

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**



**TESIS**

**UTILIZACIÓN DE SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA  
PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE  
CEBADA (*Hordeum vulgare L.*), EN EL DISTRITO DE TAMBURCO-  
ABANCAY-APURÍMAC**

**PRESENTADO POR:**

**Br. EDGAR POLUCO RIVAS**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROPECUARIO.**

**ASEORES:**

**M.Sc. ING. LUIS JUSTINO LIZÁRRAGA VALENCIA**

**M.Sc. ING. WILBERT PALOMINO RINCÓN**

**ANDAHUAYLAS – PERÚ**

**2024**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor ..... LUIS JUSTINO LIZARRAGA VALENCIA .....  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: ..... UTILIZACION DE SOLUCION NUTRIJIVA ..  
EN LA PRODUCCION DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE CEBADA ..  
(Hordeum vulgare L.), en el DISTRITO DE TAMBURCO - ABANCAY - APURIMAC.

Presentado por: ..... EDGAR POLACO RIVAS ..... DNI N° 41857115 ;  
presentado por: ..... DNI N°: .....

Para optar el título Profesional/Grado Académico de ..... INGENIERO AGROPECUARIO ..

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por ..... 02 ..... veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6º del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de ..... 9 ..... %.

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, ..... 08 ..... de ..... julio ..... de 2025 .....

Firma

Post firma: Luis Justino Lizarraga Valencia

Nro. de DNI: 23902170

ORCID del Asesor: 0000-0001-5600-7998

WILBERT PALOMINO RINCON  
25001481  
0009-0003-3471-  
7296

### Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: ..... 27259-472561606

# Tesis edgar poluco 03-06-25.docx

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

---

## Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:472561606

96 Páginas

Fecha de entrega

8 jul 2025, 12:19 p.m. GMT-5

17.950 Palabras

Fecha de descarga

8 jul 2025, 5:45 p.m. GMT-5

99.645 Caracteres

Nombre de archivo

Tesis edgar poluco 03-06-25.docx

Tamaño de archivo

3.4 MB

# 9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado

## Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas
- 

## Fuentes principales

8%	 Fuentes de Internet
3%	 Publicaciones
7%	 Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **DEDICATORIA**

*En primer lugar, dedico con amor y gratitud a Dios este logro, agradeciéndole por darme la vida, la salud y la fortaleza para culminar esta importante etapa de mi carrera profesional.*

*Agradezco con inmenso cariño a mis padres, José y Juana, por su constante apoyo a lo largo de este largo camino universitario, convirtiéndose en pilares fundamentales para la culminación de mis estudios.*

*A mis hermanos, Juan Carlos, Juan José y María, les expreso mi más profundo afecto, pues su motivación y aliento me impulsaron a seguir adelante y cumplir mi sueño.*

*Con un aprecio especial y todo mi cariño, dedico este logro a mi esposa y amiga de siempre, Nélida, y a mis adoradas hijas, Carol Adriana y Hamilet Milagros, quienes han sido y siempre serán mi motor y fortaleza para alcanzar cada meta que me proponga en la vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Mi eterno agradecimiento a Dios, quien me ha dado la vida y la salud necesarias para culminar esta importante etapa de mi carrera profesional.*

*Agradezco profundamente a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en especial a la Facultad de Agronomía y Zootecnia y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agropecuaria, donde los maestros, con su dedicación, me proporcionaron los conocimientos y valores que hoy forman parte de mi desarrollo profesional.*

*Expreso mi gratitud al MSc. Luis Justino Lizárraga Valencia y al MSc. Wilbert Palomino Rincón por su invaluable orientación en la realización de investigaciones productivas, cuya finalidad es mejorar los ingresos económicos y la calidad de vida de quienes se dedican a la ganadería.*

*Finalmente, a todos mis amigos y a las personas que me brindaron su apoyo incondicional, les doy las gracias, pues sin ustedes este anhelo no habría sido posible.*

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE ANEXOS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Identificación del problema objeto de investigación .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	2
1.2.1. Problema general .....	2
1.2.2. Problemas específicos .....	2
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN.....	4
2.1. Objetivos.....	4
2.1.1. Objetivo general .....	4
2.1.2. Objetivos específicos.....	4
2.2. Justificación .....	5
III. HIPÓTESIS .....	7
3.1. Hipótesis general .....	7

3.2.	Hipótesis específicas.....	7
IV.	MARCO TEÓRICO .....	8
4.1.	Antecedentes de la investigación .....	8
4.1.1.	Antecedentes internacionales .....	8
4.1.2.	Antecedentes nacionales .....	10
4.1.3.	Antecedentes locales .....	11
4.2.	Conceptos de forraje hidropónico.....	12
4.2.1.	Características morfológicas de la cebada .....	12
4.2.2.	Clasificación Taxonómica .....	15
4.2.3.	Requerimiento nutricional de la cebada .....	15
4.2.4.	Generalidades de forraje verde hidropónico .....	17
4.2.5.	La hidroponía .....	17
4.2.6.	Forraje verde hidropónico .....	18
4.3.	Ventajas de la producción de forraje verde hidropónico .....	19
4.3.1.	Ahorro de agua en la producción de forraje verde hidropónico...	19
4.3.2.	Eficiencia en el tiempo de producción de forraje verde hidropónico	
	20	
4.3.3.	Calidad de forraje verde hidropónico .....	21
4.3.4.	Inocuidad en forraje verde hidropónico .....	22
4.3.5.	Forraje verde hidropónico en la alimentación animal .....	22
4.4.	Factores ambientales que influyen en la producción de forraje verde hidropónico .....	23
4.4.1.	Luz.....	23

4.4.2.	Temperatura .....	24
4.4.3.	Humedad ambiental.....	25
4.4.4.	Calidad de agua.....	25
4.4.5.	Oxigenación .....	26
4.5.	Control y manejo de la solución nutritiva.....	27
4.5.1.	Potencial de hidrogeniones (pH).....	27
4.5.2.	Conductividad eléctrica (CE).....	27
4.6.	Proceso de producción de forraje verde hidropónico .....	28
4.6.1.	Selección de semilla para producir forraje verde hidropónico ....	28
4.6.2.	Lavado y desinfección de la semilla .....	29
4.6.3.	Remojo y germinación de las semillas .....	29
4.6.4.	Siembra de la semilla en bandejas.....	30
4.6.5.	Germinación .....	31
4.6.6.	Riego del forraje verde hidropónico.....	31
4.6.7.	Cosecha y rendimiento de forraje verde hidropónico .....	32
4.6.8.	Flujograma de producción de forraje verde hidropónico .....	33
4.7.	Solución nutritiva .....	34
4.7.1.	Solución nutritiva la molina .....	34
4.8.	Valor nutricional del forraje verde hidropónico de cebada .....	36
V.	METODOLOGIA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	37
5.1.	Lugar de la investigación .....	37
5.2.	Ubicación .....	38
5.2.1.	Ubicación política .....	38

5.2.2. Ubicación geográfica .....	38
5.2.3. Ubicación hidrográfica .....	38
5.3. Características ecológicas del área de estudio .....	38
5.4. Materiales, equipos y herramientas .....	39
5.4.1. Materiales .....	39
5.4.2. Equipos.....	40
5.5. Variables .....	41
5.5.1. Variable independiente.....	41
5.5.2. Variable dependiente.....	41
5.6. Tipo de investigación.....	41
5.7. Enfoque de la investigación .....	41
5.8. Tratamientos .....	42
5.9. Módulo de producción de forraje hidropónico .....	42
5.10. Procedimiento experimental para la producción de forraje verde hidropónico .....	44
5.10.1. Selección de semillas .....	44
5.10.2. Lavado y desinfección de semillas .....	45
5.10.3. Remojo de semillas .....	45
5.10.4. Oreo.....	46
5.10.5. Siembra y Germinación.....	46
5.10.6. Riego después de la germinación .....	47
5.10.7. Crecimiento .....	47
5.10.8. Cosecha .....	48

5.11.	Variables evaluadas .....	48
5.11.1.	Altura de la planta .....	48
5.11.1.	Longitud de la raíz.....	49
5.11.1.	Longitud de la hoja.....	50
5.11.1.	Rendimiento .....	50
5.11.2.	Valor nutricional .....	50
5.12.	Diseño experimental y análisis de datos.....	50
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	52
6.1.	Parámetros morfológicos .....	52
6.1.1.	Altura de forraje .....	52
6.1.2.	Longitud de la raíz del forraje verde hidropónico .....	54
6.1.3.	Longitud de hoja.....	56
6.2.	Rendimiento.....	58
6.3.	Valor nutricional .....	61
VII.	CONCLUSIONES.....	63
VIII.	RECOMENDACIONES.....	64
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
X.	ANEXOS.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos nutricionales de la cebada .....	16
Tabla 2.....	36
Composición nutricional del forraje verde hidropónico de la cebada .....	36
Tabla 3. Altura promedio del forraje verde hidropónico con solución nutritiva y sin solución nutritiva (cm) .....	52
Tabla 4. Longitud de raíz del forraje verde hidropónico con solución nutritiva y sin solución nutritiva (cm) .....	54
Tabla 5. Longitud de hoja del forraje verde hidropónico con solución nutritiva y sin solución nutritiva (cm) .....	57
Tabla 6. Valores del rendimiento promedio expresado en (kg/mv/m <sup>2</sup> ) del forraje verde hidropónico.....	59
Tabla 7. Características físico químicas de los tratamientos evaluados .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. ....	33
Diagrama de flujo del proceso de producción del forraje verde hidrópico.....	33
Figura 2. Mapa de ubicación nacional y regional del área de estudio .....	37
Figura 3. Tratamientos .....	42
Figura 4. ....	43
Vista en planta del módulo de producción de forraje verde hidropónico .....	43
Figura 5. Sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) .....	44
Figura 6. Efecto de la solución nutritiva en la altura promedio de las plantas .....	53
Figura 7. Efecto de la solución nutritiva en la longitud de raíz .....	55
Figura 8. Efecto de la solución nutritiva en longitud de hoja .....	57
Figura 9. Rendimiento promedio del forraje verde hidropónico .....	59

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.....</b>	71
<i>Análisis de la varianza para la variable evaluada: altura de la planta. ....</i>	71
<b>Anexo 2.....</b>	71
<i>Comparación de medias para la variable evaluada: altura de la planta. ....</i>	71
<b>Anexo 3.....</b>	71
<i>Análisis de la varianza para la variable evaluada: Longitud de raíz. ....</i>	71
<b>Anexo 4.....</b>	71
<i>Comparación de medias para la variable evaluada: Longitud de raíz .....</i>	72
<b>Anexo 5.....</b>	72
<i>Análisis de la varianza para la variable evaluada: Longitud de la hoja. ....</i>	72
<b>Anexo 6.....</b>	72
<i>Comparación de medias para la variable evaluada: Longitud de hoja. ....</i>	72
<b>Anexo 7.....</b>	73
<i>Análisis de la varianza para la variable evaluada: Rendimiento .....</i>	73
<b>Anexo 8.....</b>	73
<i>Comparación de medias para la variable evaluada: Rendimiento. ....</i>	73
<b>Anexo 9.....</b>	74
<i>Fórmula de la solución nutritiva La Molina A y B .....</i>	74
<b>Anexo 10.....</b>	75
<i>Resultado del Análisis bromatológico .....</i>	75
<b>Anexo 11.....</b>	76
<i>Fotografías.....</i>	76

## **RESUMEN**

El forraje verde hidropónico (FVH) de cebada (*Hordeum vulgare L.*) constituye una alternativa eficiente y sostenible para la alimentación animal en zonas con limitaciones climáticas y baja fertilidad del suelo. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el rendimiento productivo y el valor nutricional del FVH de cebada, variedad criolla, mediante la aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B, en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay, región Apurímac. Se empleó un diseño experimental con dos tratamientos (con y sin soluciones nutritivas), evaluándose parámetros morfológicos como altura de planta, longitud de raíz y hoja, así como el rendimiento en kg/m<sup>2</sup> y la composición nutricional (humedad, materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, fibra, lignina y cenizas). El cultivo se desarrolló en módulos hidropónicos, aplicándose análisis estadístico mediante ANOVA y prueba de Tukey con nivel de significancia p<0.05. Los resultados demostraron que el uso de soluciones nutritivas incrementó significativamente el crecimiento y el rendimiento del forraje, alcanzando una altura promedio de 25.72 cm y una producción de 31.32 kg/m<sup>2</sup>, frente a 22.32 cm y 27.70 kg/m<sup>2</sup> del tratamiento sin solución. Asimismo, el contenido de proteína cruda, fibra detergente neutra y cenizas fue superior en el tratamiento fertilizado, evidenciando una mejora en la calidad y digestibilidad del forraje. Se concluye que la aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B optimiza la cantidad y la calidad del FVH de cebada, constituyéndose en una estrategia viable para fortalecer la sostenibilidad de los sistemas pecuarios en zonas con recursos limitados.

**Palabras clave:** Forraje verde hidropónico (FVH), Cebada (*Hordeum vulgare L.*),

Soluciones nutritivas La Molina, Rendimiento productivo, Calidad nutricional.

## **ABSTRACT**

Hydroponic green fodder (HGF) of barley (*Hordeum vulgare L.*) constitutes an efficient and sustainable alternative for animal feeding in areas with climatic limitations and low soil fertility. The objective of this research was to evaluate the productive yield and nutritional value of hydroponic green barley fodder, local variety, through the application of La Molina A and B nutrient solutions in the district of Tamburco, province of Abancay, Apurímac region. An experimental design with two treatments (with and without nutrient solutions) was used, evaluating morphological parameters such as plant height, root and leaf length, as well as yield in kg/m<sup>2</sup> and nutritional composition (moisture, dry matter, crude protein, ether extract, fiber, lignin, and ash). The crop was grown in hydroponic modules, and statistical analysis was performed using ANOVA and Tukey's test at a significance level of  $p < 0.05$ . The results showed that the use of nutrient solutions significantly increased forage growth and yield, reaching an average height of 25.72 cm and a production of 31.32 kg/m<sup>2</sup>, compared with 22.32 cm and 27.70 kg/m<sup>2</sup> in the treatment without solution. Likewise, the contents of crude protein, neutral detergent fiber, and ash were higher in the fertilized treatment, evidencing an improvement in forage quality and digestibility. It is concluded that the application of La Molina A and B nutrient solutions optimizes both the quantity and quality of hydroponic green barley fodder, constituting a viable strategy to strengthen the sustainability of livestock systems in resource-limited areas.

**Keywords:** Hydroponic green fodder (HGF), Barley (*Hordeum vulgare L.*), La Molina nutrient solutions, Productive yield, Nutritional quality.

## INTRODUCCIÓN

El forraje verde hidropónico (FVH) se ha consolidado como una alternativa sostenible para la producción de alimento de alta calidad, especialmente en regiones donde las condiciones climáticas y edáficas dificultan el cultivo tradicional. En Perú, la producción de FVH, particularmente de cebada (*Hordeum vulgare L.*), ha ganado relevancia debido a la alta demanda de insumos agrícolas para la producción pecuaria, una actividad fundamental en economías rurales. Según el Ministerio de Agricultura y Riego (2020), aproximadamente el 67% de la población rural depende de actividades agropecuarias, y en regiones como Apurímac, la agricultura de pequeña escala contribuye al sustento de más del 75% de las familias campesinas.

La implementación de tecnologías hidropónicas permite optimizar el uso de recursos hídricos y aumentar la productividad del forraje. Estudios realizados en Perú han demostrado que el FVH de cebada puede alcanzar hasta un rendimiento de 250 t/ha por ciclo de 13 días, dependiendo del suministro de nutrientes y condiciones de cultivo (Gómez, 2007). Esto se traduce en un aporte significativo para la alimentación pecuaria, mejorando su rendimiento productivo y reduciendo los costos de alimentación.

En el distrito de Tamburco, situado en la región de Apurímac, la producción de FVH ofrece soluciones frente a los desafíos agrícolas locales, como la escasez de agua y la baja fertilidad de los suelos. Investigaciones realizadas en entornos similares han indicado que el uso de soluciones nutritivas adecuadas no solo incrementa el rendimiento del FVH, sino que también mejora la calidad nutricional del forraje, proporcionando niveles óptimos de proteína cruda y fibra digestible (Soto et al., 2015).

El presente estudio busca evaluar el rendimiento productivo y el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*), variedad criolla, mediante la aplicación de los tratamientos con las soluciones nutritivas La Molina A y B en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay, región de Apurímac. Cultivado en las condiciones específicas del distrito de Tamburco. La metodología hidropónica permite una producción eficiente en términos de espacio y recursos, contribuyendo a una producción pecuaria más sostenible y rentable para los agricultores locales.

## **I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Identificación del problema objeto de investigación**

En el contexto agropecuario actual, la producción de alimentos balanceados para la producción pecuaria enfrenta desafíos críticos derivados del cambio climático, la degradación de suelos y la escasez de agua, particularmente en zonas altoandinas como Tamburco, Abancay. Estas limitaciones impactan directamente en la disponibilidad y calidad de los forrajes tradicionales, afectando la sostenibilidad de las actividades pecuarias locales. Frente a esta problemática, el uso de sistemas hidropónicos para la producción de forraje verde de cebada (*Hordeum vulgare L.*) representa una alternativa innovadora y eficiente que permite mitigar estos retos, optimizando recursos y mejorando el valor nutricional del alimento producido (Coaquirá, 2018).

Una de las principales barreras para la adopción de esta tecnología en la región es la limitada investigación sobre el rendimiento productivo y el contenido nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) cultivado bajo condiciones locales específicas. En particular, el efecto de soluciones nutritivas desarrolladas en La Molina sobre la productividad del FVH en climas y suelos propios de Tamburco no ha sido suficientemente evaluado. Esto genera incertidumbre respecto a la viabilidad técnica y nutricional de su implementación en la región (Saavedra, 2018).

La carencia de estrategias locales adaptadas para optimizar la producción de FVH de cebada limita el desarrollo del sector agropecuario en Tamburco, incrementando la dependencia de insumos externos costosos y poco sostenibles. Esto afecta negativamente tanto la rentabilidad de los pequeños productores como la seguridad alimentaria de la población, dado que el alimento generado no cumple con los estándares nutricionales requeridos para el óptimo desarrollo de las actividades pecuarias (Gutiérrez & Camacho, 2019).

Además, aunque la cebada es una especie ampliamente cultivada en sistemas hidropónicos debido a su rápida tasa de crecimiento y alto contenido proteico, la adaptación de los métodos de cultivo a las características agroecológicas locales sigue siendo un desafío técnico. Esto subraya la necesidad de evaluar rigurosamente parámetros productivos, como la biomasa generada, y parámetros nutricionales, como el contenido de proteínas y minerales, bajo el uso de soluciones nutritivas específicas (Loa, 2019).

La ausencia de investigaciones aplicadas al contexto específico de Tamburco evidencia una oportunidad significativa para generar conocimiento que no solo contribuya al desarrollo científico, sino que también proporcione soluciones prácticas para los pequeños productores de la región. Este estudio busca abordar esta brecha mediante la evaluación sistemática del rendimiento productivo y nutricional del FVH de cebada, promoviendo su potencial como una herramienta clave para la sostenibilidad agropecuaria en el distrito.

## **1.2. Planteamiento del problema**

### ***1.2.1. Problema general***

¿Cómo será el rendimiento productivo y el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*), variedad criolla, mediante la aplicación de los tratamientos con las soluciones nutritivas La Molina A y B en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay, región de Apurímac?

### ***1.2.2. Problemas específicos***

- ✓ ¿Cuáles serán los valores de los parámetros morfométricos de las hojas, raíces y tallos de la cebada hidropónica (*Hordeum vulgare L.*) a los quince días de producción, cultivada con y sin la aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B?

- ✓ ¿Cuál será el rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*), expresado en kg/m<sup>2</sup>, cultivada con y sin la aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B?
- ✓ ¿Cuáles serán los valores nutricionales del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*), considerando las diferencias entre los tratamientos con y sin la aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B?

## II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

### 2.1. Objetivos

#### 2.1.1. *Objetivo general*

Evaluar el rendimiento productivo y el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*), variedad criolla, mediante la aplicación de los tratamientos con las soluciones nutritivas La Molina A y B en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay, región de Apurímac.

#### 2.1.2. *Objetivos específicos*

- ✓ Cuantificar los parámetros morfométricos de las hojas, raíces y tallos de la cebada hidropónica (*Hordeum vulgare L.*) a los quince días de producción, cultivada con y sin la aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B.
- ✓ Evaluar el rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*), expresado en kg/m<sup>2</sup>, cultivada con y sin la aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B.
- ✓ Determinar el valor nutricional del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*), considerando las diferencias entre los tratamientos con y sin la aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B.

## **2.2. Justificación**

La producción de forraje verde hidropónico (FVH) de cebada (*Hordeum vulgare L.*) ha cobrado relevancia como una alternativa sostenible y eficiente frente a las limitaciones agroecológicas y climáticas que afectan la producción tradicional de forrajes. Este sistema hidropónico no solo optimiza el uso de agua y espacio, sino que también garantiza un aporte nutricional superior, esencial para la alimentación animal, especialmente en zonas con baja disponibilidad de recursos naturales como Tamburco, Abancay (Coaquira, 2018).

La implementación de técnicas hidropónicas, junto con el uso de soluciones nutritivas desarrolladas en La Molina, permite evaluar el potencial productivo y nutricional del FVH de cebada bajo condiciones locales específicas. Estas prácticas no solo potencian el rendimiento de biomasa, sino que también incrementan la calidad nutricional del forraje, adaptándose a las necesidades alimenticias de los animales y reduciendo los costos de producción agrícola (Gutiérrez & Camacho, 2019).

Además, el FVH de cebada presenta ventajas significativas en su composición nutricional, ya que contiene altos niveles de proteínas, vitaminas, minerales y enzimas digestivas que mejoran la asimilación de nutrientes en la alimentación animal. Su digestibilidad es superior en comparación con los forrajes convencionales, lo que se traduce en una mayor eficiencia alimentaria y mejor rendimiento productivo en términos de ganancia de peso, producción de leche y salud animal. Asimismo, su contenido de fibra efectiva y antioxidantes contribuye a fortalecer el sistema inmunológico y reducir problemas digestivos en los animales, promoviendo un desarrollo más equilibrado y sostenible en la producción pecuaria (Quintanilla et al., 2024).

En Tamburco, donde las condiciones climáticas limitan el desarrollo de cultivos convencionales, el FVH surge como una solución estratégica para garantizar una producción

constante de alimento de alta calidad para la alimentación animal. Este enfoque contribuye a la sostenibilidad del sector agropecuario, promueve la seguridad alimentaria y mitiga los efectos del cambio climático al optimizar el uso de recursos y minimizar la dependencia de insumos externos (Saavedra, 2018).

Estudios previos han destacado los beneficios del FVH de cebada en la mejora de indicadores productivos y en la calidad de la alimentación animal. Sin embargo, existen vacíos de conocimiento relacionados con el comportamiento de estas soluciones nutritivas bajo las condiciones específicas de Tamburco. Este trabajo se justifica por la necesidad de desarrollar un modelo productivo eficiente, sostenible y adaptable que atienda las particularidades agroecológicas de la región (Loa, 2019).

Por lo tanto, esta investigación no solo contribuirá al desarrollo técnico-científico en el ámbito de la agricultura hidropónica, sino que también responderá a las demandas locales de sostenibilidad y productividad, fortaleciendo las capacidades del sector agropecuario de la región y sentando bases para la replicabilidad de este sistema en contextos similares.

### **III. HIPÓTESIS**

#### **3.1. Hipótesis general**

La aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B incrementa significativamente el rendimiento productivo y mejora el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*), variedad criolla, en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay, región de Apurímac.

#### **3.2. Hipótesis específicas**

- ✓ La aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B aumenta significativamente los parámetros morfométricos de la cebada hidropónica (*Hordeum vulgare L.*) a los quince días de producción en comparación con los tratamientos que no reciben estas soluciones.
- ✓ El rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*), expresado en kg/m<sup>2</sup>, es mayor en los tratamientos con la aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B en comparación con los tratamientos sin dichas soluciones.
- ✓ El valor nutricional del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*) es significativamente superior en los tratamientos con la aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B en comparación con los tratamientos que no reciben estas soluciones.

## IV. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Antecedentes de la investigación

#### 4.1.1. *Antecedentes internacionales*

Villalba (2024) llevó a cabo su investigación en Ecuador, titulada evaluación del forraje verde hidropónico de cebada y concentrado sobre los índices productivos de cuyes. El objetivo general del estudio fue analizar el efecto combinado del forraje verde hidropónico (FVH) y concentrados comerciales sobre la ganancia de peso en cuyes. En un diseño experimental, los cuyes fueron alimentados con dietas mixtas durante 12 semanas. Los resultados revelaron que los cuyes alimentados con FVH de cebada incrementaron su peso en un 18% más que aquellos alimentados exclusivamente con concentrados. La investigación concluyó que el FVH representa una alternativa sostenible y eficiente para optimizar la producción animal en sistemas rurales de bajos ingresos.

Salvador-Castillo et al. (2022) realizaron su investigación en un invernadero de la Universidad Autónoma Chapingo, México, con el objetivo de evaluar el efecto del agua potable y dos soluciones nutritivas sobre el peso fresco y la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico (FVH) de avena (*Avena sativa*) y cebada (*Hordeum vulgare L.*). Utilizaron un diseño factorial 3×2 con medidas repetidas en el tiempo, aplicando tratamientos desde el día 6 hasta el día 30 después de la siembra. Los resultados mostraron que la avena superó a la cebada en proteína bruta (13.7% frente a 11.1%), fibra detergente neutra y ácida, y cenizas. Las soluciones nutritivas incrementaron el porcentaje de proteína bruta respecto al agua potable, pero no afectaron

significativamente las demás variables. Se concluyó que el FVH de avena tiene mejores características nutritivas que el de cebada, y que el uso de soluciones nutritivas mejora específicamente la proteína bruta, siendo recomendable su empleo para optimizar la alimentación animal en sistemas hidropónicos.

Gutiérrez & Camacho (2019) realizaron su estudio en Bolivia, titulado aplicación de abono orgánico líquido en la producción de forraje verde hidropónico en dos variedades de cebada. El objetivo principal fue evaluar el impacto del abono orgánico líquido en el rendimiento y la calidad nutricional de dos variedades de cebada (Negra de Altura y Centenario). En un diseño experimental utilizando invernaderos, se aplicaron diferentes concentraciones de abono (5%, 10% y 15%) en bandejas hidropónicas. Los resultados mostraron que la concentración del 15% aplicada a la variedad Negra de Altura produjo el mayor rendimiento ( $19.2 \text{ kg/m}^2$ ) y un contenido proteico del 18.5%. Este estudio concluyó que el uso de abonos orgánicos líquidos constituye una estrategia sostenible y eficiente para mejorar la producción y calidad del FVH en regiones montañosas.

Birgi et al. (2018a) desarrollaron su investigación en la región de la Patagonia, Argentina, bajo el título el forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada. El propósito fue analizar el impacto de las variedades Scarlett y Sebastian en términos de rendimiento y calidad en sistemas hidropónicos. Empleando invernaderos y un diseño experimental, se encontró que la variedad Scarlett alcanzó un rendimiento promedio de  $18.2 \text{ kg/m}^2$  y un contenido proteico del 17.5%. La investigación concluyó que el FVH constituye una solución viable para fortalecer la seguridad alimentaria en climas extremos y zonas con condiciones agroecológicas desfavorables.

#### **4.1.2. Antecedentes nacionales**

Trujillo (2022) llevó a cabo su investigación en Cusco, Perú, titulada biol como abono foliar en la producción de forraje verde hidropónico de cebada. El objetivo fue analizar el impacto de diferentes concentraciones de biol en el rendimiento y la calidad del forraje verde hidropónico (FVH). Se aplicaron concentraciones de 10%, 20% y 30% en bandejas hidropónicas, utilizando un diseño completamente al azar. Los resultados mostraron que la concentración del 20% produjo el mayor rendimiento ( $18.4 \text{ kg/m}^2$ ) y un contenido proteico superior al 21%. La investigación concluyó que el biol es un fertilizante orgánico eficiente y sostenible, ideal para la producción hidropónica en comunidades rurales altoandinas.

Ordoñez et al. (2018) realizaron su investigación en el centro poblado Nuevo Mocce, Lambayeque, Perú, con el objetivo de evaluar el efecto de distintas dosis de soluciones nutritivas A y B en el rendimiento y valor nutricional del germinado hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*). El estudio incluyó seis tratamientos, desde un control sin soluciones nutritivas (T0) hasta distintas combinaciones de soluciones (T1-T5), con seis repeticiones por tratamiento. Se utilizó un diseño completamente al azar, aplicando las soluciones durante el riego entre los días 4 y 8 de germinación. Los resultados mostraron que el tratamiento T3 (0,75 ml de solución A y 0,25 ml de solución B) presentó un rendimiento de materia fresca superior en un 17,4% frente al control y produjo 7,50 kg de forraje por kilogramo de semilla procesada. En términos de materia seca, T3 fue significativamente más alto que T2, T4 y T5. Se concluyó que T3 es la dosis más adecuada para maximizar el rendimiento y la calidad nutricional del germinado hidropónico, destacando el beneficio del uso de soluciones hidropónicas para mejorar la producción agrícola en la región.

Candia (2014) realizó su investigación en Lima, Perú, bajo el título de evaluación de la calidad nutricional de forraje verde de cebada hidropónica fertilizado con guano de cuy. El objetivo

fue determinar el efecto del guano de cuy en el rendimiento y la calidad nutricional del FVH. Se utilizaron concentraciones de 5% y 10% de guano en bandejas hidropónicas, evaluadas a los 10 días. Los resultados indicaron que la concentración del 10% alcanzó un rendimiento de 12.3 kg/m<sup>2</sup> y un incremento del 15% en el valor de fibra y proteínas en comparación con el grupo control. La investigación concluyó que el guano de cuy es un fertilizante natural viable para mejorar la calidad nutricional del FVH, tanto en zonas urbanas como rurales.

#### ***4.1.3. Antecedentes locales***

Loa (2019) llevó a cabo su investigación en Abancay, desarrollando el estudio titulado: forraje verde hidropónico de cebada y maíz en la dieta de cuyes machos en recría. El objetivo principal de esta investigación fue analizar los efectos del uso combinado de forraje verde hidropónico (FVH) de cebada y maíz sobre el rendimiento productivo de los cuyes. La metodología empleada se basó en un diseño experimental completamente al azar, en el cual se cultivaron cebada y maíz bajo sistemas hidropónicos utilizando bandejas de 1 m<sup>2</sup> y soluciones nutritivas estándar. Durante un periodo de 10 semanas, se evaluaron indicadores como el rendimiento de biomasa (kg/m<sup>2</sup>) y el valor proteico del forraje. Los resultados mostraron que la cebada hidropónica alcanzó un rendimiento de 18 kg/m<sup>2</sup> y un valor proteico del 17%, lo que permitió que los cuyes alimentados con este forraje incrementaran su peso en un 20% más en comparación con aquellos que consumieron maíz. La investigación concluyó que el FVH de cebada tiene un alto potencial para optimizar la producción animal en sistemas rurales, siendo más eficiente que el maíz tanto en términos de rendimiento como de valor nutricional.

Saavedra (2018) realizó su investigación en el distrito de Tamburco, Abancay, Apurímac, titulada: Forraje verde hidropónico de tres variedades de cebada en la dieta de cuyes en recría. El

objetivo principal fue evaluar el rendimiento productivo y el impacto de tres variedades de cebada en el crecimiento de cuyes en etapa de recría. Las variedades estudiadas fueron Centenario, Negra de Altura y Baronesa, cultivadas en bandejas hidropónicas mediante un sistema automatizado de riego por aspersión. Los cuyes fueron alimentados con estos forrajes durante un periodo de ocho semanas, evaluándose indicadores como la biomasa producida y la ganancia de peso de los animales. Los resultados indicaron que la variedad Centenario mostró el mayor rendimiento, alcanzando una producción de biomasa de 15.6 kg/m<sup>2</sup>. Asimismo, los cuyes alimentados con esta variedad presentaron un incremento del 18% en la ganancia de peso en comparación con las otras variedades. La investigación concluyó que el uso de FVH en sistemas de crianza representa una alternativa rentable y sostenible para mejorar la productividad animal en zonas altoandinas como Tamburco.

## **4.2. Conceptos de forraje hidropónico**

### ***4.2.1. Características morfológicas de la cebada***

#### **4.2.1.1. Raíz.**

Las raíces de la cebada presentan un sistema radicular fasciculado, de consistencia fibrosa y alcanzan escasa profundidad en comparación con el maíz y otros cereales. (Pinedo, Rojas, & Bautista, 2020). Además, posee dos tipos de raíces: seminales y adventicias. Las raíces seminales de las plántulas se desarrollan desde la germinación a la etapa de macollaje. Las raíces adventicias o de la corona, aparecen con el macollamiento y cumplen con la función de anclar la planta y proporcionar agua y nutrientes (Ponce, y otros, 2020).

#### **4.2.1.2. Tallo.**

Presenta una estructura erecta, cilíndrica conformado por seis u ocho entrenudos de consistencia suave. La planta tiene un tallo principal y macollos o hijuelos. La altura de los tallos depende de las variedades y oscilan desde 0.50 m. hasta un metro. (Pinedo, Rojas, & Bautista, 2020), además son erectos y huecos, con 5 a 7 entrenudos cilíndricos o juntas, separados por los nudos, que llevan las hojas, las cuales se colocan opuestas a sus vecinas a lo largo del tallo. La altura de los tallos depende de las variedades y oscila desde 0,50 cm a 1,20 cm (Ponce, y otros, 2020).

#### **4.2.1.3. Hojas.**

Las hojas están formadas por la vaina basal y la lámina, unidas por la lígula truncada y corta, además presentan prolongaciones membranosas largas y envolventes llamadas aurículas. En el punto de unión entre el limbo y la vaina se encuentran la lígula y la aurícula. La lígula es una fina membrana blanquecina de borde irregular que se halla en contacto con el tallo; mientras que la aurícula presenta dos prominencias envolventes en forma de hoz, cruzándose en la parte opuesta. Por cada tallo se pueden encontrar de cinco a 10 hojas que pueden ser diferentes en forma y tamaño (Pinedo, Rojas, & Bautista, 2020), además las hojas son lineales, lanceoladas y compuestas de una vaina, una lámina, una lígula y dos aurículas. Son glabras (no pubescentes) y rara vez pubescentes; su ancho varía entre 5 y 15 mm. Las vainas envuelven el tallo completamente. La lígula y especialmente las aurículas, distinguen a la cebada de otros granos de cereales: son glabras, envuelven el tallo y puede estar pigmentadas con antocianinas (Ponce, y otros, 2020).

#### **4.2.1.4. Inflorescencia.**

La espiga presenta un raquis compuesto por entrenudos, cada uno se caracteriza por tener espiguillas unifloras provistas de raquilla. La espiguilla central carece normalmente, de pedicelo, o es muy corto. Cada espiguilla consta de dos glumillas, llamadas lemma y palea, que envuelven los órganos sexuales (tres anteras, un pistilo con óvulo único y un estigma pubescente). La lemma puede terminar en una arista más o menos larga. Si todas las espiguillas del nudo son fértiles genera una espiga de seis hileras, si sólo son fértiles las espiguillas centrales, en cada nudo, se dará origen a una espiga de dos hileras (Pinedo, Rojas, & Bautista, 2020), además las espigas pueden ser barbadas, sin barbas (múticas) y también pueden ser lisas o dentadas. La espiga está formada por espiguillas, las cuales están dispuestas de a tres en forma alterna a ambos lados del raquis. Si todas las espiguillas se presentan fértiles se originará una espiga de seis hileras (hexástica), si, sólo resultan fértiles las espiguillas centrales, se originará una espiga de dos hileras (dística) (Ponce, y otros, 2020).

#### **4.2.1.5. Fruto y semilla**

El grano de cebada es un fruto seco indehiscente denominado cariópside. Una vez seco el grano, las paredes exteriores remanentes del ovario se unen íntimamente o se pegan con las glumillas, dando lugar a un grano de cebada “normal”, “cubierto” o “vestido”. Cuando las glumillas no se pegan a la pared del ovario, en grano maduro, podrán desprenderse fácilmente durante la trilla por lo que se llama “grano desnudo”. Estructuralmente se pueden distinguir en el grano tres partes: las cubiertas (lemma y palea), el endospermo o tejido de reserva y el embrión ubicado en la parte dorsal del grano (Pinedo, Rojas, & Bautista, 2020). Así mismo menciona el grano es una cariópside oval, acanalado con extremos redondeados, está generalmente cubierto por la palea y la

lemma adheridas a este, o puede ser desnudo; puede ser de color blanco, amarillo, azul, negro, etc (Ponce, y otros, 2020).

#### **4.2.2. Clasificación Taxonómica**

Según Rasmusson (1985) mencionado por Garofalo (2012) la clasificación taxonómica de la cebada es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Pooideae

Tribu: Triticeae

Género: Hordeum

Nombre Científico: *Hordeum vulgare* L.

Nombre Común: Cebada.

#### **4.2.3. Requerimiento nutricional de la cebada**

El forraje verde hidropónico (FVH) es una técnica que permite producir biomasa vegetal de alta calidad en periodos cortos, generalmente entre 9 y 15 días, independientemente de las condiciones climáticas y sin necesidad de suelo agrícola (FAO, 2001). Este método se basa en la germinación y crecimiento temprano de semillas, comúnmente de cereales como cebada, avena,

trigo o maíz, en soluciones nutritivas que aportan los elementos esenciales para el desarrollo óptimo de las plantas (Panduro, 2008).

La calidad y el rendimiento del FVH dependen en gran medida de la composición de la solución nutritiva utilizada. Los nutrientes esenciales se dividen en macronutrientes y micronutrientes. Entre los macronutrientes, el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son fundamentales para el crecimiento vegetal. El nitrógeno es crucial para la síntesis de proteínas y el desarrollo foliar, el fósforo interviene en la transferencia de energía y el potasio regula procesos osmóticos y enzimáticos (Ramírez, 2016)

Además de los macronutrientes, los micronutrientes como hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B) y molibdeno (Mo) son esenciales en pequeñas cantidades para funciones enzimáticas y estructurales en las plantas. Una deficiencia o exceso de estos elementos puede afectar la calidad del forraje producido (Maldonado et al., 2013).

**Tabla 1.**

*Requerimientos nutricionales de la cebada*

Nutrientes	Unidad	Concentración
Nitrógeno (N)	mg/L	210
Fósforo (P)	mg/L	31
Potasio (K)	mg/L	234
Calcio (Ca)	mg/L	160
Magnesio (Mg)	mg/L	48
Azufre (S)	mg/L	64
Boro (B)	mg/L	0.5
Cobre (Cu)	mg/L	0.02
Hierro (Fe)	mg/L	1
Manganeso (Mn)	mg/L	0.5
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.01
Zinc (Zn)	mg/L	0.05

Fuente: Hoagland & Arnon (1950)

#### **4.2.4. Generalidades de forraje verde hidropónico**

El forraje verde hidropónico (FVH) es una técnica innovadora y sostenible para producir alimento fresco de alta calidad nutricional, empleada principalmente en la alimentación animal. Este método se basa en el cultivo de semillas en condiciones controladas de humedad y temperatura, sin necesidad de suelo, logrando la germinación y el desarrollo de plántulas en un corto período, generalmente entre 8 y 15 días. Según Murrieta et al. (2019), el FVH presenta múltiples beneficios, incluyendo una alta digestibilidad, mayor valor proteico y la capacidad de adaptarse a climas extremos, lo que lo convierte en una alternativa viable frente a la escasez de recursos agrícolas tradicionales. Investigaciones como la de Vargas (2015) destacan su eficiencia en el uso del agua y su versatilidad en la producción de diferentes tipos de cereales como cebada, sorgo y maíz. Además, se ha comprobado su capacidad para mejorar la calidad de la dieta en animales de engorde, como conejos y aves (Villafañe, 2014). Sin embargo, este sistema también enfrenta desafíos, como los costos iniciales de implementación y la necesidad de conocimientos técnicos específicos. Por lo tanto, el FVH se posiciona como una solución prometedora para la sostenibilidad en la producción agropecuaria.

#### **4.2.5. La hidroponía**

La hidroponía, también conocida como agricultura hidropónica, es un método de cultivo que utiliza soluciones minerales en lugar de suelo agrícola. Este término proviene del griego hydro, que significa agua, y ponos, que se traduce como trabajo. En este sistema, las raíces de las plantas reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua, la cual contiene todos los elementos químicos esenciales para su desarrollo. Las plantas pueden crecer directamente en una solución mineral o en medios inertes como arena lavada, grava o perlita (Howard, 2001). La hidroponía

forma parte de los sistemas de producción denominados cultivos sin suelo, en los que el medio de crecimiento o soporte está compuesto por sustancias de diverso origen —orgánico o inorgánico, inertes o no—, que contribuyen de manera variable a la nutrición mineral de las plantas. Estos medios pueden incluir materiales completamente inertes, como perlita, vermiculita o lana de roca, donde la nutrición proviene exclusivamente de fuentes externas, o medios orgánicos, que incorporan turbas o materiales como corteza de árbol triturada y cáscara de arroz, los cuales interfieren en la nutrición mineral de las plantas (Gilsanz, 2007). Los cultivos hidropónicos tienen sus orígenes en experimentos realizados por fisiólogos alemanes a finales del siglo XVII, cuyo objetivo era identificar las sustancias disueltas necesarias para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas (Sánchez, 2012).

#### ***4.2.6. Forraje verde hidropónico***

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología innovadora para la producción de biomasa vegetal, obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en sus etapas de germinación y desarrollo temprano de plántulas, a partir de semillas viables. Se caracteriza por ser un forraje vivo de alta digestibilidad y excelente calidad nutricional, ideal para la alimentación animal. En términos prácticos, el FVH implica la germinación de granos, como avena, cebada, maíz, trigo y sorgo, y su posterior desarrollo en condiciones ambientales controladas de luz, temperatura y humedad, sin la necesidad de suelo. Este proceso, que dura entre 8 y 15 días, utiliza la energía solar y los minerales de una solución nutritiva para el crecimiento óptimo de las plantas (FAO, 2001). El FVH se cultiva en contenedores rígidos, conocidos como charolas, con riegos iniciales de agua que continúan con soluciones nutritivas una vez que los brotes alcanzan una altura de 3 a 4 cm, garantizando un crecimiento adecuado. Esta técnica permite obtener un alimento

inocuo y de alta calidad en cualquier época del año, siempre que se cumplan las condiciones mínimas necesarias (Juárez, 2013). Además, en regiones de secano con escasez de agua, el FVH representa una alternativa viable y sostenible para pequeños agricultores ganaderos (Jiménez, 2015).

#### **4.3. Ventajas de la producción de forraje verde hidropónico**

El sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) destaca por su eficiencia en el uso del agua, presentando pérdidas mínimas por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración en comparación con los sistemas de producción convencionales. Mientras que, en cultivos forrajeros tradicionales, como avena, cebada, trigo, maíz y sorgo, el consumo de agua varía entre 271 y 635 litros por kilogramo de materia seca producida, el FVH requiere únicamente de 2 a 3 litros de agua por kilogramo de forraje fresco. Esto equivale a un consumo aproximado de 15 a 20 litros por kilogramo de materia seca con un valor entre 12% y 18% de esta última, dependiendo de la especie forrajera (Álvaro, 2021). Además, si se considera un promedio del 25% de materia seca en el FVH, el consumo de agua para producir un kilogramo de materia seca asciende a tan solo 8 litros, lo que representa un ahorro significativo respecto a los métodos tradicionales (Juárez, 2013). Este bajo requerimiento hídrico convierte al FVH en una opción sostenible y viable, particularmente en regiones con escasez de agua o en sistemas de producción que buscan optimizar recursos hídricos.

##### **4.3.1. Ahorro de agua en la producción de forraje verde hidropónico**

El sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) destaca por su alta eficiencia en el uso del agua, al minimizar las pérdidas por evapotranspiración, escurrimiento superficial e

infiltación en comparación con los sistemas tradicionales. Mientras que los cultivos convencionales de especies forrajeras requieren entre 270 y 635 litros de agua por kilogramo de materia seca producida, el FVH utiliza solo 2 a 3 litros de agua por kilogramo de forraje fresco, equivalente a 15-20 litros por kilogramo de materia seca con valores de esta última que varían entre 12% y 18% según la especie (FAO, 2001). Esta eficiencia convierte al FVH en una opción ideal para países con ecozonas desérticas y para pequeños productores afectados por sequías prolongadas, superando las limitaciones naturales de las zonas áridas y semiáridas, donde la agricultura convencional enfrenta desafíos como la escasez de lluvia, alta evaporación y suelos de baja calidad (Chavarría, 2018). El FVH permite optimizar espacio, agua y tiempo, como lo evidencian evaluaciones de densidades de siembra (DS) en maíz. En estudios realizados, la DS de 2.5 kg/m<sup>2</sup> ofreció el mayor rendimiento en forraje, mientras que la DS de 2.0 kg/m<sup>2</sup> mostró la mejor conversión de semilla a forraje. Este sistema usa 30-50 veces menos agua y opera en superficies significativamente menores sin agroquímicos. Además, la calidad nutricional del FVH es comparable a la de forrajes convencionales y favorece la ganancia de peso en cabras, alcanzando hasta 144.3 g/día con dietas que incluyen 70% de FVH, lo que lo posiciona como una alternativa sostenible para mejorar la nutrición animal en áreas vulnerables (López, 2005).

#### ***4.3.2. Eficiencia en el tiempo de producción de forraje verde hidropónico***

El forraje verde hidropónico (FVH) se presenta como una solución eficiente y versátil para la producción de alimento animal a lo largo del año, independientemente de las condiciones climáticas, gracias a su capacidad para cultivarse en un período de 10 a 12 días (FAO, 2001). Este sistema no requiere suelo, ya que utiliza un medio acuoso en condiciones controladas de invernadero, donde la temperatura y la humedad son cuidadosamente reguladas. Estas

características permiten obtener un forraje de alta calidad nutricional y excelente palatabilidad, lo que lo convierte en una opción adecuada para la alimentación de diferentes especies animales. Además, la producción de FVH destaca por su notable eficiencia en el uso del agua: producir 1 kilogramo de forraje requiere apenas de 2 a 3 litros, lo que supone un ahorro significativo frente a métodos de cultivo tradicionales. Esta combinación de flexibilidad en su destino, calidad nutricional y sostenibilidad hídrica lo posiciona como una alternativa altamente valorada en la producción pecuaria, especialmente en contextos donde el acceso a recursos como el agua es limitado (INTA, 2018).

#### ***4.3.3. Calidad de forraje verde hidropónico***

El forraje verde hidropónico (FVH), cosechado típicamente a los 12 días con una altura de 20 a 30 cm, es reconocido por su excepcional calidad nutricional. Este forraje es rico en vitaminas A, E y C, además de carotenoides, y posee un elevado contenido de minerales esenciales como hierro, calcio y fósforo. Su alta digestibilidad, atribuida a los bajos niveles de lignina y celulosa, lo convierte en una opción ideal para mejorar la alimentación animal (Aguirre, 2012). Estas propiedades tienen un impacto positivo en la fertilidad, la producción y el estado general del ganado lechero, gracias a la presencia de vitamina E y otros nutrientes esenciales (Chávez, 1999).

Estudios han evidenciado su contenido proteico, como el trabajo de Contreras & Tunque (2011), quienes reportaron un 10.31% de proteína en el FVH de cebada a los 20 días de producción, mientras que Calles (2005) indicó valores de materia seca (MS) que oscilan entre 7.79% y 8.17% para este mismo tipo de forraje. En términos de energía digestible, aunque el grano tiene un contenido ligeramente superior (3,300 kcal/kg), el FVH alcanza 3,200 kcal/kg, manteniéndose como una alternativa altamente eficiente para el soporte nutricional en sistemas pecuarios.

#### ***4.3.4. Inocuidad en forraje verde hidropónico***

El forraje verde hidropónico (FVH) es una opción suculenta y altamente nutritiva, cuya altura varía según el período de crecimiento, alcanzando una condición ideal para el consumo animal. Su elevado valor nutritivo proviene del proceso de germinación de los granos, que optimiza la disponibilidad de nutrientes esenciales. En particular, el FVH de cebada se aproxima a los valores energéticos de concentrados comerciales, como el concentrado 28, destacándose por su alto contenido energético y adecuada digestibilidad, lo que lo convierte en una alternativa eficiente en la alimentación animal (López, 2005).

Además, se han explorado estrategias para mejorar la calidad nutricional del FVH de cebada mediante el uso de guano de cuy como solución fertilizante. Este enfoque no solo potencia el valor nutricional del forraje, sino que también promueve el reciclaje de nutrientes, representando una alternativa ecológica y sostenible. En regiones como los Baños del Inca, Cajamarca, el aprovechamiento de las excretas de cuyes para la producción de soluciones nutritivas ha demostrado ser viable y beneficioso, fortaleciendo el modelo de fertilización ecológica en sistemas hidropónicos (Chávez, 1999). Este enfoque integra sostenibilidad y eficiencia, adaptándose a las necesidades de producción pecuaria en diferentes contextos.

#### ***4.3.5. Forraje verde hidropónico en la alimentación animal***

En la sierra del Perú, las condiciones climáticas como la ausencia de lluvias y la presencia de heladas hacen que el forraje sea estacional, lo que limita significativamente la producción continua de cuyes a lo largo del año. Estas restricciones han impulsado la búsqueda de alternativas viables, entre las cuales destaca el forraje verde hidropónico (FVH). Este sistema permite producir pastos frescos y naturales durante todo el año, sin depender de las estaciones climáticas. Además,

el FVH requiere mínimos recursos: pequeñas áreas de terreno, cantidades reducidas de agua y semillas accesibles en todas las regiones del Perú, como cebada, trigo, arroz, sorgo y maíz (Chávez, 1999).

La hidroponía, como método de cultivo, se caracteriza por su alto rendimiento y eficiencia, empleando menos espacio y agua en comparación con los sistemas tradicionales. En este contexto, la producción de FVH se posiciona como una solución ideal para los ganaderos que enfrentan limitaciones de agua, condiciones climáticas adversas o la falta de tierras arables. Este modelo no solo asegura una alimentación constante y nutritiva para los animales, sino que también promueve la sostenibilidad en regiones donde la agricultura convencional presenta serias restricciones (López, 2005).

#### **4.4. Factores ambientales que influyen en la producción de forraje verde hidropónico**

##### **4.4.1. Luz**

La luz es un elemento esencial para el desarrollo del forraje verde hidropónico (FVH), ya que provee la energía necesaria para que las plantas realicen la fotosíntesis, proceso que sustenta su crecimiento y producción. La falta de luz provoca que los tallos se inclinen hacia la fuente luminosa, debilitándolos y tornando las hojas pálidas y quebradizas, lo que puede detener el crecimiento y causar la muerte de la planta. Sin embargo, la exposición excesiva a la luz solar también es perjudicial, pues puede ocasionar quemaduras en los tejidos vegetales, afectando principalmente las bandejas superiores del sistema de cultivo (Sánchez, 2012).

La calidad de la luz, determinada por la longitud de onda, y la duración del fotoperiodo son factores cruciales en el desarrollo vegetativo del FVH. La falta de luz en los recintos destinados al

cultivo impediría que las células verdes de las hojas realicen la fotosíntesis, comprometiendo la producción de biomasa. Por lo tanto, es fundamental regular la intensidad y duración de la luz para garantizar un crecimiento óptimo y evitar daños en las plantas, optimizando así el rendimiento y la calidad del forraje (López, 2005).

#### ***4.4.2. Temperatura***

La temperatura es una variable fundamental en la producción de forraje verde hidropónico (FVH), ya que afecta directamente los procesos metabólicos y el crecimiento de las plantas. Un control adecuado de esta condición es esencial para garantizar una producción eficiente y de calidad. En el caso específico del FVH de maíz, la temperatura óptima oscila entre los 21 y 28°C, lo que asegura un desarrollo uniforme y saludable de los brotes (Juárez, 2013). Sin embargo, para la producción general de FVH, el rango óptimo se encuentra entre los 18 y 26°C, según López (2005), para mantener estas temperaturas dentro de los límites recomendados permite evitar problemas asociados con estrés térmico, como el retraso en el crecimiento, enfermedades fúngicas en condiciones frías, o deshidratación y daño tisular en temperaturas elevadas. Por ello, el manejo adecuado de la temperatura en los sistemas de FVH, especialmente en invernaderos, es una práctica esencial para optimizar el rendimiento y la calidad del forraje producido.

#### ***4.4.3. Humedad ambiental***

La humedad relativa dentro del invernadero es un factor clave en la producción de forraje verde hidropónico (FVH), ya que influye directamente en el desarrollo de las plantas y en la eficiencia de los procesos de asimilación. Para un crecimiento óptimo, la humedad no debe ser inferior al 70%, ya que niveles bajos dificultan la absorción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y, por ende, la asimilación de nutrientes. Por otro lado, niveles superiores al 90% sin una adecuada ventilación pueden propiciar enfermedades fúngicas difíciles de controlar, lo que incrementa los costos operativos y afecta la calidad del forraje (Juárez, 2013).

La humedad relativa ideal varía según la etapa de desarrollo. Durante la formación inicial del sistema radicular, la humedad debe mantenerse entre el 85% y el 100%, ya que las radículas de las plantas jóvenes no pueden prosperar en ambientes secos. Esto es especialmente crítico en el FVH, dado que se cultiva a raíz desnuda, sin sustrato. Para mantener estas condiciones, es necesario ajustar la frecuencia de los riegos y aprovechar la evapotranspiración natural de las plantas (López, 2005). De esta forma, se aseguran condiciones óptimas de desarrollo y se minimizan los riesgos asociados con el manejo inadecuado de la humedad.

#### ***4.4.4. Calidad de agua***

La calidad del agua de riego es un factor determinante en la producción de forraje verde hidropónico (FVH), ya que influye directamente en el desarrollo saludable de las plantas y en la seguridad del producto final. La condición básica para el agua utilizada en sistemas hidropónicos es su potabilidad, lo que significa que debe estar libre de contaminantes y ser apta para consumo humano. Esta agua puede provenir de diversas fuentes, como pozos, lluvia o agua corriente, pero

en todos los casos es fundamental garantizar su calidad a través de análisis microbiológicos y químicos, especialmente si el agua no es inicialmente potable (Juárez, 2013).

El uso de agua de baja calidad puede derivar en problemas sanitarios y nutricionales que afecten tanto al FVH como a los animales que lo consumen. Cuando el agua disponible no cumple con los estándares requeridos, es necesario realizar tratamientos correctivos, como filtración, decantación, exposición al sol, acidificación o alcalinización, para optimizar sus características. Además, un análisis detallado permite ajustar la formulación de la solución nutritiva en función de la composición química del agua. Ignorar la importancia de este factor puede conducir al fracaso del sistema hidropónico y a la pérdida de tiempo y recursos (López, 2005). Por ello, la calidad del agua debe ser una prioridad en la gestión del FVH.

#### ***4.4.5. Oxigenación***

La oxigenación es un factor esencial en la producción de forraje verde hidropónico (FVH), ya que cumple un papel crucial en el transporte de nutrientes y la acumulación de elementos esenciales dentro del sistema celular de las plantas. A través del proceso de oxidación, el oxígeno actúa como catalizador, promoviendo la energía metabólica necesaria para el desarrollo vegetal mediante la respiración radicular. Las raíces, al ser altamente dependientes de un suministro adecuado de oxígeno, requieren una aeración óptima; de lo contrario, incluso con nutrientes suficientes, el cultivo puede presentar deficiencias graves o, en el peor de los casos, morir (Sánchez, 2012).

Una buena aeración también garantiza un intercambio gaseoso eficiente, fundamental para el mantenimiento del equilibrio entre oxígeno y dióxido de carbono en el sistema. La ubicación y diseño del invernadero son aspectos clave que deben considerarse para asegurar una oxigenación

adecuada. Esto incluye implementar medidas correctivas según las condiciones específicas del sitio, como la instalación de sistemas de ventilación o dispositivos de aireación, que favorezcan el flujo de aire y prevengan problemas asociados con la falta de oxígeno (López, 2005).

## **4.5. Control y manejo de la solución nutritiva**

### ***4.5.1. Potencial de hidrogeniones (pH)***

El pH del agua de riego debe mantenerse entre 5.5 y 6.0. Sin embargo, existen excepciones, como en el caso de las leguminosas, que pueden desarrollarse incluso con un pH cercano a 7.5. En contraste, la mayoría de las semillas utilizadas en la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) no tienen un rendimiento eficiente cuando el pH supera 7. Para optimizar la disponibilidad y absorción de nutrientes, se recomienda que el pH del agua de riego oscile entre 5.5 y 6.5 (Juárez, 2013). La absorción de iones o minerales presentes en una solución depende principalmente del pH. Para la mayoría de los nutrientes, un rango de mayor disponibilidad se encuentra entre 5.5 y 7.5. Si el pH de la solución nutritiva es inferior a 5.5, se debe agregar una base, como hidróxido de potasio (KOH), para elevarlo. Por el contrario, si es necesario disminuir el pH, se recomienda la adición de ácido fosfórico. Para controlar este parámetro de manera precisa, se sugiere el uso de un medidor de pH o tiras indicadoras (UNALM, 2010).

### ***4.5.2. Conductividad eléctrica (CE)***

La conductividad eléctrica (CE) del agua es un indicador de la concentración de sales en una solución. Su valor se expresa en decisiemens por metro (dS/m) o miliSiemens por centímetro (mS/cm) y se mide con un conductímetro previamente calibrado. En el caso de soluciones

nutritivas para cultivos, un rango óptimo de CE se encuentra entre 1.5 y 2.0 dS/m o mS/cm, dependiendo de la unidad utilizada (Juárez, 2013; López, 2005).

#### **4.6. Proceso de producción de forraje verde hidropónico**

La localización de una construcción destinada a la producción de forraje verde hidropónico (FVH) no requiere grandes exigencias, pero debe ser cuidadosamente planificada. Es crucial que la unidad de producción esté ubicada en una zona próxima a la producción animal, especialmente en áreas donde ocurran déficits nutricionales debido a condiciones agrometeorológicas desfavorables, como sequías recurrentes, inundaciones o suelos empobrecidos. Antes de construir, el terreno debe nivelarse adecuadamente, seleccionando un sitio protegido de vientos fuertes, con acceso a agua de riego de calidad aceptable y disponibilidad de energía eléctrica (López, 2005). Los métodos de producción de FVH abarcan un amplio rango de posibilidades, desde el uso de bandejas plásticas obtenidas de cortes longitudinales de envases descartables, estantes antiguos recubiertos con plástico, bandejas de fibra de vidrio, madera pintada o forrada de plástico, hasta cajones de desecho de barcos o plantas procesadoras de pescado, adaptados para este fin, o incluso sistemas automatizados controlados por computadora (FAO, 2001).

##### ***4.6.1. Selección de semilla para producir forraje verde hidropónico***

El éxito en la producción de forraje verde hidropónico (FVH) comienza con la selección de semillas de alta calidad, tanto genética como fisiológica. Aunque factores como el precio y la disponibilidad son importantes, la calidad no debe ser comprometida. Para garantizar un buen rendimiento, las semillas deben tener un porcentaje mínimo de germinación del 90% (Juárez, 2013). En este tipo de forraje, se utilizan principalmente semillas de gramíneas como trigo, avena,

centeno, triticale, cebada o maíz, debido a su amplia disponibilidad en zonas de secano y su bajo costo durante todo el año. En el caso del trigo, se recomienda usar semilla corriente, similar a la que los productores de secano suelen sembrar, siempre asegurando un porcentaje de germinación superior al 90% y la ausencia de semillas de malezas o impurezas (Jiménez, 2015).

#### ***4.6.2. Lavado y desinfección de la semilla***

La desinfección de las semillas tiene como objetivo principal reducir o eliminar la proliferación de hongos durante el crecimiento del forraje verde hidropónico (FVH). Un método sencillo y económico consiste en sumergir las semillas, tras la etapa de pre-germinación, en una solución al 1% de hipoclorito de sodio (cloro), equivalente a 10 ml de cloro por cada litro de agua limpia, durante un máximo de 2 minutos, ya que un tiempo mayor podría afectar la viabilidad de las semillas (Jiménez, 2015).

Candia (2014) en su investigación, describe un proceso que comienza con el pesado de semillas, empleando 500 gramos por bandeja de 0.12 m<sup>2</sup>. Las semillas fueron sumergidas en agua, eliminando aquellas inservibles que flotaron. Posteriormente, se desinfectaron utilizando una solución de lejía a razón de 10 cc por litro de agua y, finalmente, se enjuagaron cinco veces. Este procedimiento permitió eliminar esporas de hongos y debilitar la cubierta de las semillas, favoreciendo así un desarrollo óptimo del FVH.

#### ***4.6.3. Remojo y germinación de las semillas***

La etapa de pre-germinación, o remojo de semillas, es crucial para garantizar el éxito en la producción de forraje verde hidropónico (FVH), ya que asegura una germinación rápida y uniforme. Este proceso consiste en sumergir completamente las semillas en agua limpia durante

un período máximo de 24 horas, dividido en dos períodos de 12 horas. Al completar las primeras 12 horas, las semillas se escurren durante 1 hora para permitir su oxigenación antes de ser sumergidas nuevamente por otras 12 horas. Cambiar el agua en cada intervalo de 12 horas facilita una mejor oxigenación de las semillas y contribuye a la eliminación de impurezas y semillas inviables, identificadas como aquellas que flotan en el agua (Jiménez, 2015; Juárez, 2013).

Además, para acelerar el proceso, se recomienda lavar las semillas con agua limpia antes del remojo inicial y sumergirlas en agua tibia (entre 21 y 25 °C) durante 5 a 10 horas. Posteriormente, las semillas pueden ser colocadas en cajas o contenedores para iniciar su actividad enzimática. Una vez que los brotes han despuntado, aproximadamente al cuarto día, se transfieren a charolas de 50 a 80 cm de longitud, donde continúa su crecimiento (Sánchez, 2012). Este cuidado en la pre-germinación fomenta un desarrollo inicial óptimo y uniforme del FVH.

#### ***4.6.4. Siembra de la semilla en bandejas***

Las densidades óptimas de semillas para la producción de forraje verde hidropónico (FVH) oscilan entre 2.2 y 3.4 kg por metro cuadrado. La siembra se realiza distribuyendo una capa delgada de semillas pre-germinadas, con un espesor máximo de 1.5 cm (Juárez, 2013). Una vez hidratadas y desinfectadas, las semillas deben sembrarse de inmediato. Según las dosis recomendadas, una bandeja con dimensiones de 45 cm x 35.5 cm y una superficie aprovechable de 0.124 m<sup>2</sup> (40 cm x 31 cm) permite una cobertura completa con semillas (Jiménez, 2015).

Durante la siembra, las semillas se colocan y nivelan en las bandejas a una altura aproximada de 1 cm. Posteriormente, se realiza la primera fertilización manual con soluciones nutritivas. Cada bandeja es cubierta con plástico negro y colocada en una cámara oscura durante

cuatro días, permitiendo el desarrollo inicial de los brotes (Candia, 2014). Este manejo asegura un crecimiento uniforme y óptimo en las primeras etapas del FVH.

#### **4.6.5. *Germinación***

El proceso de germinación de las semillas depende de factores externos esenciales, como la temperatura, la humedad, el oxígeno y la oscuridad. Si alguno de estos factores es deficiente, es probable que la germinación y el desarrollo de la planta no se completen de manera adecuada (Jiménez, 2015). Para optimizar este proceso, se realiza un primer remojo de las semillas durante 12 horas, seguido de un periodo de oreado de una hora. Posteriormente, se repite el remojo y el oreado, y finalmente las semillas se trasladan a una cámara de pre-germinación diseñada para favorecer el enraizamiento. Este procedimiento tiene como propósito activar las semillas y romper su estado de latencia, permitiendo un desarrollo inicial óptimo (Candia, 2014).

#### **4.6.6. *Riego del forraje verde hidropónico***

El riego de las bandejas de crecimiento del forraje verde hidropónico (FVH) es fundamental para garantizar un desarrollo adecuado del cultivo. Puede realizarse mediante microaspersores, nebulizadores o con una bomba aspersor portátil (mochila de mano). El riego por inundación no es recomendable, ya que el exceso de agua puede provocar asfixia radicular, ataques de hongos y pudrición, lo que podría resultar en la pérdida total del cultivo (Juárez, 2013).

Una vez colocadas las semillas en las bandejas con un espesor de 1 cm, estas permanecen en el germinador hasta que los brotes alcanzan una altura de 0.5 cm. Posteriormente, se trasladan a la fase lumínica, donde se riegan constantemente con agua y nutrientes. Por cada kilogramo de semillas, se emplean aproximadamente 2 litros de agua con nutrientes, aplicados preferiblemente

en la mañana y tarde para evitar el riesgo de quemaduras por altas temperaturas y reducir la evaporación. Además, se realizan dos riegos intermedios con agua al día. Tres días antes de la cosecha, se utiliza exclusivamente agua potable para mejorar el sabor del forraje, haciéndolo más dulce (Sánchez, 2012).

Desde la siembra, se debe suministrar solución nutritiva en proporción de 1.25 cc de nutriente mayor y 0.5 cc de nutriente menor por litro de agua, asegurando que los granos o la parte aérea de las plantas permanezcan húmedos sin causar encharcamientos. En algunos casos, se pueden realizar hasta 8 riegos diarios, aplicados cada hora entre las 8:00 a. m. y las 4:00 p. m., con ciclos de un minuto por riego (López, 2005). Este manejo adecuado del riego contribuye a un crecimiento saludable y uniforme del FVH.

#### ***4.6.7. Cosecha y rendimiento de forraje verde hidropónico***

La cosecha del forraje verde hidropónico (FVH) abarca la totalidad de la biomasa, que incluye hojas, tallos, un abundante colchón radicular, semillas germinadas y no germinadas. Esta biomasa forma un bloque alimenticio compacto, fácil de extraer y de ofrecer a los animales, ya sea en trozos, desmenuzado o picado. Aunque se recomienda utilizar el FVH recién cosechado para mantener su máxima calidad nutricional, puede conservarse durante dos o tres días sin problemas sanitarios, aunque con un leve descenso en su valor nutricional. La conversión de semilla a forraje es de aproximadamente 1 kg de semilla por 7 kg de FVH, y su valor nutritivo es tan alto que 1 kg de FVH puede reemplazar entre 3.1 y 3.4 kg de alfalfa verde (Juárez, 2013).

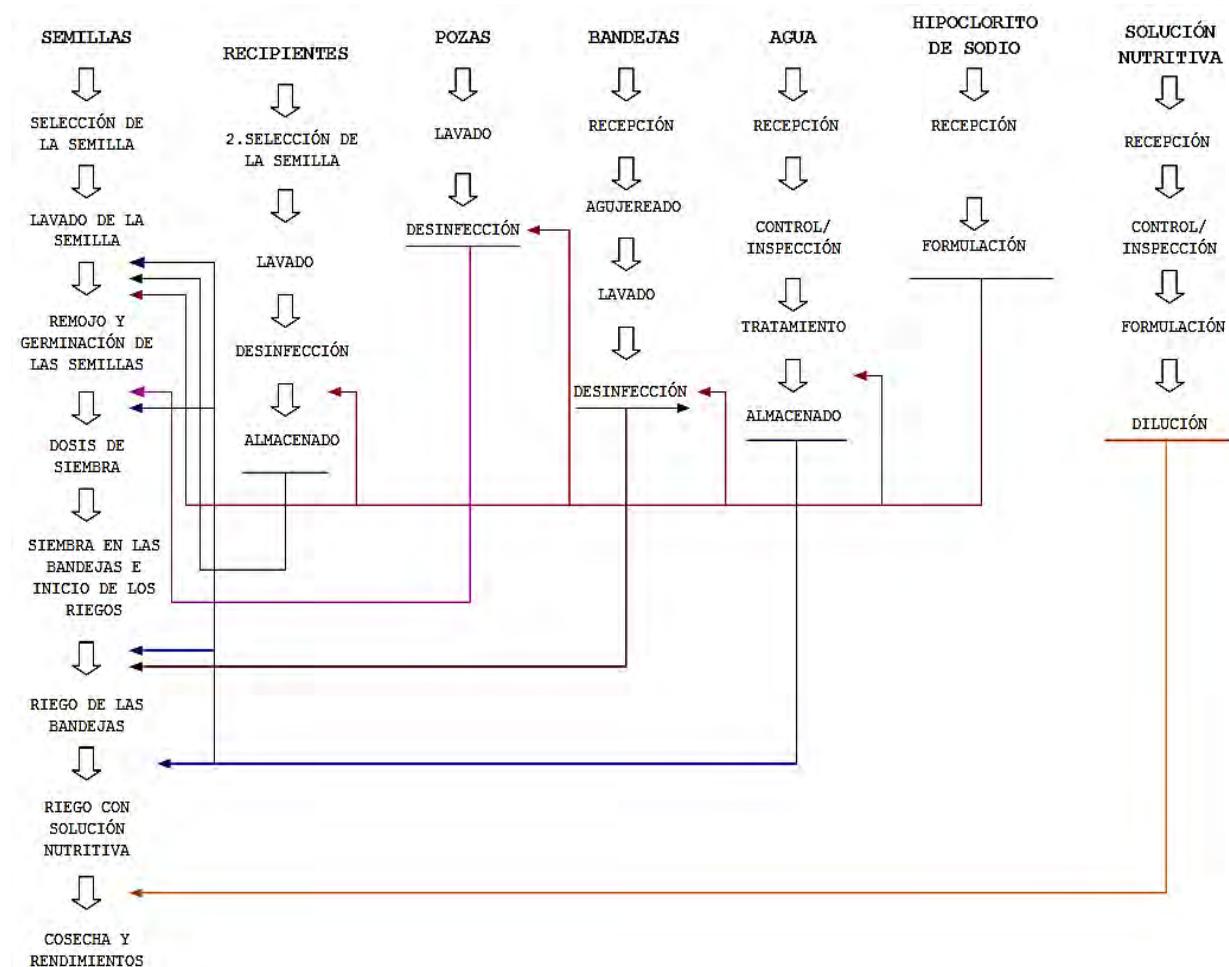
El FVH está listo para la cosecha cuando alcanza una altura superior a 20 cm, lo cual ocurre alrededor de los 15 días después de la siembra (Jiménez, 2015). Sin embargo, en algunos casos, la

cosecha puede realizarse a los 11 días, dependiendo de las condiciones específicas de producción (Candia, 2014). Este manejo asegura un alimento fresco y de alta calidad para los animales.

#### 4.6.8. Flujograma de producción de forraje verde hidropónico

Figura 1.

Diagrama de flujo del proceso de producción del forraje verde hidrópico



Fuente: Recopilado de forraje hidropónico Perú Montoya (2017).

## **4.7. Solución nutritiva**

La disolución de diversos fertilizantes en el agua, utilizada para el riego de las plantas, tiene como función principal proporcionar los nutrientes requeridos por estas en las proporciones adecuadas (López, 2005) Por otro lado, es posible obtener forraje verde hidropónico sin necesidad de fertilización; no obstante, ciertos fertilizantes pueden ser incorporados a través del riego diario con el propósito de favorecer un mayor crecimiento y desarrollo de las plántulas. Estos fertilizantes, además de ser de fácil absorción, presentan la desventaja de ser arrastrados por el agua en los diferentes sustratos (Sánchez, 1997).

### **4.7.1. Solución nutritiva la molina**

La solución nutritiva "La Molina A y B" constituye un elemento clave en los sistemas de cultivo hidropónico, destacándose por su balance de macro y micronutrientes que satisfacen las necesidades de diversas especies vegetales. Esta solución se divide en dos concentrados principales, "A" y "B", los cuales incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, y elementos traza como hierro, manganeso, zinc y boro. Su formulación permite una alta versatilidad en cultivos como lechuga, tomate, fresas y plantas ornamentales, optimizando el crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas en entornos controlados. Estudios como el de Villacorta & Ticona (2022) han demostrado que la aplicación de estas soluciones incrementa significativamente el rendimiento por metro cuadrado en cultivos de tomate hidropónico en comparación con otras fórmulas nutritivas estándar. Asimismo, investigaciones realizadas por Baca (2019) concluyen que el ajuste de las proporciones de las soluciones A y B puede influir directamente en la calidad y cantidad de frutos, adaptándose a las condiciones climáticas locales y al tipo de sustrato utilizado. Además, Tupayachi (2021) destacó la capacidad de estas soluciones

para integrar aditivos orgánicos como el humus de lombriz, potenciando el crecimiento en cultivos como la col de Bruselas mediante la combinación de propiedades físicas, químicas y biológicas del sustrato. Esta solución también ha sido evaluada en sistemas de recirculación de nutrientes, donde se constató una reducción significativa del impacto ambiental debido al menor desperdicio de agua y fertilizantes, según reportaron Sicha (2023) y otros. La implementación de la solución "La Molina" resalta no solo por su eficiencia en contextos comerciales sino también por su aplicabilidad en investigaciones científicas que buscan optimizar recursos en la producción agrícola sostenible.

#### **4.7.1.1. Composición de solución nutritiva La Molina A y B**

Según Agrosuni (2024) la composición de la solución nutritiva La Molina A y B está diseñada para el cultivo hidropónico y se divide en tres partes principales:

- ✓ **Solución Concentrada A (5 litros de agua):** Contiene macronutrientes esenciales como nitrato de potasio (550 g), nitrato de amonio (350 g) y superfosfato triple (180 g). Estos aportan nitrógeno, fósforo y potasio, fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.
- ✓ **Solución Concentrada B (2 litros de agua):** Está compuesta por sulfato de magnesio (220 g), quelato de hierro al 6% Fe (17 g) y solución de micronutrientes (400 ml). Esta mezcla asegura el suministro de magnesio y hierro, esenciales para la fotosíntesis y la síntesis de clorofila.
- ✓ **Solución de Micronutrientes (1 litro de agua destilada o hervida):** Contiene sulfato de manganeso (5 g), ácido bórico (3 g), sulfato de zinc (1.7 g), sulfato de cobre (1 g) y

molibdato de amonio (0.2 g). Estos oligoelementos son fundamentales para la actividad enzimática y el metabolismo vegetal.

#### **4.8. Valor nutricional del forraje verde hidropónico de cebada**

El forraje verde hidropónico (FVH) de cebada es una alternativa nutritiva y sostenible en la producción de alimento animal, destacándose por su alta digestibilidad y contenido proteico. Según Sánchez del Castillo et al. (2013), el FVH de cebada tiene un perfil nutricional equilibrado, rico en proteínas, carbohidratos solubles y vitaminas esenciales, siendo ideal para animales en crecimiento y producción. Estudios recientes Birgi et al. (2018a) señalan que el FVH de cebada ofrece una mejora en la productividad animal debido a su composición balanceada de nutrientes y su bajo costo de producción. Además, investigaciones como las de Candia (2014) han evaluado el uso de fertilizantes orgánicos, demostrando que estos potencian el valor nutricional del FVH, mejorando la eficiencia de producción. Este sistema reduce el consumo de agua y espacio en comparación con los métodos tradicionales, siendo clave en regiones con limitaciones agroclimáticas. En términos de sostenibilidad, el FVH de cebada representa una opción económica y ecológica frente a los sistemas convencionales de alimentación animal, integrando eficiencia productiva y cuidado ambiental.

**Tabla 2.**

*Composición nutricional del forraje verde hidropónico de la cebada*

Parámetro	Valor (%)
Proteína Cruda	18–19
Fibra Detergente Neutra (FDN)	47–54
Fibra Detergente Ácida (FDA)	21–27
Lignina Detergente Ácida (LDA)	2.8–3.2
Digestibilidad de la Materia Seca (DIGMS)	70–71
Materia Seca (MS)	18–20
Energía Digestible (Kcal/kg MS)	488–520
Proteína Digestible (kg/kg MS)	46.5–50.0

Fuente: (Birgi et al., 2018b; Lozano, 2023)

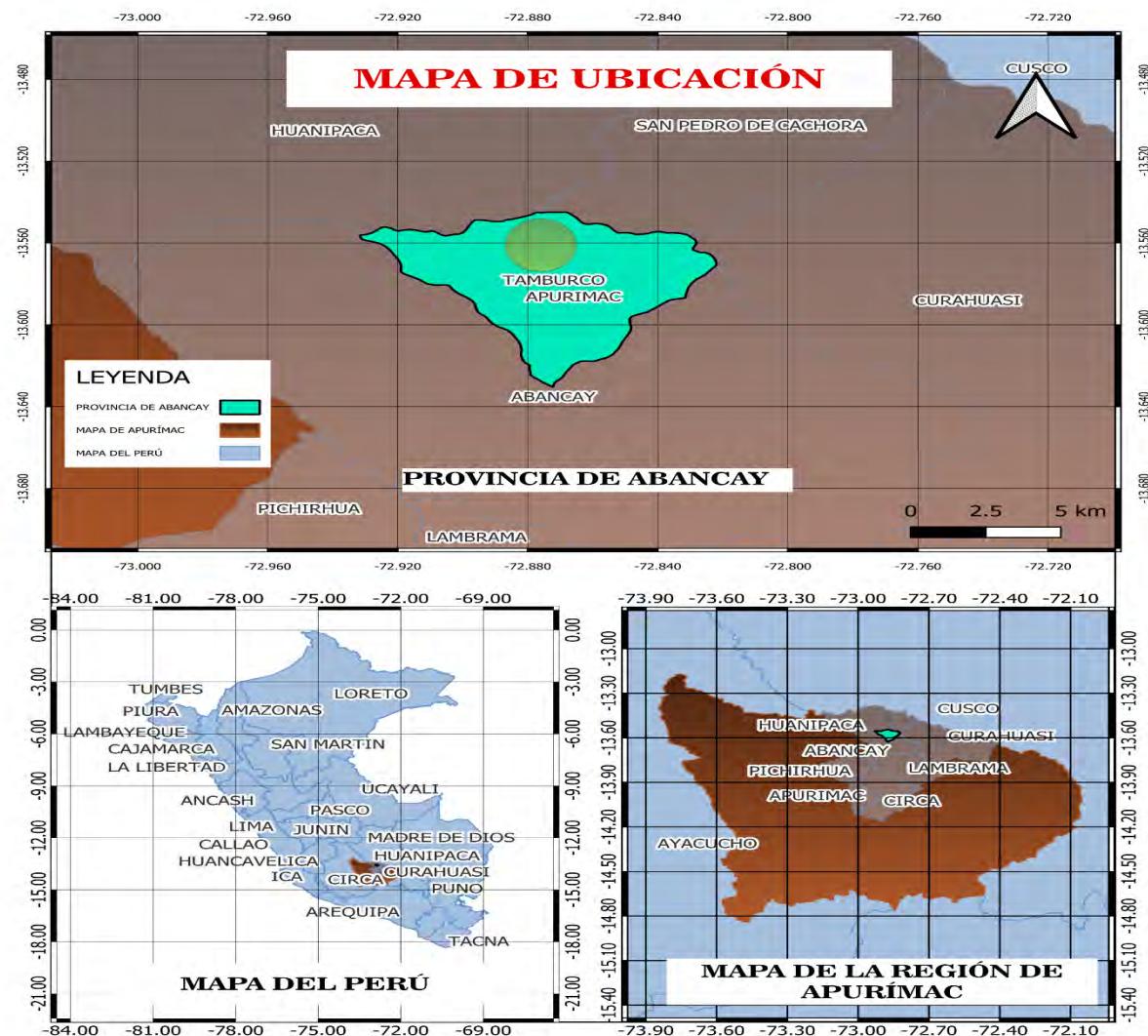
## V. METODOLOGIA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1. Lugar de la investigación

La investigación se llevó a cabo en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay, región de Apurímac, durante el mes de noviembre de 2018.

**Figura 2**

*Mapa de ubicación nacional y regional del área de estudio*



Fuente: Elaboración propia utilizando el software: QGIS

## **5.2. Ubicación**

### **5.2.1. Ubicación política**

Departamento	: Apurímac
Provincia	: Abancay
Distrito	: Tamburco

### **5.2.2. Ubicación geográfica**

Altitud	: 2,581msnm
Longitud sur	: 13°37"05"
Longitud oeste	: 72°52"18"

### **5.2.3. Ubicación hidrográfica**

Cuenca	: Pachachaca
Sub cuenca	: Mariño
Microcuenca	: Mariño

## **5.3. Características ecológicas del área de estudio**

La zona Meso Andina, ubicada entre los 2000 y 4000 metros sobre el nivel del mar, abarca principalmente las provincias de Abancay (distrito de Tamburco), Chincheros y Grau. En menor proporción incluye a las provincias de Andahuaylas y Aymaraes, mientras que las provincias de Antabamba y Cotabambas tienen una presencia muy reducida. Esta región corresponde al piso ecológico quechua y se caracteriza por una geografía ondulada, suelos

fértils y climas favorables para actividades agropecuarias. Además, los principales centros urbanos del departamento se encuentran en esta zona.

El clima de la zona Meso Andina presenta características de transición entre el clima templado quechua y el clima frío de puna. La precipitación anual promedio es de 716 mm, con dos estaciones claramente diferenciadas: una temporada de lluvias que se extiende de octubre a abril y un período seco que va de mayo a septiembre.

En cuanto a la temperatura, esta región mantiene una media anual de 19.4°C, con una temperatura mínima media de 6.8°C. El mes más frío es julio, cuando se registran temperaturas mínimas cercanas a 0.8°C, lo que evidencia la variabilidad climática característica de la zona.

## **5.4. Materiales, equipos y herramientas**

### ***5.4.1. Materiales***

- Hojas de papel bond.
- Útiles de escritorio.
- Guardapolvo.
- Jeringas hipodérmicas.
- Etiquetas.
- Flexómetro de 5m.
- Baldes de 15 litros (6).
- Tijera de podar.
- Coladera.
- Material biológico (semilla de cebada).

- Módulo de producción de forraje hidropónico.
- Plástico de color negro.
- Bandejas de plástico.
- Solución hidropónica la Molina.
- Desinfectantes.
- Mochila de fumigar (15 litros).
- Agua.
- Micro aspersores.
- Baldes.
- Jeringas.

#### ***5.4.2. Equipos***

- Computadora (laptop).
- Calculadora.
- Impresora.
- GPS.
- Balanza electrónica.
- Cámara fotográfica.

## **5.5. Variables**

### ***5.5.1. Variable independiente***

- ✓ Soluciones nutritivas La molina A y B.

### ***5.5.2. Variable dependiente***

- a) Parámetros morfométricos
  - ✓ Altura de la planta
  - ✓ Longitud de la raíz
  - ✓ Longitud de hoja
- b) Rendimiento
- c) Valor nutricional

## **5.6. Tipo de investigación**

El tipo de investigación fue experimental, porque se fundamenta en que el estudio involucra la manipulación controlada de variables independientes, como la aplicación de soluciones nutritivas específicas, para observar y medir su efecto sobre variables dependientes, como el rendimiento productivo y el valor nutricional del forraje verde hidropónico. Este diseño permite establecer relaciones de causa-efecto, aportando datos fiables sobre la efectividad de las prácticas evaluadas.

## **5.7. Enfoque de la investigación**

El enfoque de la investigación es cuantitativo debido a que se evidencia en la recolección y análisis de datos objetivos y medibles, como el peso del forraje producido, el valor nutritivo. Este enfoque busca garantizar resultados replicables y comparables, empleando métodos

estadísticos para validar las hipótesis planteadas. En este contexto, la investigación combina mediciones precisas con análisis estructurados, lo que refuerza su capacidad de generar conocimientos prácticos y transferibles a sistemas agrícolas similares en la región de Apurímac y en otros contextos similares.

## 5.8. Tratamientos

T1: Tratamiento con solución nutritiva

T2: Tratamiento sin solución nutritiva

**Figura 3**

### *Tratamientos*

T1R1	T2R1	T1R1
T2R1	T1R1	T2R1

**Modulo 1**

T1R2	T2R2	T1R2
T2R2	T1R2	T2R2

**Modulo 2**

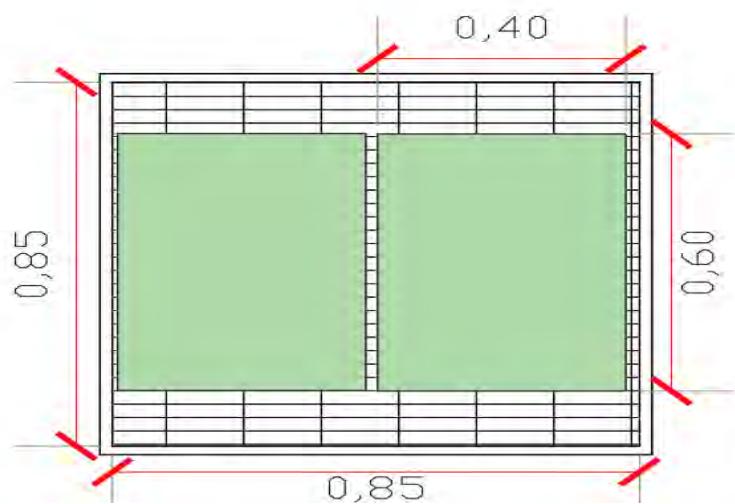
## 5.9. Módulo de producción de forraje hidropónico

Se contó con 2 módulos de producción de 0.85 m de largo por 0.85 m de ancho y 1.5 m de alto, dividida en cuatro niveles. Cada nivel tenía capacidad para dos bandejas de producción, sumando un total de 8 bandejas con dimensiones de 40 x 60 cm. El módulo hidropónico estuvo equipado con un sistema de riego por microaspersión compuesto por seis micro aspersores, además de dos baldes plásticos sin tapa utilizados para el remojo de las semillas. También se emplearon

seis baldes plásticos con tapa hermética y cinco agujeros en la base para llevar a cabo la etapa de oreo de las semillas. Para garantizar una limpieza adecuada de las semillas, se utilizó un cernidor, mientras que una balanza analítica con precisión de 1 g permitió realizar mediciones precisas. Asimismo, se utilizó hipoclorito de sodio al 5% para eliminar bacterias.

**Figura 4**

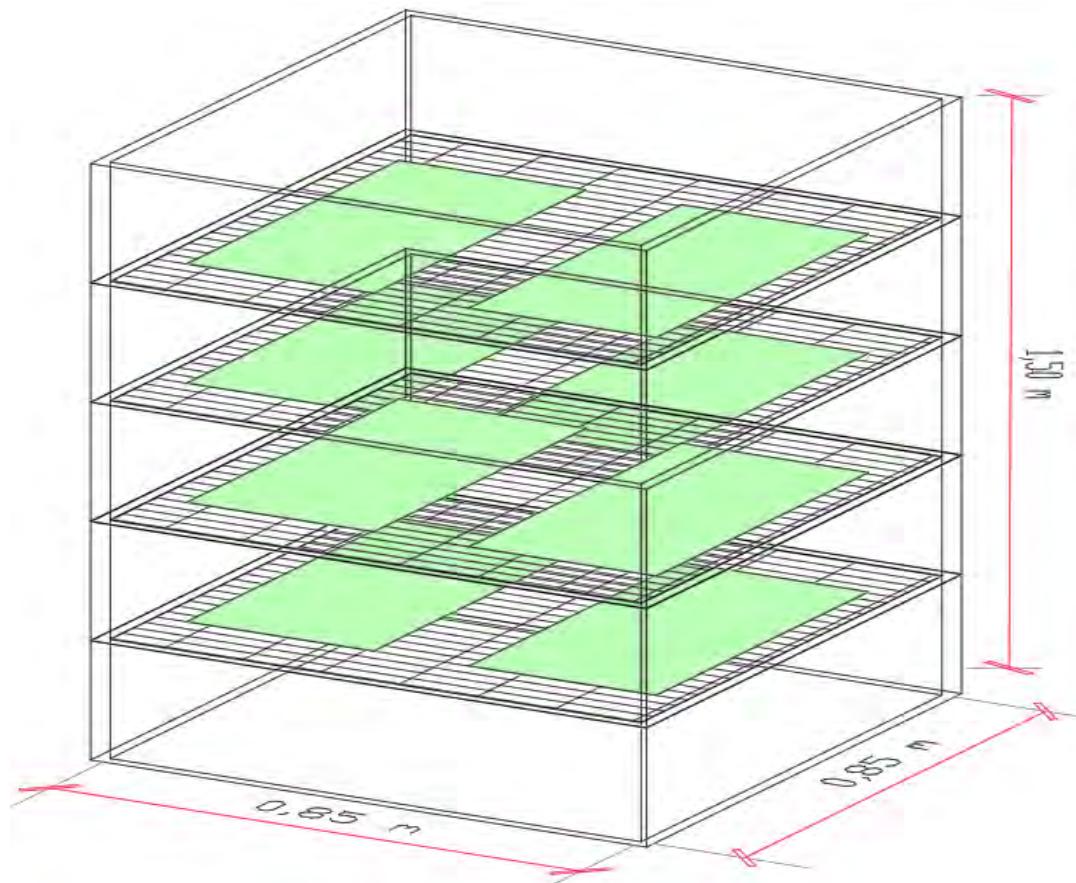
*Vista en planta del módulo de producción de forraje verde hidropónico*



Fuente: Elaboración propia, unidad de medida (metros).

**Figura 5**

*Sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH)*



Fuente: Diseño elaborado con base a la información proporcionada por Murillo & Rodríguez (2024), utilizando el software AutoCAD 2024.

## 5.10. Procedimiento experimental para la producción de forraje verde hidropónico

### 5.10.1. Selección de semillas

Se utilizó semilla de cebada de la variedad criolla, originaria de la zona y adaptada a las condiciones locales. Esta semilla, además de ser fácilmente accesible, contaba con una alta tasa de germinación probada, lo que facilitó su adquisición para el proceso de producción del germinado.

La selección se realizó cuidadosamente, separando minuciosamente los residuos y eliminando los granos quebrados o en mal estado.

En cuanto a la influencia de la fase oscura en el proceso, se implementaron condiciones específicas para optimizar el crecimiento del forraje verde hidropónico. La fase oscura, o el periodo de oscuridad durante el ciclo de cultivo, se manejó cuidadosamente para simular un entorno natural que favorezca el crecimiento en condiciones controladas. Durante este periodo, se observó que la falta de luz directa fomenta el alargamiento de los tallos y una mayor absorción de nutrientes, lo cual es crucial para obtener un forraje verde más nutritivo y de calidad.

#### ***5.10.2. Lavado y desinfección de semillas***

Las semillas fueron desinfectadas en un balde independiente con una capacidad de 18 litros. En este recipiente, se lavaron inicialmente con agua para eliminar impurezas. Posteriormente, se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 1%, preparada diluyendo 10 ml de hipoclorito en 5 litros de agua. Las semillas permanecieron en esta solución durante 2 minutos, tras lo cual se enjuagaron minuciosamente con agua corriente para garantizar la eliminación de cualquier residuo químico.

Para dar inicio al proceso de producción de forraje hidropónico, se pesó la cantidad necesaria de semillas, utilizando 1 kg por bandeja.

#### ***5.10.3. Remojo de semillas***

Una vez desinfectadas, las semillas fueron sometidas al proceso de remojo. Este procedimiento consistió en colocar las semillas dentro de una bolsa de tela y sumergirlas

completamente en agua limpia durante un período total de 24 horas para garantizar una completa imbibición. El remojo se realizó en dos etapas de 12 horas cada una.

Durante la primera etapa, las semillas permanecieron sumergidas en agua durante 12 horas. Posteriormente, se retiró el agua de los baldes, y las semillas se dejaron orear al aire libre durante una hora. Después de este período, las semillas se volvieron a sumergir completamente en agua limpia durante otras 12 horas, completando así el proceso de remojo.

#### ***5.10.4. Oreo***

Terminado el proceso de remojo, las semillas son enjuagadas con agua y puestas en un depósito que presenta orificios en la parte inferior, que permite el drenaje del agua, además el depósito será tapado para evitar la pérdida de humedad. En esta etapa las semillas no son regadas y permanecerán por espacio de uno a dos días hasta la aparición del punto de brote de la semilla. Posteriormente, se orearon por 72 horas.

#### ***5.10.5. Siembra y Germinación***

Después del proceso de oreo, cuando las raíces de las semillas alcanzaron aproximadamente 0.5 cm de longitud, se procedió a sembrarlas de manera homogénea en las bandejas asignadas. Estas bandejas se colocaron en el área de germinación de la torre, donde permanecieron durante un periodo de seis días. Durante esta etapa, las semillas fueron regadas tres veces al día, con una duración de un minuto por cada riego, utilizando únicamente agua limpia y sin la aplicación de solución nutritiva.

En esta fase inicial, las semillas se mantuvieron en la fase oscura hasta que alcanzaron una altura promedio de 2 a 3 cm, completando así el proceso de germinación antes de continuar con las etapas posteriores de desarrollo.

#### ***5.10.6. Riego después de la germinación***

Cuando las plántulas alcanzaron una altura de 2-3 cm, se trasladaron a la fase lumínica, donde se mantuvieron bajo condiciones de iluminación controlada. Durante esta etapa, se humedecieron de forma constante, la proporción utilizada para 100 litros de agua de riego fue de 100 ml de solución A y 50 ml de solución B. Esta actividad se realizó dos veces al día, en la mañana y en la tarde, para garantizar un aporte equilibrado de humedad y nutrientes.

Adicionalmente, se llevaron a cabo dos riegos intermedios diarios utilizando únicamente agua limpia. Tres días antes de la cosecha, el riego se limitó exclusivamente a agua potable para purgar cualquier residuo de nutrientes en el forraje.

La cantidad exacta de agua utilizada para los riegos fue calculada dividiendo el volumen diario total en 6 a 9 aplicaciones, con una duración máxima de 2 minutos por cada riego. Este enfoque permitió mantener una hidratación uniforme y evitar el exceso de humedad que podría afectar negativamente el desarrollo del cultivo.

#### ***5.10.7. Crecimiento***

Seguidamente, las bandejas fueron trasladadas al área de producción, donde permanecieron durante cinco días adicionales. Durante este periodo, se mantuvo la misma frecuencia de riego establecida previamente, con tres aplicaciones diarias de agua, cada una con una duración máxima

de un minuto. Este manejo permitió asegurar un crecimiento continuo y uniforme del forraje en las condiciones controladas en el sistema de producción.

#### ***5.10.8. Cosecha***

La cosecha se llevó a cabo quince días después de la siembra de las semillas germinadas. El forraje verde hidropónico de cebada fue recolectado directamente de las bandejas, asegurando la integridad del cultivo durante el proceso. Simultáneamente, se procedió a realizar la medición y el pesado del forraje obtenido, datos que fueron utilizados posteriormente para la evaluación de las variables consideradas en esta investigación. Este procedimiento permitió registrar con precisión los resultados productivos y analizar el rendimiento del sistema implementado.

### **5.11. Variables evaluadas**

#### ***5.11.1. Altura de la planta***

Para esta variable se empleó un flexómetro como instrumento de medición. Se procedió a medir la altura del forraje verde hidropónico en centímetros, seleccionando de manera aleatoria varias plantas. La medición se realizó desde la base del grano hasta la última hoja apical de cada planta. Estos registros fueron efectuados el día 15, coincidiendo con el momento de la cosecha, y sirvieron como parte de la evaluación de las variables consideradas en el estudio.

## Fotografía 1

*Medición de la altura de la planta*



### **5.11.1. Longitud de la raíz**

Para esta variable se utilizó un flexómetro y se procedió a medir la longitud de la raíz (en cm).

Para ello, se seleccionaron aleatoriamente las plantas y se midieron desde el cuello hasta la punta de la raíz. Todos estos registros fueron realizados el día 15.

## Fotografía 2

*Medición de la longitud de la raíz*



### **5.11.1. Longitud de la hoja**

Para medir esta variable se utilizó un flexómetro, con el cual se midió la longitud de la hoja del forraje verde hidropónico (en cm). Para ello, se seleccionaron aleatoriamente las hojas de las plantas y se llevó a cabo la medición respectiva. Estas mediciones se realizaron el día 15.

### **5.11.1. Rendimiento**

El rendimiento del forraje verde hidropónico se obtuvo el día 15, momento en el cual se llevó a cabo la cosecha del forraje verde de cebada. Una vez recolectado, el forraje fue dejado a orear durante un periodo de 12 horas. Posteriormente, se procedió a su pesaje respectivo y al registro del peso en kilogramos. Para realizar el pesaje se utilizó una balanza con una capacidad máxima de 10 kg.

### **5.11.2. Valor nutricional**

Para la evaluación del valor nutricional, se remitieron las muestras (una por cada tratamiento) al Laboratorio de Nutrición y Alimentación Animal del programa profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Católica de Santa María, ubicada en Arequipa. Cada muestra fue analizada por duplicado para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

## **5.12. Diseño experimental y análisis de datos**

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con igual número de repeticiones por tratamiento, asignándose 6 repeticiones para cada tratamiento. El modelo aditivo lineal aplicado, según Padrón (2009), fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- $Y_{ij}$ : Variable aleatoria observable correspondiente al i-ésimo tratamiento y la j-ésima repetición.
- $\mu$ : Media general.
- $t_i$ : Efecto del i-ésimo tratamiento.
- $\epsilon_{ij}$ : Error experimental asociado a la j-ésima observación del i-ésimo tratamiento.
- $t$ : Número de tratamientos.
- $r$ : Número de repeticiones

Para el análisis de los datos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el objetivo de determinar si existían diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (considerando un nivel de significancia de  $p<0.05$ ). Posteriormente, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar cuáles tratamientos presentaban diferencias estadísticas significativas entre sí. Esta metodología permitió evaluar de manera precisa las variaciones en las respuestas experimentales asociadas a los diferentes tratamientos.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1. Parámetros morfológicos

#### 6.1.1. Altura de forraje

El análisis de varianza realizado para la altura de las plantas muestra que el modelo es estadísticamente significativo ( $p=0.0009$ ), con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.68, lo que indica que el 68% de la variabilidad en la altura es explicada por los tratamientos. El coeficiente de variación (CV) del 5.28% evidencia una buena precisión experimental. La prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) confirmó diferencias significativas entre los tratamientos: el tratamiento T1 obtuvo una media significativamente mayor (25.72 cm, grupo "A") que T2 (22.32 cm, grupo "B"). Esto sugiere que el tratamiento T1 favorece un mayor crecimiento en la altura de las plantas.

**Tabla 3**

*Altura promedio del forraje verde hidropónico con solución nutritiva y sin solución nutritiva (cm)*

Tratamiento	Descripción	n	Medias	Error estándar	
T1	Con solución nutritiva Molina A y B	6	25.75	0.52	A
T2	Sin solución nutritiva	6	22.32	0.52	B

Coeficiente de variación = 5.28

La figura muestra la comparación de la altura promedio de las plantas bajo dos tratamientos: uno con solución nutritiva y otro sin ella. Las plantas tratadas con solución nutritiva alcanzaron una mayor altura promedio (25.72 cm) en comparación con las plantas sin solución nutritiva, que tuvieron una altura promedio de 22.32 cm. Esto confirma que el uso de la solución

nutritiva tiene un efecto positivo y significativo en el crecimiento de las plantas, respaldando los resultados estadísticos previos que indicaron diferencias significativas entre los tratamientos.

**Figura 6**

*Efecto de la solución nutritiva en la altura promedio de las plantas*



La altura promedio de 25.72 cm en el tratamiento con solución nutritiva (T1), en comparación con los 22.32 cm en el control (T2), resalta claramente el impacto positivo de las soluciones balanceadas de nutrientes sobre el crecimiento vegetal. En este sentido, Trujillo (2022) señaló que el uso de biol al 20% incrementó la altura del forraje gracias a un suministro adecuado de nitrógeno y potasio, elementos esenciales para el alargamiento celular. De forma similar, Gutiérrez & Camacho (2019) corroboraron estos resultados en Bolivia, reportando un aumento del 20% en la altura de cultivos tratados con abonos líquidos al 15%. Por su parte, Salvador-Castillo et al. (2022) en México observaron que las soluciones nutritivas favorecieron significativamente el crecimiento vertical en avena y cebada, atribuyendo este efecto al equilibrio óptimo de nitrógeno proporcionado. Birgi et al. (2018a) en Patagonia destacaron que las variedades Scarlett y Sebastián lograron mayores alturas en sistemas hidropónicos, debido a una absorción eficiente de nutrientes esenciales. Asimismo, Ordoñez et al. (2018) identificaron que las soluciones nutritivas La Molina

incrementaron la altura del forraje en un 17.4%, subrayando la importancia de un suministro constante de micronutrientes en sistemas hidropónicos para optimizar el crecimiento vegetal.

Estos hallazgos enfatizan la necesidad de manejar correctamente la nutrición en sistemas hidropónicos, ya que una solución balanceada no solo incrementa la altura, sino que también refleja un mejor estado fisiológico de la planta. Además, el uso de fuentes sostenibles como el biol subraya la relevancia de integrar estrategias ecológicas en la producción hidropónica.

#### **6.1.2. Longitud de la raíz del forraje verde hidropónico**

El análisis de varianza realizado para la longitud de raíz muestra que el modelo es estadísticamente significativo ( $p=0.0087$ ) con un estadístico  $F=10.58$ , lo que indica diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. La prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) confirmó estas diferencias, mostrando que el tratamiento T1 (con solución nutritiva) obtuvo una longitud promedio de raíz significativamente mayor (5.38 cm, grupo "A") en comparación con el tratamiento T2 (sin solución nutritiva), que presentó una media de 4.38 cm (grupo "B"). Esto demuestra que el uso de la solución nutritiva tiene un efecto positivo en el crecimiento de las raíces, respaldando la hipótesis de la investigación.

**Tabla 4**

*Longitud de raíz del forraje verde hidropónico con solución nutritiva y sin solución nutritiva (cm)*

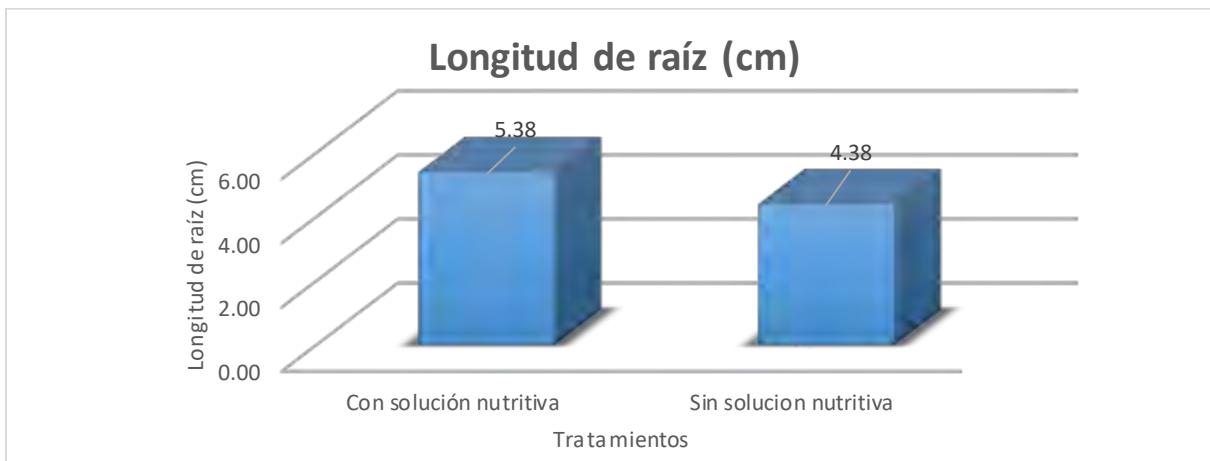
Tratamiento	Descripción	n	Medias	Error estándar	
T1	Con solución nutritiva Molina A y B	6	5.38	0.22	A
T2	Sin solución nutritiva	6	4.38	0.22	B

Coeficiente de variación = 10.91

El gráfico compara la longitud promedio de las raíces bajo dos tratamientos: con solución nutritiva y sin solución nutritiva. Las plantas tratadas con solución nutritiva mostraron una longitud promedio de raíz significativamente mayor (5.38 cm) en comparación con las plantas sin solución nutritiva (4.38 cm). Esto confirma que la solución nutritiva tiene un efecto positivo en el crecimiento de las raíces, lo que concuerda con los resultados estadísticos que indican diferencias significativas entre los tratamientos.

**Figura 7**

*Efecto de la solución nutritiva en la longitud de raíz*



El tratamiento T1 presentó raíces significativamente más largas, con un promedio de 5.38 cm frente a los 4.38 cm registrados en T2, lo que evidencia el impacto positivo de las soluciones nutritivas en el desarrollo radicular. En esta línea, Candia (2014) subrayó que el uso de fertilizantes orgánicos como el guano de cuy mejora la estructura de las raíces al proporcionar nutrientes esenciales. De manera similar, Saavedra (2018) documentó un incremento notable en la longitud de las raíces de variedades de cebada tratadas con soluciones nutritivas específicas en Tamburco. Por otra parte, Trujillo (2022) destacó que el biol estimula el crecimiento radicular mediante el aporte de micronutrientes como hierro y zinc, que son fundamentales para el desarrollo de los

tejidos radiculares. Gutiérrez & Camacho (2019) reportaron resultados concordantes, observando una mayor longitud radicular en cebada tratada con abonos líquidos, atribuida a la optimización del pH y al balance adecuado de nutrientes. Asimismo, Birgi et al. (2018a) indicaron que la presencia de calcio y magnesio en soluciones hidropónicas favorece la elongación de las raíces, promoviendo una absorción más eficiente de agua y nutrientes.

La longitud de las raíces no solo refleja la eficiencia en la absorción de nutrientes, sino también la capacidad de la planta para adaptarse a un sistema hidropónico. Este parámetro es crucial para optimizar la productividad en ambientes controlados, destacando la necesidad de combinar ciencia básica con prácticas agrícolas sostenibles para maximizar el rendimiento.

#### **6.1.3. *Longitud de hoja***

El análisis de varianza realizado para la longitud de la hoja muestra que el modelo es estadísticamente significativo ( $p=0.0025$ ) con un estadístico  $F=15.94$ , lo que indica diferencias significativas entre los tratamientos. El coeficiente de determinación ( $R^2=0.61$ ) sugiere que el 61% de la variabilidad en la longitud de la hoja es explicada por los tratamientos, mientras que el coeficiente de variación (4.58%) refleja una buena precisión experimental. Según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.5$ ), el tratamiento T1 (19.45 cm, grupo "A") presentó una longitud de hoja significativamente mayor que el tratamiento T2 (17.50 cm, grupo "B"). Estos resultados indican que el tratamiento con solución nutritiva influye positivamente en la longitud de la hoja.

**Tabla 5**

*Longitud de hoja del forraje verde hidropónico con solución nutritiva y sin solución nutritiva (cm)*

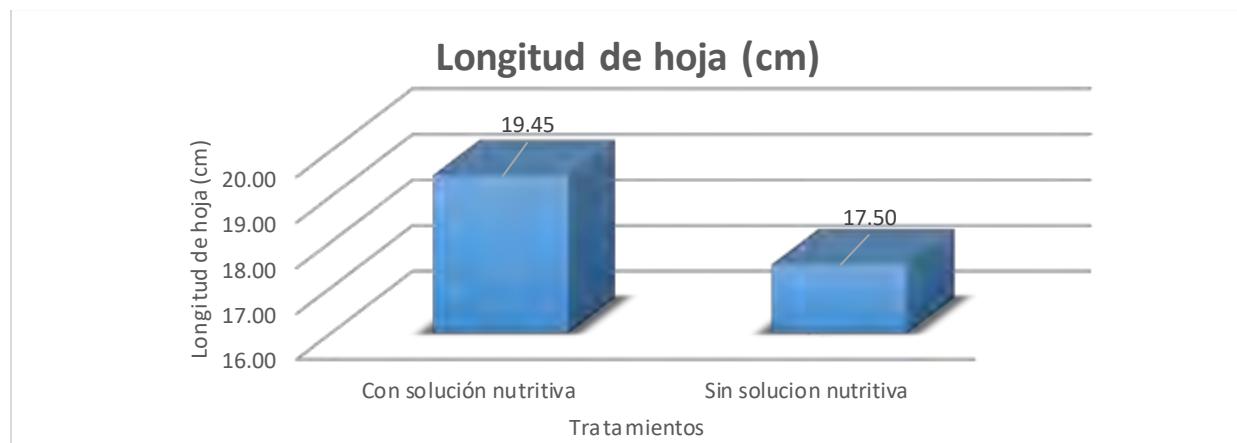
Tratamiento	Descripción	n	Medias	Error estándar	
T1	Con solución nutritiva Molina A y B	6	19.45	0.35	A
T2	Sin solución nutritiva	6	17.50	0.35	B

Coeficiente de variación = 4.58

La figura muestra que las plantas tratadas con solución nutritiva alcanzaron una longitud promedio de hoja significativamente mayor (19.45 cm) en comparación con las plantas sin solución nutritiva (17.50 cm). Estos resultados confirman que el uso de solución nutritiva tiene un efecto positivo en el crecimiento de las hojas, lo que respalda los resultados estadísticos que indican diferencias significativas entre los tratamientos.

**Figura 8**

*Efecto de la solución nutritiva en longitud de hoja*



Los resultados obtenidos, con una longitud promedio de las hojas de 19.45 cm en T1 frente a 17.50 cm en T2, evidencian claramente el impacto positivo de las soluciones nutritivas en el

crecimiento foliar. En esta línea, Salvador-Castillo et al. (2022) documentaron aumentos significativos en la longitud de hojas de cebada tratada con soluciones nutritivas, atribuyendo este efecto al aporte de nitrógeno, un nutriente esencial para la síntesis de clorofila y, por ende, para la eficiencia fotosintética. Asimismo, Ordoñez et al. (2018) observaron que combinaciones específicas de las soluciones La Molina fomentaron el desarrollo foliar al mejorar los procesos fotosintéticos en cultivos hidropónicos. Por otro lado, Saavedra (2018) destacó en Tamburco que la cebada Negra de Altura mostró un crecimiento foliar superior cuando se aplicaron soluciones nutritivas, subrayando su importancia en sistemas de producción adaptados a condiciones locales. Finalmente, Trujillo (2022) señaló que el uso de biol incrementó significativamente la longitud de las hojas debido al aporte de fósforo y potasio, nutrientes indispensables para la división celular y el crecimiento de tejidos vegetativos.

La longitud foliar refleja directamente la capacidad fotosintética y la salud de la planta. Estos resultados reafirman que la nutrición adecuada no solo impacta en la biomasa aérea, sino también en la calidad del forraje, lo que tiene implicaciones en el valor nutricional del producto final. Es imperativo considerar este parámetro en estrategias de manejo agronómico.

## 6.2. Rendimiento

El análisis de varianza para el rendimiento muestra que el modelo es estadísticamente significativo ( $p=0.0109$ ) con un estadístico  $F=9.72$ , indicando diferencias significativas entre los tratamientos. El coeficiente de determinación ( $R^2=0.49$ ) sugiere que el 49% de la variabilidad en el rendimiento es explicado por los tratamientos, mientras que el coeficiente de variación (6.83%) refleja una buena precisión experimental. La prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) indica que el tratamiento T1 (31.32, grupo "A") presentó un rendimiento significativamente mayor que el tratamiento T2

(27.70, grupo "B"). Estos resultados destacan el impacto positivo del tratamiento T1 sobre el rendimiento.

**Tabla 6**

*Valores del rendimiento promedio expresado en (kg/mv/m<sup>2</sup>) del forraje verde hidropónico*

Tratamiento	Descripción	n	Medias	Error estandar	
T1	Con solución nutritiva La Molina A y B	6	31.32	197.46	A
T2	Sin solución nutritiva	6	27.70	197.46	B

Coeficiente de variación = 6.83

La figura muestra que el tratamiento con solución nutritiva produjo un rendimiento promedio significativamente mayor ( $31.32 \text{ kg/mv/m}^2$ ) en comparación con el tratamiento sin solución nutritiva ( $27.70 \text{ kg/mv/m}^2$ ). Esto confirma que el uso de solución nutritiva tiene un efecto positivo y significativo en el rendimiento, lo que está en concordancia con los resultados estadísticos que respaldan la diferencia entre los tratamientos.

**Figura 9**

*Rendimiento promedio del forraje verde hidropónico*



El rendimiento promedio de 31.32 kg/mv/m<sup>2</sup> en T1, en comparación con los 27.70 kg/mv/m<sup>2</sup> en T2, pone de manifiesto la influencia determinante de los nutrientes en la producción de biomasa. En este contexto, Villalba (2024) reportó un aumento del 18% en el rendimiento de forraje verde hidropónico (FVH) al combinar soluciones nutritivas con concentrados comerciales, lo que evidencia el impacto positivo de una estrategia integrada. De manera similar, Salvador-Castillo et al. (2022) observaron que las soluciones nutritivas incrementaron la biomasa total en cultivos de avena y cebada, confirmando su efectividad en diferentes especies forrajeras. Por otra parte, Gutiérrez & Camacho (2019) señalaron un incremento del 20% en el rendimiento de cultivos tratados con abonos líquidos, atribuyendo este efecto a una mayor eficiencia en los procesos de fotosíntesis y transporte de nutrientes. Asimismo, Trujillo (2022) destacó que el uso de biol al 20% duplicó el rendimiento en sistemas hidropónicos, consolidándose como una alternativa eficaz y sostenible. Finalmente, Candia (2014) reportó un aumento del 15% en el rendimiento al emplear fertilizantes orgánicos, lo que refuerza la importancia de estos insumos en la optimización de la productividad.

El rendimiento es el parámetro más integrador, ya que resume el efecto de todos los factores morfológicos y nutricionales. Estos resultados sugieren que una gestión adecuada de soluciones nutritivas puede ser una herramienta clave para la sostenibilidad y eficiencia de sistemas hidropónicos, especialmente en regiones con recursos limitados.

### 6.3. Valor nutricional

**Tabla 7**

*Características físico químicas de los tratamientos evaluados*

PARÁMETROS	MUESTRA	CON SOLUCIÓN		SIN SOLUCIÓN
		NUTRITIVA (T1)	NUTRITIVA (T2)	
<b>NUTRICIONALES</b>	Código	081-18	080-18	
<b>Humedad</b>	%	95.77	95.15	
<b>Materia Seca</b>	%	4.23	4.85	
<b>Proteína Cruda</b>	%MS	15.63	13.65	
<b>Extracto etéreo</b>	%MS	3.38	2.98	
<b>Fibra detergente neutro</b>	%MS	52.34	48.08	
<b>Fibra detergente ácido</b>	%MS	26.04	23.35	
<b>Lignina</b>	%MS	3.34	3.15	
<b>Cenizas</b>	%MS	4.56	3.79	

En la producción de forraje verde hidropónico, los resultados mostraron que el tratamiento con solución nutritiva (T1) tuvo una mayor calidad nutricional en comparación con el tratamiento sin solución nutritiva (T2). T1 presentó mayores valores de proteína cruda (15.63%), fibra detergente neutro (52.34%), fibra detergente ácido (26.04%), lignina (3.34%) y cenizas (4.56%), así como una mayor retención de humedad (95.77%) frente a T2. Estas diferencias se deben a la disponibilidad de nutrientes esenciales en la solución nutritiva, que optimizan la síntesis de proteínas, el desarrollo estructural y la formación de compuestos esenciales en el forraje. En contraste, T2, al no contar con estos nutrientes, presenta una limitación en el crecimiento y desarrollo, reflejándose en menores valores de calidad nutricional y un mayor contenido de materia

seca (4.85%), debido a la menor retención de agua y biomasa. Esto evidencia la importancia de los nutrientes en el desarrollo del forraje verde hidropónico.

Los resultados obtenidos en cuanto a proteína cruda de 15.63% en T1, en comparación con el 13.65% en T2, destaca la relevancia de los nutrientes en la mejora de la calidad alimenticia del forraje verde hidropónico (FVH). En este sentido, Candia (2014) evidenció que el uso de guano de cuy como fertilizante natural contribuye significativamente al aumento de la calidad proteica del FVH. De manera complementaria, Salvador-Castillo et al. (2022) reportaron un incremento notable en el contenido proteico de cebada y avena tratadas con soluciones nutritivas específicas, confirmando la efectividad de estos insumos. Asimismo, Gutiérrez & Camacho (2019) señalaron que la aplicación de abonos líquidos mejoró tanto los valores de fibra como de proteínas en cultivos de cebada, lo que refuerza la importancia de un manejo nutricional adecuado. Por otro lado, Trujillo (2022) indicó que el uso de biol al 20% permitió aumentar la proteína cruda al 21%, lo cual optimizó significativamente la calidad del alimento. Finalmente, Saavedra (2018) destacó que las soluciones nutritivas incrementaron de forma significativa los niveles de fibra detergente neutra y ácida, lo que repercutió positivamente en la digestibilidad del forraje.

La calidad nutricional es el principal indicador de la utilidad del forraje en sistemas de producción animal. Estos resultados resaltan que las soluciones nutritivas no solo impactan el crecimiento físico, sino que también mejoran las propiedades funcionales del producto, haciéndolo más competitivo frente a otras fuentes alimenticias en términos de costo y sostenibilidad.

## VII. CONCLUSIONES

- ✓ La aplicación de soluciones nutritivas La Molina A y B en el cultivo de forraje verde hidropónico de cebada demostró un impacto positivo significativo en el rendimiento productivo y la calidad nutricional del forraje, optimizando su utilidad como fuente alimenticia en sistemas pecuarios sostenibles.
- ✓ Las soluciones nutritivas favorecieron los parámetros morfométricos del forraje: la altura promedio alcanzó 25.72 cm con tratamiento, en comparación con 22.32 cm sin tratamiento; la longitud promedio de la raíz fue de 5.38 cm frente a 4.38 cm, y la longitud de las hojas fue de 19.45 cm frente a 17.50 cm, evidenciando un desarrollo superior en los cultivos tratados.
- ✓ La aplicación de las soluciones nutritivas La Molina A y B incrementó significativamente el rendimiento y la calidad nutricional del forraje verde hidropónico de cebada, alcanzando un rendimiento promedio de 31.32 kg/mv/m<sup>2</sup>, frente a los 27.70 kg/mv/m<sup>2</sup> obtenidos sin tratamiento, demostrando su efectividad para mejorar la productividad agropecuaria en la región.
- ✓ El contenido de proteína cruda aumentó de 13.65% a 15.63%, mientras que los valores de fibra detergente neutra y ácido pasaron de 48.08% y 23.35% a 52.34% y 26.04%, respectivamente, destacando la mejora en la calidad nutricional del forraje producido con soluciones nutritivas.

## VIII. RECOMENDACIONES

- ✓ Implementar la aplicación sistemática de soluciones nutritivas balanceadas en la producción de forraje verde hidropónico para garantizar un alto rendimiento y calidad, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios locales.
- ✓ Desarrollar programas de capacitación técnica para productores locales sobre el manejo y aplicación de soluciones nutritivas, maximizando los beneficios productivos y reduciendo costos asociados a insumos externos.
- ✓ Ampliar el uso de este modelo productivo a otras especies forrajeras y contextos agroecológicos similares, evaluando su adaptabilidad y beneficios específicos en términos de rendimiento y nutrición.
- ✓ Realizar estudios adicionales para optimizar la formulación de las soluciones nutritivas según las condiciones locales de agua y clima, garantizando su eficiencia y rentabilidad en diversos escenarios de producción.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrosuni. (2024).** *Solución Hidropónica «La Molina» B 100ml.* Lima – Perú: Veterinaria Agrosuni.
- Aguirre, A. C. (2012).** *Técnicas de Producción de Forraje Verde Hidropónico. Técnicas de Producción de Forraje Verde Hidropónico.* Lima – Perú: INIA
- Álvaro, S. C. (2021).** *Forraje Verde.* Santiago Chile: FAO
- Aroni Quintanilla, Y., Arias Quispe, M., Luis Contreras Paco, J., Cordero Fernandez, A., Curasma Ccente, J., Mayhua Mendoza, P., & Marina Vilcapaza Quispe, L. (2024).** *Tiempos de cosecha sobre el valor nutritivo del forraje verde hidropónico de cebada.* Lima – Perú: Rev Inv Vet Perú
- Baca, E. Y. (2019).** *Efecto de tres dosis de soluciones nutritivas en producción hidropónica de tres variedades de fresa (*Fragaria ananassa Duch*) en Centro Agronómico K’ayra.* Cusco – Perú. Repositorio UNSAAC.
- Baldoceda, A. N. (2015).** *Efecto de la modificación morfológica de las espigas en el rendimiento y componentes de rendimiento de líneas mutantes de cebada (*Hordeum vulgare L.*) obtenidas con irradiación gamma.* Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
- Birgi, J. A., Gargaglione, V., & Utrilla, V. (2018a).** *El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*).* Buenos Aires – Argentina ISRN Agronomy, 2018.
- Birgi, J. A., Gargaglione, V., & Utrilla, V. (2018b).** *El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos*

*variedades de cebada (*Hordeum vulgare*). Lima – Perú. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 2012.*

**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.*

**Chavarría, T. A. (2018).** *El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja. (L. E. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Ed.) El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja.* <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941755005/html/index.html>

**Chávez, C. (1999).** *Uso de forraje hidropónico en la alimentación de vacas lecheras.* /Lima – Perú: Universidad Agraria La Molina, Lima.

**Coaquira, G. C. (2018).** *Evaluación de Soluciones Nutritivas y Tiempos de Cosecha, en Cebada Forrajera CV. Nacional (*Hordeum Vulgare L.*), Producida como Forraje Verde Hidropónico, en la Región Arequipa.* Arequipa – Perú. Universidad Católica de Santa María.

**Contreras, J. L., & Tunque, M. (2011).** *Evaluación del rendimiento de la arveja, cebada y trigo en asociación, en la producción de germinados hidropónicos.* Tesis Ing. Zootecnista. UNH. Huancavelica - Perú.

**FAO. (2001).** *Manual técnico de forraje hidropónico. Vol. 1.* Santiago-Chile.

**Gilsanz, J. (2007).** *Hidroponía.* Montevideo - Uruguay.

**Gómez, M. I. (2007).** *Evaluación del Forraje Verde Hidropónico de Maíz y Cebada, con Diferentes Dosis de Siembra para las Etapas de Crecimiento y Engorde de Cuyes.* Riobamba – Ecuador.

**Guevara Hernández, F., U. de V. E. T. S. de I. de T., & Gómez Gil, J., U. de V. E. T. S. de I. de T. (2011).** *Sistema de visión artificial para la clasificación de granos de trigo y cebada.*

Madrid - España. *Spanish Journal of Agricultural Research*

**Gutiérrez, S. F., & Camacho, E. C. (2019).** *Aplicación de abono orgánico líquido aeróbico en la producción de forraje verde hidropónico, en dos variedades de cebada (Hordeum vulgare L.)* La paz - Bolivia en el Centro Experimental de Cota Cota.

**Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950).** El método de cultivo de agua para cultivar plantas sin tierra. *Estación Experimental Agrícola de California.*

**Howard, R. M. (2001).** *Cultivos hidropónicos.* Madrid - España.

**INTA. (2018).** *El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (Hordeum vulgare).* Buenos Aires – Argentina.

**Jiménez. (2013).** *Producción de FVH de trigo y cebada en diferentes épocas de cosecha en la quinta experimental punzara.* Loja - Ecuador.

**Juárez, L. P. (2013).** *producción de forraje verde hidropónico.* Nayarit - México *Revista Fuente nueva época.*

**Loa, G. S. (2019).** Forraje verde hidropónico de cebada (*hordeum vulgare*) y maíz (*zea mays*) en la dieta de cuyes machos (*cavia porcellus*) en recría. Abancay – Perú, *Repositorio Institucional-UNAMBA.*

**López, M. L. (2005).** *Producción de forraje verde hidropónico. tesis, centro de investigación en química aplicada.* Saltillo, Coahuila – México, *centro de investigación en química aplicada*

**Lozano, W. (2023).** *Producción de forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum sativum*), avena (*Avena sativa*) y cebada (*Hordeum vulgare*) bajo efecto de invernadero en San Miguel - Cajamarca.* Cajamarca – Perú, *Universidad Nacional de Cajamarca.*

**Maldonado, R., Álvarez, E., Cristóbal, D., & Ríos, E. (2013).** *Nutrición mineral de forraje verde hidropónico*. Chapingo – México, *Revista Chapingo, Serie Horticultura*.

**Ministerio de Agricultura y Riego. (2020).** *Informe de Desarrollo Rural en el Perú*. Lima – Perú, MINAGRI.

**Murillo, J. S., & Rodríguez, J. A. (2024).** *Diseño y construcción de un sistema de producción de FVH*. Universidad Industrial de Santander.

**Murrieta, F., Ceballos, A., & Peralta, A. (2019).** *Estudio técnico para el análisis de factibilidad del diseño de un invernadero para la producción y comercialización de forraje verde hidropónico en el municipio de Perote, Veracruz-México*

**Ordoñez, E., Idrogo, E., & Corrales, N. (2018).** Soluciones nutritivas para el germinado hidropónico de Hordeum vulgare. Lima-Perú, *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*.

**Panduro, J. L. (2008).** *Contenido nutricional, coeficientes de digestibilidad y energía digestible del forraje verde hidropónico de maíz (Zea mayz L.) en cobayos (cavia porcellus L.)*. Tingo María – Perú, Tesis.

**Ponce-Molina, L., Noroña, P., Campaña Cruz, D. F., Garófalo, J., coronel, J., Jiménez, C., & Cruz Logacho, E. R. (2020).** *LA CEBADA (Hordeum vulgare L.): Quito – Ecuador, Generalidades y variedades mejoradas para la Sierra ecuatoriana*.

**Ramírez, C. A. (2016).** *Efecto de la nutrición sobre la calidad del forraje verde hidroponico en la zona de Alajuela*, Costa Rica.

**Saavedra, D. M. (2018).** *Forraje verde hidropónico de tres variedades de cebada (hordeum vulgare) en la dieta de cuyes (cavia porcellus) en recría*. Abancay – Perú, *Repositorio Institucional - UNAMBA*.

**Salvador-Castillo, J. M., Bolaños-González, M. A., Cedillo-Aviles, A. K., Vázquez-Chena, Y.,**

**Varela-de Gante, S. A., & Meza-Discua, J. L. (2022).** *Efecto de la aplicación de soluciones nutritivas en la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de Avena sativa y Hordeum vulgare. Terra Latinoamericana*

**Sana-Pulido, W., & Velasco-Laiton, Y. (2020).** *Caracterización agro morfológica de cebada (Hordeum vulgare L.) en el Municipio de Chivatá Boyacá, Colombia.* Chivatá Boyacá, Colombia, *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial, SciELO.*

**Sánchez, A. (1997).** *Informes Técnicos de Estadía. Informes Internos de la Dirección Nacional de Empleo (DINAE- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social)* Montevideo-Uruguay.

**Sánchez, R. T. (2012).** *Propuesta de un Modelo de Gestión Tecnológica para la Producción.*  
<https://www.repositorydigital.ipn.mx/bitstream/123456789/6579/1/TESIS.pdf>

**Sicha, J. J. (2023).** *Efecto de soluciones nutritivas y bioestimulantes en producción vertical de lechuga (Lactuca sativa L. Variedad White Boston) en condiciones de fitotoldo.* Cusco - Perú.  
Repositorio UNSAAC.

**Trujillo, G. J. (2022).** *Biol como abono foliar en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare) en la dieta de cuyes (Cavia porcellus) machos en recría.* Abancay – Perú. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

**Tupayachi, G. (2021).** *Efecto de cuatro dosis de humus de lombriz y dos dosis de soluciones nutritivas en producción de col de Bruselas (Brassica oleracea L.).* Cusco – Perú, en Centro Agronómico K’ayra. Repositorio UNSAAC.

.

**Vargas, A. (2015).** *Rendimiento de sorgo y cebada bajo tres densidades de siembra como forraje verde hidropónico.* Repositorio UMSA. Recuperado de UMSA.Bo.

**Villacorta, M. W., & Ticona, E. P. (2022).** *Efecto de dos soluciones nutritivas en dos variedades del cultivo hidropónico de tomate (*Solanum lycopersicum*) en la Estación Experimental Patacamaya.* Repositorio UMSA.

**Villafaña, M. (2014).** *Sustitución de alimento comercial por forraje verde hidropónico en dietas para conejos de engorda en trópico y calidad de carne.* Universidad Del Mar.

**Villalba, A. C. (2024).** *Evaluación del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y concentrado sobre los índices productivos en etapas de crecimiento y engorde en cuyes (*Cavia porcellus*)*

**Pinedo, T. R., Rojas, I. F., & Bautista, C. M. (2020).** *Cultivo de cebada.* Lima Peru: Universidad nacional agraria la molina.

**Ponce, M. L., Noroña, P., Campaña, D., Garofalo, J., Coronel, J., Jiménez, C., & Cruz, E. (2020).** *La cebada ( Hordeum vulgare L.).* Quito - Ecuador: Instituto nacional de investigaciones agropecuarias

## X. ANEXOS

### Anexo 1

*Análisis de la varianza para la variable evaluada: altura de la planta.*

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
ALTURA DE LA PLANTA	12	0.68	0.65	5.28

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	34.75	1	34.75	21.61	0.0009
TRATAMIENTO	34.75	1	34.75	21.61	0.0009
Error	16.08	10		1.61	
Total	50.82	11			

### Anexo 2

*Comparación de medias para la variable evaluada: altura de la planta.*

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.63108**

Error: 1.6076 gl: 10

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	25.72	6	0.52 A
T2	22.32	6	0.52 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

### Anexo 3

*Análisis de la varianza para la variable evaluada: Longitud de raíz.*

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LONGITUD DE RAIZ	12	0.24	0.16	4.74

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.00	1	3.00	10.58	0.0087
TRATAMIENTO	3.00	1	3.00	10.58	0.0087
Error	2.84	10		0.28	
Total	5.84	11			

### Anexo 4

*Comparación de medias para la variable evaluada: Longitud de raíz*

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.68515**

Error: 0.2837 gl: 10

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	5.38	6	0.22 A
T2	4.38	6	0.22 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

## Anexo 5

*Análisis de la varianza para la variable evaluada: Longitud de la hoja.*

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LONGITUD DE HOJA	12	0.61	0.58	4.58

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11.41	1	11.41	15.94	0.0025
TRATAMIENTO	11.41	1	11.41	15.94	0.0025
Error	7.16	10	0.72		
Total	18.56	11			

## Anexo 6

*Comparación de medias para la variable evaluada: Longitud de hoja.*

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.08814**

Error: 0.7155 gl: 10

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	19.45	6	0.35 A
T2	17.50	6	0.35 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

## Anexo 7

*Análisis de la varianza para la variable evaluada: Rendimiento*

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Aj	CV
RENDIMIENTO	12	0.49	0.44	6.83	

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	39.49	1	39.49	9.73	0.0109
TRATAMIENTO	39.49	1	39.49	9.73	0.0109
Error	40.58	10		4.06	
Total	80.07	11			

## Anexo 8

*Comparación de medias para la variable evaluada: Rendimiento.*

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.59142**

Error: 4.0580 gl: 10

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T1	31.32	6	0.82	A
T2	27.70	6	0.82	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 9

### *Fórmula de la solución nutritiva La Molina A y B*

<b>Solución Concentrada A:</b> <b>(para 5.0 litros de agua, volumen final)</b>	<b>Pesos</b>
Nitrato de potasio	550.0 g
Nitrato de amonio	350.0 g
Superfosfato triple	180.0 g
<b>Solución Concentrada B:</b> <b>(para 2.0 litros de agua, volumen final)</b>	<b>Pesos</b>
Sulfato de magnesio	220.0 g
Quelato de hierro 6% Fe	17.0 g
Solución de Micronutrientes	400 ml
<b>Solución Micronutrientes:</b> <b>(para 1.0 litro de AGUA DESTILADA o HERVIDA)</b>	<b>Pesos</b>
Sulfato de Manganese	5.0 g
Ácido Bórico	3.0 g
Sulfato de Zinc	1.7 g
Sulfato de Cobre	1.0 g
Molibdato de Amonio	0.2 g

Fuente: La fórmula de la solución nutritiva La Molina A y B, esta información fue recopilada de su ficha Técnica.

## Anexo 10

### Resultado del Análisis bromatológico



#### LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICOS & SERVICIOS E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD, ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS, ANÁLISIS DE AGUAS: POTABLE, SUPERFICIAL, CALDEROS, EFLUENTES INDUSTRIALES; RIEGO; ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE ALIMENTOS, PLANTAS, ANÁLISIS DE FERTILIZANTES Y ABONOS.

**LAQ&S**

#### INFORME DE ENSAYO N° 221 – 12 – VAR – 2018

##### I.- INFORMACIÓN PRELIMINAR

SOLICITANTE	: EDGAR POLUCO RIVAS
DIRECCIÓN	: Abancay, Apurímac.
PRODUCTO	: CEBADA HIDROPÓNICA
SERVICIO SOLICITADO	: ANÁLISIS BROMATOLÓGICO: humedad, Materia seca, Proteína cruda, Extracto etéreo, fibra detergente neutra y ácido, lignina, cenizas.
CÓDIGO Y REG. DE LABORATORIO:	T1: Con solución nutritiva T2: Sin solución nutritiva
FECHA DE MUESTREO	: 29 de noviembre del 2018
CANTIDAD DE MUESTRA	: 500 gramos aproximado
FECHA DE RECEPCIÓN	: 30 de noviembre del 2018
PERIODO DE CUSTODIA	: 10 días
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS	: 10 de diciembre del 2018

##### II.- RESULTADO DE EL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE LA CEBADA HIDROPÓNICA

Determinación	Unidades de Resultados	T1 Con solución nutritiva	T2 Sin solución nutritiva
<b>Humedad</b>	%	85.77	84.79
<b>Materia Seca</b>	%	0.73	0.85
<b>Proteína Cruda</b>	%MS	4.96	5.06
<b>Extracto etéreo</b>	%MS	0.29	0.22
<b>Fibra detergente neutro</b>	%MS	1.02	0.6
<b>Fibra detergente ácido</b>	%MS	8.25	9.08
<b>Lignina</b>	%MS	55.45	58.54
<b>Cenizas</b>	%MS	14.23	15.2

##### Abreviaturas

% = Porcentaje

N = Nitrógeno

6.25\* = Factor de conversión de Nitrógeno a Proteína

Cal/100g = Calorías por 100g

##### METODOLOGÍA

**Humedad:** Método gravimétrico, secado en estufa a 105 °C por 10 horas.

**Cenizas:** Método gravimétrico, calcinado en mufla a 550 °C.

**Proteína:** Determinación de proteínas totales. Método Kjeldahl.

**Grasa:** Determinación de materia grasa. Método extracción Soxhlet.

**Fibra Cruda:** Digestión con ácido sulfúrico, neutralización con hidróxido de sodio y posterior calcinación.

**Energía Total:** Cálculo.



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME  
EL PRESENTE INFORME, SOLO ES VÁLIDO PARA LA MUESTRA DE LA REFERENCIA

Pág. 1 de 1

## Anexo 11

### *Fotografías*



**Lavado y desinfección de la semilla**



**Remojo de semillas**



**Oreo de semillas**



**Germinación de la semilla**



**Preparación de solución nutritiva LA MOLINA A y B**



**Riego con solución nutritiva**



**Cosecha de forraje verde hidropónico en g/0.6m<sup>2</sup> para ser expresado posteriormente en g/m<sup>2</sup>.**



**Pesado del forraje verde hidropónico**



**Medición de longitud de raíz**