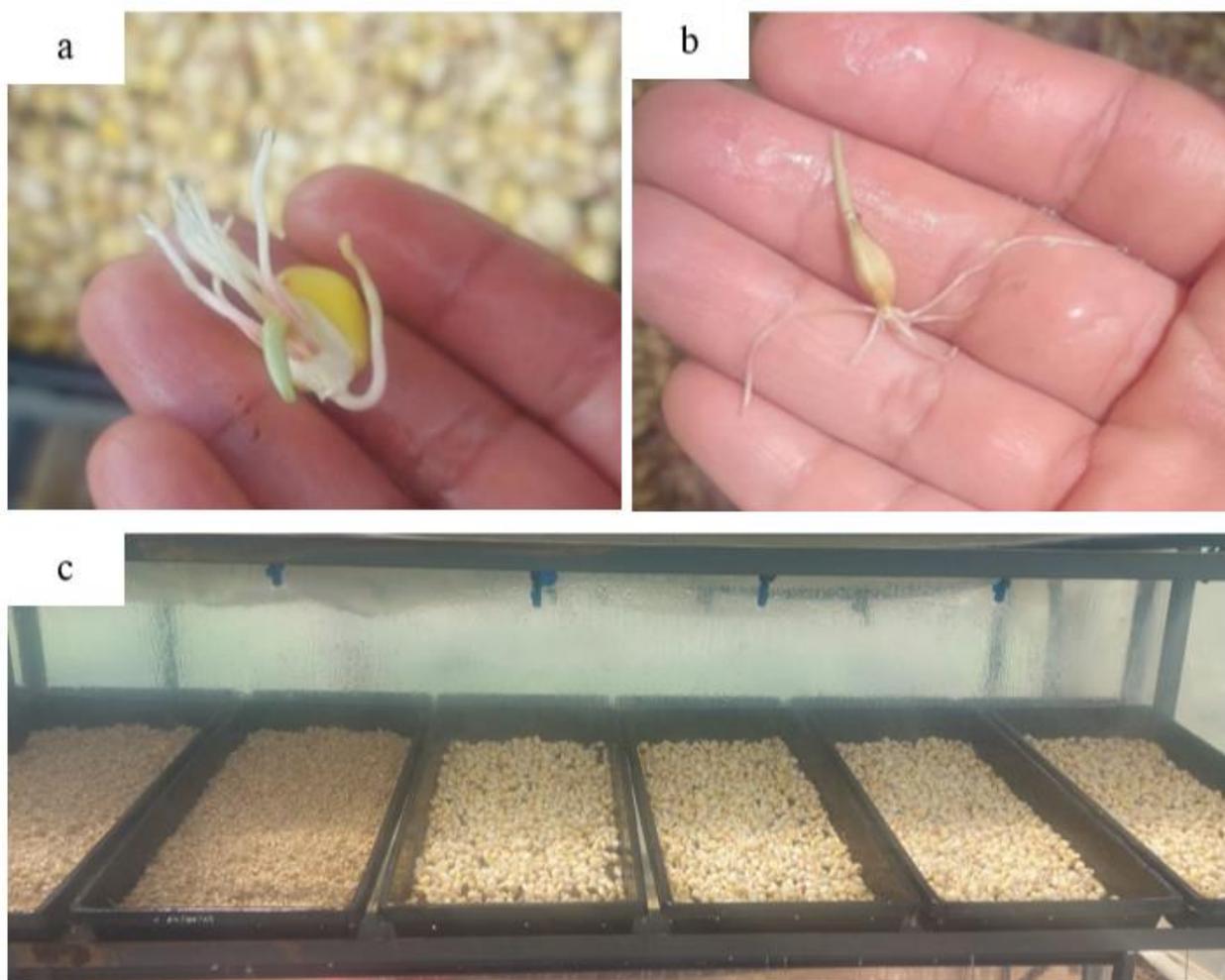
Observaciones

Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE;

Ing. Agr. Orlando Gualavisi

Técnico de Suelos y Agua

Anexo 9 Análisis nutricional de la cebada con la interacción del testigo (T)



Anexo 10 Implementación a) pre- germinación radicular del maíz, b) pre- germinación radicular de la cebada y c) sistema de (FVH)



Anexo 11 Preparación de la solución a diferentes concentraciones de (CE)



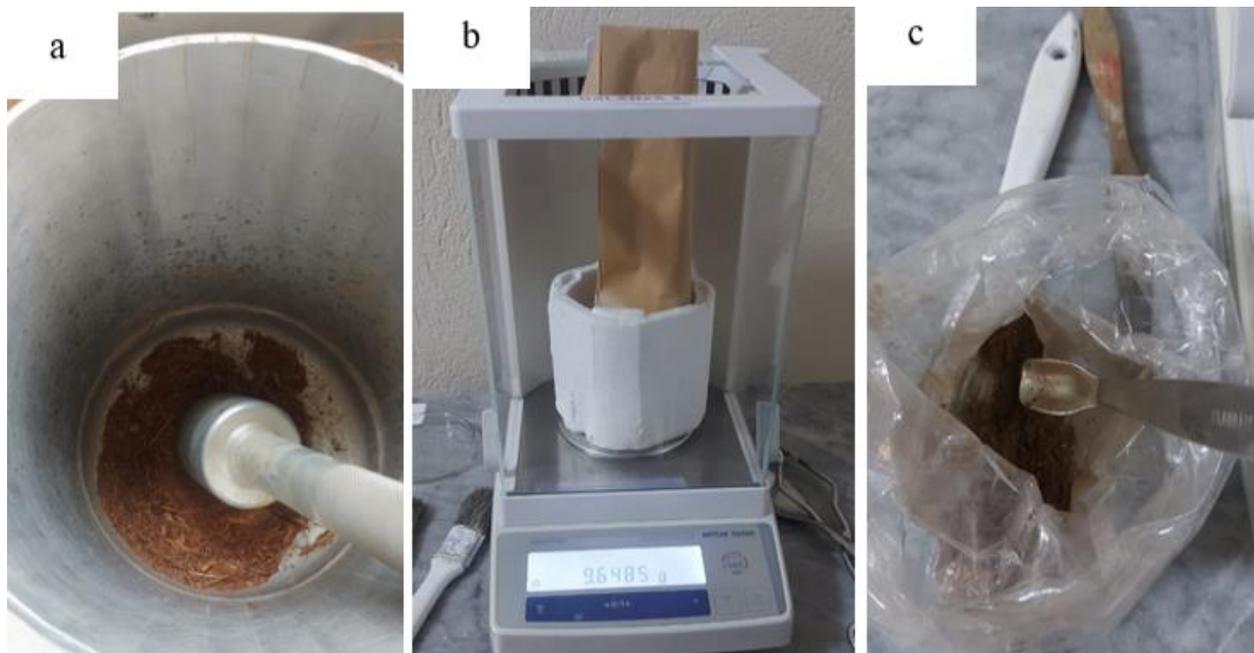
Anexo 12 Aplicación de la solución en modo manual, del sistema automatizado de fertirriego por un intervalo de un minuto y medio a las 6:00 horas



Anexo 13 Cosecha y separación de las hojas y las raíces para el análisis de biomas foliar y radicular



Anexo 14 Medición para determinar de la longitud de plantas en maíz y cebada



Anexo 15 Análisis nutricional a) molida de los forrajes, b) pesaje de las diferentes alícuotas y c) empacado de las alícuotas para su posterior uso



Anexo 16 determinación de la proteína y nitrógeno mediante un proceso de destilación de gases, química y titulación

Cliente: ANDERSON MARCELO CADENA CACUANGO

Dirección: Muyurco, Olmedo

Contacto: Anderson Cadena

Cantidad de muestras: 1

Fecha de ingreso: septiembre 27, 2023

Matriz: agua

Tel/Cel: (+593) 098 486 3083

E-mail: acadenac52@gmail.com

Nº de Informe: 23 628

Fecha Emisión: octubre 5, 2023

Fecha de Análisis: septiembre 29 - octubre 4, 2023

INFORME DE RESULTADOS

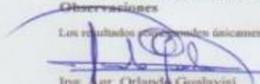
Identificación de Usuario Código de laboratorio Parámetros	Unidad	AGUA DE RIEGO	MÉTODO DE VALORACIÓN
		LSA23 896	
Temperatura	°C	16,70	ELECTRÓNICO HANNA
Potencial Hidrógeno	U pH	7,33	SM 4500-H+ A y 4500-H+ B
Conductividad Eléctrica	uS/cm	80,64	ELECTRÓNICO MYRON
Turbidez	UNT	6,86	SM 2130- B
Color	PCU	25,00	SM 2120- B
Cloro Residual	mg/L (Cl)	< 0,10	SM 2320 -HCO3
Nitrato	mg/L (NO3)	3,17	SM 4500-NO3- C
Sulfato	mg/L (SO4)	4,03	SM 4500-SO4- E
Fosfato	mg/L (PO4)	< 1,00	SM 4500-P- E
Relación Absorción Sodio	meq/L (RAS)	0,33	SM 3111-B (CÁLCULO)
Dureza Total	mg/L (CaCO3)	27,10	SM 3111-B
Calcio	mg/L (Ca)	6,17	SM 3111-B
Magnesio	mg/L (Mg)	2,84	SM 3111-B
Sodio	mg/L (Na)	3,92	SM 3111-B
Cadmio	mg/L (Cd)	< 0,02	SM 3111-B
Hierro	mg/L (Fe)	0,11	SM 3111-B
Cobre	mg/L (Cu)	< 0,02	SM 3111-B
Manganeso	mg/L (Mn)	< 0,02	SM 3111-B
Zinc	mg/L (Zn)	< 0,02	SM 3111-B
Boro	mg/L (B)	0,01	SM 4500-B- B

DATOS ADICIONALES:

U pH: unidades; uS/cm: microsiemens por centímetro; UNT: unidades nefelométricas de turbidez; PCU: unidades de color platino; mg/L: miligramos por litro; ufc/100mL: unidades formadoras de colonias en cien mililitros de muestra; SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Edition, 2012-AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, "APHA"; AOAC: offers the Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL.

Observaciones

Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE.


Ing. Agr. Orlanda Gualavisi
Técnico de Suelos y Agua

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Cayambe, Av. Natalia Jarrín N3-85 y 9 de Octubre. Teléfonos: 593 (2) 3962 946 / 3962 800 Ext: 2504 - 2530
Correo electrónico: ogualavisi@ups.edu.ec / bioagrolab@ups.edu.ec

Anexo 17 determinación de la calidad de agua de riego en la comunidad Santa Rosa de Ayora, barrio norte.