

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Agronomía



TESIS

**“EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) CON
DIFERENTES DOSIS DE BIOL”**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Presentado por el Bachiller:

RICARDO VÁSQUEZ SÁNCHEZ

Asesor:

Dr. ISIDRO RIMARACHIN CABRERA

CAJAMARCA – PERÚ

-2026-

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. **Investigador:** Ricardo Vásquez Sánchez
DNI: 45771884
Escuela Profesional/Unidad UNC: Agronomía
2. **Asesor:** Dr. Isidro Rimarachin Cabrera
3. **Facultad/Unidad UNC:** Ciencias Agrarias
4. **Grado académico o título profesional:**
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
5. **Tipo de Investigación:**
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
6. **Título de Trabajo de Investigación:** "EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) CON DIFERENTE DOSIS DE BIOL"
7. **Fecha de evaluación:** 25/02/2026
8. **Software antiplagio:** ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
9. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 17%
10. **Código Documento:** oid: 3117:560748043
11. **Resultado de la Evaluación de Similitud:** 17%
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 25/02/2026

Firma y/o Sello Emisor Constancia
 Dr. Isidro Rimarachín Cabrera 26676820



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veinte días del mes de febrero del año dos mil veintiséis, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 068-2026-FCA-UNC, de fecha 12 de enero del 2026**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) CON DIFERENTES DOSIS DE BIOL"**, realizada por el Bachiller **RICARDO VÁSQUEZ SÁNCHEZ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las nueve horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las diez horas y quince minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Wilfredo Poma Rojas
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Jorge Ricardo De La Torre Araujo
SECRETARIO

Ing. José Lizandro Silva Mego
VOCAL

Dr. Isidro Rimarachin Cabrera
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios:

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el período de estudio.

A mis padres:

Octavio Vásquez Uriarte Y Ángela Sánchez Vásquez, Si hoy alcanzo esta meta, es gracias a ustedes. Cada logro obtenido lleva su nombre, porque fueron quienes sembraron en mí los valores, la disciplina y el deseo de superación y por enseñarme que el trabajo honesto y la constancia siempre dan frutos.

A mi esposa e hijos:

A mi esposa Lili Zamora Arroyo y a mis tesoros Dairon Yahir Vásquez Zamora y Evelyn Jazmín Vásquez Zamora por su amor y por ser mi fuerza y el motivo más grande de superación.

A mis hermanos:

Por su apoyo constante y amor incondicional.

El autor

AGRADECIMIENTO

A mi Asesor,

Dr. Isidro Rimarachín Cabrera, por su apoyo, tiempo, dedicación y paciencia, en la ejecución de este trabajo.

A aquellas personas

que me brindaron su apoyo en la ejecución del trabajo de investigación.

A mis familiares,

por su afecto, amor, por sus consejos y apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida junto a mi familia.

El autor

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
I.1. Objetivos	2
I.2. Hipótesis de la investigación.....	2
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEORICO	3
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	3
2.2 Bases teóricas.....	5
2.1 Generalidades del cultivo Hidropónico	5
Ventajas	5
Desventajas.....	7
2.2 Importancia de la Hidroponía	7
2.3 Forraje Verde Hidropónico.....	8
3.3 Calidad del forraje verde hidropónico	8
4.3 Factores que influyen en la producción de FVH	10
2.1 Calidad de la semilla.....	10
3.1 Iluminación.....	10
4.1 Temperatura.....	10

5.1	Humedad.....	11
6.1	Calidad de agua de riego	11
5.3	Conducción del Forraje Verde Hidropónico.....	11
4.2	Procesos en la conducción de forraje verde hidropónico	11
3.3	Generalidades de la Cebada.....	14
3.2	Taxonomía de la cebada	15
4.3	Generalidades de Biol.....	16
5.3	Preparación de Biol.....	17
6.3	Propiedades del biol.....	17
3.2	Ventajas del biol	19
4.2	Desventajas del biol.....	21
CAPÍTULO III.		22
MATERIALES Y MÉTODOS.....		22
3.1	localización de la investigación	22
3.2	Materiales	22
3.3	Tipo y diseño de investigación	23
2.3	Tratamientos y factores en estudio	23
3.3.2	Unidad de análisis (muestra)	24
3.4	Metodología	24
3.4.1	Descripción del experimento.....	24
3.4.2.1	Limpieza y desinfección del ambiente, andamios y bandejas	24
3.4.2.3	Preparación y acomodo de bandejas en el andamio.	25
3.4.2.3	Selección y clasificación de semillas.....	25
3.4.2.4	Poder germinativo de la semilla de cebada.	26
3.4.2.5	Lavado y desinfección de semillas	26
3.4.2.6	Remojo y pre-germinación de la semilla	27
3.4.2.7	Traslado de semilla y siembra	27

3.4.2.8 Germinación	27
3.4.2.9 Preparación de las dosis de biol.....	28
3.4.2.10 Riego y aplicación de nutrientes.....	28
3.4.3 Cosecha.....	29
3.4.3.1 Evaluaciones registradas	29
3.4.3.2 Altura de plantas.....	29
3.4.3.3 Longitud del tapete radicular	30
3.4.3.4 Peso de planta/bandeja.....	31
3.4.3.5 Materia seca.....	31
CAPÍTULO IV.	33
RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
1. Porcentaje de germinación	33
2. Altura de plantas.....	33
3. longitud de tapete radicular	37
4. peso de planta/bandeja	41
5. materia seca	44
CAPÍTULO IV.	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
CAPÍTULO V.....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1.- Gasto de agua en producción de forraje en condiciones de campo	6
2.- Comparación entre características del FVH (cebada) y otras fuentes alimenticias.	6
3.- Análisis comparativo de cultivos tradicionales e hidropónicos sin suelo.	7
4.- Características del forraje verde hidropónico	8
5.- Análisis químico del forraje verde hidropónico	9
6.- Comparativo de forraje verde hidropónico frente a otros alimentos.	9
7.- Formas de aplicación del biol.	13
8.-Composición química del biol.	19
10.- Tratamientos en estudio y su respectiva descripción.	23
11.- Análisis de varianza para el efecto de dosis de biol y cantidad de semilla para la altura de planta de cebada.	33
12.- Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de cantidad de semilla en la altura de planta de cebada.	34
13.- Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de dosis de biol en la altura de planta.	35
14.- Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de cantidad de semilla de cebada y dosis de biol en la altura de planta.	37
15.- Análisis de varianza para el efecto dosis de biol y cantidad de semilla en la longitud del tapete radicular.	37
16.- Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto cantidad de semilla en la longitud del tapete radicular.	39
17.- Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto dosis de biol en la longitud del tapete radicular.	39
18.- Prueba de Tukey al 5% de probabilidad para la interacción de los factores cantidad de semilla y dosis de biol en la longitud del tapete radicular.	41
19.- Análisis de varianza para el efecto dosis de biol y cantidad de semilla en el peso de bandeja de forraje verde hidropónico.	41
20.- Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto cantidad de semilla en el peso de bandeja de forraje verde hidropónico.	42

- 21.- Prueba de significación Tukey al 5% de probabilidad para el efecto dosis de biol en el peso de bandeja de forraje verde hidropónico. 43
- 22.- Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para la interacción del efecto dosis de biol y cantidad de semilla en el peso de bandeja de forraje verde hidropónico. 44
- 23.- Análisis de varianza para el efecto dosis de biol y cantidad de semilla en el contenido de materia seca, 44
- 24.- Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto cantidad de semilla en el contenido de materia seca. 45
- 25.- Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto dosis de biol en el contenido de materia seca. 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Tabla	Página
1.- Croquis de distribución de los tratamientos.	24
2.- Preparación y acondicionamiento de las bandejas en el andamio.	25
3.- Selección y clasificación de las semillas de cebada.	26
4.- Desinfección y lavado de semillas.	27
5.- Disposición de la semilla en las bandejas.	28
6.- Aplicación de biol y riego.	29
7.- Evaluación de altura de planta al día 5 después de la siembra.	30
8.- Forraje verde hidropónico a los 14 días después de la instalación.	30
9.- Registro de peso final de bandeja con forraje hidropónico.	31
10.- Preparación de muestra para obtener porcentaje de materia seca en laboratorio.	32
11.- Efecto de la cantidad de semilla en la altura de planta de cebada.	34
12.- Efecto de la dosis de biol en la altura de planta.	35
13.- Interacción del factor cantidad de semilla y dosis de biol en la altura de planta.	36
14.- Efecto de la cantidad de semilla en la longitud del tapete radicular	38
15.- Efecto de la interacción cantidad de semilla y dosis de biol (GxD), en la longitud del tapete radicular.	40
16.- Efecto del factor cantidad de semilla en el peso de bandeja de forraje verde hidropónico.	42
17.- Efecto de la interacción de los factores cantidad de semilla y dosis de biol (GxD) en el peso de la bandeja de forraje verde hidropónico.	43
18.-Efecto de cantidad de semilla en el porcentaje de materia seca.	45
19.- Efecto de la dosis de biol en el porcentaje de materia seca.	46

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en un ambiente del fundo pecuario Tartar de la Universidad Nacional de Cajamarca, en una estructura metálica para forraje hidropónico, con semillas de cebada. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con 3 dosis de biol en Cajamarca. El experimento fue conducido bajo un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3x4, con doce tratamientos y tres repeticiones, cada tratamiento conformado por 1 bandeja de 35 cm x 45 cm, los factores en estudio cantidad de semilla (3 kg/ m², 3.5 kg/m² y 4 kg/ m²) y dosis de biol (0 %, 25 %, 50 % y 75 %); las variables evaluadas fueron altura de plantas, longitud del tapete radicular, peso de planta/ bandeja y materia seca. Los resultados indicaron que la cantidad de semilla y dosis de biol tienen influencia directa con el tamaño de planta, longitud del tapete radicular, peso de planta/ bandeja, pero no afectan a contenido de materia seca. El máximo rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada fue de 21.9 kg/m² con densidad de siembra 4 kg semilla/m², y aplicaciones de biol al 75 %.

Palabras clave: forraje verde hidropónico, dosis de biol

ABSTRACT

The present investigation was carried out in an environment of the Tartar livestock farm of the National University of Cajamarca, in a metallic structure for hydroponic forage, with barley seeds; The objective of the present investigation was to evaluate the performance of green hydroponic barley (*Hordeum vulgare* L.) forage with 3 doses of biol in Cajamarca. The experiment was conducted under a completely randomized design (DCA) with a 3x4 factorial arrangement, with twelve treatments and three repetitions, each treatment consisting of 1 tray of 35 cm x 45 cm, the factors under study amount of seed (3kg / m², 3.5kg / m² and 4kg / m²) and dose of biol (0%, 25%, 50% and 75%); the variables evaluated were plant height, root mat length, plant / tray weight and dry matter. The results indicated that the amount of seed and dose of biol have a direct influence with the size of the plant, length of the root mat, weight of the plant / tray, but do not affect the dry matter content. The maximum yield of green hydroponic barley forage was 23.9 kg / m² with a sowing density of 4kg seeds / m², and 75% biol applications.

Keywords: Hydroponic green forage, dose of biol

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En las regiones andinas de nuestro País, la mayoría de los cultivos son instalados al secano, durante el año se presentan épocas de estiaje, caracterizadas por ausencia de precipitaciones pluviales y fluctuaciones de temperatura, lo que afecta el desarrollo y crecimiento de pastos naturales y cultivados, razón por la cual existe escases de pastos, afectando la alimentación de los animales. A esto se suma la expansión indiscriminada de las actividades agropecuarias, que arrasa con toda la cobertura vegetal, erosionan los suelos y cada vez van contribuyendo a la desertificación de las tierras, afectando así la actividad ganadera.

Uno de los factores limitantes para la crianza de animales mayores y menores es la escasez de forraje y la falta de calidad nutricional en la misma, sobre todo en aquellos sectores que carecen de espacios agrícolas, donde las familias que se dedican a la crianza sobre todo de cuyes, conejos y gallinas los alimentan con residuos de cocina lo cual no cubre las necesidades alimenticias de estos repercutiendo en su desarrollo corporal con bajos pesos vivos y bajos índices productivos, afectando así los ingresos económicos de estos hogares dedicados a dicha actividad.

Ante esta problemática se considera importante dicha investigación ya que la finalidad es generar conocimiento que nos conduzcan a brindar alternativas de producción de forraje verde hidropónico de cebada, sobre todo para las áreas agrícolas reducidas donde es muy limitada la producción de forrajes en campo principalmente por carencia de agua y falta de espacios agrícolas, esto ocurre en zonas rurales con alta densidad poblacional tal como se presenta en nuestra región. Sin embargo, en estas condiciones limitadas es posible la producción de forraje verde hidropónico ya que se puede acondicionar en espacios reducidos haciendo posible la producción agropecuaria y generar ganancias económicas para las unidades familiares.

I.1. OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con Tres Dosis de Biol en Cajamarca.

Objetivos específicos:

1. Determinar la densidad de semilla apta para la producción de forraje verde hidropónico.
2. Determinar la dosis optima de biol para la producción de forraje verde hidropónico de cebada.

I.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El rendimiento de la cebada como forraje verde hidropónico es variable con la dosis aplicada de biol.

Variable dependiente

Rendimiento de la cebada como forraje verde hidropónico

Variable independiente

Dosis aplicada de biol

CAPÍTULO II.

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

A nivel internacional

La producción de germinados está considerada como un sistema hidropónico, debido a que éste se realiza sin suelo, lo que permite producir a partir de semillas colocadas en bandejas, una masa forrajera de alto valor nutritivo, consumible al 100 %, con una digestibilidad de 85 % a 90 % limpio y libre de contaminaciones. Actualmente se considera como un concepto nuevo facilitando la producción de este forraje en periodos cortos y espacios pequeños suministrando directamente a su consumo inmediato después de su cosecha (Bolívar 2015).

La producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) ha sido reconocida como una alternativa eficiente para generar biomasa de alta calidad nutricional en periodos cortos y bajo ambientes controlados. A nivel internacional, el FVH de cebada destaca por su rápida germinación, digestibilidad elevada y uso eficiente del agua (Yurtseven et al., 2020). Investigaciones recientes indican que la cebada hidropónica puede producir hasta 6–8 kg de forraje fresco por kg de semilla, dependiendo del sistema de riego, ventilación y disponibilidad de nutrientes (Kide *et al.*, 2021).

La producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) sirve como un medio para alimentar animales como: Bovinos (*Bos taurus*), Cuyes (*Cavia porcellus*), Ovinos (*Ovis orientalis*) ya que innumerables ocasiones han ocurrido grandes pérdidas económicas como consecuencia de déficit alimentarios o faltas de forraje, henos, ensilajes o granos. (Bolívar 2015).

Choque (2015), Evaluó el Efecto del té de estiércol de llama (*Lama glama*) en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en condiciones controladas, utilizando 4 cuatro dosis de té de estiércol (0%, 25%, 50%, 75%), encontrando que el mayor rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada se alcanzó con la utilización de 75% de té de estiércol, por cada kg de semilla utilizada obtuvo 5.76 kg de forraje verde.

Karaki y Momani (2010) encontraron rendimientos de hasta 281 t/ha en forraje hidropónico

de cebada en 10 días, evidenciando gran potencial productivo de este sistema frente a cultivos tradicionales.

Otra investigación en Patagonia sur (Argentina) midió producción de cebada en sistema Hidroponico y obtuvo rendimientos de biomasa equivalentes a 18-21 kg/m² convertido a hectáreas 180-210 t/ha

A nivel nacional

En los últimos años, se han realizado estudios que confirman el potencial del FVH en sistemas de producción sostenibles en zonas altoandinas.

Gómez (2018), en su investigación titulada: Solución nutritiva de Biol a base de estiércol de Cuy (*Cavia porcellus* L.) Ovino (*Ovis aries*) y Vacuno (*Bos taurus*) en la producción de forraje verde hidropónico de Cebada (*Hordeum vulgare*) en Puno, determinó que la mayor altura de planta (27.13 cm) se alcanzó con aplicaciones de biol a base de estiércol de vacuno al 30%, seguido por el biol a base de estiércol de cuy al 30% con altura de planta de 26.33 cm.

Lozano Romero (2023) comparo la producción de forraje verde hidropónico entre gramíneas como cebada, avena y trigo en Cajamarca, encontrando que la cebada presento altos rendimientos productivos en condiciones de Producción hidropónico.

Trujillo – Cervantes (2023) investigo el efecto de la aplicación de biol como abono foliar en producción de forraje verde Hidropónico de cebada en Abancay, Apurímac. Los resultados mostraron que el uso de biol mejoró variables de crecimiento tanto en altura y peso de Biomasa.

Segura (2024) evaluó FVH de cebada asociado con vicia bajo riego tecnificado y demostró que las especies responden favorablemente a sistemas hidropónicos con buen control ambiental.

2.2 Bases teóricas

2.1 Generalidades del cultivo Hidropónico

La hidroponía es un sistema de producción sin suelo donde las plantas reciben nutrientes directamente desde soluciones nutritivas. Su aplicación en forraje permite obtener alimento fresco en 10–14 días, con alta conversión semilla–biomasa y menor uso de agua en comparación a sistemas tradicionales (Al-Karaki, 2020). El FVH destaca sobre el cultivo en suelo porque permite densidades más altas, control de nutrientes y minimiza problemas de patógenos del suelo (Juárez *et al.*, 2013).

La hidroponía es un sistema de cultivo de alto rendimiento que requiere poco espacio y una mínima cantidad de agua (Bolívar 2015), comenzó en la década de 1930 como resultado de las técnicas de cultivos empleadas por los fisiólogos vegetales en experimentos de nutrición vegetal (Parihuana 2010).

El FVH consiste en la germinación y crecimiento acelerado de semillas de cereales como cebada, maíz, avena o trigo, en un sistema sin suelo. Presenta características nutricionales sobresalientes:

- Digestibilidad: 80–92 %
- Proteína cruda: 13–22 %
- Materia seca: 12–20 %

Estos valores pueden variar según el tipo de semilla, la calidad del agua, el manejo del riego y las características de la solución nutritiva (Yurtseven *et al.*, 2020).

Ventajas

Una de las principales ventajas que tiene la hidroponía sobre el cultivo en tierra es que permite una mayor densidad de plantas por metro cuadrado y por ende obtener un mayor rendimiento, en una cosecha se puede incrementar hasta 10 veces que el cultivo tradicional. Este aumento del rendimiento se produce en menor tiempo y en menor espacio (Beltrano y Gimenez 2015).

- **Ahorro de agua.** Al utilizar el sistema de producción FVH; la pérdida de agua por escurrimiento superficial y evapotranspiración es mínima comparada con la producción convencional de forraje, se emplea menos de 2 L de agua para producir 1 kg de forraje.
- **No es necesaria la rotación de cultivos.** - En estos sistemas no es necesaria la rotación de cultivos como se utiliza en los convencionales, básicamente por la no existencia de suelo y no hay competencia por nutrientes (Gilsanz 2007).
- **Eficiencia en el uso del espacio y menor costo de producción.** Este sistema puede ser instalado por módulos en forma vertical lo que optimiza el uso del espacio útil por metro cuadrado (FAO 2021), el costo de producción de FVH es 10 veces menor comparado con la producción de cualquier forraje en espacios abiertos. Se ha estimado que 170 m² de instalaciones con bandejas modulares en 4 pisos para FVH de avena son equivalentes a 5 Ha con producción convencional de forraje de la misma especie (Juárez *et al.* 2013).
- **Eficiencia en el tiempo de producción.** - La producción de FVH tiene un ciclo de 10 a 14 días, no debería de extenderse de los 12 días, debido a que a partir de ese día el valor nutricional del FVH disminuye (Juárez *et al.* 2013).
- se requieren de un menor número de horas de trabajo con un esfuerzo mínimo, ya que se pueden automatizar consiguiendo así un ahorro en mano de obra y costos (Gilsanz 2007).
- **Calidad del forraje.** - Es un alimento agradable de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y muy apetecible para los animales, su valor nutritivo deriva de la germinación de las semillas, es rico en vitaminas, especialmente A y E, posee una elevada cantidad de hierro, calcio y fósforo, su digestibilidad es alta puesto que la presencia de lignina y celulosa es escasa. El aporte de proteína bruta es de 16 y 20 %, este pasto tiene un aporte de 2.5 MCal de energía metabolizable por kg de MS. (Juárez *et al.* 2013).

Tabla 2. Comparación entre características del FVH (cebada) y otras fuentes alimenticias por Kg de Materia Seca.

Parámetro	UNIDAD DE MEDIDA	FVH (cebada)	Alimento balanceado	Heno	Paja
Energía	Kcal	3.216	3.000	1.680	1.392
Proteína cruda	%	25	30.0	9.2	3.7
Digestibilidad	%	81.6	80	47.0	39.0
Digestible	Kcal	48.8	2.160	400	466
Proteína digestible	Kg/Tm	46.5	216	35.75	12.41

Fuente: Sepúlveda 1994. Citado por FAO (2001).

- **Inocuidad.** – el forraje producido en condiciones adecuadas es limpio e inocuo sin la presencia de plagas ni enfermedades, los animales consumen forraje de buena calidad sin perjudicar los procesos de metabolismo y absorción (Juárez *et al.* 2013).
- **Reducción en aplicación de agroquímicos.** – la aplicación de plaguicidas es reducida por no tener suelo, pero se desarrollan patógenos que viven en medios líquidos. Las plagas pueden tener incidencia similar como en los sistemas tradicionales, pero a medida que se implementan estrategias de control y se dan las mejores condiciones de crecimiento la aplicación de fungicidas y/o insecticidas será mínimo (Gilsanz 2007).

Desventajas

La hidroponía cuenta con algunas desventajas que son casi imperceptibles como son el costo inicial de instalación, y la idea que se requiere un conocimiento mayor para llevar adelante la producción (Beltrano y Gimenez 2015)

Tabla 3. Análisis comparativo de cultivos tradicionales e hidropónicos sin suelo.

Característica	Sobre suelo	Sin suelo
Nutrición de planta	Muy variable	Controlada, estable
Espaciamiento	Difícil de controlar	Fácil de chequear y corregir
Control de malezas	Limitado a la fertilidad	Densidades mayores, mejor uso de espacio y la luz
Enfermedades y patógenos del suelo y nematodos	Presencia de malezas	Prácticamente inexistentes
Agua	Enfermedades del suelo	No existen patógenos del suelo
	Plantas sufren estrés	No existe estrés hídrico
	Ineficiente uso de agua	Pérdida casi nula

Fuente: Universidad de OSAKA 1998 citado por Gilsanz (2007).

2.2 Importancia de la Hidroponía

La hidroponía es fundamental en los sectores o lugares donde el clima es extremo y las condiciones climáticas limitan el crecimiento de las plantas, con esta forma de cultivo se pueden producir alimentos en zonas áridas, tropicales y frías, generando mejoras en el contexto económico, ecológico y social, creando un autoempleo rentable económicamente para las familias de estas regiones, haciendo uso de pocas cantidades de fertilizantes, fungicidas, plaguicidas e insecticidas sin alterar ni agredir el medio ambiente, originando ocupación e ingresos adicionales para los hogares dedicadas a esta actividad (Espinoza 2005).

2.3 Forraje Verde Hidropónico

La obtención de este alimento representa una alternativa en las regiones donde hay limitaciones en cuanto a disponibilidad de agua, factores climáticos o de tierras laborales (Bolívar 2015).

La biomasa vegetal se consigue a partir de la germinación y crecimiento de semillas de cereales. Es de alta digestibilidad, calidad nutricional y es apto para la alimentación animal, se produce en ausencia del suelo y en condiciones protegidas donde se controlan algunas variables ambientales (luz, temperatura y humedad). Usualmente se utilizan semillas de Maíz (*Zea mays*), Avena (*Avena sativa*), Cebada (*Hodeum vulgare*), Trigo (*Triticum sp*) y Sorgo (*Sorghum sp*). (Juárez *et al.* 2013).

3.3 Calidad del forraje verde hidropónico

Este tipo de cultivo representa una excelente alternativa nutricional en general para cualquier animal que tengamos que criar en nuestra granja tales como: cerdos, ovinos, cabras, terneros, vacas de ordeño, ganado de engorde, pollos, gallinas ponedoras, patos, conejos y cuyes (García 2013).

Tabla 4. Características del forraje verde hidropónico

Parámetro	Valor	Unidad
Digestibilidad	80-92	%
Proteína cruda (%)	13-20	%
Fibra cruda	12- 25	%
Grasa	2.8-5.37	%
E.L.N	46-67	%
D.N.T	65-85	%
Vitamina A	25.1	UI/Kg
Vitamina C	45.1-154	Mg/Kg
Vitamina E	26.3	UI/Kg
Calcio	0.11	%
Fósforo	0.30	%
PH	6.0-6.5	%
Palatabilidad	Excelente	
Materia seca	12-20	%

Fuente: García 2013. (E.L.N: Extracto libre de nitrógeno, N.D.T: Nutrientes digestibles totales, UI: Unidades Internacionales o Unidad de medida de la actividad vitamínica.

En general, el FVH presenta alta digestibilidad (80–90%), lo que indica que los animales pueden aprovechar una gran proporción de los nutrientes consumidos.

El pH neutro (6.0) sugiere un alimento estable y apto para el consumo animal. Finalmente, se destaca una palatabilidad calificada como excelente, lo que indica buena aceptación por parte del ganado.

Tabla 5. Análisis químico del forraje verde hidropónico según la parte de la planta

Análisis (%)	Raíces (%)	Tallos (%)	Hojas (%)	Total (%)
Proteína cruda	12.9	27.18	35.28	16.02
Grasa	5.68	4.55	3.76	5.37
Fibra cruda	10.29	26.32	21.50	12.94
E.L.N	69.28	36.78	34.66	62.63
Ceniza	2.56	5.17	4.8	3.03
N.D.T	84.03	61.29	76.26	80.91

Fuente: García (2013).

Las hojas presentan el mayor contenido de proteína cruda (35.28%), debido a su mayor actividad metabólica y concentración de compuestos nitrogenados, las raíces son ricas en Carbohidratos solubles, el tallo presenta mayor concentración de minerales.

Esto confirma que las hojas son la fracción más nutritiva, mientras que las raíces y tallos aportan fibra y energía.

Tabla 6. Comparativo de forraje verde hidropónico frente a los forrajes más usados.

Análisis	F.V.H	Alfalfa	Maíz chala
Proteína %	16-22	17-21	7.5-9.0
Energía NDT %	70-80	60-65	68-72
Grasa %	2.5-5.0	1.8-2.2	1.8-2.0
Digestibilidad %	80-90	65- 70	60-70

El FVH puede ofrecer mayor energía disponible que ambos alimentos.

El FVH muestra superior digestibilidad, lo que significa mejor aprovechamiento de sus nutrientes.

Las tres tablas confirman que el forraje verde hidropónico es un alimento: Altamente digestible, Rico en proteína, Con buen aporte energético y Superando en varios parámetros a alimentos tradicionales como la alfalfa y el maíz chala.

4.3 Factores que influyen en la producción de FVH

2.1 Calidad de la semilla

Una semilla con mayor al 80 % de germinación asegura uniformidad y buen rendimiento del FVH. Semillas limpias, sin residuos ni tratamientos químicos, son fundamentales para evitar problemas de toxicidad o contaminación (FAO, 2021).

El éxito del FVH comienza con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Es recomendable usar semillas de la zona debe estar limpia y tratada con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % (López 2005).

3.1 Iluminación

La luz es crítica para la fotosíntesis desde el tercer y cuarto día del cultivo. Intensidades moderadas aumentan la biomasa aérea sin afectar la humedad del ambiente (Li et al., 2023).

La luz dentro de estos espacios es de vital importancia para la actividad fotosintética en las hojas lo cual se ve reflejado en la síntesis de compuestos como vitaminas de importancia para la alimentación animal (FAO 2021).

La iluminación durante el periodo de la germinación no es necesaria hasta el tercer o cuarto día de sembrada a partir de este tiempo ya se le puede permitir el paso de la luz bien distribuida para una mejor fotosíntesis en las hojas, pero nunca directa ya que esto puede traer consecuencias como aumento de la evapotranspiración, endurecimiento de las hojas y/o quemaduras de las mismas (García 2005).

4.1 Temperatura

Las temperaturas óptimas para la germinación y desarrollo del FVH oscilan entre 18 °C y 26 °C. La cebada prefiere temperaturas más bajas durante germinación y más templadas para su periodo vegetativo (Martínez *et al.*, 2020).

Los granos de avena, cebada, y trigo requieren de temperaturas bajas para germinar, sin embargo, el maíz necesita temperaturas que varían entre los 25 °C y 28 °C (Martínez 2001, citado por FAO 2021).

5.1 Humedad

El ambiente debe mantener una humedad relativa mayor al 85 % para evitar deshidratación. Excesos de humedad sin ventilación favorecen el desarrollo de hongos.

Compatibilizar el porcentaje de humedad relativa con la temperatura óptima es una de las claves para lograr una exitosa producción de FVH (FAO 2021).

6.1 Calidad de agua de riego

Agua potable con baja conductividad eléctrica es ideal para evitar estrés osmótico y garantizar adecuada absorción de nutrientes (FAO, 2021).

El agua debe ser potable, su origen puede ser de pozo, de lluvia, o agua corriente de cañerías; si no es de buena calidad tendremos problemas sanitarios y nutricionales. Es recomendable realizar un análisis químico y en base a ello formular nuestra solución nutritiva (López 2005).

5.3 Conducción del Forraje Verde Hidropónico

El proceso se realiza en contenedores de plástico rígido (charolas) por un período entre 10 y 14 días, solo con riegos de agua hasta que los brotes alcancen un largo de 3 a 4 cm; a partir de ese momento, se continúan los riegos con una solución nutritiva con el fin de proporcionarle los nutrientes necesarios para el óptimo crecimiento del forraje. Con lo cual se obtiene en corto tiempo un alimento limpio para el ganado en cualquier época del año y localidad geográfica.

4.2 Procesos en la conducción de forraje verde hidropónico

Selección de semilla.

El proceso se inicia con la selección de semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) de alta calidad fisiológica, con poder germinativo superior al 85 %, libres de patógenos y material inerte. La FAO (2021) señala que la calidad de la semilla es el principal factor que determina la uniformidad del crecimiento y el rendimiento final del FVH.

Posteriormente, se recomienda lavar y desinfectar las semillas empleando soluciones antifúngicas suaves como hipoclorito de sodio al 1 % durante 15 minutos para reducir la carga microbiana, tal como se sugiere en investigaciones recientes sobre sistemas hidropónicos de forraje (García & Rojas, 2020).

Remojo y activación metabólica

Luego de la desinfección, las semillas se someten a un remojo de 8–12 horas para activar los procesos metabólicos que desencadenan la germinación. Según estudios de la Universidad Nacional de Colombia, mantener la semilla hidratada en este periodo aumenta la síntesis de enzimas hidrolíticas que favorecen la emergencia homogénea (Torres *et al.*, 2019).

Esta etapa consiste en colocar las semillas dentro de una bolsa de tela y sumergirlas completamente en agua limpia por un período no mayor a las 24 horas para lograr una completa imbibición, a las 12 horas de estar las semillas sumergidas proceder a sacarlas y orarlas (escurrirlas) durante 1 hora, cambiar de agua y sumergir nuevamente por 12 horas. Mediante este proceso se estimula el embrión y se induce a una rápida germinación de la semilla, lo que nos asegura un crecimiento inicial vigoroso del FVH, el cambiar el agua facilita y ayuda a una mejor oxigenación de las semillas (FAO 2001).

Siembra y distribución en bandejas

Una vez hidratadas, las semillas se colocan en bandejas previamente lavadas y desinfectadas. La densidad recomendada oscila entre 1.5 y 2.0 kg/m², lo cual permite obtener una masa forrajera compacta sin limitar la aireación entre las radículas (IICA, 2020). La distribución debe ser uniforme para garantizar una lámina homogénea de crecimiento.

Aplicación de biol como solución nutritiva

Investigaciones recientes demuestran que aplicar biol diluido entre 1:20 y 1:30 favorece el desarrollo radicular y la síntesis de clorofila en FVH de cebada, mejorando el rendimiento entre un 10 y 25 % respecto al control sin fertilización (Pacheco *et al.*, 2022). Además, el biol promueve un pH estable y aporta metabolitos que inhiben el desarrollo de hongos patógenos (Huamán & Rivas, 2021).

La aplicación puede realizarse desde el día 3 a 4, cuando la raíz ha emergido completamente, mediante aspersiones ligeras o riego por goteo superficial.

Las soluciones de biol al follaje deben aplicarse en los tramos críticos del cultivo, mojando bien las hojas con 400 a 800 lt ha⁻¹, el biol no debe aplicarse puro, sino en disoluciones con agua, con una concentración del 50 al 75 % (López 2008)

Tabla 7. Formas de aplicación del biol.

DILUCIÓN	BIOL PURO (l)	AGUA(l)
25 %	5	15 (*)
50 %	10	10(*)
75 %	15	5(*)
12.5 %	250cc	750 cc (*)

(*) 20 l de agua Fuente: López (2008).

Diluciones altas (25 %, 50 %, 75 %) requieren volúmenes crecientes de biol puro (5, 10 y 15 litros respectivamente), y cantidades menores de agua en relación con la proporción indicada.

A medida que aumenta el porcentaje de biol, la solución final es más concentrada y aporta una mayor carga de nutrientes

Condiciones ambientales y manejo diario

El crecimiento del FVH depende de controlar parámetros esenciales del ambiente como:

- **Temperatura** óptima: 18–22 °C
- **Humedad relativa:** 60–80 %
- **Fotoperiodo:** 8–12 h/día
- **Riegos ligeros** 2–3 veces al día sin encharcar

Según la FAO (2021), la ventilación debe ser constante para evitar proliferación de hongos y garantizar un balance adecuado de oxígeno en la zona radicular.

Cosecha y evaluación del rendimiento

El forraje suele cosecharse entre 7 y 12 días, cuando alcanza alturas de 18–22 cm. El rendimiento depende de la densidad de siembra, calidad de semilla y composición de la solución nutritiva. Estudios recientes reportan rendimientos entre 7 y 10 kg de FVH por

kilogramo de semilla, con mejores resultados cuando se emplean biofertilizantes como el biol (Pacheco et al., 2022; Huamán & Rivas, 2021).

3.3 Generalidades de la Cebada

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es un cereal perteneciente a la familia Poaceae, ampliamente cultivado a nivel mundial debido a su adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas (FAO, 2021). Es considerado uno de los primeros cultivos domesticados por la humanidad y actualmente ocupa el cuarto lugar entre los cereales más sembrados, después del maíz, trigo y arroz (Zhao *et al.*, 2020).

La cebada destaca por su tolerancia al frío, sequía y suelos con salinidad moderada, lo que la convierte en una especie estratégica en zonas altoandinas y regiones áridas (Mahalingam, 2020). Su cultivo es común en ecosistemas comprendidos entre los 1 800 y 4 000 m s.n.m., siendo una de las especies mejor adaptadas a los climas templados y fríos (Mendoza *et al.*, 2022).

Características botánicas

La planta de cebada presenta un sistema radicular fasciculado, tallos llamados cañas, y una inflorescencia en forma de espiga, constituida por tres espiguillas en cada nudo del raquis (FAO, 2021). Dependiendo del número de granos fértiles por espiguilla, se distinguen dos grandes grupos: cebadas de dos hileras y cebadas de seis hileras (Zhao *et al.*, 2020).

Las semillas poseen alto valor nutricional, destacando su contenido de carbohidratos, proteínas (9–12 %), fibra soluble e insoluble, vitaminas del complejo B y minerales como Mg, P y K (Mahalingam, 2020).

Importancia agrícola y usos

La cebada es utilizada en diversos sectores productivos:

Alimentación animal: en forma de grano, forraje o Forraje Verde Hidropónico (FVH), debido a su alta digestibilidad y contenido energético (Mendoza *et al.*, 2022).

Industria cervecera: principal materia prima del malteo.

Consumo humano: aunque en menor proporción, se emplea en harinas, sopas y alimentos funcionales.

Su ciclo vegetativo relativamente corto y su capacidad para desarrollarse en condiciones adversas la hacen fundamental para la seguridad alimentaria en regiones altoandinas y zonas con escasez hídrica (FAO, 2021).

Cebada y su uso en Forraje Verde Hidropónico (FVH)

La cebada es la especie más utilizada para FVH debido a:

Su rápida germinación (24–48 h).

Su tiempo de cosecha corto (10–14 días).

Su alto rendimiento de biomasa fresca por kilogramo de semilla.

La excelente palatabilidad para bovinos, ovinos y cuyes (Mendoza *et al.*, 2022).

Además, el FVH de cebada presenta proteína entre 12–20 %, excelente digestibilidad y un mayor aporte de vitaminas y enzimas activas en comparación con el forraje convencional (Zhao *et al.*, 2020).

Las hojas son de color verde pálido, lanceoladas, láminas planas a veces dobladas, de 22 a 30 cm de longitud por 1 a 5 cm de ancho, con lígula membranosa y de longitud media, venas abiertas con aurículas largas y puntiagudas que carecen de pelos. Las espiguillas se encuentran unidas directamente al raquis, dispuestas de forma que se recubren unas con otras. Las glumas son alargadas y agudas en su vértice y las glumillas están adheridas al grano, salvo en la cebada conocida como desnuda (Carrera *et al.* 2005).

3.2 Taxonomía de la cebada

La cebada (*Hordeum vulgare*), es una planta anual monocotiledónea, gramínea perteneciente a la familia de las Poáceas, representada por dos especies: *Hordeum distichum* comúnmente llamada cebada cervecera y *Hordeum hexastichon* que se usa como forraje. Siendo un cereal de importancia alimenticia tanto para animales como para humanos (Choque, J. 2005).

Todas las cebadas cultivadas en la actualidad son diploides ($2n = 14$) y pertenecen a la especie *Hordeum vulgare* L. difiriendo unas de otras, entre otros caracteres, en el número de filas de granos que se presentan en la espiga (normalmente 2 o 6) (Lluch 2013).

Según Solano (2013), la cebada se clasifica de la siguiente manera:

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Orden	: Poales
Familia	: Poaceae
Género	: <i>Hordeum</i>
Especie	: <i>Hordeum vulgare</i> L.

4.3 Generalidades de Biol

El biol es un biofertilizante líquido obtenido mediante la fermentación anaeróbica de residuos orgánicos, principalmente estiércoles, restos vegetales y sueros nutricionales. Durante el proceso de biodigestión, los microorganismos descomponen la materia orgánica y liberan compuestos como nitrógeno amoniacal, fósforo soluble, potasio, ácidos húmicos, enzimas y fitohormonas (García & Paredes, 2020). Debido a su alto contenido de nutrientes de rápida disponibilidad, el biol se ha convertido en una alternativa sostenible para la fertilización en sistemas de producción intensiva como el forraje verde hidropónico (FVH).

En el cultivo de FVH de cebada (*Hordeum vulgare*), el biol cumple un rol determinante, ya que contribuye a mejorar el crecimiento de las plántulas durante los primeros días de germinación. Su aplicación, generalmente vía riego o aspersión, favorece la disponibilidad inmediata de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), que estimula la síntesis de proteínas; fósforo (P), fundamental para la formación de raíces; y potasio (K), que regula la turgencia celular y el equilibrio hídrico (Rojas *et al.*, 2021).

Según (Mendoza & López, 2023) La concentración de N-P-K en Biol para sistemas hidropónicos es de:

N: **0.8 – 1.6 %**

P₂O₅: **0.1 – 0.3 %**

K₂O: **1.2 – 3.0 %**

5.3 Preparación de Biol

Para elaborar biol podemos usar cualquier tipo de estiércol y de planta, dependiendo de la actividad ganadera (vacunos, ovinos, camélidos o animales menores) y la diversidad vegetal de nuestra comunidad (Álvarez 2010).

Materiales necesarios

- Estiércol fresco (bovino, caprino o porcino).
- Agua (preferentemente no clorada).
- Melaza o panela (fuente de carbono).
- Restos vegetales picados (opcional).
- Recipiente hermético (tambor plástico de 50–200 L con válvula de salida de gases).
- Manguera para escape de gases o trampa de agua.
- Palo o agitador.

Dosis estándar (por cada 100 L de biol):

Componente	Cantidad típica
Estiércol fresco	20–30 kg
Agua	70–80 L
Melaza o panela	1–2 kg
Ceniza o roca fosfórica (opcional)	0.5–1 kg
Restos vegetales picados (opcional)	1–2 kg

Estas proporciones aseguran el equilibrio carbono–nitrógeno requerido para una fermentación adecuada (Pillco *et al.*, 2020; López, 2018).

6.3 Propiedades del biol

El **biol** es un biofertilizante líquido obtenido mediante la fermentación anaerobia de materiales orgánicos como estiércol, residuos vegetales, sueros, melaza o restos agrícolas.

Su composición y propiedades lo convierten en un insumo altamente eficiente para sistemas de producción intensiva como el forraje verde hidropónico (FVH) de cebada.

Uso del biol en sistemas hidropónicos

En principio se diseñó para agricultura en suelo, estudios recientes demuestran que el biol puede ser adaptado para hidroponía mediante diluciones controladas, evitando problemas de precipitados o exceso de carga microbiana (Ramos *et al.*, 2022).

Dosis entre **25 % y 50 %** suelen generar los mejores resultados en biomasa y contenido proteico del FVH, mientras que concentraciones mayores pueden generar fitotoxicidad o disminución del crecimiento (Urresta & Gómez, 2020).

Propiedades nutricionales

Aporta macro y micronutrientes como Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y Mn, necesarios para funciones enzimáticas y estructurales (García *et al.*, 2020).

Propiedades bioestimulantes

El biol posee compuestos que estimulan el metabolismo vegetal:

- Fitohormonas naturales como auxinas, giberelinas y citoquininas (Paredes & Delgado, 2021).
- Ácidos húmicos y fúlvicos, que mejoran la absorción de nutrientes.
- Enzimas activas que pueden acelerar la germinación y el enraizamiento.

Propiedades fisicoquímicas

El biol presenta características que favorecen su uso en sistemas hidropónicos:

- pH ligeramente ácido o neutro (6.0–7.0), adecuado para cebada.
- Conductividad eléctrica moderada, lo que permite ajustar dosis para evitar salinización.
- Alta solubilidad, favoreciendo su incorporación a soluciones nutritivas.

Tabla 8. Composición química del biol.

Muestra	K (%)	Mg (%)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Co (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	pH	C.E (mS.cm ⁻¹)	Densidad (g.cm ⁻³)	NT (%)	P2O5 (%)	S.T (%)
Bovino	0.06	0.032	0.1	0.1	3.9	0.5	0.5	6.91	6.7	1	0.25	0.17	2.86
Cerdo	0.04	0.013	0.2	0.1	1.6	0.8	0.6	7.29	10.3	0.97	0.41	0.05	0.48

- Fuente: (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 2015) Donde C. E=Conductividad eléctrica, NT=Nitrógeno total, P2O5=Pentóxido de fosforo; S.T-Sólidos totales.

En cuanto a los **micronutrientes**, el biol porcino presenta valores ligeramente superiores en cobre (0.2 mg·kg⁻¹) y manganeso (0.8 mg·kg⁻¹), lo que podría favorecer procesos de activación enzimática y resistencia fisiológica. El biol bovino, por su parte, destaca por contenidos mayores de hierro (3.9 mg·kg⁻¹) y zinc (0.6 mg·kg⁻¹), elementos fundamentales para la síntesis de clorofila, el crecimiento radicular y la fotosíntesis.

Actividad antifúngica y antibacterial

Diversos estudios evidencian que el biol posee metabolitos antimicrobianos capaces de reducir la presencia de hongos y bacterias fitopatógenas como *Fusarium*, *Pythium* y *Rhizoctonia* (López *et al.*, 2022).

3.2 Ventajas del biol

Según Mosquera (2010) el biol es un abono orgánico que no contamina el suelo, agua, aire ni los productos obtenidos de las plantas, es de bajo costo, se produce en la misma parcela y emplea los recursos locales.

- Se logra incrementar hasta 30 % en la producción de los cultivos sin emplear fertilizantes químicos.
- Se puede elaborar biol en cualquier terreno donde se almacenan los residuos agrícolas, desde el nivel del mar hasta los 3600 msnm o más dependiendo de las condiciones de frío extremo que retarda o impide la fermentación.
- Promueve las actividades fisiológicas y estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas.

- Aumenta el rendimiento y mejor la calidad de los productos
- Mejora el vigor del cultivo, lo cual ayuda a soportar con mayor eficacia el ataque de plagas y enfermedades.
- Promueve la recuperación del cultivo luego de un daño por heladas y/o granizadas.
- Es un producto orgánico porque solo se requiere insumos naturales para su elaboración.
- No existe una receta única para su elaboración, los ingredientes pueden variar.
- Tiene bajo costo
- Su aplicación es fácil y no se necesita de protección.

Aporte rápido y equilibrado de nutrientes

El biol contiene nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes en formas fácilmente asimilables por las plantas.

Su uso mejora la formación de tejido vegetal y favorece un crecimiento inicial vigoroso del FVH (Pillco, Mamani & Huamán, 2020; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2015).

Estimula el crecimiento y la actividad fisiológica

Durante la fermentación, el biol desarrolla fitohormonas naturales como auxinas, citoquininas y giberelinas, las cuales estimulan el crecimiento vegetal.

Estas sustancias aumentan la tasa de germinación, aceleran el desarrollo de brotes y mejoran el crecimiento general del FVH de cebada (López, 2018; García & Núñez, 2019).

Incrementa el valor nutritivo del forraje

El uso de biol incrementa el contenido de proteínas, clorofila, vitaminas y minerales en el forraje.

Se ha reportado un aumento significativo en la proteína cruda y energía digestible cuando se aplica biol en soluciones nutritivas hidropónicas (Pillco *et al.*, 2020)

Aumenta el rendimiento y la biomasa

El biol contribuye a una mayor producción de materia verde debido a su combinación de nutrientes, microorganismos y sustancias bioestimulantes.

Estudios demuestran que el biol puede incrementar el rendimiento del FVH entre un 15 y 35 %, mejorando la longitud de brote, densidad de masa verde y peso por bandeja (Castro, Rojas & Huamán, 2021; López, 2018).

Mejora la salud del sistema radicular

Los microorganismos benéficos presentes en el biol facilitan la descomposición de nutrientes y la absorción radicular, además de fortalecer la tolerancia de la planta a condiciones de estrés.

Estos microorganismos también suprimen microorganismos patógenos del sustrato hidropónico (García & Núñez, 2019)

Seguridad ambiental y reducción de costos

El biol es un insumo económico, biodegradable y de bajo impacto ambiental. Su uso disminuye la dependencia de fertilizantes químicos y reduce los costos de producción, siendo compatible con sistemas agroecológicos.

Esto lo convierte en una alternativa sostenible y accesible para pequeños y medianos productores (López, 2018; Castro *et al.*, 2021).

4.2 Desventajas del biol

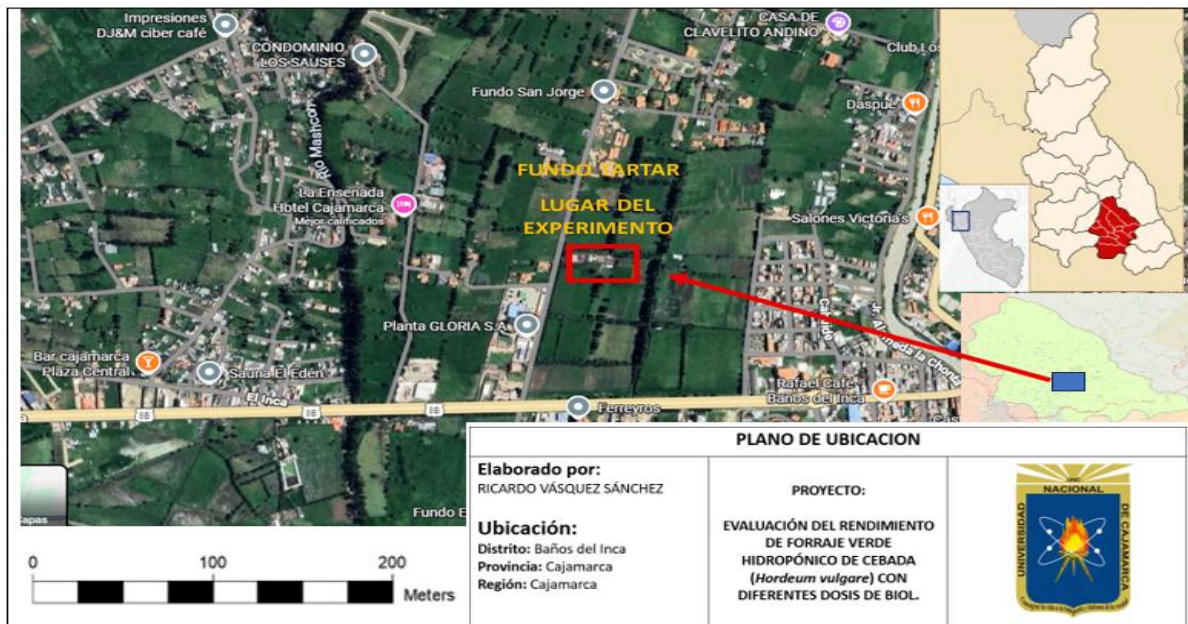
- El tiempo de elaboración puede variar entre uno a tres meses dependiendo de la temperatura ambiental del lugar, por ende, puede dificultar su disponibilidad para una aplicación oportuna.
- Cuando el Biol está en proceso de descomposición, mantiene un olor desagradable.

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 localización de la investigación

La presente investigación se realizó en el fundo pecuario Tartar de la Universidad Nacional de Cajamarca, el cual está ubicado en el distrito de Los Baños del Inca a una altitud de 2636 msnm, y entre las coordenadas 07° 10' de latitud Sur y 78° 30' de longitud Oeste; con una precipitación promedio anual de 660 mm, humedad relativa promedio anual de 74 % y temperatura promedio anual de 14°C.



3.2 Materiales

a. Material experimental

- Semillas de cebada (*Hordeum vulgare*)
- Abono orgánico: Biol
- Desinfectantes: hipoclorito de sodio.

b. Equipos y materiales

- Soporte metalito, balanza analítica (Mettler Toledo), termo-higrómetro, estufa (Menmert de 225 °C), cámara fotográfica.

- Se usó 12 bandejas por cada tratamiento haciendo un total de 36 Bandejas de plástico en los tres tratamientos (charolas 35 cm x 45 cm), recipientes de plástico, coladores, papel periódico, malla rashell, plástico negro, sacos, papel secante, guardapolvos, tijeras de podar, regla graduada, papel bond, bolígrafos.

3.3 Tipo y diseño de investigación

Se utilizó el Diseño Estadístico Completamente al Azar (DCA), bajo arreglo factorial 3×4 con 12 tratamientos y 3 repeticiones, cada tratamiento conformado por 1 bandeja.

Al existir diferencias significativas, los promedios de las mediciones se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5 %.

2.3 Tratamientos y factores en estudio

Factor G	Dosis (kg/m ²)	Semilla por bandeja (g)
g1	3.0	473
g2	3.5	551
g3	4.0	630

Factor D: dosis de biol

d₁ = 0 % de biol

d₂ = 25 % de biol

d₃ = 50 % de biol

d₄ = 75 % de biol

Tabla 10. Tratamientos en estudio y su respectiva descripción.

Factor	Tratamientos	Clave	N° de Tratamiento
cantidad de semilla	3.00 kg + 0 % de biol	g ₁ d ₁	T1
	3.00 kg + 25 % de biol	g ₁ d ₂	T2
	3.00 kg + 50 % de biol	g ₁ d ₃	T3
	3.00 kg + 75 % de biol	g ₁ d ₄	T4
Dosis de biol	3.50 kg + 0 % de biol	g ₂ d ₁	T5
	3.50 kg +25 % de biol	g ₂ d ₂	T6
	3.50 kg +50 % de biol	g ₂ d ₃	T7
	3.50 kg + 75 % de biol	g ₂ d ₄	T8
	4.00 kg + 0 % de biol	g ₃ d ₁	T9
	4.00 kg + 25 % de biol	g ₃ d ₂	T10
	4.00 kg + 50 % de biol	g ₃ d ₃	T11

4.00 kg + 75 % de biol	g ₃ d ₄	T12
------------------------	-------------------------------	-----

Fuente: Elaboración propia

Croquis de distribución de los tratamientos en estudio

REPETICIÓN 1	T1	T4	T8	T2	T10	T9	T7	T6	T12	T5	T3	T11
REPETICIÓN 2	T3	T11	T2	T5	T10	T6	T7	T12	T4	T9	T1	T8
REPETICIÓN 3	T10	T5	T2	T8	T9	T4	T11	T12	T6	T1	T3	T7

Figura 1. Croquis de distribución de los tratamientos.

3.3.2 Unidad de análisis (muestra)

Muestra: 36 bandejas de forraje hidropónico (35 cm x 45 cm).

Características del experimento

Número de tratamientos	: 12
Número de repeticiones	: 3
Número factores	: 2

3.4 Metodología

3.4.1 Descripción del experimento

El estudio se realizó en un ambiente cerrado, bajo sombra para evitar daños por fuertes vientos, lluvias, animales e insectos, donde se mantuvo baja temperatura controlada, buena ventilación y oscuridad para facilitar la germinación antes de disponer en las bandejas.

3.4.2 Actividades Desarrolladas

3.4.2.1 Limpieza y desinfección del ambiente, andamios y bandejas

Con la finalidad de evitar la aparición y proliferación de patógenos, se realizó la limpieza del ambiente y desinfección de las bandejas, para lo cual en un balde por cada litro de agua se

diluyo 10 ml de hipoclorito de sodio, luego con un aspersor manual se procedió a humedecer las paredes y piso de todo el ambiente.

Con la ayuda de un paño de algodón se froto con la disolución de hipoclorito de sodio (0.1%) la superficie del andamio y de todas las bandejas, luego se procedió a enjuagar con agua corriente limpia.

3.4.2.3 Preparación y acomodo de bandejas en el andamio.

Dentro del ambiente se acondicionó el andamio y luego las bandejas respectivas, cada una de ellas identificada con su respectivo código para su diferenciación al momento de las evaluaciones y toma de medidas.



Figura 2. Acondicionamiento de las bandejas en el andamio.

3.4.2.3 Selección y clasificación de semillas

Las semillas de cebada se adquirieron de agricultores del caserío de Puylucana del distrito de Baños del Inca, luego se procedió a retirar las impurezas como basuras, piedras, paja, tierra, semillas dañadas, semillas de otras plantas que no concuerdan con las características deseables para ser utilizadas como semillas (Parihuana 2010), posteriormente se les paso por un tamiz para descartar las semillas de menor tamaño.



Figura 3. Selección y clasificación de las semillas de cebada.

3.4.2.4 Poder germinativo de la semilla de cebada.

Se realizaron 3 siembras de 100 semillas cada una en papel humedecido con agua destilada y transcurridos 5 días después nos da como resultado en promedio 86 semillas germinadas de un total de 100, donde el poder germinativo resulta de dividir cantidad de semillas germinadas entre total de semillas sembradas multiplicado por 100, dándonos un poder germinativo de 86% para este estudio, lo cual nos indica que se encuentra dentro del rango de buena calidad.

3.4.2.5 Lavado y desinfección de semillas

Después de haberlas seleccionado, las semillas se introdujeron en una solución de hipoclorito de sodio al 1 % (10 ml de solución de cloro comercial en un 1l de agua), dejándolas sumergidas durante 2 minutos, con la finalidad de eliminar microorganismos patógenos, finalizado este tiempo se procedió a enjuagar las semillas con agua limpia para eliminar los residuos de hipoclorito de sodio (Navarrete 2008) y dejarlas bien limpias.



Figura 4. Desinfección y lavado de semillas.

3.4.2.6 Remojo y pre-germinación de la semilla

La semilla lavada y desinfectada se sumergió en baldes con agua limpia, se dejó por un período de 24 horas, realizando el cambio de agua después de las 12h y dejando orear durante 20 minutos y volver a sumergir por 12h más, este procedimiento se realizó con la finalidad de lograr una completa imbibición, cambiando el agua que se vea turbia como lo indica Parihuana (2010).

Después de permanecer dentro del agua, se extrajo las semillas y se colocó sobre sacos (costales) limpios extendidos para orearlos por un lapso de 24 horas. Este proceso es efectivo para inducir una rápida germinación de la semilla a través del estímulo que estamos efectuando a su embrión (Navarrete 2008).

3.4.2.7 Traslado de semilla y siembra

Se colocaron las semillas en las bandejas de un tamaño de 1575 cm^2 (35 cm x 45 cm), tratando de formar una capa uniforme de 1.5 cm de espesor, posteriormente se realizó la aplicación del biol según cada tratamiento establecido en el croquis.

3.4.2.8 Germinación

Para lograr una adecuada germinación, las bandejas fueron cubiertas con un plástico negro con la finalidad de dar sombra y conservar la humedad para completar su proceso de germinación, al tercer día se retiró el plástico para dar mayor ventilación y evitar proliferación de hongos patógenos, así como permitir el paso de luz difusa para su desarrollo de las plántulas.



Figura 5. Disposición de la semilla en las bandejas.

3.4.2.9 Preparación de las dosis de biol

Para los tratamientos con dosis de 25%, por cada litro de agua se mezcló 25ml de biol, para la dosis de 50% se agregó 50ml de biol y para los tratamientos con dosis de 75% se agregó 75ml de biol respectivamente.

3.4.2.10 Riego y aplicación de nutrientes

Luego de ubicar las semillas en las bandejas con un aspersor manual se suministró agua evitando que se movieran las semillas. El riego se realizó con una frecuencia de 2 horas y según las condiciones climáticas.

La aplicación de biol se realizó al día 5 después de la siembra cuando la planta ya presento tejido suficiente para la absorción de nutrientes, la segunda aplicación se realizó al día 8 y una tercera al día 12. Esta aplicación de biol se realizó en el último turno de riego del día para su mejor aprovechamiento de la planta.

El Biol mejora el crecimiento vegetativo, es mucho más económico para el productor, en comparación con fertilizantes químicos el es muy amigable con el medio ambiente, mejorando la fertilidad a largo plazo y evitando la acumulación de sales en las plantas. Destacando de esta manera por ser un producto netamente orgánico.



Figura 6. Aplicación de biol y riego.

3.4.3 Cosecha

Se realizó la cosecha después de los 15 días de la siembra para medir el rendimiento final del de la producción de este estudio.

3.4.3.1 Evaluaciones registradas

Después de la instalación del experimento las evaluaciones se realizaron al día 7 y al día 15 después de la siembra.

3.4.3.2 Altura de plantas

Se tomaron 20 plantas en forma aleatoria de cada unidad experimental (cada bandeja) considerándose desde la base del tallo, esta evaluación se realizó al día 15 después de la siembra, justo en el mismo día que se realizó la cosecha.



Figura 7. Evaluación de altura de planta al día 5 después de la siembra.

3.4.3.3 Longitud del tapete radicular

Se tomaron 20 plantas en forma aleatoria de cada unidad experimental al día 15, se midió la altura de crecimiento del tapete radicular haciendo uso de una regla graduada.



Figura 8. Forraje verde hidropónico a los 14 días después de la instalación.

3.4.3.4 Peso de planta/bandeja

Al día 15 después de la siembra, se pesó toda la masa de cada unidad experimental y se expresó en kg.



Figura 9. registro de peso final de bandeja con forraje hidropónico.

3.4.3.5 Materia seca

De cada tratamiento se extrajo 3 muestras, se pesó inmediatamente incluyendo raíces y semillas, luego se colocó en bolsas de papel y se llevó a la estufa a una temperatura de 60°C durante 24 h y después se sacó de la estufa y se procedió a pesar.

Una vez seleccionada la bandeja, del centro de la misma se extrajo la muestra, las mismas que fueron pesadas inmediatamente antes de llevar al laboratorio.



Figura 10. Preparación de muestra para obtener porcentaje de materia seca en laboratorio.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

1. Porcentaje de germinación

Los resultados encontrados en este estudio indican que las semillas de cebada presentan la mayor germinación a los 5 días con un 86%, estos resultados obtenidos en el presente estudio son mayores en días de germinación a los reportados por Gonzales y Mendoza (1994), donde obtuvieron que la germinación de la avena entre 3 y 4 días con una temperatura de 20 °C. En condiciones de laboratorio (Delgado 2016).

2. Altura de plantas

El Análisis de Varianza (ANVA) para la variable altura de planta (Tabla 11), indica que existe alta significación estadística para los factores cantidad de semilla (G) y dosis de biol (D), porque las F calculadas superan a las F tabulares en las probabilidades de 1 y 5 %, respectivamente, también se observa que existe significación estadística para la interacción de factores (G x D), lo que nos indica que los factores actúan dependientemente.

Tabla 11. Análisis de varianza para el efecto de dosis de biol y cantidad de semilla para la altura de planta de cebada.

FV	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0.05	0.01
Cantidad de semilla	2	188.79	94.39	25.54**	3.27	5.27
Dosis de biol	3	105.9	35.3	9.55**	2.87	4.4
Semilla*Dosis	6	70.34	11.72	3.17*	2.37	3.365
Error	24	88.71	3.7			
Total	35	453.74				

CV = 8.13 %

El valor del coeficiente de variación (CV = 8.13 %), indica la variabilidad de los resultados en la altura de planta, esta variabilidad probablemente se atribuya al material experimental (semillas) asociados a otros factores como temperatura. Producto de esta variación se encontró diferentes alturas de planta.

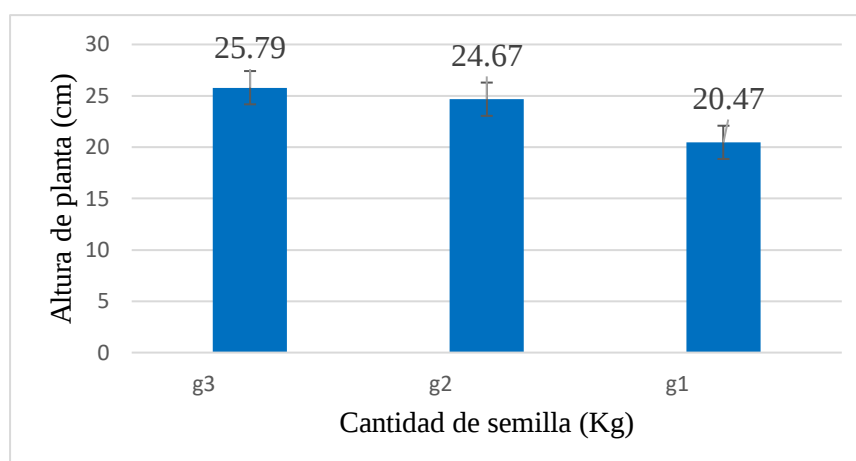


Figura 11. Efecto de la cantidad de semilla en la altura de planta de cebada.

La prueba de rango múltiple de Tukey al 5 % de probabilidades (Figura 11 y tabla 12), indica que la altura de planta tiene relación directa con la cantidad de semilla utilizada es decir a mayor cantidad de semilla, la altura de la planta también será mayor, se alcanzó un promedio de 25.79 cm de altura de planta con densidad de siembra de 4 kg/m² de semilla (g3), seguido por 3.5 kg/m² (g2) con un tamaño de 24.67 cm de altura y finalmente con densidad de 3 kg/m² alcanzaron solo 20.47cm, respectivamente. Datos que coinciden con Carhuapoma *et al.* (2014) quien reporta valores desde 25.51 cm a 28.14 cm en tres variedades de cebada con uso de soluciones nutritivas.

Tabla 12. Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de cantidad de semilla en la altura de planta de cebada.

Cantidad de semilla	Medias	Significación
g3	25.79	A
g2	24.67	A
g1	20.47	B

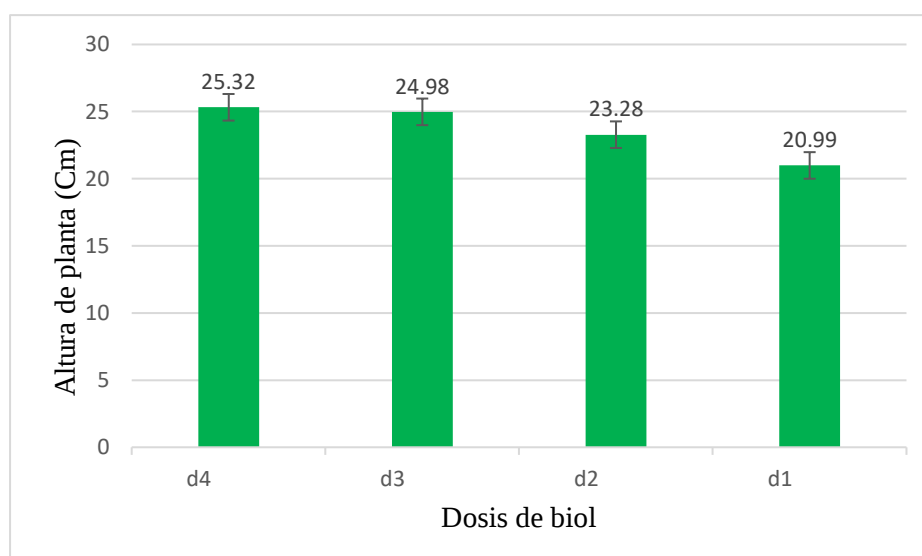


Figura 12. Efecto de la dosis de biol en la altura de planta.

El incremento de altura de planta es directamente proporcional a la dosis de biol utilizada como se observa (figura 12 y tabla 13). Porque al aumentar la dosis del biol, también aumenta la altura de la planta, con dosis de biol a 75 % (d4) las plantas alcanzaron una altura promedio de 25.32 cm, con dosis de 50 % de biol (d3) una altura de 24.98 cm y finalmente con dosis de 25 % de biol (d2) estas solo alcanzaron un promedio de 23.28 cm, diferenciándose del testigo quien alcanzó una altura de 20.99 cm. Nuestros valores son similares con Delgado (2016), quien reporta al cultivo de avena hidropónica con tres métodos diferentes, encontrando que el método FAO obtuvo 27.4 cm, seguido por el método de La Molina con 26.3 cm. y finalmente el método Tarrillo con 24.5 cm. Al respecto Choque (2015), indica que el factor de dosis tiene influencia de forma directa en el crecimiento del forraje hidropónico de cebada.

Tabla 13. Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de dosis de biol en la altura de planta.

Dosis de biol	Medias	Significación
d4	25.32	A
d3	24.98	A
d2	23.28	B
d1	20.99	B

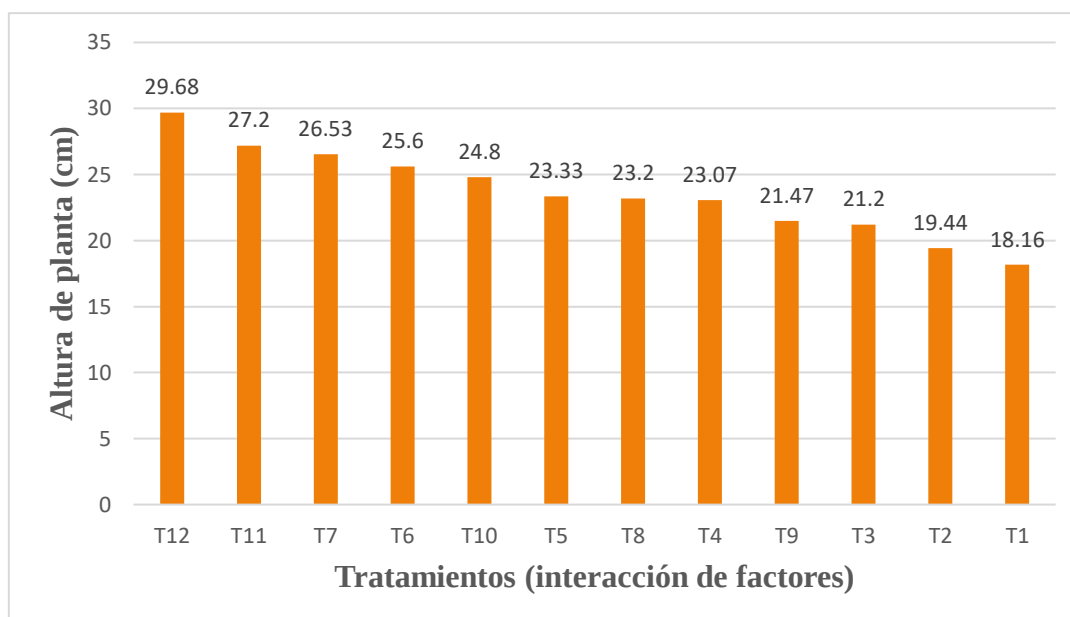


Figura 13. Interacción del factor cantidad de semilla y dosis de biol en la altura de planta.

En la tabla 14 y figura 13, de la prueba de rango múltiple Tukey al 5 %, podemos observar que el tratamiento T12 (4 kg/semilla y 75 % biol), T11 (4 kg/semilla y 50 % biol), T7 (3.5 kg/semilla y 50 % biol), T6 (3.5 kg/semilla y 25 % biol) y T10 (4 kg/semilla y 25 % biol), tienen un comportamiento estadístico similar, pero numéricamente son superiores a los demás tratamientos, con alturas promedio de 29.68 cm, 27.2 cm, 26.53 cm, 25.6 cm y 24.8 cm, respectivamente, siendo el tratamiento T12 el que superó al resto de tratamientos, porque es el tratamiento que tiene más densidad de semilla y mayor cantidad de concentración de biol (4 Kg de semilla y un 75 % de Biol).

De lo descrito anteriormente para este estudio se puede deducir que los mejores resultados en altura de plantas de cebada como forraje verde hidropónico se obtienen utilizando densidades de siembra de 4 kg/m² de semilla y realizando aplicaciones de biol a una concentración de 75 %, seguido por densidades de siembra de 3.5 kg/m² con aplicación de biol a concentraciones del 50 %. García (2005) reportó alturas de planta de 27.66 cm utilizando 1.5 kg semilla/0.27 m² con aplicaciones de líquido de lombriz puro y 24.16 cm con uso de líquido de composta al 100 %.

Tabla 14. Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de cantidad de semilla de cebada y dosis de biol en la altura de planta.

Tratamien to	Cantidad de semilla	Dosis de biol	Medias	Significación				
T12	g3	d4	29.68	A				
T11	g3	d3	27.2	A	B			
T7	g2	d3	26.53	A	B	C		
T6	g2	d2	25.6	A	B	C		
T10	g3	d2	24.8	A	B	C	D	
T5	g2	d1	23.33		B	C	D	E
T8	g2	d4	23.2		B	C	D	E
T4	g1	d4	23.07		B	C	D	E
T9	g3	d1	21.47			C	D	E
T3	g1	d3	21.2			C	D	E
T2	g1	d2	19.44				D	E
T1	g1	d1	18.16					E

3. longitud de tapete radicular

El ANVA para la variable longitud del tapete radicular (Tabla 13), indica que existe significación estadística para el factor cantidad de semillas (G) y para la interacción de los factores (G x D) cantidad de semilla (G) y dosis de biol (D) puesto que las F calculadas superan a las F tabulares en la probabilidad de 1 %, respectivamente. Esto evidencia que la cantidad de semilla y la interacción de cantidad de semilla y dosis de biol tienen un efecto significativo en el valor de la longitud del tapete radicular. También observamos alta significación para el factor dosis de biol, por lo que la longitud del tapete radicular esta depende de las dosis de biol.

Tabla 15. Análisis de varianza para el efecto dosis de biol y cantidad de semilla en la longitud del tapete radicular.

FV	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0.05	0.01
Cantidad de semilla	2	4.36	1.33	3.31*	3.27	5.27
Dosis de biol	3	3.3	2.18	5.43*	2.87	4.4
Semilla*Dosis	6	6.95	1.1	2.74*	2.37	3.365
Error	24	9.64	1.16	2.88		
Total	35	24.24	0.4			

CV = 9.49 %

El valor del coeficiente de variabilidad es de 9.49 %, evidencia la variabilidad de la longitud del tapete radicular, lo que nos demuestra que los resultados son confiables y el experimento ha sido adecuadamente conducido.

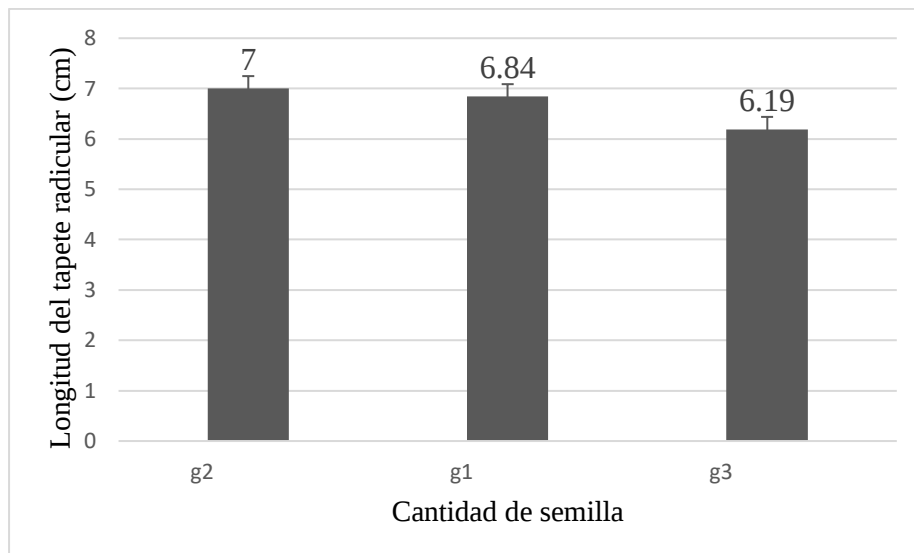


Figura 14. . Efecto de la cantidad de semilla en la longitud del tapete radicular

Debido a la existencia de significación para el factor cantidad de semilla (G), se realizó la prueba de Tukey al 5 % (tabla 16 y figura 14), la cual nos indica que el efecto del nivel g2 (3.5 kg/m² semilla de cebada) es estadísticamente similar al nivel g1 (3 kg/m² semilla de cebada), y éste a la vez es similar nivel g3 (4 kg/m² semilla de cebada) y g1.

Podemos decir que la longitud del tapete radicular es mayor cuando se utiliza dosis intermedia de semilla de cebada (3.5 kg/m²) obteniendo un promedio de longitud de raíz de 7 cm, al utilizar densidad baja (3 kg/m² semilla) este alcanzó un tamaño de 6.84 cm y al utilizar densidades mayores (4 kg/m² semilla) la longitud del tapete radicular es de 6.19 cm menor tamaño que las anteriores, estos resultados nos indican que la longitud de la raíz no es proporcional con la altura de planta, ya que existen casos que las plantas que alcanzan promedios de tallos de 20 cm, pero con el tamaño de raíz de 4 cm, esto es debido a la densidad de siembra ya que el espacio para el desarrollo de raíces es reducido (Choque 2015), ya que estas tienden a entrelazarse unas con otras.

Nuestros datos son mayores que los reportados por Gómez (2017), quien reporta longitud promedio de raíz de cebada a una densidad de siembra de 0.5 kg/bandeja una longitud de

5.54 cm, a densidades de 0.75 kg/bandeja 5.49 cm de longitud y a densidades de 1kg/bandeja 5.44 cm respectivamente.

Tabla 16. Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto cantidad de semilla en la longitud del tapete radicular.

Cantidad de semilla	Medias	Significación	
g2	7	A	
g1	6.84	A	B
g3	6.19		B

En la tabla 15, se puede observar que todos los niveles de los factores son estadísticamente similares, pero el factor d4 (75 % de biol) supera numéricamente al resto de niveles alcanzando una longitud promedio de 7.03 cm, por lo que sería el mejor. Datos encontrados son superiores a los reportados por Delgado (2016) en el cultivo de avena utilizando tres métodos diferentes en cuanto aplicaciones de soluciones nutritivas, el mayor valor alcanzado fue de 3.79 cm (método Tarrillo), seguido por el menor 3,48 cm (método La Molina) y el más bajo valor fue de 3.31 cm (método FAO).

Tabla 17. Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto dosis de biol en la longitud del tapete radicular.

Dosis de biol	Medias	Significación
d4	7.03	A
d3	6.85	A
d2	6.58	A
d1	6.23	A

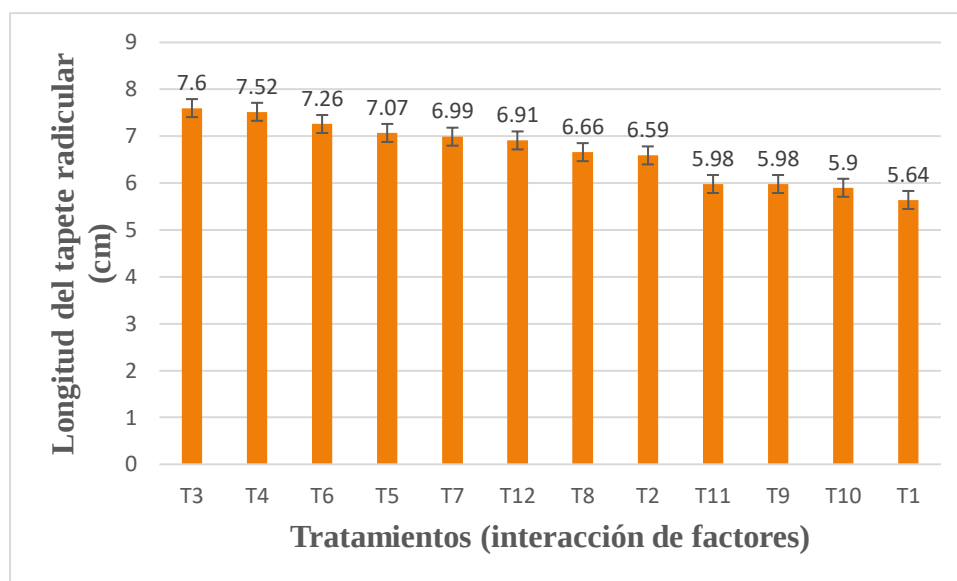


Figura 15. Efecto de la interacción cantidad de semilla y dosis de biol (GxD), en la longitud del tapete radicular.

En la tabla 18 y figura 15, se puede observar que los tratamientos son estadísticamente similares, difieren numéricamente uno del otro, los tratamientos que obtuvieron mayor longitud del tapete radicular son T3 (3.00 kg + 50 % de biol) con longitud de 7.6 cm; seguido por T4 (3.00 kg + 75 % de biol) con valores promedios de 7.52 cm, luego T6 (3.50 kg + 25 % de biol) con 7.26 cm, respectivamente.

se puede observar que la longitud del tapete radicular a las 3 densidades de semilla probadas (3.00 kg, 3.5 kg y 4 kg/m²) y con aplicación de biol de 0 % se obtuvieron longitud del tapete radicular de 5.64 cm, 5.98 y 7.07 cm; aplicaciones de 25 % alcanzaron un promedio de 6.59 cm, 7.26 y 5.9 cm, al incrementar la dosis de aplicación al 50 % los valores obtenidos fueron de 7.6, 6.99 y 5.98 cm y al utilizar aplicaciones de biol al 75 % el valor obtenido del tapete radicular fue 7.52, 6.66 y 6.91 cm., respectivamente. Lo cual indica que el mejor resultado se obtuvo con densidad de siembra de 3kg/m² semilla y aplicaciones de 50 % de biol, seguido por aplicaciones de 75 % biol.

Datos se relacionan con los encontrados por Orellana (2015), quien utilizó densidad de siembra de 2.978/m² y dosis 0.75 solución nutritiva y obtuvo los mejores resultados 3.1 cm de longitud.

Tabla 18. Prueba de Tukey al 5% de probabilidad para la interacción de los factores cantidad de semilla y dosis de biol en la longitud del tapete radicular.

Tratamientos	Cant. de semilla	Dosis de biol	Medias	Significación	
T3	g1	d3	7.6	A	
T4	g1	d4	7.52	A	
T6	g2	d2	7.26	A	B
T5	g2	d1	7.07	A	B
T7	g2	d3	6.99	A	B
T12	g3	d4	6.91	A	B
T8	g2	d4	6.66	A	B
T2	g1	d2	6.59	A	B
T11	g3	d3	5.98	A	B
T9	g3	d1	5.98	A	B
T10	g3	d2	5.9	A	B
T1	g1	d1	5.64		B

4. peso de planta/bandeja

El ANVA para la variable peso de bandeja o también puede llamarse rendimiento por bandeja (ver Tabla 19), indica que existe alta significación estadística para el efecto del factor cantidad de semilla, puesto que las F calculadas superan a las F tabulares en las probabilidades de 1 y 5 %, respectivamente. Por tanto, el factor antes citado tiene un efecto significativo en el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada.

Tabla 19. Análisis de varianza para el efecto dosis de biol y cantidad de semilla en el peso de bandeja de forraje verde hidropónico.

FV	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0.05	0.01
Cantidad de semilla	2	1.51	0.75	10.07**	3.27	5.27
Dosis de biol	3	0.62	0.21	2.76NS	2.87	4.4
Semilla*Dosis	6	0.28	0.05	0.61	2.37	3.365
Error	24	1.8	0.07			
Total	35	4.2				

CV= 8.65 %

El valor del coeficiente de variabilidad ($CV=8.65\%$), indica la variabilidad del material experimental para las variables evaluadas, es decir que la homogeneidad del material utilizado es aceptable y por lo tanto los resultados son confiables.

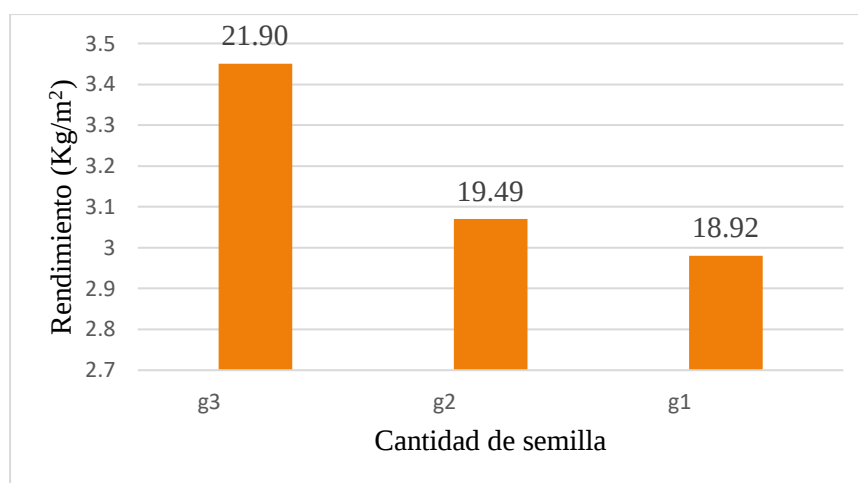


Figura 16. Efecto del factor cantidad de semilla en el peso de bandeja de forraje verde hidropónico.

En la tabla 20 y figura 16, se observa que el nivel g3 (4kg/m^2) difiere estadísticamente de los niveles g2 (3.5kg/m^2) y g1 (3kg/m^2) y a la vez indica diferencia numérica, considerándose el mejor nivel con de 3.45 kg/bandeja , seguido del g2 con un valor de 3.07 kg/bandeja y g1 con un valor de 2.98 kg/bandeja . Obteniéndose un rendimiento de 21.90 kg/m^2 , 19.492 kg/m^2 y 18.9206 kg/m^2 . Valores que son similares a los reportados por Gómez (2007), a dosis de siembra 1.00kg/bandeja (0.25 m^2) obtuvo una producción de $32.00\text{ kg de FVH/m}^2$, a dosis de 0.75 y 0.50 kg obtuvo un rendimiento de 25.05 kg y $17.98\text{ kg de FVH/m}^2$ respectivamente.

Tabla 20. Prueba de significación Tukey al 5% de probabilidad para el efecto cantidad de semilla en el peso de bandeja de forraje verde hidropónico.

Cantidad de semilla	Medias	Significación
g3	3.45	A
g2	3.07	B
g1	2.98	B

En la tabla 21, de la prueba de significación tukey al 5% para el efecto dosis de biol, se observa que todos los niveles son estadísticamente similares, difiriendo estos en valores numéricos, siendo el nivel d4 (75% biol) el que presenta el mayor valor 3.31 kg/bandeja , expresando un rendimiento de 21.015 kg/m^2 , valor que es superior al reportado por

Carhuapoma *et al.* (2014) quien obtuvo rendimientos de 13.83 a 16.708 kg/m² de FVH con aplicaciones de soluciones nutritivas.

Delgado (2016), reporta el rendimiento de avena hidropónica con diferentes métodos, donde el Método de la FAO alcanzo un valor mayor con 9.60 (kg/0.24 m²), seguido por el Método de Tarrillo 8,17 (kg/0,24 m²); y el Método la Molina con 7.90 (kg/0,24 m²).

Tabla 21. Prueba de significación Tukey al 5% de probabilidad para el efecto dosis de biol en el peso de bandeja de forraje verde hidropónico.

Dosis de biol	Medias	Significación
d4	3.31	A
d3	3.23	A
d2	3.15	A
d1	2.96	A

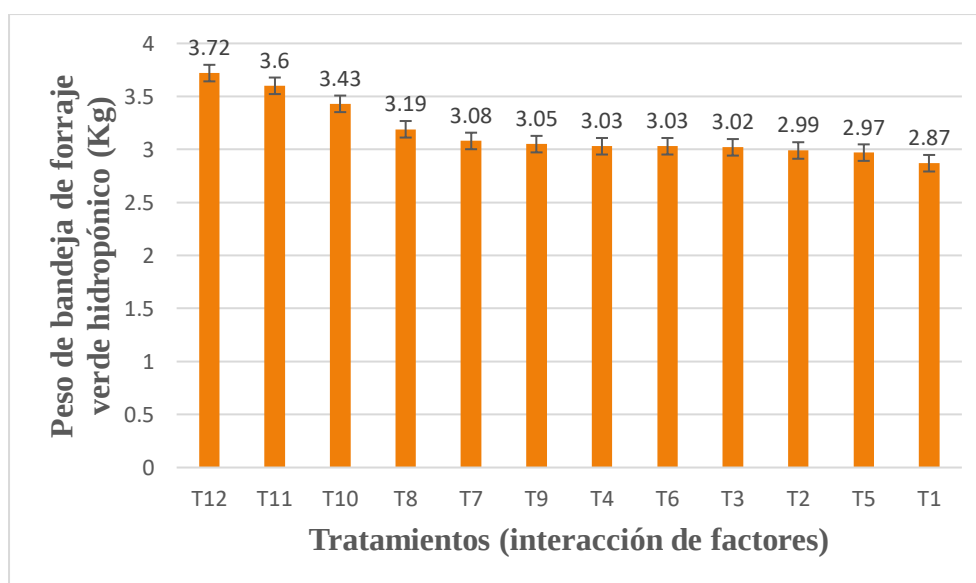


Figura 17. Efecto de la interacción de los factores cantidad de semilla y dosis de biol (GxD) en el peso de la bandeja de forraje verde hidropónico.

La tabla 22 y figura 17, podemos observar que todos los tratamientos tienen un comportamiento estadístico similar en el peso de bandeja de forraje verde hidropónico, pero difieren numéricamente uno del otro. Siendo el tratamiento T12 (4kg/m² semilla y 75 % biol) el que alcanzó el mayor valor 3.72 kg/bandeja expresada en un rendimiento de 23.62 kg/m², seguido por el tratamiento T11 con 3.6 kg/bandeja con un rendimiento de 22.86kg/m², luego por el T10 con un rendimiento de 21.8 kg/m².

Las densidades de siembra de 3 kg/m², 3.5 y 4 kg/m² sin aplicación de biol alcanzaron un peso de 2.87, 2.97 y 3.05 kg/bandeja respectivamente, sufriendo un incremento gradual a 2.99, 3.03 y 3.43 kg/m² al aplicar biol al 25 %, con aplicaciones de 50 % de biol el peso alcanzado fue de 3.6, 3.08 y 3.6 kg/m², aumentado a 3.19 y 3.72 kg/m² con aplicaciones a 75 % para las densidades de 3.5 y 4 kg/m² s

emilla y disminuyendo la producción para la densidad de 3 kg/m² a 3.03 kg/m².

Tabla 22. Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para la interacción del efecto dosis de biol y cantidad de semilla en el peso de bandeja de forraje verde hidropónico.

Tratamientos	Cantidad de semilla	Dosis de biol	Medias	Significación	
T12	g3	d4	3.72	A	
T11	g3	d3	3.6	A	B
T10	g3	d2	3.43	A	B
T8	g2	d4	3.19	A	B
T7	g2	d3	3.08	A	B
T9	g3	d1	3.05	A	B
T4	g1	d4	3.03	A	B
T6	g2	d2	3.03	A	B
T3	g1	d3	3.02	A	B
T2	g1	d2	2.99	A	B
T5	g2	d1	2.97	A	B
T1	g1	d1	2.87		B

5. materia seca

La tabla 23, del análisis de varianza, no muestra significación estadística para los factores Cantidad de semilla (G), dosis de biol (D) y la interacción de ambos factores, lo que evidencia que los factores en estudio no tienen un efecto significativo en el valor de la materia seca.

Tabla 23. Análisis de varianza para el efecto dosis de biol y cantidad de semilla en el contenido de materia seca,

FV	GL	SC	CM	Fc	F tabular	
					0.05	0.01
Cantidad de semilla	2	0.03	0.02	0.06	3.27	5.27
Dosis de biol	3	2.76	0.92	2.18	2.87	4.4
Semilla*Dosis	6	0.08	0.01	0.03	2.37	3.365
Error	24	14.43	0.6			
Total	35	17.3				

CV = 8.31 %

El coeficiente de variabilidad (8.31 %), indica la variabilidad del material experimental para la variable evaluada, es decir, que la heterogeneidad del material evaluado es aceptable.

En la tabla 24 y figura 18, se observa que los niveles del factor cantidad de semilla son estadísticamente similares, difiriendo en valores numéricos. Presentando mayor valor el nivel g3 (4 kg/m² semilla). Nuestros valores son inferiores a los de Gómez (2007) quien obtuvo 14.47 % utilizando 1.0 kg de semilla/bandeja, 14.43 % con dosis de 0.5 kg semilla por bandeja y 14 % con dosis de 0.75 kg semilla/bandeja.

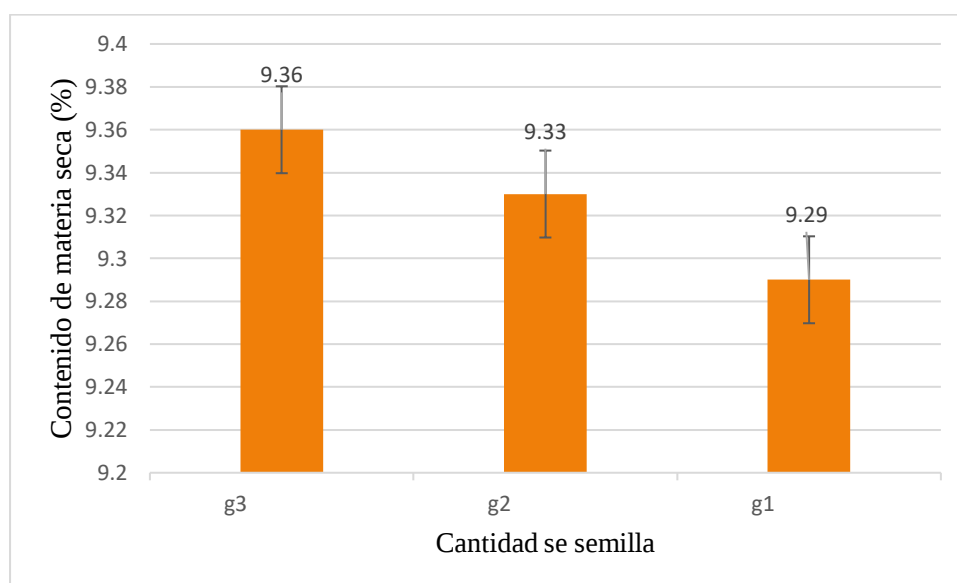


Figura 18. Efecto de cantidad de semilla en el porcentaje de materia seca.

Tabla 24. Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto cantidad de semilla en el contenido de materia seca.

Cantidad de semilla	Medias	Significación
g3	9.36	A
g2	9.33	A
g1	9.29	A

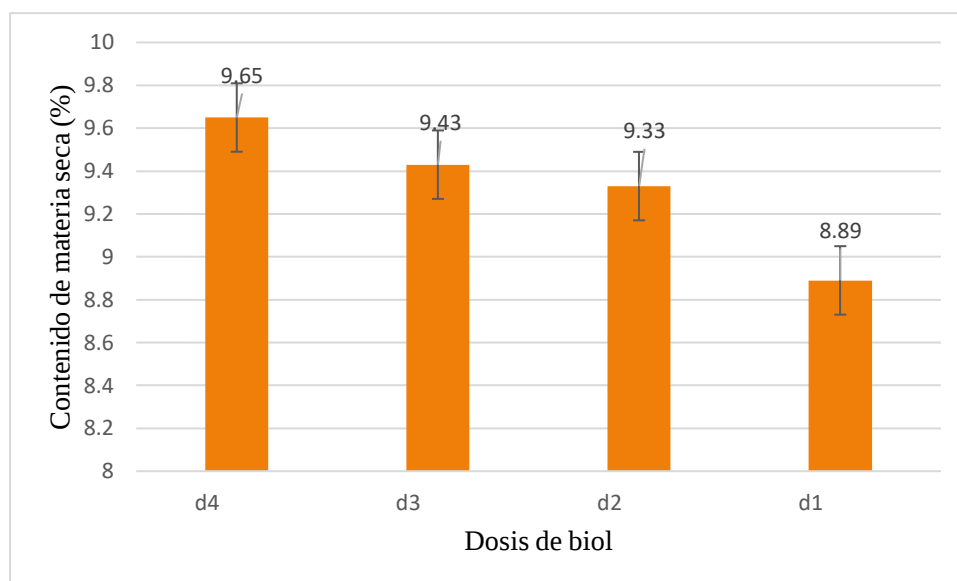


Figura 19. Efecto de la dosis de biol en el porcentaje de materia seca.

En la tabla 25 y figura 19 se observa que no existe diferencia estadística con respecto a los niveles del factor dosis de biol. Pero si observamos diferencia en valores, siendo en el mejor factor d4 (75 %biol) con 9.65 % de materia seca.

Tabla 25. Prueba de significación Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto dosis de biol en el contenido de materia seca.

Dosis de biol	Medias	Significación
d4	9.65	A
d3	9.43	A
d2	9.33	A
d1	8.89	A

CAPÍTULO IV.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La mejor producción de FVH de cebada para este estudio fue con la combinación de T12 (g3xd4) seguido de T11(g3xd3) y T10(g3xd2) con rendimientos de 23.62, 22.86 y 21.80 kg/m² respectivamente.

La densidad óptima de semilla para la producción de FVH de cebada es g3 (4kg/m²) con rendimiento de 21.90 Kg/m² ya que difiere estadísticamente de la g2 (3.5kg/m²) con un rendimiento de 19.49 kg/m² así como también de la g1(3.0 kg/m²) con un rendimiento de 18.92 kg/m²

El tratamiento que alcanzó mayor altura de planta fue el T12 (4.00 kg + 75 % de biol) con un promedio de 29.68cm, seguido por el tratamiento T11(4 kg/semilla y 50 % biol) con 27.2 cm, seguido de T7 (3.5 kg/semilla y 50 % biol), la mayor altura de plantas como forraje verde hidropónico se obtiene con dosis de semilla 4kg/m² con aplicaciones de 75% de biol.

La producción de forraje verde hidropónico de cebada demostró ser una alternativa viable dentro de sistemas de producción orgánica, al no requerir suelo agrícola y reducir el uso de fertilizantes químicos sintéticos.

La producción de FVH bajo manejo orgánico puede contribuir a la seguridad alimentaria animal en zonas altoandinas, especialmente en periodos de escasez de pasturas naturales.

RECOMENDACIONES

Promover la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) como alternativa sostenible en sistemas pecuarios de Cajamarca, especialmente en zonas con limitaciones de suelo y disponibilidad estacional de pasturas.

Implementar capacitaciones dirigidas a pequeños productores sobre manejo de sistemas hidropónicos orgánicos, fortaleciendo capacidades locales y promoviendo prácticas sostenibles.

Fomentar el uso de biol como fertilizante orgánico dentro de esquemas agroecológicos, priorizando su adecuada fermentación, dilución y manejo técnico, a fin de garantizar eficiencia nutricional y evitar riesgos de fitotoxicidad.

Repetir este trabajo con otras especies forrajeras.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Biol. Fertilizante orgánico líquido obtenido mediante fermentación anaeróbica de residuos orgánicos, especialmente estiércol animal, que contiene macro y micronutrientes solubles, microorganismos benéficos y compuestos bioactivos que favorecen el crecimiento vegetal.

Biomasa. Cantidad total de materia vegetal producida en una unidad experimental, generalmente expresada en peso fresco o peso seco.

Cebada (*Hordeum vulgare*). Especie gramínea anual utilizada en la producción de forraje verde hidropónico por su rápida germinación, alto rendimiento y valor nutritivo.

Coefficiente de variación (CV). Indicador estadístico que expresa la variabilidad relativa de los datos respecto a la media, utilizado para evaluar la precisión experimental.

Densidad de siembra. Cantidad de semilla utilizada por unidad de superficie o por bandeja en un sistema de producción agrícola.

Diseño experimental. Estructura metodológica empleada para organizar los tratamientos y garantizar la validez estadística de los resultados obtenidos.

Forraje verde hidropónico (FVH). Sistema de producción de biomasa vegetal obtenido a partir de la germinación de semillas sin uso de suelo, mediante el suministro de agua o soluciones nutritivas.

Germinación. Proceso fisiológico mediante el cual la semilla inicia su desarrollo, dando origen a la plántula.

Interacción. Efecto combinado de dos o más factores experimentales que influyen conjuntamente sobre una variable evaluada.

Macronutrientes. Elementos esenciales requeridos en mayores cantidades por las plantas, tales como nitrógeno, fósforo y potasio.

Materia seca (MS). Fracción del tejido vegetal que permanece después de eliminar el contenido de agua; constituye un indicador de calidad nutritiva.

Prueba de Tukey. Método estadístico de comparación múltiple de medias que permite determinar diferencias significativas entre tratamientos.

Rendimiento. Producción total obtenida en un cultivo, expresada generalmente en peso por unidad experimental.

Tapete radicular. Masa compacta de raíces formadas durante el crecimiento del forraje verde hidropónico.

Tratamiento. Conjunto de condiciones específicas aplicadas a una unidad experimental dentro de un diseño de investigación.

Variable dependiente. Parámetro que se mide y que responde al efecto de los tratamientos aplicados.

Variable independiente. Factor manipulado por el investigador para evaluar su efecto sobre una variable dependiente.

CAPÍTULO V.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FAO. (2021). *Guía técnica para la producción de forraje verde hidropónico*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Karaki y Momani (2010) Evaluation of Some Barley Cultivars for Green Fodder Production and water Use.

García, L., & Rojas, M. (2020). Manejo sanitario en la producción de forrajes hidropónicos. *Revista Agroecología y Desarrollo Rural*, 12(2), 45–56.

Huamán, J., & Rivas, D. (2021). Efecto del biol en la producción de forraje verde hidropónico de cereales. *Revista Peruana de Agroinnovación*, 4(1), 33–41.

IICA. (2020). *Manual práctico de producción de forraje hidropónico para sistemas ganaderos familiares*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Pacheco, R., López, A., & Medina, C. (2022). Respuesta del forraje verde hidropónico de cebada a diferentes biofertilizantes líquidos. *Journal of Sustainable Agriculture*, 7(3), 112–121.

Torres, J., Martínez, P., & Calderón, S. (2019). Germinación y vigor inicial en semillas de cebada para sistemas hidropónicos. *Agrociencia Colombiana*, 25(1), 85–94

Al-Karaki, G. (2020). Hydroponic green fodder production: potential and challenges. *Agricultural Reviews*, 41(3), 253–260.

FAO. (2021). *Manual de producción hidropónica en pequeña escala*. FAO.

Gómez Huanca, A. (2018). *Solución nutritiva de biol... en la producción de FVH de cebada*. Universidad Nacional del Altiplano.

Jumbo, J. C. (2020). Bioles y su efecto fisiológico en el crecimiento vegetal. *Revista AgroAndes*, 12(2), 45–53.

Kide, G., et al. (2021). Hydroponic barley fodder yield under different nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition*, 44(5), 723–734.

Li, H., Chen, X., & Zhao, L. (2023). Light intensity effects on hydroponic barley fodder. *Agronomy*, 13(2), 215–229.

- Martínez, P., & López, R. (2020). Variables agroclimáticas en sistemas hidropónicos de forrajes. *Revista de Ciencias Agrarias*, 43(1), 98–110.
- Mosquera, M. (2019). Biofertilizantes líquidos en sistemas sostenibles. *Revista Agroecológica*, 15(1), 20–33.
- Ramos, D., Quispe, A. & Mamani, J. (2022). Efecto de bioles en la producción de forraje hidropónico. *Revista Investigación Agropecuaria*, 9(1), 14–25.
- Segura Ortega, B. (2024). *Evaluación del FVH asociado de cebada y vicia*. UNSAAC.
- Sharma, N., & Singh, R. (2019). Organic biofertilizers and hydroponic fodder production. *International Journal of Agriculture*, 7(3), 55–62.
- Urresta, A., & Gómez, M. (2020). Evaluación de soluciones nutritivas con biol en FVH de cebada. Universidad Técnica del Norte.
- Velasco, M., et al. (2020). Caracterización agronómica de cultivares de cebada. *Cereal Research*, 50(4), 310–320.
- Yurtseven, E., et al. (2020). Effects of hydroponic media on barley forage quality. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(1), 1601–1610.
- García, J., & Paredes, L. (2020). *Biofertilizantes líquidos y su efecto en cultivos de rápido crecimiento*. Revista Agroecológica Andina, 12(2), 45–57
- Rojas, S., Poma, A., & Yupanqui, N. (2021). Contenido nutricional del biol y su potencial en cultivos hidropónicos. *Revista de Innovación Agropecuaria*, 5(3), 33–47.
- Mendoza, R., & López, V. (2023). Aplicación de bioles en sistemas hidropónicos y su influencia en el rendimiento vegetal. *Journal of Sustainable Agriculture*, 18(1), 22–34.
- López, R. (2018). *Elaboración y uso del biol en sistemas agroecológicos*. Editorial Agrovida.
- Pillco, S., Mamani, J., & Huamán, P. (2020). Composición química y eficiencia del biol en cultivos hortícolas. *Revista Agroindustrial Andina*, 22(3), 45–54.
- Castro, M., Rojas, V., & Huamán, P. (2021). Efecto del biol en el rendimiento de cultivos hidropónicos. *Revista Agropecuaria Andina*, 33(2), 48–57.
- García, J., & Núñez, L. (2019). Microorganismos eficientes y biofermentados en agricultura. *Revista Ciencia Agraria*, 16(1), 55–66.
- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (2015). *Manual de producción de biofermentados*.

FAO. (2021). *Barley production and global trends*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Mahalingam, R. (2020). Barley: Biology, agronomy and biotechnological advances. *Plant Science Journal*, 298, 110–124.

Mendoza, J., Ruiz, D., & Aguilar, L. (2022). Producción y valor nutritivo del forraje verde hidropónico de cebada en sistemas ganaderos altoandinos. *Revista Agropecuaria Andina*, 14(2), 45–56.

Zhao, F., Wang, M., & Li, X. (2020). Global development and utilization of barley: Agronomic, nutritional and industrial aspects. *Cereal Science Review*, 12(1), 1–18.

Alarcón, G. (2004). Guía de campo de los cultivos andinos. 2 ed. Lima, Perú. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. 298 p.

Carrera, M., Galán, V., Gonzales, F., Hidalgo, F., Maroto, J., Mateo, J. M., Navarro, J., De la Puerta, C., Rojo, C., & Zaragoza, S. (2005). *Prontuario de agricultura*. Mundi-Prensa.

Choque, J. (2005). *Producción y manejo de especies forrajeras*. Universidad Nacional del Altiplano.

Choque, V. (2015). *Efecto del té de estiércol de llama en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare L.) en condiciones controladas* (Tesis de ingeniería). Universidad Mayor de San Andrés.

Colagrosso, A. (2015). *Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala*. Youcanprint Self-Publishing.

Delgado, J. (2016). *Producción de avena (Avena sativa) como forraje verde hidropónico con tres métodos de producción en el distrito 8 de la ciudad de El Alto* (Tesis de ingeniería). Universidad Mayor de San Andrés.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2003). *Manual técnico: La huerta hidropónica popular* (3.a ed. rev. y ampl.). FAO.

Fernández, G., & Lescano, S. (2008). *Perfil de proyecto: Mejoramiento de pastos para el desarrollo ganadero en las provincias de Chota, Jaén, San Ignacio, Cutervo, Santa Cruz y Celendín*. Gobierno Regional Cajamarca.

García, V. A. (2013). *Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de alimento de ganado menor hecho con forraje verde hidropónico fresco deshidratado en Tumbaco, distrito de Quito* (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana.

Gilsanz, J. C. (2007). *Hidroponía*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria.

Gobierno Regional Cajamarca. (2010). *Plan de desarrollo regional concertado Cajamarca 2021*.

Gómez, A. (2018). *Solución nutritiva de biol a base de estiércol de cuy (Cavia porcellus L.), ovino (Ovis aries) y vacuno (Bos taurus) en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare)* (Tesis de ingeniería). Universidad Nacional del Altiplano.

INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). (2008). *Producción y uso del biol*. INIA.

López, W. (2008). *Efecto del biol sobre el rendimiento de dos variedades de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.)* (Tesis). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

López, L. A. (2005). *Producción de forraje verde hidropónico*. Centro de Investigación en Química Aplicada.

Mamani, P., & Chávez, E. (2012). *El biol: Biofertilizante casero para la producción ecológica de cultivos*. PROINPA.

Marulanda, C., & Izquierdo, J. (1993). *Manual técnico: La huerta hidropónica*. FAO.

Mosquera, B. (2010). *Abonos orgánicos protegen el suelo y garantizan alimentación sana*. FONAG.

Orellana, E. B. (2015). *Evaluación de tres niveles de fertilización en forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare)* (Tesis de ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana.

Parihuana, E. (2010). *Comparativo de rendimiento de forraje de tres variedades de cebada (Hordeum vulgare L.) en dos tipos de solución nutritiva en Ilabaya, Tacna* (Tesis). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Salas, L., Preciado, P., Esparza, J., Álvarez, V., Palomo, A., Rodríguez, N., & Márquez, C. (2010). Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 355–360.

Sistema Biobolsa. (2015). *Manual de biol.* Instituto Internacional de Recursos Renovables.

Solano, L. (2013). *Taxonomía vegetal*. Universidad Nacional del Altiplano.

Velasco, Y., Sana, W., & Morillo, A. (2020). Caracterización agromorfológica de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en Chivatá, Boyacá, Colombia. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(2).