

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROECOLÓGICA Y
DESARROLLO RURAL**



Tesis

Efecto del Algamar Plus y Biol en el Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico de Cebada
(*Hordeum vulgare*) y Trigo (*Triticum durum*) en Abancay- Apurímac

Presentado por:

Maritza Guillen Palomino

Para optar el título de Ingeniero Agroecólogo Rural

Abancay, Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROECOLÓGICA Y
DESARROLLO RURAL



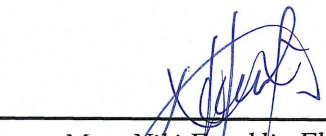
TESIS

**Efecto del Algamar Plus y Biol en el Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico de
Cebada (*Hordeum vulgare*) y Trigo (*Triticum durum*) en Abancay- Apurímac**

Presentado por **Maritza Guillen Palomino**, para optar el título Ingeniero Agroecólogo Rural

Sustentado y aprobado el 19 de febrero del 2021 ante el jurado evaluador:

Presidente:


Mag. Niki Franklin Flores Pacheco

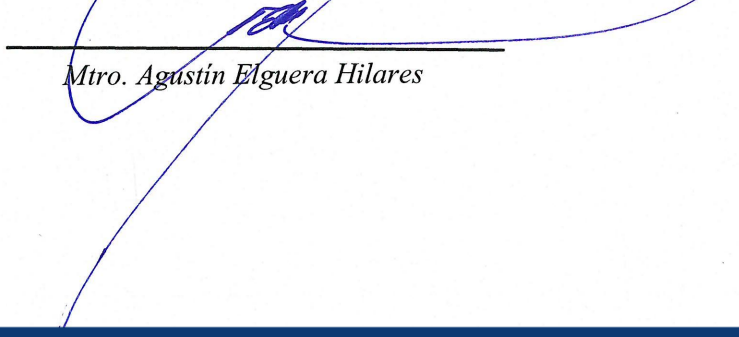
Primer miembro:


Dr. Luis Ricardo Paredes Quiroz

Segundo miembro:


Dr. Juan Silver Barreto Carbajal

Asesor:


Mtro. Agustín Elguera Hilaes



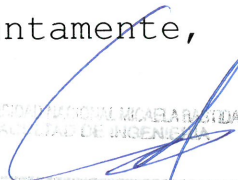
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°284-2026

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la tesis titulada: **Efecto del Algamar Plus y Biol en el Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico de Cebada (*Hordeum vulgare*) y Trigo (*Triticum durum*) en Abancay- Apurímac**, presentado por la Bachiller: **Maritza Guillén Palomino**, para optar el título de **Ingeniero Agroecólogo Rural**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de **similitud ACEPTABLE** de (18%) por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos en el reglamento de investigación, aprobado con Resolución N°168-2024(2)-CU-UNAMBA.

Abancay, 29 de setiembre del 2026

Atentamente,


 UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Dr. Walguer Huacani Calsin
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c:
Archivo/
WHCE/D-UIFI
YOVANA / SEC
REG. N°1006



Agradecimiento

Mi agradecimiento a mí asesor Ing. Agustín Elguera Hilaes por su apoyo incondicional y desinteresado en la ejecución y culminación de la investigación.

Mi sincero agradecimiento y reconocimiento al MSc. Mario Taipe y Mag. Celinda Álvarez por su apoyo que ha sido fundamental durante la realización del presente trabajo de tesis.

A mis Padres, hermanos y familiares, por su apoyo incondicional, sin su ayuda no hubiera podido lograr las metas trazadas; a ellos un agradecimiento eterno.

A mi amado hijo Thyago Antonio y sobrinas Speranza Regina y Killa Asiri

Mi gratitud a mis amigos con quienes compartí muchos momentos de alegría y tristeza, pero inolvidables en nuestras vidas; especialmente a, Mayra, Margot, Alcides, Richard, Rudy, Milton (+), Flor, Analy y a todos mis compañeros del código 2005 – I.

Un agradecimiento sincero a mis padrinos Delao, Doris, Alejandrino y Emilia por siempre estar conmigo en toda la etapa de mi vida Universitaria mi gratitud total.

Maritza Guillen Palomino



Dedicatoria

A mis padres Vito Modesto y Regina por haber forjado la persona que soy y guiarme por el camino de la superación, sin su apoyo no habría sido posible este logro.

A Thyago Antonio mi amado hijo por ser una fuente incalculable de inspiración y la fortaleza de todos mis proyectos.

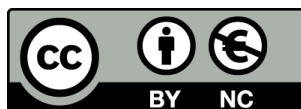
A Ketty mí muy apreciada hermana y mis hermanos Heber Yonatan y Danny por ser parte de mi vida y la motivación para seguir hacia adelante.

Maritza Guillen Palomino



Efecto del Algamar Plus y Biol en el Rendimiento de Forraje Verde Hidropónico de Cebada
(*Hordeum vulgare*) y Trigo (*Triticum durum*) en Abancay- Apurímac
Línea de investigación: Agua, agricultura, silvicultura y pecuaria sostenible.

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Justificación de la investigación	5
1.3.1 Justificación ambiental	6
1.3.2 Justificación metodológica	7
1.3.3 Justificación económica	7
1.3.4 Justificación social	7
CAPÍTULO II	9
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	9
2.1 Objetivos de la investigación	9
2.1.1 Objetivo general	9
2.1.2 Objetivos específicos	9
2.2 Hipótesis de la investigación	9
2.2.1 Hipótesis general	9
2.2.2 Hipótesis específicas	10
2.3 Operacionalización de variables	10
2.3.1 Definición conceptual de variables	10
2.3.2 Operacionalización de variables	11
CAPÍTULO III	13
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	13
3.1 Antecedentes	13
3.2 Marco teórico	15
3.2.1 El forraje	15
3.2.1.1 Forraje verde hidropónico	16
3.2.1.2 Ventajas y desventajas de la producción de FVH	17
3.2.1.3 Características del FVH	18



3.2.1.4	Características nutricionales del forraje verde hidropónico	18
3.2.1.5	Métodos de producción de FVH	19
3.2.1.6	Factores que influyen en la producción de FVH	23
3.2.1.7	Valor Nutritivo de los Forrajes	25
3.2.2	Abonos orgánicos	28
3.2.2.1	Importancia de los abonos orgánicos	29
3.2.2.2	Descomposición de los abonos orgánicos	30
3.2.3	Abonos líquidos	30
3.2.4	Biol	32
3.2.4.1	Generalidades	32
3.2.4.2	Origen	32
3.2.4.3	Importancia	32
3.2.4.4	Elaboración del biol	33
3.2.4.5	Preparación del biol	35
3.2.4.6	Aplicación del biol	37
3.2.4.7	Composición química del biol	38
3.2.4.8	Tiempo de fermentación del biol	39
3.2.4.9	Funciones del biol	39
3.2.4.10	Funciones de cada ingrediente en la preparación de biol	39
3.2.4.11	Disponibilidad del biol para utilizar	40
3.2.4.12	Relación materia-orgánica- agua	41
3.2.4.13	Frecuencia y dosis recomendada	41
3.2.4.14	Abonamiento o fertilización foliar	41
3.2.4.15	Absorción por las hojas	43
3.2.4.16	Ventajas del uso del biol	44
3.2.5	Algas marinas	44
3.2.5.1	Reproducción	45
3.2.5.2	Distribución	48
3.2.5.3	Clasificación de las algas marinas	49
3.2.5.4	Extracto de algas marinas y uso en la producción de FVH	50
3.2.5.5	Algamar plus	50
3.2.5.6	Usos de bioestimulantes en forrajes verde hidropónico	51
3.2.6	La cebada	52
3.2.6.1	Usos de bioestimulantes en forrajes verde hidropónico	52
3.2.6.2	Clasificación científica (taxonomía)	52
3.2.6.3	Descripción general	52
3.2.6.4	Importancia económica y distribución geográfica	53
3.2.6.5	Morfología de la cebada	54



3.2.6.6	Requerimientos ambientales	55
3.2.6.7	Factores bióticos limitantes para su cultivo	56
3.2.7	Trigo	56
3.2.7.1	Origen	56
3.2.7.2	Clima	57
3.2.7.3	Clasificación taxonómica	57
3.2.7.4	Partes de planta del trigo	58
3.3	Marco conceptual	60
CAPÍTULO IV		63
METODOLOGÍA		63
4.1	Tipo y nivel de investigación	63
4.1.1	Nivel de investigación	63
4.1.2	Tipo de investigación	63
4.2	Diseño de la investigación	64
4.3	Descripción ética de la investigación	67
4.4	Población y muestra	68
4.4.1	Población	68
4.4.2	Muestra	68
4.5	Procedimiento	68
4.5.1	Actividades previas a la instalación:	69
4.5.2	Instalación de las unidades experimentales	69
4.5.3	Evaluaciones	71
4.5.4	Material de investigación	73
4.6	Técnica e instrumentos	75
4.6.1	Procesamiento y análisis de datos	75
4.6.2	Técnicas estadísticas	77
4.6.3	Hipótesis estadísticas	78
4.7	Análisis estadístico	81
4.7.1	Prueba de normalidad de datos	81
4.7.2	Homogeneidad de varianza	84
CAPÍTULO V		87
RESULTADOS Y DISCUSIONES		87
5.1	Análisis de resultados	87
5.1.1	Rendimiento de la materia verde FVH	87
5.1.2	Rendimiento biomasa seca de FVH	94
5.1.3	Gasto de agua producción FVH	99
5.2	Contrastación de hipótesis	102
5.2.1	Prueba de hipótesis rendimiento materia verde del FVH	103



5.2.2	Prueba de hipótesis rendimiento de materia seca FVH	112
5.2.3	Prueba de hipótesis gasto de agua producción de FVH	120
5.3	Discusión	125
5.3.1	Discusión sobre el rendimiento de la biomasa vegetal FVH	125
5.3.2	Rendimiento de la materia seca FVH	127
5.3.3	Gasto de agua en la producción FVH	128
CAPÍTULO VI		129
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		129
6.1	Conclusiones	129
6.2	Recomendaciones	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		131
ANEXOS		139

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Variables de estudio operacionalizadas	11
Tabla 2 — Consumo promedio de agua según cereales de FVH	17
Tabla 3 — Minerales de solución nutritiva en la producción FVH	21
Tabla 4 — Solución nutritiva concentrada A	22
Tabla 5 — Solución concentrada B	22
Tabla 6 — Composición química del biol	38
Tabla 7 — Dosis de biol recomendado según cultivo	42
Tabla 8 — Clasificación de algas marinas según caracteres morfológicos	49
Tabla 9 — Composición química del Algamar Plus	51
Tabla 10 — Composición de la cebada por 100 g	54
Tabla 11 — Tratamientos por niveles de factor y repeticiones	64
Tabla 12 — Notación y arreglo de los datos del diseño factorial 3x2	65
Tabla 13 — Características de campo experimental	69
Tabla 14 — Cronograma de riego	71
Tabla 15 — Análisis de varianza (ANOVA)	79
Tabla 16 — Prueba de normalidad de las variables en el factor A	82
Tabla 17 — Pruebas de normalidad de las variables en el factor B	83
Tabla 18 — Prueba de homogeneidad de varianza en el factor A	84
Tabla 19 — Prueba de homogeneidad de varianza en el factor B	85
Tabla 20 — Altura de planta de FVH de cebada y trigo	87
Tabla 21 — Diámetro del tallo del forraje verde hidropónico	89
Tabla 22 — Altura de tapete de FVH de cebada y trigo	90
Tabla 23 — Masa fresca de FVH de cebada y trigo (Kg/m ²)	92
Tabla 24 — Peso seco de la biomasa vegetal de FVH de cebada y trigo	94
Tabla 25 — Masa seco de forraje verde hidropónico de cebada y trigo	96
Tabla 26 — Porcentaje de materia seca	97
Tabla 27 — Gasto de agua en la producción de FVH de cebada y trigo (L/kg)	99
Tabla 28 — Gasto de agua en la producción de FVH cebada y trigo (L/m ²)	101
Tabla 29 — Análisis de varianza altura de planta del FVH cebada y trigo	103
Tabla 30 — Comparación múltiple de medias altura de planta de FVH	105
Tabla 31 — Análisis de varianza del diámetro de planta del FVH	106



Tabla 32 — Comparación de promedios múltiples diámetro planta FVH	107
Tabla 33 — Análisis de varianza de la altura de tapete del FVH	108
Tabla 34 — Comparación de promedios múltiples de altura de tapete FVH	109
Tabla 35 — Análisis de varianza de la masa de FVH de cebada y trigo	110
Tabla 36 — Promedios múltiples de la masa fresca de FVH	112
Tabla 37 — Análisis de varianza del peso seco de la biomasa vegetal	113
Tabla 38 — Promedios múltiples del peso seco de biomasa vegetal de FVH	114
Tabla 39 — Análisis de varianza de la masa seca de FVH	115
Tabla 40 — Promedios múltiples de la masa seca de FVH	117
Tabla 41 — Análisis de varianza del porcentaje de materia seca de FVH	118
Tabla 42 — Promedios múltiples del porcentaje de materia seca de FVH	119
Tabla 43 — Análisis de varianza gasto de agua en L/kg de FVH	120
Tabla 44 — Promedios múltiples gasto de agua en L/kg de FVH	122
Tabla 45 — Análisis de varianza gasto de agua L/m ² producción de FVH	122
Tabla 46 — Promedios múltiples del gasto de agua L/m ² producción FVH	124
Tabla 47 — Matriz de consistencia metodológica	140
Tabla 48 — Matriz de operacionalización de variables	141
Tabla 49 — Ficha de evaluación	142
Tabla 50 — Ubicación del campo experimental	144
Tabla 51 — Base de datos de la investigación	146

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Diagrama de flujo de la producción de biol	35
Figura 2 — Preparación del biol	36
Figura 3 — Cosecha de biol	37
Figura 4 — Aplicación del biol, en cebada	38
Figura 5 — Reproducción sexual y asexual de algas marinas	46
Figura 6 — Reproducción sexual de algas marinas	47
Figura 7 — Reproducción asexual de algas marinas	48
Figura 8 — Partes de la planta de trigo	58
Figura 9 — Barras de la altura de planta de FVH de cebada y trigo	88
Figura 10 — Barras del diámetro de tallo del FVH de cebada y trigo	90
Figura 11 — Barras de la longitud de raíz de FVH de cebada y trigo	92
Figura 12 — Barras de la masa de FVH de cebada y trigo (Kg/m ²)	93
Figura 13 — Barras del peso seco de la biomasa vegetal de FVH de cebada y trigo	95
Figura 14 — Barras de la masa seca de FVH de cebada y trigo	97
Figura 15 — Barras del porcentaje de materia seca del FVH de cebada y trigo	98
Figura 16 — Barras del gasto de agua en la producción de FVH de cebada y trigo	100
Figura 17 — Barras del gasto de agua en la producción de FVH cebada y trigo (L/m ²)	101
Figura 18 — Croquis del experimento	143
Figura 19 — Mapa de ubicación del campo experimental	145
Figura 20 — Estadísticos complementarios biomasa altura y diámetro de planta	147
Figura 21 — Estadísticos complementarios longitud de raíz y masa de FVH	148
Figura 22 — Estadísticos complementarios de materia seca y gasto de agua	149
Figura 23 — Selección de semillas y oreado de cebada y trigo	150
Figura 24 — Instalación y distribución de las parcelas experimentales	151
Figura 25 — Aplicaciones de biol al forraje verde hidropónico	152
Figura 26 — Evaluación de las variables de estudio	153
Figura 27 — Evaluación de las variables y secado de biomasa	154
Figura 28 — Evaluación de las variables pesado de biomasa	155

INTRODUCCIÓN

La demanda de viviendas por parte de la población está generando el cambio del uso de la tierra, las urbanizaciones antes áreas agrícolas están provocando la reducción de las áreas de cultivo, sobre todo de áreas destinadas a los forrajes, que son esenciales para la alimentación de animales de granja. Múltiples organismos internacionales como La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, considera que el desarrollo urbanístico por el crecimiento población está generando pérdidas de entre 1,6 y 3,3 millones de hectáreas de tierras de cultivos por año entre los periodos de los años 2000 y 2030.

Esta realidad no es ajena nuestro país y al departamento de Apurímac, especialmente a nivel de los valles interandinos como Pachachaca, Chumbao, Curahuasi, entre otros, que se vienen poblando y reduciendo las mejores tierras de cultivo y trasladando la agricultura a terrenos de baja calidad y pendientes pronunciadas, reduciendo considerablemente las áreas de pasturas y producción de forraje para el ganado. Bajo este problema existe uno de los sistemas de producción hidropónico que permiten la obtención de producto forrajero de excelente calidad, en pequeñas áreas, bajo gasto de agua y con altos niveles de producción que aseguren la alimentación animal.

La investigación como una de las alternativas actuales y sostenibles para resolver la escasez de forrajes de manera continua en las condiciones de clima de la ciudad de Abancay, en el que se evalúa el rendimiento de la producción de FVH bajo la aplicación de biol y algamar plus que son productos de fácil acceso y manejo, son de bajo costo y no dañan el medio ambiente.

La investigación muestra resultados en los rendimientos cercanos a los obtenidos en otras investigaciones de nivel nacional e internacional por lo que se pone en consideración de los productores de manera ordenada y secuencial y pueda ser replicado para el abastecimiento de forraje de buena calidad nutricional y también pueda convertirse en una oportunidad de negocio ya que en la ciudad de Abancay el forraje principal es la alfalfa y el maíz forrajero, pero escaso en épocas de estiaje.



RESUMEN

La investigación se realizó en un experimento factorial en DCA para evaluar el efecto de la aplicación de biol y algamar plus en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en la ciudad de Abancay, para ello se empleó la dosis de 6.67 ml.L-1 de biol y algamar plus y 0.5 Kg de semilla de cebada y trigo en bandejas de 0.15 m² como variables de respuesta se evaluaron la altura de planta, diámetro de planta, desarrollo radicular, peso de forraje verde, rendimiento de la materia seca y el gasto de agua en la producción. Entre los resultados se logró mayor rendimiento de la biomasa vegetal con la aplicación de biol y la utilización de semillas de cebada con 1.06 Kg de FVH por kilo de semilla de cebada utilizada, mayor altura de planta con 21 cm, frente a 15.33 cm del testigo, mayor peso de forraje verde de 13.797 kg.m-2 frente a 12.145 Kg.m-2 del testigo, mayor rendimiento de la materia seca de FVH de 3.710 Kg.m-2 frente a 2.305 Kg.m-2 del testigo y mayor porcentaje de materia seca con 25.48% frente a 18.9867% del testigo. Se concluye que la producción de forraje verde hidropónico (FVH) de cebada puede ser una alternativa que resuelve el problema de la baja disponibilidad de forraje para la crianza de animales domésticos especialmente de animales menores es una técnica de fácil manejo, utiliza espacios reducidos especialmente adoptado en la agricultura urbana y principalmente demanda bajo consumo de agua entre 9.814 hasta 10.850 L.m-2 en 20 días del proceso productivo.

Palabras clave: Forraje verde hidropónico, rendimiento, agua, Algamar Plus, Biol.



ABSTRACT

The research was carried out in a factorial experiment in DCA to evaluate the effect of the application of biol and algamar plus in the production of hydroponic green forage of barley (*Hordeum vulgare*) and wheat (*Triticum durum*) in the city of Abancay, for this the dose of 6.67 ml.L-1 of biol and algamar plus and 0.5 Kg of barley and wheat seed in trays of 0.15 m² were used as response variables the plant height, plant diameter, root development, green forage weight, dry matter yield and water expenditure in production were evaluated. Among the results, a higher yield of plant biomass was achieved with the application of biol and the use of barley seeds with 1.06 Kg of FVH per kilo of barley seed used, greater plant height with 21 cm, compared to 15.33 cm of the control, greater weight of green forage of 13.797 kg.m-2 compared to 12.145 Kg.m-2 of the control, higher yield of dry matter of FVH of 3.710 Kg.m-2 compared to 2.305 Kg.m-2 of the control and higher percentage of dry matter with 25.48% compared to 18.9867% of the control. It is concluded that the production of hydroponic green fodder (FVH) from barley can be an alternative that solves the problem of low availability of fodder for raising domestic animals, especially small animals. It is an easy-to-use technique, uses small spaces, especially adopted in urban agriculture, and mainly demands low water consumption between 9,814 and 10,850 L.m-2 in 20 days of the production process.

Keywords: *Hydroponic green fodder, yield, water, Algamar Plus, Biol*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Uno de los problemas a nivel de global es el desplazamiento de los campos de cultivo en urbanizaciones debido al crecimiento de la población que demanda alimentos en cantidad y calidad cada vez mayor. Por tanto, se han venido desarrollando alternativas para la producción de alimentos entre los que se puede mencionar la producción aeropónica e hidropónica. El departamento de Apurímac no es ajeno a dicha realidad.

Se observa cada vez que la demanda por forraje para alimentación de animales menores principalmente en las ciudades va en aumento y la oferta es regulada por el incremento de los precios y la disminución en la cantidad de forraje vendido, Se estima que una familia de la provincia de Abancay compra alfalfa entre 1 a 3 soles diarios para cubrir las necesidades de alimentos de cuyes y gallinas que crían en sus viviendas.

A nivel de las praderas naturales se observa que existe sobrepastoreo y ampliación de frontera agrícola lo que impacta negativamente en el abastecimiento de forraje para la alimentación de animales, principalmente en la crianza estabulada de animales como vacunos, ovinos y otros.

La pérdida paulatina de áreas de cultivo y la demanda de alimentos por el crecimiento poblacional, sumado a la planificación desordenada, y la precaria infraestructura de riego, la escases de agua es una realidad, y las condiciones son más adversas para la producción de forrajes, con factores climáticos cambiantes, baja productividad de las tierras, que impulsa a los agricultores utilizar indiscriminadamente fertilizantes sintéticos y agroquímicos para el control de plagas y enfermedades a fin de producir forraje para sus crianzas.

Esto forrajes obtenidos bajo estas prácticas, son de baja calidad y no palatables para los animales, por lo que, no se aprovecha adecuadamente la biomasa foliar y radicular de estos; de otro lado la producción de forrajes convencionalmente es exigente en minerales



de suelos y una forma es utilizando agroquímicos, que incrementan los costos de producción deteriorando el medio ambiente. Frente a este problema, se plantea la producción de forrajes, bajo el sistema hidropónico, con el uso de fertilizante líquidos orgánicos y aplicarlos de manera foliar para medir los efectos sobre el rendimiento de la biomasa foliar y radicular, se formula las siguientes interrogantes

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el efecto de la aplicación de Algamar Plus y Biol en el rendimiento de la biomasa vegetal del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en el distrito de Abancay – Apurímac?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la dosis de aplicación de Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia verde del forraje verde hidropónico de la cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en el distrito de Abancay – Apurímac?
- ¿Cuál es la dosis de aplicación de Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia seca del forraje verde hidropónico de la cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en el distrito de Abancay – Apurímac?
- ¿Cuál es el consumo de agua en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) mediante la aplicación de Algamar Plus y Biol en el distrito de Abancay – Apurímac?

1.3 Justificación de la investigación

La producción de forrajes mediante sistema hidropónico, está generando interés entre los agricultores y los criadores de animales menores, la información sobre este sistema está poco difundida y no está disponible para lo agricultores en la región de Apurímac. Mucho consideran que producir forrajes bajo el sistema hidropónico es costoso y es necesario infraestructura sofisticada y mano de obra especializada, que desmotiva a los agricultores y criadores a emprender la producción de forrajes bajo este sistema.



La investigación utilizó espacios pequeños, materiales y recursos disponibles en la zona para realizar el experimento y pone a disposición de los agricultores interesados la metodología de la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en las condiciones de clima de Abancay, para disponer de FVH para las crianzas.

El proceso productivo para la producción de forraje verde hidropónico, no utilizó insumos que dañan el medio ambiente, no desplaza campos de cultivos, no requiere de extensiones de terreno y no contamina el agua. Este sistema de producción de forraje verde hidropónico a partir de la cebada y trigo, en el corto plazo puede representar una actividad económica rentable, para las familias de la región de Apurímac ya que existe una demanda insatisfecha en el mercado de forrajes con fines de alimentación de animales menores especialmente cuyes y gallinas, El FVH se obtiene con bajos costos de producción y una mínima dedicación por parte del cultivador y está al alcance tanto del agricultor como del profesional. Cultivar forrajes a partir de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en bandejas empleando el sistema de cultivo hidropónico, aplicando tres niveles de dosis de Algamar Plus y Biol, presenta efectos favorables en el rendimiento de la biomasa vegetal del FVH y es una alternativa al cultivo tradicional de forraje, los resultados se constituyen una fuente de consulta para aquellos que quieran implementarlo.

La investigación se justifica en cuatro dimensiones: socialmente, económicamente, metodológicamente y ambientalmente, y se explica en los siguientes párrafos:

1.3.1 Justificación ambiental

La investigación se sustenta ambientalmente porque promueve el uso de biofertilizantes naturales (Algamar Plus y Biol) en lugar de insumos químicos, reduciendo la contaminación del suelo y del agua. El sistema hidropónico además utiliza poca agua en comparación con la agricultura convencional, lo cual es de gran importancia en zonas como Abancay, donde existen periodos de sequía y limitaciones hídricas. De esta forma, la producción de FVH con bioinsumos constituye una estrategia sostenible y amigable con el ambiente, contribuyendo a la resiliencia frente al cambio climático.



1.3.2 Justificación metodológica

El estudio se justifica porque permitió evaluar de manera comparativa y controlada el efecto de dos biofertilizantes de origen orgánico (Algamar Plus y Biol) sobre el rendimiento del FVH de cebada y trigo, utilizando un diseño experimental replicable en condiciones locales. El empleo de un sistema hidropónico proporciona un entorno controlado para medir variables de crecimiento, biomasa y calidad nutritiva, reduciendo el efecto de factores externos. De esta manera, la investigación aportó información técnica validada, que podrá servir de base para futuros estudios sobre bioinsumos en sistemas de producción forrajera sostenible.

1.3.3 Justificación económica

La investigación también tiene relevancia económica porque busca ofrecer una alternativa de bajo costo para la producción de alimento animal, reduciendo la dependencia de alimentos concentrados comerciales, cuyo precio suele ser elevado para los pequeños productores pecuarios de Abancay. El uso de Algamar Plus y Biol, insumos accesibles y de fácil elaboración o adquisición, puede incrementar la eficiencia productiva del FVH, mejorando la rentabilidad de la actividad ganadera. Esto permitirá optimizar los costos de alimentación del ganado, aumentar la producción de carne, y por ende, mejorar los ingresos de los agricultores de la región.

1.3.4 Justificación social

La investigación, contribuye a fortalecer la seguridad alimentaria y la soberanía productiva de los pequeños agricultores y ganaderos de Abancay, quienes dependen en gran medida de sus propios recursos para sostener la crianza de animales. El acceso a forraje verde hidropónico nutritivo, constante y sostenible permitirá mejorar la calidad de vida de las familias campesinas, reducir la vulnerabilidad ante la escasez estacional de pastos y promover la adopción de tecnologías agroecológicas. Además, fomenta el aprendizaje comunitario y la transferencia tecnológica, favoreciendo el desarrollo rural sostenible y el empoderamiento de los productores locales.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación de Algamar Plus y Biol en el rendimiento de la biomasa vegetal del forraje verde hidropónico de la cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en el distrito de Abancay – Apurímac

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la dosis de aplicación de Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia verde del forraje verde hidropónico de la cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en el distrito de Abancay – Apurímac
- Determinar la dosis de aplicación de Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia seca del forraje verde hidropónico de la cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en el distrito de Abancay – Apurímac
- Determinar el consumo de agua en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) mediante la aplicación de Algamar Plus y Biol en el distrito de Abancay – Apurímac

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

La aplicación de Algamar Plus y Biol tiene efecto significativo en el rendimiento de la biomasa vegetal del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en el distrito de Abancay – Apurímac



2.2.2 Hipótesis específicas

- Existe al menos un producto entre Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia verde del forraje verde hidropónico de la cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en el distrito de Abancay – Apurímac
- Existe al menos un producto entre Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia seca del forraje verde hidropónico de la cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en el distrito de Abancay – Apurímac
- Existen diferencias significativas en el gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) mediante la aplicación de Algamar Plus y Biol en el distrito de Abancay – Apurímac

2.3 Operacionalización de variables

2.3.1 Definición conceptual de variables

a) Algamar plus

Bioestimulante orgánico a base de extractos de algas marinas, rico en fitohormonas naturales, macro y micronutrientes que favorecen el crecimiento vegetal (González & Morales, 2020).

b) Biol

Fertilizante orgánico líquido obtenido por fermentación anaeróbica de estiércol, restos vegetales y agua, rico en N, P, K, aminoácidos y microorganismos benéficos (Chaparro & Ríos, 2019).

c) Cebada (*Hordeum vulgare*)

Cereal forrajero de rápido crecimiento, ampliamente utilizado en FVH por su alto valor nutritivo y digestibilidad (Pérez & Medina, 2021).

d) Trigo (*Triticum durum*)

Cereal de importancia mundial, cultivado para grano y forraje; en FVH presenta buen rendimiento y contenido proteico (FAO, 2018).



e) Rendimiento de materia verde

Cantidad de biomasa fresca producida por unidad de superficie o volumen, expresada en gramos o kilogramos (Rodríguez et al., 2017).

f) Rendimiento de materia seca

Fracción de la biomasa total sin contenido de agua, indicador del valor nutritivo y energético del forraje (Castro et al., 2016).

g) Consumo de agua

Cantidad de agua utilizada en el proceso de producción, indicador de eficiencia hídrica del sistema (Salazar & Ruiz, 2015).

2.3.2 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Variables de estudio operacionalizadas

Variables	Indicadores	Índices
Variables independientes Abonos foliares <ul style="list-style-type: none"> • Algamar plus • Biol Semilla <ul style="list-style-type: none"> • Cebada • Trigo 	Factor A: <ul style="list-style-type: none"> • Dosis de biol • Dosis de Algamar plus • Testigo Factor B: <ul style="list-style-type: none"> • Dosis de cebada • Dosis de trigo 	Factor A: <ul style="list-style-type: none"> • 100 ml biol x 15 lt de agua • 100 ml Algamar plus x15 lt de agua • Agua Factor B <ul style="list-style-type: none"> • 3.5 kg/m² • 3.5 kg/m²
Variable dependiente 1 Rendimiento de materia verde	Indicadores: <ul style="list-style-type: none"> • Altura de planta • Altura de tapete • Diámetro de hoja • Peso de materia verde 	Índices <ul style="list-style-type: none"> • cm • cm • cm • kg/m²
Variable dependiente 2 Rendimiento de materia seca	Indicadores <ul style="list-style-type: none"> • Peso seco de biomasa foliar • Peso seco de biomasa radicular • Peso de materia seca • Materia seca 	Índices <ul style="list-style-type: none"> • kg FVH/Kg semilla • kg FVH/Kg semilla • kg • %
Variable dependiente 3 Consumo de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de agua en la producción de FVH • Gasto de agua en la producción de FVH 	<ul style="list-style-type: none"> • lt/kg FVH • lt/m²
Claves Factor A Dosis de biol y algamar plus Factor B Dosis de semillas de cebada y trigo		

FVH Forraje verde hidropónico

NOTA

Se describen las variables en función a los objetivos de la investigación

FUENTE: Basado en los estudios de investigación, 2021

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

- a) Valverde et al. (2018) realizaron un estudio sobre la producción de forraje verde hidropónico (FVH) de maíz blanco, maíz amarillo y sorgo en el cantón San Vicente, provincia de Manabí, Ecuador. El objetivo fue determinar la variedad de FVH con mayor respuesta productiva en términos de crecimiento y peso, mediante la aplicación de diferentes dosis de fertilización nitrogenada, así como realizar un análisis beneficio/costo para identificar el tratamiento de mayor rentabilidad. La investigación consideró dos factores: el factor A, correspondiente a las variedades de cultivo (maíz amarillo, variedad INIAP 542; maíz blanco, variedad INIAP 528; y sorgo forrajero, variedad Pampa Verde), y el factor B, constituido por dosis de fertilización nitrogenada de 1, 2 y 3 g/L de agua, equivalentes a 460, 920 y 1380 ppm, respectivamente. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA), con arreglo factorial de 3×3 , nueve tratamientos y cinco repeticiones, totalizando 45 unidades experimentales. Los resultados mostraron que el maíz blanco presentó el mayor crecimiento con una dosis de 1 g de fertilizante nitrogenado/L de agua, alcanzando una longitud de 36,40 cm. Por su parte, el mayor peso de FVH correspondió al maíz amarillo, con 6,60 kg por bandeja de 50×70 cm, utilizando igualmente una dosis de 1 g de fertilizante nitrogenado/L. En términos económicos, el tratamiento más favorable fue el maíz blanco con 1 g de fertilizante nitrogenado/L, que alcanzó una rentabilidad de 0,56 % y un beneficio neto de US\$ 1,39 por bandeja de FVH. Los autores concluyeron que el maíz blanco presentó una mejor respuesta a la fertilización nitrogenada bajo condiciones hidropónicas, destacando por su mayor crecimiento y menor costo de producción.
- b) Juárez López et al. (2013) investigaron la producción de forraje verde hidropónico (FVH), con el objetivo de evaluar la biomasa vegetal obtenida a partir de la germinación y crecimiento de semillas de maíz, avena, cebada, trigo y sorgo. La producción se realizó en envases de plástico rígido durante un periodo de 10 a 14 días, aplicando riegos frecuentes con agua hasta que los brotes alcanzaran entre 3 y 4 cm de altura, para posteriormente utilizar una solución nutritiva. Los resultados evidenciaron que fue



posible producir 1 kg de FVH utilizando menos de 2 litros de agua, equivalente a aproximadamente 8 litros de agua por kilogramo de materia seca, considerando un contenido de 25 % de materia seca en el FVH; este consumo fue considerablemente menor al requerido para producir un kilogramo de materia seca mediante cultivos convencionales a campo abierto de avena (635 L), cebada (521 L), trigo (505 L), maíz (372 L) y sorgo (271 L). Asimismo, estimaron que 170 m² de instalaciones con bandejas modulares dispuestas en cuatro pisos para la producción de FVH de avena podrían equivaler, en términos productivos, a aproximadamente 5 hectáreas de producción convencional del mismo cultivo. Los autores señalaron que el FVH presenta un ciclo productivo corto de 10 a 14 días y recomendaron realizar la cosecha hasta los 14 días, debido a que después de este periodo disminuye su valor nutricional; durante el crecimiento, el forraje alcanzó una altura promedio de 20 a 30 cm, destacándose la producción hidropónica como una alternativa eficiente para el uso del agua y el aprovechamiento del espacio.

- c) Vargas (2007) realizó una evaluación de tres especies forrajeras, *Zea mays*, *Sorghum almun* y *Oryza sativa*, bajo un sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) en la Estación Experimental “Alfredo Volio Mata” de la Universidad de Costa Rica. El objetivo fue estimar la producción de biomasa mediante la cosecha del forraje a los 20 días de crecimiento, considerando como variables la altura de planta, con un valor de referencia de 25 cm, y el peso fresco de cinco muestras de 2 kg, incluyendo raíces y semillas; posteriormente, las muestras fueron secadas en una estufa a 60 °C hasta alcanzar un peso constante. La investigación fue de carácter experimental y se utilizó un diseño completamente al azar; los datos fueron analizados mediante el procedimiento PROC ANOVA del programa SAS y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Duncan. Los resultados mostraron que el mayor rendimiento de biomasa correspondió al sorgo negro forrajero, con 21,65 kg de FVH en bandejas de 720 cm², seguido del maíz, con 17,20 kg, y finalmente el arroz, con 14,35 kg de biomasa. En cuanto a las diferencias estadísticas, no se encontraron diferencias significativas entre el sorgo y el maíz ($P>0,05$), ni entre el maíz y el arroz; sin embargo, se observaron diferencias significativas entre el sorgo y el arroz al 8 %. Asimismo, la relación semilla:material producido fue de 1:5,45 para el sorgo, 1:4,30 para el maíz y 1:3,58 para el arroz, evidenciando un mayor rendimiento productivo del sorgo bajo las condiciones del sistema hidropónico evaluado.



- d) Tarrillo (2007) señala que, bajo un sistema de producción hidropónico, es posible obtener entre 6 y 8 kg de masa de forraje verde hidropónico (FVH) por cada kilogramo de semilla de cebada, evidenciando la alta capacidad productiva de este sistema para la generación de biomasa forrajera a partir de una cantidad relativamente reducida de semilla.
- e) Elizondo (2004) señala que, bajo un sistema de producción hidropónico, es posible obtener aproximadamente 9 kg de biomasa vegetal por cada kilogramo de semilla de cebada, lo que evidencia el elevado potencial de producción de forraje verde hidropónico (FVH) mediante el aprovechamiento eficiente de la semilla y del espacio disponible.

3.2 Marco teórico

3.2.1 El forraje

Sé refiere a cualquier parte comestible de una planta que tiene valor nutritivo, que no daña al animal y que está disponible, entre estos tenemos a los pastos, heno, alimentos verdes y al ensilaje, que son alimentos para los animales sean estos domésticos o no (Robles, 1978).

Los forrajes son alimentos que tienen un volumen considerable a la inversa que de los alimentos concentrados; estos tienen fibra cruda y con valor nutricional bajo (Hunges & Heaty, 1978). No todas las plantas son preferidas por los animales, las plantas apetecibles para los animales ingresan a la categoría de forrajes (Cantú, 1985)

Las especies vegetativas de las familias crucíferas, leguminosas y gramíneas, son las que principalmente se consideran con un interés forrajero. Es importante manifestar que la cosecha oportuna asegura la proteína y disminuye el contenido de celulosa; si hay retraso en su cosecha se reduce el valor nutritivo del forraje (Robles, 1978)

Cultivar forrajes, es una actividad amplia, especializada y compleja, esto debido a que su establecimiento y producción, toma en cuenta muchos factores (bióticos y abióticos) que responden a diferentes estímulos del medio ambiente y el propósito de la producción (Robles, 1978)



3.2.1.1 Forraje verde hidropónico

Es el resultado de procesos de germinación de granos de especies de poáceas y fabáceas (alfalfa, cebada, maíz, sorgo, trigo entre otros), realizados de manera controlada durante un periodo de 9 a 15 días, sin sustrato; con solución nutritiva para que asimilen los nutrientes y la energía del sol. Los granos germinados logran alturas en promedio de 25 cm. EL FVH demuestra eficiencia en la alimentación animal, ya que los animales consumen toda la estructura de la planta, los tallos, hojas, restos de semillas y raíces. La alimentación con FVH, muestra excelentes resultados en ganancia de peso en animales como ganado vacuno, porcino, caprino, equino y animales menores como cuyes, conejos, aves, entre otros (FAO, 2001)

Como resultado de la germinación de los granos de avena, cebada, sorgo, maíz y trigo, en condiciones adecuadas de iluminación, riego y temperatura, se logra obtener el FVH. Los granos contienen el embrión de la futura planta que tiene almacenada hidratos de carbono y lípidos; que en pocos días y en condiciones óptimas se transforma en una plántula capaz de realizar la fotosíntesis captando energía lumínica y la absorción de minerales de la solución nutritiva. Presenta propiedades especiales, ya que los granos al estar en estado de plántula, están en una etapa de crecimiento acelerado, con poca fibra y alto contenido de proteína, al contener tejidos en formación, gran parte de los aminoácidos están en forma libre y al ser consumida es más aprovechable por el ganado (Leonard, 2015).

Producir FVH, es una técnica de producción de biomasa vegetal, que se obtiene a partir de la germinación y crecimiento inicial de plántulas de semillas viables. Este forraje fresco, presentar características de calidad nutricional, alta digestibilidad, sanidad optima, que lo hacen ser muy apto para la alimentación del ganado (caballos, vacas de ordeño, corderos, cabras, etc.) y animales menores (gallinas, conejos, patos etc.). Se producen en cualquier época del año, cualquier piso altitudinal, siempre que la zona de producción tenga las condiciones necesarias mínimas (FAO, 2001)

Producir FVH, es una técnica derivada de la hidroponía (cultivar sin suelo), y sus orígenes se inician con el Científico Irlandés Robert Boyle, en el siglo XVII, y posteriormente Jhon Woodward, inicio la producción de granos germinados con diferentes concentraciones de nutrientes en agua, evaluando el forraje resultante (FAO, 2001)

La producción de FVH, con relación a cultivos en terreno agrícola, es más rentable ya que se reduce los gastos en insecticidas, fertilizantes, maquinarias y otros, así como las labores necesarias. Según estudios se estima que es 10 veces más rentable que los cultivos en terrenos agrícolas (Arano, 1998)

Tabla 2 — Consumo promedio de agua según cereales de FVH

Cultivo	Litros de agua /kg de M.S. (Promedio 5 años)
Avena	635
Cebada	521
Maíz	505
Sorgo	372
Trigo	270
Clave MS Materia seca NOTA Consumo promedio de los principales cereales utilizados como FVH FUENTE: Cantú, 1985	

3.2.1.2 Ventajas y desventajas de la producción de FVH

- a) Ventajas, Según la FAO, 2001 y otros autores, se tiene las siguientes ventajas:
- Ahorro de agua
 - Uso del espacio de manera eficiente
 - Uso del tiempo de manera eficiente
 - Forraje de calidad en la crianza de animales
 - Forraje inocuo y libre de contaminantes
 - Suplemento alimenticio de excelente ganancia de peso



- Asimilación de vitaminas con mayor eficiencia
 - Suministro de forraje fresco durante todos los días del año
 - Reducción de costos de producción
 - Diversificación e intensificación de las actividades productivas
 - Alianzas y enfoque comercial
- b) Desventajas, según, Marulanda & Izquierdo (1993) citado por FAO (2001), considera las siguientes:
- Desinformación sobre el desarrollo de la tecnología
 - Falta de desarrollo de capacidades en el manejo de la tecnología
 - Costo de inversión considerable

3.2.1.3 Características del FVH

Valdivia (1997), considera las principales características:

- a) Forraje fresco, vivo y en pleno crecimiento conservando sus vitaminas y propiedades nutritivas para el ganado
- b) Es un forraje completo y rico en compuesto como proteínas y azúcares
- c) La producción tiene un proceso natural, no se manipula artificialmente su desarrollo, logrando en el animal una correcta asimilación y proceso metabólico
- d) Es apetecible, ya que su aspecto, sabor, textura y color atrae al animal y lo hace más gustoso
- e) Es económico, ya que tiene un alto contenido de proteína asimilable y que se obtienen ahorros considerables
- f) Aumenta la fertilidad del animal y elimina casi totalmente los abortos, por su contenido de vitamina E.

3.2.1.4 Características nutricionales del forraje verde hidropónico

Valdivia (1997), considera las siguientes características nutricionales:



- a) Los FVH, al ser tiernos, la proteína contenida tiene mayor digestibilidad que los forrajes de plantas maduras
- b) Los FVH, tiene mayor digestibilidad frente a los forrajes maduros al ser más lignificados su coeficiente de digestibilidad disminuye
- c) Los FVH, al ser plantas tiernas tienen mayor contenido de calcio, fósforo y hierro y proporciona los minerales y vitaminas necesarias para el animal, frente a plantas maduras que al crecer sufren variaciones y sus minerales son poco asimilables
- d) Las vitaminas del FVH, se presentan libres y solubles y el ganado lo asimila directamente, sobre todo la vitamina E, también hay un aumento en la fertilidad del animal por la presencia de la vitamina C, que es importante para esta actividad, asimismo hay incremento del caroteno y un equilibrio perfecto de calcio, fósforo y magnesio.
- e) El FVH, es ligeramente ácido con un pH de 6 a 6.5, que lo hace palatable, con un índice de digestibilidad de 85 a 90%, de gran sabor y textura (Cantú, 1985)

3.2.1.5 Métodos de producción de FVH

Presentan una gran diversidad de métodos de producción, desde muy simple (semillas colocadas sobre plásticos), hasta más sofisticados como fabricas FVH (estructuras automatizadas y climatizadas). FAO (2001), considera que, en cualquiera de los métodos de producción, se deben seguir ciertas etapas que se detallan a continuación:

- a) Selección de las especies de granos utilizados en FVH. Preferiblemente de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo; dependerá de la disponibilidad y el precio. Utilizar semillas de alfalfa (fabácea) no están eficiente en comparación con las gramíneas y el volumen de producción es similar al de la producción convencional (FAO, 2001)



- b) Calidad y selección de las semillas, deben ser de buena calidad y de origen garantizado, adaptada a las condiciones locales y con comprobado porcentaje de germinación (75 a 85%) y rendimiento. Preferible que las semillas estén libres de semillas partidas e impurezas, que pueden ser fuente de contaminación o semillas que hayan sido tratadas con productos químicos (FAO, 2001)
- c) La desinfección y lavado de las semillas, deben realizarse en una solución de agua e hipoclorito de sodio al 1%, tiene el propósito de eliminar patógenos como hongos y bacterias. El tiempo para dejar las semillas en la solución debe ser de 30 segundos a 3 minutos; tiempo después lavarlo y enjugarlo en agua limpia (Rojas & Ramírez, 1987)
- d) Remojar las semillas para germinarlas, este proceso se da al colocar las semillas dentro de una bolsa de tela y sumergir en agua limpia por un periodo no mayor a 24 horas para lograr una completa inhibición. Este proceso se inicia al sumergir 12 horas, después secarlas y orearlas una hora y nuevamente sumergirlas por 12 horas; con este proceso se induce a la rápida germinación. Este proceso asegura el crecimiento vigoroso (FAO, 2001)
- e) Las dosis de siembra, según Arano (1998) es de 5 a 7.5 kg/m², según el grano a utilizar; mientras que la (FAO, 2001) considera 2.0 a 3.5 kg/m², con una altura promedio de 1.5 cm de semillas en cada bandeja. La siembra en las bandejas, se distribuyen las semillas pregerminadas en una capa delgada que no supere 2 cm y colocar una capa de papel. Posteriormente tapamos todo con plástico negro (brindar oscuridad). Una vez verificada la brotación completa se retira el plástico y el papel (FAO, 2001)
- f) El riego de las bandejas, realizar riego de acuerdo al requerimiento del FVH. Un indicador practico es no aplicar riegos cuando las hojas y la masa radicular están levemente húmedas (Sánchez, 1988). Los riegos con solución nutritiva, entre el cuarto (4°) y quinto (5°) día, una vez aparecidas las primeras hojas, se inicia con los riegos con solución



nutritiva. Importante antes de llegar a los catorce (14°) días, es decir entre los días doce (12°) o trece (13°), el riego debe realizarse solo con agua, para reducir la presencia de las sales que pudieran impregnarse en las hojas y raíces que bajarían la calidad del FVH (FAO, 2001)

- g) Morales (1997), considera que los riegos deben realizarse solo con agua hasta que el FVH alcance los tres (3) o cuatro (4) centímetros. Posterior a ello recién se inicia los riegos con solución nutritiva; esta solución le brindará los nutrientes necesarios para el desarrollo adecuado del FVH, también influirá en la palatabilidad, digestibilidad del alimento (MORALES, 1997).

Tabla 3 — Minerales de solución nutritiva en la producción FVH

Sales minerales	Cantidad (g)	Elementos que aporta	Aportes en ppm
Nitrato de sodio	355	Nitrógeno	207
Sulfato de potasio	113	Potasio	178
Superfosfato normal	142	Fósforo	83
Sulfato de magnesio	100	Magnesio	71
Sulfato de hierro	4	Hierro	10
Clave Ppm partes por millón NOTA Se explica las sales minerales y compuestos que forman la solución nutritiva para la producción de FVH, necesarios para el buen desarrollo. FUENTE: Morales Estrada, 1997			

- h) FAO (2001), considera tomar en cuenta las soluciones nutritivas, bajo la denominación solución nutritiva concentrada “A”, que está compuesta de macronutrientes y solución nutritiva concertada “B” compuesta de micronutrientes. Las sales y cantidades para la preparación de ambas soluciones se exponen en las siguientes tablas:

Tabla 4 — Solución nutritiva concentrada A

Sales minerales	Elementos que aporta	Cantidad (g)
Fosfato monoamónico	Fosforo	3.40
Nitrato de calcio	Nitrógeno	2.080
Nitrato de potasio	Potasio	1.100
Clave g gramos NOTA Las sales minerales y compuestos de la solución nutritiva A y los macroelementos. FUENTE: FAO, 2001		

- i) Las cantidades de mineral descritas en la tabla 4, se diluyen en agua logrando una solución de 10 litros. Realizando la mezcla de sales una por una de acuerdo al orden descrito, hasta obtener la solución nutritiva A. una consideración importante que el agua no tenga cloro (típico del agua potable) y este a una temperatura entre 21°C a 24°C (FAO, 2001).

Tabla 5 — Solución concentrada B

Sal mineral	Elementos que aporta	Cantidad (g)
Sulfato de Magnesio	Magnesio	492,00
Sulfato de cobre	Cobre	0,48
Sulfato de manganeso	Manganeso	2,48
Sulfato de zinc	Zinc	1,20
Ácido bórico	Boro	6,20
Molibdato de amonio	Molibdato	0,02
Quelato de hierro	Hierro	50,00
Claves g gramos NOTA Las sales minerales y compuestos de la solución nutritiva B, y los macroelementos. FUENTE: FAO, 2001		

- j) La mezcla se realiza en agua, hasta lograr una solución total de cuatro (4) litros (FAO, 2001)
- k) La cosecha de la biomasa (hojas, tallos, raíces y semillas) se realiza entre los 12 a 14 días. Pero, cuando hay necesidad de contar con forraje, se puede realizar una cosecha anticipada entre los 8 a 9 días. Una consideración importante entre los 7 a 8 días el FVH, alcanza la mayor riqueza nutricional; pero no alcanza su mayor desarrollo de biomasa por lo que antes de la cosechar, se debe compatibilizar la calidad y el tiempo de cosecha (Leonard, 2015). Una vez, contabilizado el tiempo desde la siembra y logrado el tamaño optimo requerido, se realiza la cosecha del FVH. La biomasa (hojas, tallos, raíces y semillas) se forma compacta, se retira de las bandejas y se desmenuza y reparte al animal. El FVH, debe ser ingerido en el transcurso del día, se puede almacenar de 2 a 3 días con un adecuado suministro de agua; después de estos días la calidad baja y pierde su valor alimenticio (Valdivia, 1997)

3.2.1.6 Factores que influyen en la producción de FVH

- a) La iluminación, al iniciar la producción del FVH, no requiere presencia de luz, sobre todo en los 3 a 4 días después de la siembra, periodo en el que se inicia la germinación, las bandejas deben estar en ambientes con luz tenue, pero con riegos oportunos que favorecerán la presencia de brotes y desarrollo de raíces. A partir del cuarto día, se inicia el riego con la solución nutritiva y se exponen las bandejas a una iluminación distribuida de tal manera que no llegue luz directa del sol (Leonard, 2015)
- b) La temperatura constituye una de las variables clave en la producción de forraje verde hidropónico (FVH). El rango ideal para su desarrollo se encuentra, por lo general, entre 18 °C y 26 °C. No obstante, las condiciones óptimas varían según el tipo de grano utilizado. Por ejemplo, las semillas de la avena, la cebada y el trigo requieren temperaturas relativamente bajas para germinar, situándose entre 18 °C y 21 °C. En contraste, el maíz demanda un rango más elevado, con



valores óptimos que oscilan entre 25 °C y 28 °C (Martínez, 2001; citado por MINAGRI, 2016).

- c) La humedad, en la producción de forraje verde hidropónico (FVH), la humedad relativa del ambiente no debe descender por debajo del 90%. Cuando supera este valor y no existe una ventilación adecuada, se incrementa el riesgo de problemas fitosanitarios, especialmente la aparición de enfermedades causadas por hongos, que resultan difíciles y costosas de controlar. En el escenario contrario, una ventilación excesiva seca el ambiente, lo que ocasiona deshidratación en el cultivo y una notable reducción en la producción. Por ello, mantener un equilibrio entre el nivel de humedad relativa y la temperatura óptima es fundamental para garantizar un sistema de producción exitoso (FAO, 2001).
- d) Calidad del agua de riego, en los sistemas hidropónicos, uno de los requisitos fundamentales del agua es que sea potable, pero sin cloro (ya que es perjudicial). Cuando el agua no cumple con esta condición, pueden surgir problemas tanto sanitarios como nutricionales en el forraje verde hidropónico (FVH). En esos casos, es necesario aplicar tratamientos como filtración, decantación, exposición al sol, o ajustes en su acidez o alcalinidad para mejorar su calidad. Cuidar este aspecto es crucial, ya que la falta de atención a la calidad del agua ha sido, en muchos casos, la causa de fracasos productivos y pérdidas económicas (FAO, 2001).
- e) El pH del agua de riego debe mantenerse dentro de un rango entre 5.2 y 7. Solo en casos específicos, como en las leguminosas, es posible alcanzar valores cercanos a 7.5 sin afectar su desarrollo. Sin embargo, la mayoría de semillas empleadas en la producción de forraje verde hidropónico (principalmente cereales) no muestran un buen desempeño cuando el pH supera el valor de 7 (FAO, 2001).
- f) La conductividad eléctrica (CE) hace referencia a la cantidad de sales presentes en la solución nutritiva aplicada al cultivo. El rango ideal de



CE se encuentra entre 1,5 y 2,0 mS/cm. En este sentido, las aguas con valores menores a 1,0 mS/cm son las más adecuadas para preparar la solución de riego. Además, es importante considerar que la concentración de sales no debe exceder los 100 miligramos de carbonato de calcio por litro, mientras que los cloruros deben mantenerse en un rango de 50 a 150 miligramos por litro de agua (Leonard, 2015).

3.2.1.7 Valor Nutritivo de los Forrajes

El valor nutritivo de los forrajes se determina principalmente por su aporte energético o fuerza calorífica, resultado de los análisis realizados en función de los requerimientos diarios de los animales. Estas necesidades varían según la especie, la edad, la etapa de desarrollo, así como la producción de trabajo, grasa, leche u otros factores. Conocer tanto las demandas nutricionales del animal como el contenido energético del forraje permite diseñar dietas adecuadas y evaluar si estas cubren o no los requerimientos de su organismo. Cuando el forraje por sí solo no alcanza a satisfacer dichas necesidades, la ración debe complementarse con alimentos más concentrados; de lo contrario, el animal puede sufrir deficiencias y ser más vulnerable a diversas enfermedades. El análisis del valor nutritivo de los forrajes incluye la determinación de su contenido porcentual de agua, proteínas, grasas, nitrógeno, fibras y cenizas. Estos valores, sin embargo, pueden variar considerablemente incluso dentro de la misma especie, dependiendo de los métodos de cultivo y conservación (Braudio, 1974)

- a) Nitrógeno, una parte del nitrógeno presente en los alimentos se conoce como nitrógeno no proteico (NNP), ya que no forma parte de la estructura de las proteínas. Este tipo de compuestos (amoníaco, urea, algunos aminoácidos o los ácidos nucleicos) carecen de valor nutritivo para los animales monogástricos (de estómago sencillo). En cambio, en los rumiantes, el NNP puede ser aprovechado por las bacterias del rumen, que lo transforman en aminoácidos y proteínas, contribuyendo así a la nutrición de los bovinos (FAO, 2001).
- b) Grasas, el origen de las grasas presentes en los forrajes aún no ha sido completamente esclarecido por la bromatología. Algunos investigadores



sugieren que estas se forman a partir de los carbohidratos tras diversos procesos químicos. Lo que sí parece evidente es que las grasas de los forrajes están constituidas por un complejo heterogéneo de compuestos, entre ellos ácidos, lípidos, carotenos y resinas. Estos, se originarían principalmente en el parénquima de los tallos, en las proteínas y en otros elementos que todavía no han sido plenamente identificados (Leonard, 2015).

- c) El contenido de grasa en los forrajes varía notablemente entre especies y también según la etapa de desarrollo en la que se encuentre la planta al momento de ser cosechada. Si el corte se realiza antes o después de la floración, estas diferencias se vuelven aún más evidentes. Además, la fertilización juega un papel determinante: cuanto menor sea el nivel de fertilización, menor será el contenido de grasa en la planta (Braudilio, 1974).
- d) Proteínas, la mayor parte de las proteínas presentes en los forrajes son propias de cada especie, lo que explica que su valor biológico varíe de un forraje a otro. Estas proteínas están compuestas por un conjunto de sustancias conocidas como aminoácidos, los cuales resultan siempre esenciales para la nutrición de los animales (Leonard, 2015)
- e) La falta de proteínas en la dieta animal puede generar desequilibrios en el organismo, cuya gravedad depende del nivel de deficiencia. Sin embargo, un exceso de proteínas tampoco resulta beneficioso: puede ralentizar el desarrollo y crecimiento del animal, y en el caso de hembras en etapa de lactancia, reducir la producción de leche (Braudilio, 1974)
- f) Cenizas, aunque la materia orgánica vegetal constituye la mayor parte de los forrajes, no representa su totalidad. Esto se evidencia en las cenizas que quedan tras la incineración, donde los análisis revelan la presencia de un conjunto de materiales inorgánicos absorbidos del suelo por la planta y posteriormente incorporados durante la fotosíntesis. Este contenido mineral refleja los requerimientos nutricionales de la planta, indispensables para su crecimiento y para mantener su buen estado



sanitario (FAO, 2001). El análisis de las cenizas ofrece una referencia precisa sobre cómo debe fertilizarse la planta para evitar deficiencias nutricionales. Si estas carencias se transmiten a los forrajes, afectarán directamente al organismo del animal que los consume, provocando alteraciones metabólicas y aumentando el riesgo de enfermedades de distinta gravedad. Además, la calidad biológica del alimento se verá reducida, lo que repercute en la salud y el rendimiento del animal (Leonard, 2015)

- g) La fibra presente en las plantas está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. En la dieta animal, los forrajes representan la principal fuente de este componente. Sin embargo, a mayor contenido de fibra en los forrajes, menor es el aporte de energía. En el caso de los bovinos, se requiere una cantidad mínima de fibra para asegurar el buen funcionamiento del rumen, favorecer la rumia y estimular la producción de saliva. La proporción de fibra varía según la especie forrajera y el grado de madurez en el momento de la cosecha (Braudilio, 1974)
- h) Digestibilidad, no todas las especies forrajeras presentan el mismo nivel de digestibilidad. Este factor depende tanto de la especie en sí como de la etapa de desarrollo en que se encuentre la planta al momento de ser cosechada, además de la forma en que se ofrezca al animal, ya sea en verde, henificado, deshidratado o ensilado. La capacidad digestiva tampoco es igual en todos los animales: existen diferencias importantes entre rumiantes y equinos. Durante la digestión, la fracción del forraje que logra descomponerse y asimilarse corresponde a los principios nutritivos, mientras que la parte no digerida es eliminada en forma de excremento (Braudilio, 1974). Cuando se ofrece al animal un forraje tierno y en estado verde, su alta digestibilidad permite que gran parte sea aprovechada, aportando un elevado valor nutritivo. En consecuencia, los excrementos producidos son de menor volumen. Cuanto mayor es la digestibilidad del forraje, menor será la necesidad de complementar la dieta con alimentos concentrados. Sin embargo, en sistemas productivos orientados al trabajo, a la producción de carne o de leche, los



requerimientos energéticos del animal aumentan considerablemente. En estas situaciones, los forrajes (incluso deshidratados) no logran cubrir por completo la demanda de calorías, lo que puede ocasionar deficiencias nutricionales y enfermedades (Braudio, 1974)

- i) Conocer el valor biológico de los forrajes resulta fundamental para la ganadería, no solo desde el punto de vista nutricional, sino también económico. Al identificar el aporte alimenticio de los forrajes y relacionarlo con las necesidades del animal según su tipo de explotación, es posible estimar con mayor precisión su poder energético y determinar qué suplementos deben añadirse para compensar las deficiencias. Esto es clave tanto en etapas de mantenimiento como en fases de producción de trabajo, carne o leche, permitiendo cubrir los requerimientos sin alterar el metabolismo del animal y garantizando su buen estado de salud (Leonard, 2015)

3.2.2 Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos tienen su origen en restos vegetales procedentes tanto de los cultivos como de plantas silvestres, así como en abonos verdes, desechos de animales, estiércoles, insectos y microorganismos presentes en el suelo. Estos materiales pueden incorporarse de manera natural con el paso del tiempo o mediante la intervención directa del ser humano (Alexander, 1980)

De acuerdo con Alexander (1980), la producción de abonos orgánicos presenta múltiples ventajas. En primer lugar, se elaboran a partir de materiales económicos y de fácil acceso. Además, su preparación y almacenamiento no requieren procesos complicados, lo que reduce significativamente los costos en comparación con los fertilizantes químicos. Otra fortaleza es que pueden fabricarse en poco tiempo y en el momento en que se necesiten. Su uso no representa riesgos para la salud de los trabajadores, ofrece resultados visibles en el corto plazo y no genera contaminación ambiental. Tampoco resulta perjudicial para la flora ni la fauna, y, a diferencia de otros insumos, estos abonos se consideran completos, ya que aportan tanto macro como micronutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos.



3.2.2.1 Importancia de los abonos orgánicos

Diversas teorías respaldan el uso de abonos orgánicos, principalmente porque permiten devolver materia orgánica al suelo. Sin embargo, este tipo de fertilización no aporta de manera inmediata nutrientes disponibles para las plantas, ya que los elementos nutritivos que contiene no se encuentran en forma mineral. Para que puedan ser aprovechados por los cultivos, es necesario que pasen por un proceso de mineralización (Huacuja, 2009), se describe los beneficios:

- a) La aplicación de abonos orgánicos al suelo genera múltiples beneficios. En primer lugar, aporta nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal, como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), magnesio (Mg), entre otros; que se liberan progresivamente durante el proceso de transformación de la materia orgánica. Estos aportes, especialmente a través del estiércol aplicado de manera constante, mejoran notablemente el uso del agua en el suelo, su aireación y su capacidad de retener nutrientes, lo que optimiza el aprovechamiento por parte de las plantas (MINAG, 2010).
- b) Además, los abonos orgánicos activan la vida biológica del suelo al liberar, durante su descomposición, ácidos orgánicos y alcoholes que sirven como fuente de carbono para microorganismos benéficos, incluidos los fijadores de nitrógeno. Estos microorganismos producen compuestos que estimulan el crecimiento vegetal, como el triptófano y el ácido indolacético (MINAG, 2010).
- c) De igual manera, al alimentar a los microorganismos en proceso de descomposición, se generan antibióticos naturales que ayudan a proteger a las plantas contra enfermedades, fortaleciendo su sanidad. También se producen compuestos intermedios que pueden ser absorbidos directamente por los cultivos, favoreciendo su crecimiento, mientras que la materia orgánica humificada ofrece beneficios más duraderos (MINAG, 2010).



- d) Por otro lado, los abonos orgánicos liberan sustancias que mejoran la estructura del suelo, facilitando el movimiento del agua y del aire, reduciendo la compactación y favoreciendo tanto el desarrollo radicular como las labores de labranza. Incrementan además la capacidad tampón del suelo, lo que significa una mayor estabilidad frente a cambios bruscos en el pH (MINAG, 2010).
- e) Finalmente, aportan compuestos como los fenoles, que contribuyen a mejorar la respiración de las plantas, la absorción de fósforo y su resistencia frente a enfermedades. En conjunto, la materia orgánica aumenta significativamente la capacidad del suelo para retener humedad (MINAG, 2010).

3.2.2.2 Descomposición de los abonos orgánicos

La descomposición de la materia orgánica puede desarrollarse de dos maneras, en presencia de oxígeno (aeróbica), o en ausencia de oxígeno (anaeróbica) (Alonso, 2004).

- a) Descomposición aeróbica, este proceso ocurre principalmente en las composteras, donde los microorganismos requieren oxígeno para llevar a cabo su actividad. Su eficacia depende de diversos factores que actúan de manera simultánea, como la temperatura, la humedad, el pH, el tipo de material orgánico y la disponibilidad de nutrientes. El éxito en la producción los abonos orgánicos, está directamente relacionado con el manejo adecuado de estas condiciones (Alonso, 2004).
- b) Descomposición anaeróbica, en este caso, los microorganismos sustituyen el oxígeno por otros compuestos durante la respiración o fermentación. Este proceso suele generar malos olores debido a la formación de gases, aunque dichos gases pueden aprovecharse como fuente de energía o combustibles (Alonso, 2004).

3.2.3 Abonos líquidos

Estos preparados se elaboran a partir de microorganismos beneficiosos, conocidos como microorganismos eficaces (EM), entre los que se encuentran bacterias ácido-



lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras y actinomicetos. Al ser aplicados al suelo o a las plantas, estos organismos generan compuestos valiosos como vitaminas, ácidos orgánicos, antioxidantes y sustancias quelatadas que favorecen el desarrollo vegetal. Su producción responde a la necesidad de reducir la dependencia de fertilizantes químicos en los cultivos. En el contexto de la agricultura ecológica, los abonos líquidos elaborados con EM son de gran relevancia porque fortalecen tanto la productividad como la sostenibilidad económica, además de impulsar la competitividad de los cultivos destinados a la exportación (Restrepo, 2001).

El uso de estos biofertilizantes mejora la capacidad del suelo para retener y aprovechar nutrientes, mientras que en las plantas ayudan a suplir la demanda de minerales en pequeñas cantidades, esenciales para su crecimiento y sanidad. El abono líquido no solo cumple la función de fertilizante, sino que también actúa como un suave fumigador foliar, fungicida e insecticida. Sus propiedades funcionan como reguladores naturales del crecimiento vegetal y favorecen la actividad biológica del suelo. Además, los cultivos tratados con este tipo de abono desarrollan mayor resistencia frente a diversos patógenos (Alonso, 2004).

La efectividad de los abonos líquidos, se puede explicarse a partir de la Teoría de la Trofobiosis de Francis Chaboussou, la cual sostiene que todo ser vivo solo puede sobrevivir si cuenta con el alimento adecuado. Bajo esta idea, la aparición de plagas o enfermedades estaría vinculada al desequilibrio nutricional de las plantas, ya sea por deficiencias de macro o micronutrientes, o por el uso excesivo de agroquímicos, lo que las hace más vulnerables. En este contexto, el estiércol líquido destaca como una fuente completa y balanceada de nutrientes orgánicos, aportando tanto macro como microelementos. Asimismo, puede actuar como catalizador del crecimiento vegetal. Incluso, algunos agricultores en la costa peruana enriquecen su preparación añadiendo agua de coco, ya que esta contiene hormonas naturales como las giberelinas, que estimulan el desarrollo de las plantas (Alonso, 2004)

El IDMA (2015), comprobó que, al aplicar composta, lombricomposta y biodigestados líquidos en el cultivo de cebada, todos los tratamientos superaron al testigo con fertilización química. Los abonos orgánicos no solo mostraron efectos positivos cuando se usaron de manera individual, sino que además la cebada obtenida



con estos fertilizantes presentó un aroma más intenso, mejor sabor y una frescura más duradera en comparación con la producida con fertilización química

3.2.4 Biol

3.2.4.1 Generalidades

El biol es una importante fuente de fitorreguladores, obtenidos a partir de la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos. Se le conoce como un súper abono líquido, rico en energía y con un equilibrio adecuado de minerales. Su preparación consiste en disolver estiércol fresco en agua y complementarlo con ingredientes como leche, melaza y ceniza. Esta mezcla se deja fermentar durante varios días en recipientes o tanques plásticos cerrados, bajo condiciones anaeróbicas, hasta obtener un excelente fertilizante líquido para los cultivos (Suquilanda, 2001)

3.2.4.2 Origen

Este fertilizante líquido orgánico, comenzó a marcar un cambio importante en la agricultura latinoamericana desde inicios de la década de 1980. Su elaboración fue desarrollada por el agricultor Delvino Magro, con el respaldo de Sebastio Pinheiro, dentro de la iniciativa Juqira Candiru Satyagraha, originada en Rio Grande del Sur, Brasil, y que posteriormente extendió su presencia a países como Colombia y México (Restrepo, 2001)

3.2.4.3 Importancia

Los abonos líquidos, conocidos como bioles, representan una alternativa eficiente para aprovechar el estiércol animal. Mediante un proceso de fermentación anaeróbica, este material se transforma en un fertilizante rico en nitrógeno y complementado con macro y micronutrientes esenciales para los cultivos. Diversos estudios han demostrado que, al aplicarse de forma foliar en concentraciones entre el 20 y el 50% en cultivos como alfalfa, papa y hortalizas, los bioles estimulan el crecimiento, mejoran la calidad de los productos e, incluso, pueden actuar como un ligero repelente frente a determinadas plagas (Restrepo, 2001)

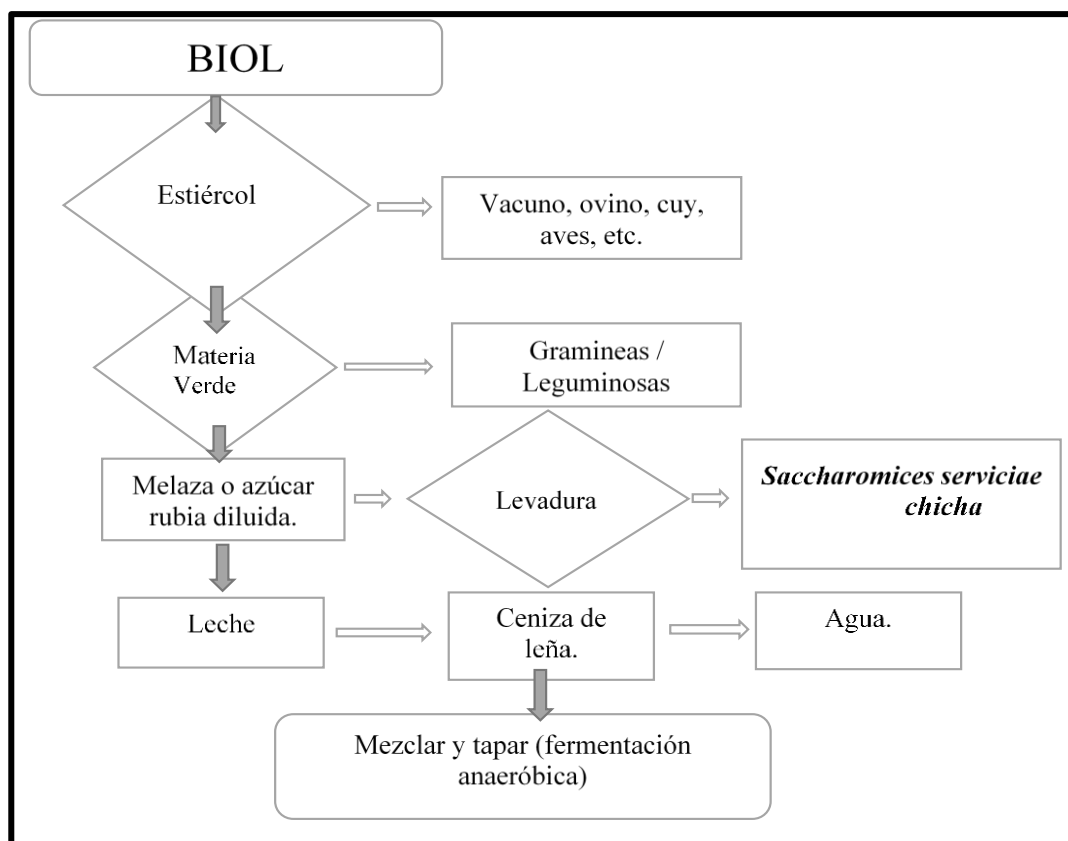


3.2.4.4 Elaboración del biol

Suquilanda (2001), señala que, para garantizar un adecuado funcionamiento del digestor en la producción de biol, es fundamental cuidar ciertos aspectos: la calidad de la biomasa o materia prima, mantener la temperatura de digestión entre 25 y 35 °C, conservar el pH cercano a 7,0 y asegurar condiciones estrictamente anaeróbicas mediante un cierre hermético del digestor.

- a) Materiales necesarios, según Suquilanda (2001), los insumos básicos para elaborar biol incluyen:
- Un bidón de metal o plástico con capacidad de 200 litros (si es de metal, debe recubrirse internamente con pintura anticorrosiva).
 - Un plástico grueso para cubrir la boca del bidón.
 - Una cuerda de nailon o alambre de 4 m para ajustar el plástico.
 - Estiércol y agua.
 - Forraje picado de alfalfa, fabáceas o leguminosas en una proporción del 5% del peso total de la biomasa.
- b) Receta para un bidón de 200 litros, según Suquilanda (2001), considera los siguientes ingredientes orgánicos:
- 3 kg de ceniza.
 - 5 lt de suero de leche.
 - 5 lt de melaza, miel o panela.
 - 2 kg de humus de lombriz
 - 4 kg de tierra de bosque o tierra negra.
 - 0,5 kg de harina de huesos o cáscara de huevo.
 - 5 kg de estiércol de gallina o de animales menores.
 - 40 kg de estiércol fresco de vacuno.
 - 10 kg de plantas picadas (ej. ortiga, cola de caballo, alfalfa, altamisa, lupino, bleado, ataco y otras especies nativas de la chacra).
- c) Ingredientes minerales, según Suquilanda (2001), considera los siguientes ingredientes minerales:
- 285 g de sulfato de zinc.

- 285 g de sulfato de magnesio.
 - 285 g de ácido bórico.
 - 33 g de óxido de manganeso.
 - 57 g de sulfato de cobre.
 - 15 g de cloruro de cobalto.
 - 20 g de sulfato ferroso.
 - 20 g de molibdato de sodio.
 - 3 kg de arcilla en polvo (especialmente en suelos arenosos).
 - 4 kg de roca fosfórica o superfosfato triple.
- d) Preparación de biol, puede realizarse en envases de distintos tamaños, adaptándose a las necesidades de cada familia y a la disponibilidad de insumos. Aunque no existe una receta única, el estiércol constituye la base del preparado, representando entre el 25% y el 50% del volumen total. Por ejemplo, en un envase de 60 litros se utilizan entre 12 y 25 kg de estiércol, mientras que el resto de ingredientes se incorporan en menores cantidades (FONCODES, 2014).



Clave

Fermentación anaeróbica

NOTA

Se muestra el diagrama de flujo del proceso productivo del biol de la investigación

Figura 1 — Diagrama de flujo de la producción de biol

3.2.4.5 Preparación del biol

El bidón plástico se llenó con agua hasta la mitad y luego se agregan todos los materiales, sin importar el orden. Se mezcla bien con la ayuda de un palo y, finalmente, se completa con agua hasta alcanzar unos 55 litros, dejando un espacio libre para la acumulación de gases.

- a) En la tapa del bidón se hizo un orificio para colocar una manguera plástica de ¼ de pulgada de diámetro, por donde saldrán los gases de la fermentación. La manguera se selló firmemente con silicona o soldimix para evitar filtraciones. El otro extremo de la manguera se introdujo en el fondo de una botella plástica de un litro con agua, lo que permite la salida de gases e impide el ingreso de aire al bidón.

- b) Es fundamental asegurar un sellado completo del envase, ya que la entrada de aire arruinaría la fermentación y el biol perdería calidad. El proceso de fermentación debe mantenerse sin abrir el bidón: entre 45 y 60 días en climas fríos y alrededor de 30 días en zonas cálidas. Como los ingredientes se descomponen en un recipiente cerrado, es recomendable mantenerlo lejos de fuentes de fuego, ya que los gases liberados son inflamables.
- c) El biol estará listo cuando dejen de formarse burbujas en la botella con agua. Un buen biol debe presentar un olor agradable, similar al jugo de caña, y tener un color amarillo. En cambio, si despiden olor a podrido y adquiere un tono verde azulado, significa que la fermentación se contaminó y el preparado debe desecharse.



NOTA

Representación gráfica de la preparación de biol con incorporación de ingredientes.

FUENTE: FONCODES, 2014

Figura 2 — Preparación del biol

- d) Para recolectar el biol, se utiliza una malla o colador con el fin de separar el líquido de la parte sólida o más espesa. Esta fracción pastosa que queda del filtrado puede aplicarse directamente al pie de las plantas

como abono. El biol líquido debe guardarse en un lugar fresco, preferiblemente en bidones o botellas de color oscuro, ya que la exposición a la luz solar puede disminuir su calidad. Cuando se almacena adecuadamente, el biol puede conservarse en buenas condiciones hasta por seis meses.



NOTA

Representación gráfica de la cosecha del biol y la separación de la parte sólida (pastosa) para incorporar a las plantas.

FUENTE: FONCODES, 2014

Figura 3 — Cosecha de biol

3.2.4.6 Aplicación del biol

El biol se aplica principalmente de manera foliar, es decir, sobre las hojas y tallos, siempre diluido en agua, ya que usarlo puro puede resultar demasiado fuerte y llegar a quemar la planta. También puede colocarse directamente alrededor del cuello de la raíz o sobre el suelo. La dilución recomendada oscila entre el 5% y el 25% de biol en agua. Por ejemplo, en una mochila de 15 litros, se puede añadir entre 1 y 3 litros de biol, según el tipo de cultivo, la etapa de crecimiento en la que se encuentre y la época del año en que se realice la aplicación.



NOTA

Representación gráfica de la aplicación del biol en cultivos

FUENTE: FONCODES, 2014

Figura 4 — Aplicación del biol, en cebada

3.2.4.7 Composición química del biol

Tabla 6 — Composición química del biol

Descripción	Composición
Nitrógeno (N)	4%
Fósforo (P)	68 ppm
Potasio (K)	480 ppm
Ph	6,10
C.E	2mmhos/cm.
Claves % Porcentaje ppm: partes por millon mmhos/cm : milimho por centímetro NOTA La composición química de un biol FUENTE: INIA, 2005	

3.2.4.8 Tiempo de fermentación del biol

El tiempo que tarda en fermentar un biol puede variar, ya que depende tanto de la destreza de quien lo prepara, de la inversión realizada y de la cantidad que se necesite, como también del tipo de biofertilizante que se busque elaborar. Por ejemplo, un biol básico y sencillo puede estar listo en un lapso de 20 a 30 días. En cambio, cuando se preparan bioles enriquecidos con sales minerales, el proceso suele extenderse de 35 a 45 días. Si se cuenta con más recursos y se dispone de varios recipientes o tanques plásticos, es posible acelerar el proceso: se pueden fermentar por separado los ingredientes básicos junto con una sal mineral en cada recipiente, reduciendo así el tiempo de espera. Una vez listos, solo queda calcular la dosis adecuada de cada nutriente para el cultivo y realizar la mezcla final en la mochila o bomba al momento de la aplicación. (Espinoza, 1987)

3.2.4.9 Funciones del biol

Los bioles actúan principalmente dentro de las plantas, ayudándolas a mantener un equilibrio nutricional que refuerza sus mecanismos de defensa. Esto se logra gracias a la presencia de compuestos como ácidos orgánicos, hormonas de crecimiento, antibióticos naturales, vitaminas, minerales, enzimas, coenzimas, carbohidratos, aminoácidos y azúcares complejos. Todos estos elementos interactúan en una red de relaciones biológicas, químicas, físicas y energéticas que conectan a las plantas con la vida del suelo (Espinoza, 1987).

Cuando los bioles son enriquecidos y completan su proceso de fermentación (entre 30 y 90 días), se transforman en una solución estable y coloidal. En este estado, sus efectos pueden llegar a ser entre 10 y 100 mil veces más potentes que las dosis de nutrientes que normalmente recomienda la agroindustria para aplicaciones foliares y en el suelo (Suquilanda, 2001).

3.2.4.10 Funciones de cada ingrediente en la preparación de biol

- a) El estiércol, su papel principal es aportar microorganismos vivos que activan la fermentación del biofertilizante. Entre ellos se incluyen levaduras, hongos, protozoos y bacterias, que son los encargados de

transformar y poner a disposición de las plantas y del suelo los nutrientes presentes en el bidón de fermentación (Restrepo, 2001).

- b) La leche, su función es revitalizar el preparado de forma similar a la melaza. Aporta vitaminas, proteínas, grasas y aminoácidos, que favorecen la generación de nuevos compuestos orgánicos durante la fermentación, además de brindar las condiciones adecuadas para que los microorganismos se reproduzcan de manera eficiente (Restrepo, 2001).
- c) La melaza, su misión principal es suministrar la energía necesaria para estimular el metabolismo microbiano y potenciar la fermentación. También incorpora minerales en menor proporción, como calcio, potasio, fósforo, boro, hierro, azufre, magnesio y zinc, entre otros (Restrepo, 2001).
- d) Las sales minerales, su función es enriquecer la fermentación y proporcionar nutrientes esenciales tanto para el suelo como para las plantas. Durante el proceso, los microorganismos presentes (aportados inicialmente por los estiércoles) digieren y transforman estas sales, dándoles “vida” y haciéndolas más asimilables (Medina, 1992).
- e) El agua, es el medio donde ocurren todas las reacciones químicas y bioenergéticas del proceso anaeróbico. Gracias a ella, los microorganismos como bacterias y levaduras se desarrollan de forma uniforme, mientras que los compuestos resultantes (enzimas, vitaminas, péptidos y promotores de crecimiento) se distribuyen de manera equilibrada en la mezcla (Medina, 1992).

3.2.4.11 Disponibilidad del biol para utilizar

Los bioles se consideran listos para su uso una vez que termina la etapa más intensa de la fermentación anaeróbica del estiércol. Esto se comprueba fácilmente observando que ya no salen burbujas ni gases por la manguera conectada entre la tapa del biodigestor y la botella de agua, lo que indica que el proceso ha finalizado (Espinoza, 1987).



3.2.4.12 Relación materia-orgánica- agua

La proporción de materia orgánica en la preparación del biol puede variar según el tipo de insumo disponible y la cantidad de agua empleada. Generalmente, se trabaja con mezclas de 50% - 50% o 25% - 75%. Sin embargo, la recomendación más adecuada es usar un tercio de materia orgánica y dos tercios de agua. Además, es importante dejar siempre entre 10 a 20 cm libres en la parte superior del recipiente para permitir la correcta fermentación (Restrepo, 2001).

3.2.4.13 Frecuencia y dosis recomendada

La frecuencia de aplicación de los biofertilizantes no es fija, ya que depende de varios factores como el tipo de cultivo, su estado de desarrollo, las características del suelo y la cobertura existente. En el caso de las hortalizas trasplantadas al campo, se recomienda realizar entre tres y seis aplicaciones, usando concentraciones de entre 3% y 7% cuando se aplican al follaje, y hasta 25% si se aplican directamente al suelo, el cual debe mantenerse húmedo. Para el caso del forraje verde hidropónico (FVH), se sugiere aplicarlo dos veces al día durante una semana en concentraciones del 5%. Sin embargo, lo más adecuado es conocer las necesidades nutricionales específicas de cada cultivo en cada etapa de su crecimiento y diferenciación, lo que requiere realizar un análisis completo de suelos y de tejido foliar (Restrepo, 2001).

3.2.4.14 Abonamiento o fertilización foliar

La absorción de nutrientes por medio de las hojas no reemplaza la función de las raíces, sino que representa una vía complementaria de alimentación para las plantas. Esta práctica resulta especialmente útil en determinadas condiciones. Por ejemplo, en suelos degradados, pobres en humus y calcio, gran parte del abono que se incorpora al terreno queda atrapado entre las capas de arcilla y no está disponible para las plantas. En estos casos, la fertilización foliar es la alternativa más recomendable, lo mismo que en suelos con alto contenido de sesquióxidos (García, 1989).



En cultivos frutales también es muy beneficiosa, ya que las raíces suelen tener dificultades para absorber fósforo, potasio y micronutrientes. El rociado de las hojas con soluciones nutritivas garantiza una alimentación más completa y equilibrada. Además, como la mayoría de frutales suelen presentar deficiencias de estos elementos, la fertilización foliar se convierte en un método eficaz para corregirlas (García, 1989).

Durante etapas críticas como el crecimiento, la floración y la fructificación, la aplicación foliar permite suministrar nutrientes en el momento justo, fortaleciendo a la planta frente a carencias. Esto es especialmente importante con los micronutrientes, que suelen presentar las mismas dificultades de absorción que el fósforo y el potasio. Incluso en invierno, cuando las raíces dejan de absorber nutrientes, las plantas pueden aprovechar esta vía de alimentación a través de las hojas, la corteza o los tallos, aun en especies de hoja caduca (García, 1989).

En situaciones de sequía, cuando el suelo seco impide la absorción radicular, la fertilización foliar se convierte en la principal alternativa para nutrir a las plantas. En el caso del forraje verde hidropónico (FVH), su aplicación es habitual y puede realizarse hasta dos veces al día, en dosis cercanas al 5%, dependiendo de la temperatura de la zona (García, 1989).

Tabla 7 — Dosis de biol recomendado según cultivo

Cultivo	Dosis: mochila 15 lt	Agua (lt)	Intervalo de aplicación (días)
Frutales: Duraznos, ciruelo, otros	2 a 3	13 a 12	10 a 15
Leguminosas: Haba, arveja, alfalfa, otros	1.5 a 2	13.5 a 13	15
Tubérculos: papa, olluco, oca, otras	2 a 3	13 a 12	10 a 15
Hortalizas: zanahoria, cebolla, rábano	1.5	13.5	10
Cereales: Trigo, cebada, avena, otros	3	12	15
Maíz	2	13	10
Clave lt= Litros			



NOTA

Las dosis recomendadas, según tipo de cultivo e intervalo de aplicación

FUENTE: FONCODES, 2014

3.2.4.15 Absorción por las hojas

Ya desde la antigüedad se reconocía que el agua de lluvia tenía un efecto nutritivo sobre las plantas. Esto se debía a que, al contener sustancias disueltas, podía ser absorbida por las hojas, tanto por el haz como por el envés. Investigaciones posteriores confirmaron este fenómeno: las hojas tienen la capacidad de asimilar minerales directamente, y cuando se rocían con soluciones nutritivas, la absorción comienza apenas a los cuatro segundos de mojarse, ocurriendo de manera rápida y eficiente. Esta absorción no solo se da en las hojas durante el día y la noche, sino que también puede producirse a través de tallos, flores, frutos e incluso la corteza de ramas y troncos. Aunque es más intensa en el haz de los folíolos, no depende de la apertura o cierre de estomas (García, 1989).

Este proceso no sigue exactamente las leyes físicas de la ósmosis, sino las reglas biológicas propias de la nutrición vegetal. Cuando una solución de sales minerales entra en contacto con la superficie de la planta (raíces, tallos, hojas, flores o frutos), ocurre una selección natural: el vegetal absorbe solo lo que necesita para su desarrollo, bloqueando la entrada de toxinas o sustancias innecesarias. La eficacia de esta absorción depende en gran medida de la superficie foliar disponible. Tras la aplicación del riego foliar, los nutrientes empiezan a moverse hacia los tejidos meristemáticos, es decir, los puntos de crecimiento de raíces, tallos, hojas, flores y frutos (García, 1989).

La luz y la temperatura también juegan un papel clave. Durante el día la absorción es más intensa que en la noche, siendo más eficiente en un rango de temperatura entre 16 y 20 °C. Incluso puede producirse en invierno a 0 °C, aunque al superar los 30 °C, la absorción prácticamente se detiene. Finalmente, el pH de la solución nutritiva influye en la penetración de los minerales: el fósforo se absorbe mejor en soluciones



ácidas, mientras que el potasio requiere condiciones más alcalinas (Restrepo, 2001).

3.2.4.16 Ventajas del uso del biol

Guerrero (1993), considera que el uso de bioles y bioabonos presenta múltiples beneficios. En primer lugar, los productos obtenidos carecen de olores desagradables, tienen una textura espesa pero fluida, y los residuos sólidos digeridos no atraen ni roedores ni moscas. Además, durante el proceso de fermentación se conservan los nutrientes de los excrementos y, en muchos casos, su valor fertilizante incluso aumenta, lo que se refleja en mayores rendimientos en cultivos como maíz, papa, coliflor o lechuga.

El biol también actúa como mejorador del suelo, favorece la unión y estabilidad de sus partículas, mejora la porosidad, incrementa la retención de humedad y modifica el pH, reduciendo la pérdida de nutrientes para el crecimiento vegetal. Los residuos pastosos resultantes pueden aplicarse directamente al campo, almacenarse en fosas o secarse para su posterior uso. Incluso se ha comprobado su utilidad en la estimulación del crecimiento de pastos para estabilizar taludes en canales de riego. Asimismo, se resalta que el biol activa la vida microbiana del suelo, fortalece el desarrollo de tallos y hojas, favorece la floración y la fructificación, y funciona como repelente y adherente natural. También incrementa la resistencia de los cultivos frente a heladas, plagas y enfermedades, lo que lo convierte en una alternativa sostenible y eficiente para la agricultura (Guerrero, 1993).

3.2.5 Algas marinas

Las algas marinas son organismos talófitos, es decir, seres vivos que no presentan estructuras diferenciadas como hojas, tallos o raíces. Pueden ser unicelulares o pluricelulares, y habitan tanto en aguas marinas como dulces. En general, contienen clorofila, aunque muchas veces este pigmento verde se ve enmascarado por otros de distintos colores. En las algas pluricelulares, el talo puede adoptar formas diversas, como filamentos, láminas o cintas, y en algunos casos presenta ramificaciones (Robledo, 1997). Estos organismos tienen una notable capacidad de adaptación. No



solo se desarrollan en aguas tranquilas, sino también en ambientes expuestos a la desecación. Pueden encontrarse sobre rocas desnudas, en fuentes termales con altas temperaturas, en nieves y glaciares, e incluso en lugares con escasa luz a grandes profundidades. Su presencia en tantos hábitats se explica por su gran plasticidad fisiológica y adaptativa (Erulan, Thirumaran & Anathan, 2009).

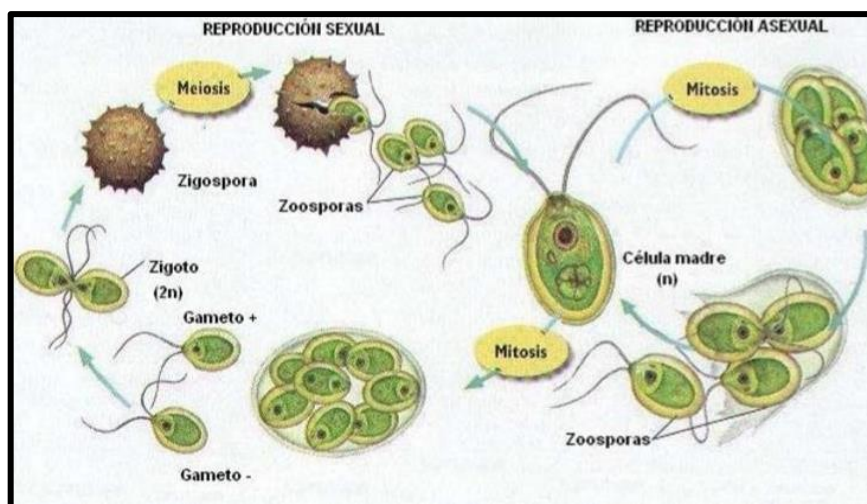
La mayoría de algas marinas realizan fotosíntesis, transformando dióxido de carbono y sales minerales disueltas en el agua en compuestos orgánicos, gracias a la clorofila en energía química. A diferencia de las plantas terrestres, no cuentan con tejidos de conducción ni de sostén, ya que al desarrollarse en un medio acuático la fuerza de la gravedad no actúa de la misma manera. Los nutrientes pueden ingresar en cualquier parte de su cuerpo (Aboel & Ezequiel, 2013).

En cuanto a su clasificación, las algas marinas se agrupan principalmente en tres grandes grupos según el pigmento predominante que presentan: algas verdes (*Chlorophyceae*), algas pardas (*Phaeophyceae*) y algas rojas (*Rhodophyceae*). Esta diversidad de colores se debe a la presencia de distintos pigmentos como clorofilas, carotenoides y ficobilinas (Erulan, Thirumaran & Anathan, 2009).

3.2.5.1 Reproducción

Las algas pueden reproducirse de forma sexual y asexual. En varias especies, que presentan ciertas estructuras internas semejantes a las de las plantas vasculares, se observa la alternancia de ambos mecanismos reproductivos, ya que a lo largo de su ciclo de vida emplean tanto la reproducción asexual como la sexual (Herrera, 2014).





NOTA

Se expresa de manera didáctica las diferencias entre la reproducción sexual y asexual.

FUENTE: Audesirk, 1997

Figura 5 — Reproducción sexual y asexual de algas marinas

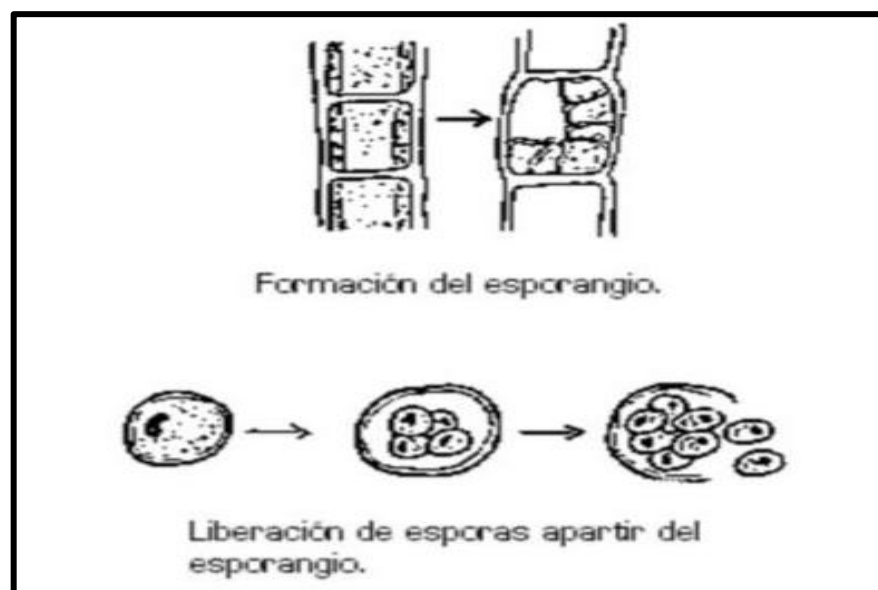
Los ciclos de vida de las algas son muy diversos y presentan un nivel de complejidad que varía no solo entre las distintas divisiones, sino también dentro de cada una de ellas (Audesirk & Audesirk, 1997).

En cuanto a la reproducción asexual, las algas pueden multiplicarse mediante divisiones celulares vegetativas, de forma similar a las bacterias. De hecho, un nuevo filamento o colonia puede originarse a partir de un simple fragmento desprendido de una estructura multicelular más antigua. Sin embargo, en la mayoría de los casos, este proceso es más elaborado, ya que implica la formación de esporas unicelulares. Muchas de ellas, especialmente en especies acuáticas, poseen flagelos que les permiten moverse libremente; estas son conocidas como zoosporas (Audesirk & Audesirk, 1997).

Otro mecanismo frecuente de multiplicación es la esporulación, considerada la forma más común de reproducción asexual en las algas. Este proceso ocurre cuando una célula madre, llamada esporangio, genera una o varias células reproductivas dentro de su propia pared celular. Dichas células hijas reciben el nombre de esporas, las cuales pueden producirse en grandes

cantidades, lo que favorece un crecimiento rápido de la población. En ambientes terrestres, son más comunes las aplanosporas, que son esporas inmóviles. En algunos casos, estas pueden transformarse en zoosporas, adaptándose mejor a condiciones acuáticas (Pelczar, Reid & Chan, 1982)

Las algas presentan diversos tipos de reproducción sexual, siendo la más común la fusión o conjugación de gametos, que se dan en las células sexuales. En este proceso, dos gametos se unen y combinan su material genético, dando origen a una nueva vida. Cuando los gametos que participan en la unión son iguales en forma y tamaño, el proceso se conoce como isogamia. En cambio, si los gametos son diferentes en tamaño o función (como el masculino y el femenino), la reproducción se denomina heterogamia (Curtis, 1991)

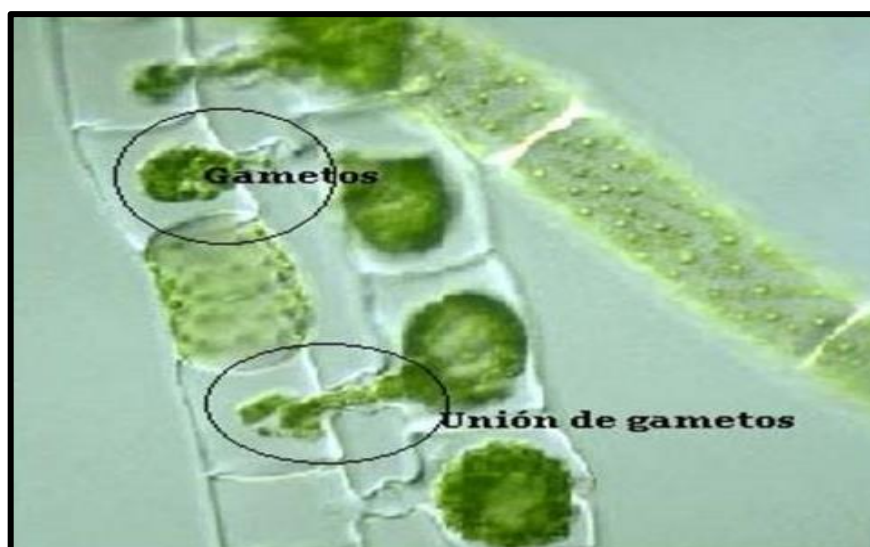


NOTA

Se explica la formación del esporangio en la reproducción sexual de las algas marinas.

FUENTE: Pelczar et al., 1982

Figura 6 — Reproducción sexual de algas marinas



NOTA

Se muestra la unión de gametos, paso para el origen de una nueva generación de algas.

FUENTE: Curtis, 1991

Figura 7 — Reproducción asexual de algas marinas

3.2.5.2 Distribución

En la naturaleza existen miles de especies de algas, presentes prácticamente en todo el planeta. Se desarrollan en océanos, mares, lagunas, ríos, lagos (ya sean de agua dulce o salada), y también en ambientes más pequeños como arroyos o charcas. Además, muchas de ellas prosperan en suelos húmedos, rocas, cortezas de árboles, plantas e incluso en animales (Ville *et al.*, 1992).

Las algas microscópicas forman parte esencial del plancton, una comunidad de diminutos organismos que flotan en el agua y que constituyen la base de la alimentación de muchos animales acuáticos, incluidas especies tan grandes como las ballenas. En general, las algas crecen en lugares donde disponen de luz, humedad y nutrientes simples. Algunas especies han desarrollado la capacidad de vivir sobre suelos húmedos, troncos de árboles o superficies rocosas, donde contribuyen a la descomposición química de estos materiales, transformándolos en compuestos que enriquecen la fertilidad del suelo (Wetzel, 1975).

3.2.5.3 Clasificación de las algas marinas

Etzel (1975), considera que las algas se agrupan en siete grandes categorías, y para diferenciarlas se toman en cuenta varios aspectos clave. Entre ellos están:

- a) La naturaleza y composición de sus pigmentos, que determinan su coloración. El tipo de sustancias de reserva que producen y almacenan a partir de la fotosíntesis.
- b) La forma, número y disposición de los flagelos, cuando los poseen. La composición y estructura de su pared celular.
- c) Sus rasgos morfológicos, tanto a nivel celular como en el talo (su cuerpo). Finalmente, su ciclo de vida y las estrategias de reproducción, incluyendo las estructuras y mecanismos que utilizan para reproducirse.

Tabla 8 — Clasificación de algas marinas según caracteres morfológicos

Grupo	Forma del talo	Pigmentos fotosintéticos	Forma de almacenar su alimento	Composición de la pared celular
<i>Chlorophyta</i> (algas verdes)	Unicelular, multicelular y filamentosas	Clorofilas a y b, carotenoides	Almidón	Polisacáridos y celulosa
<i>Pheophyta</i> (algas pardas)	Multicelular	Clorofilas a y c, carotenoides y fucoxantina	Laminarina (aceites y carbohidrato)	Celulosa principalmente
<i>Rhodophyta</i> (algas rojas)	Multicelular	Clorofila a, d ficobilinas y carotenoides	Almidón	Celulosa o pectina con carbonato de calcio
<i>Bacillariophyta</i> (diatomeas)	En su mayoría unicelular	Clorofilas a y c, carotenoides y xanthophylla	Leucosina (aceites de carbohidrato)	Pectina, y en algunos casos dióxido de silicón
<i>Dinoflagellata</i> (dinoflageladas)	Unicelular	Clorofilas a y c, carotenoides	Almidón	Celulosa



<i>Cryosophyta</i> (algas doradas)	En su mayoría unicelular	Clorofilas a y c, carotenoides y xanthophylla	Laminarina (aceites y carbohidrato)	Celulosa
<i>Euglenophyta</i> (euglenoides)	Unicelular	Clorofilas a y b, carotenoides y xanthophylla	Almidón	No presentan pared celular, solo una película rica en proteínas

NOTA

Se detalla en la tabla la clasificación agrupada por sus características morfológicas, formas de almacenar sus alimento y composición de la pared celular

FUENTE: Ville et al., 1992

3.2.5.4 Extracto de algas marinas y uso en la producción de FVH

Los extractos de algas marinas funcionan como biofertilizantes naturales, ya que son materiales bioactivos solubles en agua. Estos fertilizantes orgánicos promueven la germinación de las semillas y favorecen el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Se utilizan tanto como suplementos nutricionales, bioestimulantes o fertilizantes en la agricultura y la horticultura (Herrera, 2014).

Por otra parte, Calmet (2003) señala que la aplicación de algas marinas en la fertilización de hortalizas y frutales es recomendable porque estimula el desarrollo vegetativo. Arano (1998) indica que se obtienen buenos resultados al incorporar 200 ppm de extracto de algas marinas en la solución nutritiva para la producción de forraje verde hidropónico (FVH).

3.2.5.5 Algamar plus

Es un producto considerado afín a los fertilizantes, elaborado principalmente a partir de algas marinas y ácidos fúlvicos. Al ser de origen natural, sus componentes representan una opción atractiva para mejorar la productividad de los cultivos. Este fertilizante orgánico contiene más de 60 micro y macronutrientes, aminoácidos, carbohidratos y promotores de crecimiento naturales, los cuales contribuyen al rendimiento de las plantas. Puede aplicarse de forma directa al suelo y/o vía foliar, y también es compatible para mezclarse con otros agroquímicos como herbicidas,



fungicidas o insecticidas, simplemente diluyéndolo en agua. Estudios han demostrado que el uso correcto de Algamar Plus mejora los rendimientos en cantidad, peso y volumen de los cultivos (AGRICISA, 2017).

Tabla 9 — Composición química del Algamar Plus

Composición	Porcentaje peso/peso
Algas marinas	20%
Ácidos fúlvicos	10.90%
Vehículo inerte	69.10%
Claves %: porcentajes NOTA La composición química muestra los principales componentes del algamar plus FUENTE: AGRICISA, 2017	

3.2.5.6 Usos de bioestimulantes en forrajes verde hidropónico

Según Bietti (2003), los bioestimulantes tienen la capacidad de potenciar el crecimiento, el desarrollo y la productividad de los cultivos.

Rojas & Ramírez (1987), los describen como productos no nutricionales que, además de reducir la dependencia de fertilizantes, pueden aumentar la producción y fortalecer la resistencia de las plantas frente a factores de estrés como temperaturas extremas o déficit de agua.

En la agricultura de frutas, verduras, hortalizas y forrajes (FVH), el uso de bioestimulantes y la fertilización foliar se ha vuelto cada vez más común debido a la alta demanda, con el objetivo principal de cubrir las necesidades de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes (Rojas & Ramírez, 1987).

Por su parte, Sánchez & Franco (2012) señalan que la fertilización foliar debe aplicarse de manera específica para complementar y favorecer el crecimiento y desarrollo de las distintas estructuras de la planta. Solo así se

puede optimizar la producción y la calidad de los cultivos; de lo contrario, esta práctica se volvería ineficaz y aumentaría innecesariamente los costos de producción en FVH.

3.2.6 La cebada

3.2.6.1 Usos de bioestimulantes en forrajes verde hidropónico

Según Bietti (2003), los bioestimulantes tienen la capacidad de potenciar el crecimiento, el desarrollo y la productividad de los cultivos.

Además, existen otros centros de diversidad genética y diversificación de la cebada en lugares como Etiopía, el Tíbet, Marruecos y Asia Central. La expansión de este cultivo a distintas regiones del mundo se debe principalmente a su notable capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales (Cuesta, 2007)

3.2.6.2 Clasificación científica (taxonomía)

Según Cuesta (2007) la cebada tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Clase	:	<i>Liliopsida (=Monocotyledonae)</i>
Subclase	:	<i>Liliidae</i>
Orden	:	<i>Poales (=Glumiflorae)</i>
Familia	:	<i>Poaceae (=Gramineae)</i>
Sub familia	:	<i>Ooideae (=Festucoideae)</i>
Tribu	:	<i>Triticeae (= Hordeae)</i>
Género	:	<i>Hordeum</i>
Especie	:	<i>Hordeum vulgare</i> L.

3.2.6.3 Descripción general

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es una especie muy resistente a diferentes tipos de estrés abiótico y presenta un ciclo de desarrollo relativamente corto, lo que la hace precoz. Estas cualidades permiten que se cultive en ambientes donde otros cultivos tendrían dificultades para crecer (Forster & Powell, 1997)



Además de su notable capacidad de adaptación, el producto principal de la cebada es el grano, que se utiliza para alimentación animal, elaboración de cerveza y malta, así como para consumo humano. La paja y el follaje también tienen valor como forraje para el ganado (Forster & Powell, 1997; citado por Muñoz, 2007). Actualmente, la cebada también tiene relevancia en la producción de bioetanol.

Muñoz (2007), considera que la cebada puede clasificarse según distintos criterios:

- a) Hábito de crecimiento, Puede ser de invierno o de primavera. Las variedades de invierno, con ciclo largo, necesitan un periodo de vernalización para florecer, mientras que las de primavera, de ciclo corto, no requieren este proceso.
- b) Morfología de la espiga, Puede ser de dos o seis hileras. En las de dos hileras, las espiguillas laterales son estériles y las centrales fértiles; en las de seis hileras, todas las espiguillas son fértiles.
- c) Uso final, según su destino, se clasifican en malteras, alimenticias o forrajeras. Las malteras se emplean en la producción de cerveza, bebidas alcohólicas y otros productos alimenticios. Las alimenticias, por su alto contenido proteico, fibras dietéticas (como beta-glucanos) y carbohidratos, se usan en la alimentación humana en forma de granos perlados o harinas para panificación. Las forrajeras se destinan principalmente a alimentar al ganado.
- d) Cubierta del grano, existen cebadas con cariósides cubiertos (con cáscara, lemma y palea que no se desprenden en la trilla) y cebadas con cariósides desnudos (sin cáscara, que se desprenden fácilmente del grano durante la trilla)

3.2.6.4 Importancia económica y distribución geográfica

En el Perú, la cebada ocupa el cuarto lugar en extensión de cultivo, después del maíz, el arroz y la papa. Su cultivo se concentra principalmente en la



región andina. En 2013, se sembraron aproximadamente 154,127 hectáreas, con un rendimiento promedio de 1,457 kg/ha, lo que resultó en una producción total de 224,533 toneladas años (Tapia & Fries, 2007).

Los departamentos con mayor producción fueron La Libertad, Cusco, Junín, Puno, Huancavelica, Ayacucho y Áncash. En la agricultura tradicional de los Andes peruanos, la cebada se incluye en rotaciones de cultivos que suelen seguir la secuencia papa–cebada–tarwi, en terrenos comunales bien definidos, con periodos de descanso que varían entre tres y siete años (Tapia & Fries, 2007).

Tabla 10 — Composición de la cebada por 100 g

Nutrientes	Contenido
Proteínas	2.5
Materia grasa	0.5
Materia no nitrogenada	8.8
Celulosa	5.6
Cenizas	1.7
Agua	80.9
Clave g gramos NOTA Se describe la composición de la cebada en 100 g de sustancia. FUENTE: INFOAGRO, 2014	

3.2.6.5 Morfología de la cebada

- Germinación, la semilla absorbe agua y la radícula principal emerge, seguida por un par de raíces laterales que forman el sistema radicular seminal. Estas raíces proporcionan anclaje y absorben agua y nutrientes durante las primeras etapas de crecimiento. Posteriormente, el coleóptilo atraviesa el suelo y emerge a la superficie. Estudios en cereales han demostrado que la longitud del coleóptilo influye en la emergencia y altura de la planta, por lo que la profundidad de siembra no debe exceder los 7.6 cm (Romero & Gómez, 2002).

- b) Producción de hojas o crecimiento de plántula, una vez que la plántula emerge, el coleóptilo deja de crecer y aparecen las primeras hojas verdaderas, que surgen cada tres a cinco días según la variedad y las condiciones. Al alcanzar de dos a tres hojas, el ápice cambia de crecimiento vegetativo a reproductivo, iniciando la formación de la espiga embrionaria. En variedades de maduración tardía se desarrollan más hojas (Romero & Gómez, 2002).
- c) Sistema radicular, es fasciculado y fibroso, concentrándose principalmente en los primeros 25 cm del suelo, con raíces que pueden llegar hasta 1.20 m de profundidad. La extensión y ramificación dependen de factores como tipo de suelo, humedad, fertilidad y profundidad de siembra. La planta desarrolla raíces seminales (radícula y dos pares laterales) esenciales en seco y raíces de corona, que se distribuyen oblicuamente, adaptándose según la especie y las condiciones del suelo (Romero & Gómez, 2002).

3.2.6.6 Requerimientos ambientales

- a) Clima, la cebada es un cultivo poco exigente con respecto al clima, lo que le permite adaptarse a diversas regiones. Prefiere climas frescos y moderadamente secos, y requiere pocas unidades de calor para alcanzar la madurez fisiológica, lo que le permite crecer en mayores latitudes y altitudes. En Perú, puede cultivarse desde el nivel del mar hasta los 3,900 m s.n.m, siendo el cereal más adaptable a grandes alturas, especialmente cuando se utilizan variedades precoces (Romero & Gómez, 2002).
- b) Temperatura, para germinar, la cebada necesita una temperatura mínima de 6 °C, florece alrededor de 16 °C y alcanza la madurez a los 20 °C. El desarrollo óptimo de sus raíces ocurre a unos 15 °C. La especie tolera bajas temperaturas, soportando hasta 10 °C. En zonas con heladas invernales intensas, se recomienda sembrar variedades de primavera, que inician su crecimiento cuando los fríos más fuertes ya han pasado (Baglietto, 2008).

3.2.6.7 Factores bióticos limitantes para su cultivo

- a) Plagas, los áfidos o pulgones, como *Metolophium dirhodum*, *Sitobion avenae*, *Rhopalosiphum padi*, *Rhopalosiphum maidis* y *Schizaphis graminum*, afectan directamente a la cebada al succionar la savia de hojas y tallos, lo que debilita la planta. Esta acción provoca que la planta exude azúcares, favoreciendo la aparición del hongo fumagina y reduciendo el área foliar. Se ha reportado que la presencia de pulgones puede disminuir el rendimiento en más de un 20% (Romero & Gómez, 2002). De manera indirecta, estos insectos también son vectores del virus del enanismo de la cebada (BYDV).
- b) Enfermedades, la roya más significativa es la roya morena, causada por *Puccinia hordei*, que reduce el rendimiento al disminuir el número de granos por espiga y deformar los mismos. En la sierra peruana, la roya amarilla, ocasionada por *Puccinia striiformis f. sp. hordei*, se caracteriza por pequeñas uredias amarillas que se forman en líneas sobre hojas, tallos e incluso glumas, provocando arrugamiento de granos y daño en los macollos, con pérdidas que pueden llegar hasta el 100%. En Perú, el mayor impacto de esta enfermedad se registró en 1978, cuando apareció por primera vez (Romero & Gómez, 2002).
- c) Manchas foliares, el oídio, causado por *Erisiphe blumeria f.sp. hordei*, se manifiesta como manchas blancas a gris pálido en hojas y glumas. Con el tiempo, estas manchas se oscurecen y se expanden, y los tejidos afectados se tornan pardos y mueren. Ataques tempranos y severos pueden reducir el desarrollo radicular, disminuir el número de tallos con espigas y afectar el tamaño del grano. Este problema se presenta tanto en la costa como en la sierra (Romero & Gómez, 2002).

3.2.7 Trigo

3.2.7.1 Origen

El trigo que cultivamos hoy tiene su origen en la región asiática ubicada entre los ríos Tigris y Éufrates, en la antigua Mesopotamia. Desde esta zona de Oriente Medio, su cultivo se fue expandiendo en todas las direcciones (Hungues & Heathy, 1978).



Historiadores y arqueólogos señalan que las primeras formas de trigo recolectadas por el ser humano datan de más de doce mil años, y las evidencias más antiguas provienen de países como Siria, Jordania, Turquía e Irak (Romero & Gómez, 2002).

El término “trigo” se utiliza tanto para la planta como para sus semillas comestibles, al igual que ocurre con otros cereales como el maíz. La palabra proviene del latín *triticum*, que significa “quebrado”, “triturado” o “trillado”, haciendo referencia al proceso necesario para separar el grano de su cáscara. El cultivo de trigo por los seres humanos permitió que este cereal se convirtiera en una fuente importante de alimento, ya que en estado silvestre difícilmente habría alcanzado el mismo éxito (Cuesta, 2007).

3.2.7.2 Clima

El trigo crece y se desarrolla mejor cuando la temperatura se encuentra entre 10 y 24 °C. Sin embargo, más que la temperatura en sí, lo que resulta crucial es el tiempo durante el cual la planta acumula calor, conocido como integral térmica, que se obtiene sumando los grados-día. Esta necesidad térmica varía según la variedad de trigo cultivada. Para un buen desarrollo, las temperaturas no deben ser excesivamente bajas durante el invierno ni demasiado altas en primavera o durante la fase de maduración (CIMMYT, 2016).

3.2.7.3 Clasificación taxonómica

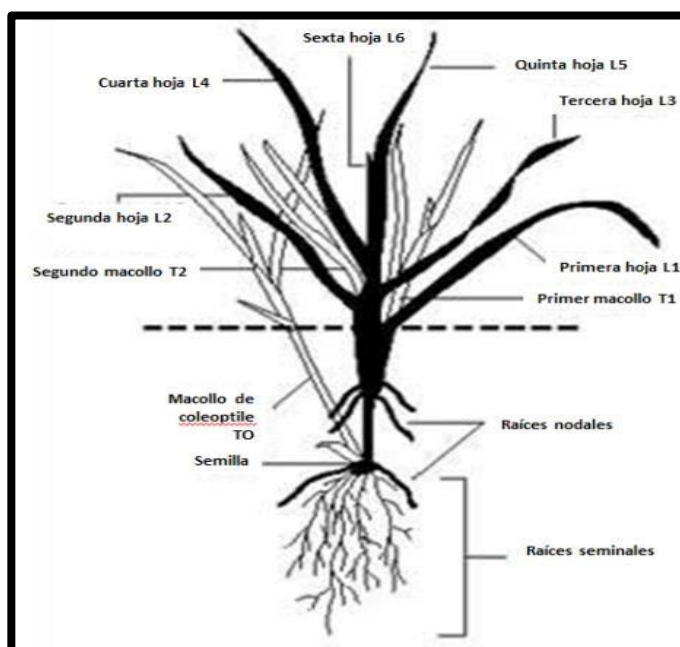
Reino	:	<i>Plantae</i>
División	:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	:	<i>Liliopsida</i>
Orden	:	<i>Poales</i>
Familia	:	<i>Poaceae, Pooideae</i>
Tribu	:	<i>Triticeae</i>
Género	:	<i>Triticum</i>
Especie	:	<i>T. durum</i>

FUENTE: Barriga, 1974



3.2.7.4 Partes de planta del trigo

- a) Raíz, las raíces del trigo que permanecen, son aquellas que se desarrollan después de que la planta ha emergido del suelo, ya que las raíces iniciales que surgen durante la germinación son temporales. El sistema radicular del trigo es fasciculado y puede superar el metro de profundidad, aunque aproximadamente la mitad de las raíces se concentra en los primeros 25 cm del suelo. El crecimiento completo de estas raíces se alcanza durante la etapa de encañado. La densidad de las raíces varía según el manejo del cultivo: en condiciones de secano tienden a ser menos densas que en sistemas de riego (Barriga, 1974).



NOTA

Se explica el desarrollo y las características de las partes de una planta de trigo.

FUENTE: CIMMYT, 2016

Figura 8 — Partes de la planta de trigo

- b) Hojas, las hojas del trigo son largas, rectas, con nervaduras paralelas y terminadas en punta, midiendo entre 15 y 25 cm. Cada planta produce de 4 a 6 hojas. Las hojas surgen de cada nudo y se componen de dos partes: la vaina y el limbo. Entre estas partes se encuentra el cuello, del cual se extienden unas prolongaciones llamadas aurículas (CIMMYT, 2016).

- c) Grano, el fruto del trigo es un grano ovoide con una ranura en su parte ventral. Está protegido por el pericarpio, mientras que la mayor parte del grano está formada por el endospermo, que almacena las reservas nutritivas y constituye el volumen principal del grano (BARRIGA, 1974). El pericarpio es la cubierta externa de la semilla y está formado por varias capas celulares, que en ocasiones se desprenden durante la limpieza del grano. Su estructura incluye epicarpio, mesocarpio y endocarpio. Sus funciones principales son proteger al grano de insectos y microorganismos, evitar la pérdida de humedad y distribuir agua y nutrientes durante la germinación (CIMMYT, 2016).
- d) Fisiología, el ciclo de vida del trigo se divide en tres etapas (Barriga, 1974):
- **Período vegetativo:** desde la siembra hasta el inicio del encañado.
 - **Período reproductivo:** desde el encañado hasta el final del espigado.
 - **Período de maduración:** desde el final del espigado hasta la cosecha.
- e) Fases del cultivo, Según Muñoz (2007) las fases del cultivo de trigo son las siguientes:
- Germinación, esta etapa es crucial para asegurar una buena cosecha de trigo. Durante la germinación, el grano necesita contar con suficiente humedad, temperatura adecuada y oxígeno para desarrollarse correctamente y formar raíces fuertes.
 - Ahijamiento, el tallo del trigo, que es como una caña con nudos y entrenudos, tiene en cada nudo una yema que da origen a una hoja. A medida que los entrenudos se alargan durante el crecimiento, se puede notar que cada hoja surge a distintas alturas a lo largo del tallo.



- Encañado, ocurre cuando las temperaturas aumentan. En esta etapa, los nudos dejan de producir hijuelos y los entrenudos comienzan a alargarse, provocando el crecimiento vertical del tallo.
- Espigado, es el periodo de mayor actividad fisiológica de la planta. En esta fase, la transpiración y la absorción de agua y nutrientes del suelo alcanzan su punto máximo, favoreciendo el desarrollo de la espiga.
- Maduración, comienza en la etapa llamada madurez láctea, cuando las hojas inferiores ya se han secado, pero las superiores y el resto de la planta aún permanecen verdes. Luego se produce la maduración pastosa, en la que solo los nudos conservan algo de verde, mientras que el resto de la planta adquiere el color dorado característico del trigo maduro y el grano alcanza su color definitivo.

3.3 Marco conceptual

- a) **Abono o fertilizante:** Es cualquier sustancia que se agrega al suelo para mantener su fertilidad natural y aumentar la capacidad productiva de las plantas.
- b) **Abono orgánico:** Es un producto de origen natural, generado por la descomposición de materia orgánica, que contiene los nutrientes esenciales que las plantas necesitan para crecer.
- c) **Ácidos húmicos:** Son los componentes principales de la materia orgánica vegetal muy descompuesta. Estas macromoléculas se unen al suelo y forman complejos con minerales como el hierro, mejorando la fertilidad, modificando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y facilitando la nutrición y el crecimiento de las plantas.
- d) **Bioestimulantes:** Son productos que promueven el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas, actuando como impulsores naturales de su fisiología.
- e) **Cultivo hidropónico:** Es un tipo de cultivo que no utiliza tierra, sino soluciones nutritivas para que las plantas crezcan y se desarrollen.



- f) **Desinfección:** Es el proceso de eliminar gérmenes o microorganismos que pueden causar infecciones en personas, animales, plantas o superficies.
- g) **Dosis:** Es la cantidad específica de un producto que se aplica a una planta según su necesidad.
- h) **Drenaje:** Es la eliminación del exceso de agua del suelo, ya sea superficial o subterránea, mediante conductos diseñados para ello.
- i) **Estiércol:** Es un tipo de abono orgánico muy importante, compuesto por la mezcla de excrementos líquidos y sólidos de animales domésticos junto con paja u otros residuos vegetales.
- j) **Fertilización:** Es la acción de aportar nutrientes al suelo o a las plantas, ya sea mediante productos químicos u orgánicos.
- k) **Forraje verde:** Es el brote germinado de cereales como cebada, trigo, avena o maíz, que se desarrolla en 10 a 14 días y capta energía del sol mientras asimila los nutrientes de una solución nutritiva.
- l) **Germinación:** Es el proceso por el cual el embrión dentro de la semilla comienza a crecer, absorbiendo agua y nutrientes, para convertirse en una nueva planta similar a la original.
- m) **Hidroponía:** Es un método de cultivo en el que las plantas reciben todos los nutrientes necesarios a través de soluciones minerales disueltas en agua, pudiendo crecer también en medios inertes como arena, grava o perlita, sin necesidad de suelo agrícola.
- n) **Hormona:** Es una sustancia presente en animales y plantas que regula procesos vitales como el crecimiento, el metabolismo, la reproducción y el funcionamiento de diferentes órganos.
- o) **Humedad:** Es la cantidad de agua presente en el suelo, en un medio de cultivo o en el ambiente.



- p) **Humus:** Es la fracción de materia orgánica del suelo que realiza funciones físicas, químicas y biológicas, mejorando su fertilidad y capacidad de nutrir a las plantas.
- q) **Leonardita:** Es un tipo de materia orgánica muy rica en ácidos húmicos y fúlvicos, proveniente de bosques de coníferas fosilizadas que existieron hace unos 120 millones de años, durante el período Cretácico.
- r) **Luz:** Es la energía solar que ilumina los objetos y permite a las plantas realizar la fotosíntesis, transformando los nutrientes absorbidos por las raíces en energía para su crecimiento.
- s) **pH:** Es una medida que indica si el suelo es ácido, neutro o alcalino, dependiendo de la concentración de iones de hidrógeno. Un pH de 7 es neutro, valores menores son ácidos y valores mayores son alcalinos.
- t) **Rendimiento:** Es la cantidad de producción obtenida de un cultivo por cada hectárea sembrada, generalmente expresada en toneladas métricas por hectárea (t/ha).
- u) **Sustancias húmicas:** Son compuestos de alto peso molecular y color oscuro, generados durante la descomposición de la materia orgánica, que contribuyen a la fertilidad del suelo.



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Nivel de investigación

El estudio se realizó a un nivel descriptivo-explicativo, ya que se describió el comportamiento de las variables en condiciones reales y, al mismo tiempo, se analizó cómo los factores evaluados (variables independientes) influyen sobre las variables dependientes. En otras palabras, se buscó establecer relaciones de causa y efecto. Para ello, se aplicó un diseño factorial 3x2x3 con análisis de varianza: el Factor A correspondió a las dosis de Algamar Plus, Biol y un testigo; el Factor B incluyó las semillas de cebada y trigo; y cada tratamiento se repitió tres veces.

4.1.2 Tipo de investigación

4.1.2.1 Según su finalidad

El estudio se clasifica como aplicativo, ya que se centró en evaluar la producción de forraje verde hidropónico de cebada y trigo utilizando Algamar Plus y Biol. El aporte al conocimiento teórico sobre la producción de forraje hidropónico quedó en un segundo plano.

4.1.2.2 En cuanto al alcance de sus objetivos

El estudio fue un experimental puro, porque se manipularon las variables independientes (dosis de Algamar Plus y Biol), así como semillas (de cebada y trigo) para evaluar su efecto sobre las variables dependientes: rendimiento de biomasa, rendimiento de materia verde, rendimiento de materia seca y gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*).

4.1.2.3 Por el tipo de variables analizadas

El estudio fue cuantitativo, dado que todas las mediciones fueron numéricas y expresadas en unidades del Sistema Internacional.



4.1.2.4 Por su temporalidad

El estudio se consideró transversal, ya que las mediciones y observaciones se realizaron en un único período, correspondiente a la campaña agrícola 2018–2019.

4.2 Diseño de la investigación

Fue experimental de tipo post-test con grupo control, organizado en un arreglo factorial 2x3 con tres repeticiones por tratamiento. El esquema del diseño se representa así:

RUE1 → X1 → O1

RUE2 → X2 → O2

RUE3 → — → O3

RUE4 → X4 → O4

RUE5 → X5 → O5

RUE6 → — → O6

donde

R es la asignación aleatoria de las unidades experimentales;

UEi son las unidades experimentales;

Xi es el tratamiento, estímulo o condición experimental aplicada;

Oi es la medición de las variables dependientes después del tratamiento;

— es la ausencia de tratamiento, es decir, grupo testigo.

Tabla 11 — Tratamientos por niveles de factor y repeticiones

Tratamientos	Factor A: Abonos foliares	Factor B: Semillas	Repeticiones por tratamiento
T1	A1: Algamar plus	B1: Cebada	3
T2	A2: Biol	B2: Trigo	3
T3	A3: Testigo	B1: Cebada	3
T4	A1: Algamar plus	B2: Trigo	3
T5	A2: Biol	B1: Cebada	3
T6	A3: Testigo	B2: Trigo	3
NOTA Se explica los tratamientos y repeticiones del diseño.			

El modelo matemático del diseño experimental utilizado se expresa de la siguiente manera:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + B_j + (\alpha B)_{ij} + E_{ijk} \quad (1)$$

donde

- i son los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5 y 6;
- j son los factores A y B;
- Y_{ijk} son las observación realizada para el tratamiento i , el factor j y la repetición k ;
- α_i es el efecto independiente del tratamiento i ;
- B_j es el efecto independiente del factor j ;
- $(\alpha B)_{ij}$ es el efecto de la interacción entre el tratamiento i y el factor j ;
- E_{ijk} es el efecto aleatorio del error asociado a los factores.

El arreglo de los datos para su posterior procesamiento se organizó según la tabla mostrada a continuación.

Tabla 12 — Notación y arreglo de los datos del diseño factorial 3x2

Factor A: Abonos foliares	Factor B: Semillas		Media
	B1: cebada	B2: trigo	
A1: Algamar Plus	Y111 Y112 Y113	Y121 Y122 Y123	
Media	$\hat{Y}_{11.}$	$\hat{Y}_{12.}$	$\hat{Y}_{1..}$
A2: Biol	Y211 Y212 Y213	Y221 Y222 Y223	
Media	$\hat{Y}_{21.}$	$\hat{Y}_{22.}$	$\hat{Y}_{2..}$
A3: Testigo	Y311 Y312 Y313	Y321 Y322 Y323	
Media	$\hat{Y}_{31.}$	$\hat{Y}_{32.}$	$\hat{Y}_{3..}$
Media	$\hat{Y}_{.1.}$	$\hat{Y}_{.2.}$	$\hat{Y}$
NOTA Se expresa la notación esquemática de los factores y los promedios			



La conformación de los tratamientos fue:

- T1. Aplicación de Algamar Plus y semilla de cebada
- T2: Aplicación de Biol y semilla de trigo
- T3: Testigo y semilla de cebada
- T4: Aplicación de Algamar Plus y semilla de trigo
- T5: Aplicación de Biol y semilla de cebada
- T6: Testigo y semilla de trigo

El orden de los tratamientos, en el DBCA, fueron de acuerdo a lo siguiente:

Algamar plus + biol+ cebada

- Y_{111} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Algamar Plus y semilla de cebada y repetición 1
- Y_{112} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Algamar Plus y semilla de cebada y repetición 2
- Y_{113} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Algamar Plus y semilla de cebada y repetición 3
- Y_{211} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Biol y semilla de cebada y repetición 1
- Y_{212} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Biol y semilla de cebada y repetición 2
- Y_{213} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Biol y semilla de cebada y repetición 3
- Y_{311} : Observación de la variable dependiente i , como efecto del tratamiento testigo y semilla de cebada y repetición 1
- Y_{312} : Observación de la variable dependiente i , como efecto del tratamiento testigo y semilla de cebada y repetición 2
- Y_{313} : Observación de la variable dependiente i , como efecto del tratamiento testigo y semilla de cebada y repetición 3

Algamar plus + biol+ trigo

- Y_{121} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Algamar Plus y semilla de trigo y repetición 1



- Y_{122} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Algamar Plus y semilla de trigo y repetición 2
- Y_{123} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Algamar Plus y semilla de trigo y repetición 3
- Y_{221} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Biol y semilla de trigo y repetición 1
- Y_{222} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Biol y semilla de trigo y repetición 2
- Y_{223} : Observación de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Biol y semilla de trigo y repetición 3
- Y_{321} : Observación de la variable dependiente i , como efecto del tratamiento testigo y semilla de trigo y repetición 1
- Y_{322} : Observación de la variable dependiente i , como efecto del tratamiento testigo y semilla de trigo y repetición 2
- Y_{323} : Observación de la variable dependiente i , como efecto del tratamiento testigo y semilla de trigo y repetición 3

Promedios

- $\hat{Y}_{11.}$: Promedio de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Algamar Plus y semilla de cebada
- $\hat{Y}_{12.}$: Promedio de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Algamar Plus y semilla de trigo
- $\hat{Y}_{1.}$: Promedio de la variable dependiente i , como efecto de la aplicación de Algamar Plus
- $\hat{Y}_{.1.}$: Promedio de la variable dependiente i , en la semilla de cebada
- $\hat{Y}$: Promedio general

4.3 Descripción ética de la investigación

El punto de partida de esta investigación fue identificar el problema de la escasa disponibilidad de forraje, un desafío frecuente en los Andes peruanos. Para abordar esta situación, se realizó una revisión bibliográfica que permitió proponer alternativas de solución, considerando la posibilidad de aprovechar espacios reducidos en el proceso productivo. Además, esta revisión facilitó la identificación de las variables del estudio, las cuales fueron evaluadas en las condiciones del ensayo experimental. Los resultados



obtenidos permiten responder a las preguntas de investigación y ofrecer a los productores pecuarios una alternativa viable para garantizar la disponibilidad de forraje, especialmente en la crianza de animales menores, en concordancia con la Ley Universitaria 30220, que establece que “la universidad tiene como función esencial y obligatoria la producción de conocimiento y desarrollo tecnológico que responda a las necesidades de la sociedad y del país”.

Durante toda la investigación se respetaron las normas de buenas prácticas científicas. La recolección de datos se realizó utilizando los equipos de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA), y la interpretación de los resultados se hizo con objetividad, evitando cualquier idea preconcebida. En la etapa de redacción se siguió el estilo de citación ISO-690 (autor-fecha, en español) y las especificaciones del Reglamento de investigación de la UNAMBA.

4.4 Población y muestra

4.4.1 Población

Estuvo constituido por todas las unidades de análisis instaladas en bandejas en un número de 18 unidades experimentales a los que se asignaron 9 kg. de semilla de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*).

4.4.2 Muestra

Al tratarse de una enumeración completa o censo dentro de un diseño experimental, en este tipo de estudios no se calcula el “tamaño de muestra” usando fórmulas de muestreo poblacional (Cochran, 1977), ya que no se trata de estimar parámetros mediante encuestas. En cambio, el tamaño de la muestra se determina por el número de tratamientos multiplicado por las réplicas, según lo definido por el diseño experimental (RCBD/DBA) y considerando la potencia y precisión que se desea alcanzar (Montgomery, 2017; Mead, Curnow & Hasted, 2002; Gómez & Gómez, 1984). En este caso, la muestra coincide con la población, formada por 18 unidades experimentales de forraje verde hidropónico, de las cuales se recolectaron los datos.

4.5 Procedimiento

La investigación comenzó considerando el manejo técnico del cultivo, así como el método y diseño del estudio, llevando a cabo las siguientes actividades:



4.5.1 Actividades previas a la instalación:

Se realizó los cálculos del área del campo experimental

Tabla 13 — Características de campo experimental

Ítems	Detalle
Número de repeticiones	3
Numero de Tratamientos	6 (Factor A x Factor B)
Número de unidades experimentales	18 unidades
Ancho de unidad experimental	0,60 m
Largo de unidad experimental	0.90 m
Área de unidad experimental	0.54 m ²
Área de parcela experimental	3.24 m ²
Claves m metros m ² metro cuadrado NOTA Se describe las características del campo experimental	

4.5.2 Instalación de las unidades experimentales

4.5.2.1 Por su temporalidad

las unidades experimentales fueron bandejas de FVH, instalados en estantería de ángulos ranurados de 3 metros de largo por 0.8 m de ancho y 2 metros de alto a los cuales se realizó una desinfección con hipoclorito de sodio al 1%, el ambiente fue acondicionado con mallas rachell con luz difusa de 30%. Durante la instalación de las unidades experimentales se han considerado las condiciones necesarias de repetitividad, aleatorización y control local.

4.5.2.2 Etapa II: Selección y acondicionamiento de los granos de cebada y trigo

a) **Selección:** Los granos de cebada y trigo fueron procedentes del distrito de Coyllurqui de buena calidad, se seleccionaron las impurezas como piedras, paja, tierra y semillas partidas, luego se realizó la prueba de germinación resultando en 95% para la cebada y 97% para el trigo con lo cual se ha probado su viabilidad.

- b) **Pesado:** Después de la selección, los granos fueron pesados siguiendo la recomendación de la FAO (2001) en 3.4 kg/m², que para el caso del área de las bandejas fue de 0.5 kg/bandeja (0.15 m²) y para un total de 18 bandejas se requirió 9 kilos de granos de cebada y trigo.
- c) **Lavado:** Una vez pesado de las semillas, se procedió a lavar con la finalidad de eliminar todo material que flote (impurezas, semillas no viables, etc.) dicha actividad se realizó dos veces con lo cual se consiguió granos limpios y sin impurezas.
- d) **Desinfección:** Fue realizado en una solución de hipoclorito de sodio al 1% por un tiempo de 1 minuto, luego se enjuagó con agua limpia con el objetivo de eliminar los residuos del hipoclorito de sodio

4.5.2.3 Etapa III. Remojo y germinación de las semillas

En esta etapa las semillas fueron sumergidas completamente en agua limpia por un período de 24 horas tiempo en el que se logró la imbibición de las semillas. Este tiempo fue dividido a su vez en 2 períodos de 12 horas cada uno. A las 12 horas de estar las semillas sumergidas fueron drenadas y oreadas durante 1 hora, después nuevamente fueron sumergidas por las 12 horas faltantes, finalmente al cabo del tiempo de 24 horas las semillas fueron drenadas por 1 hora con el fin de facilitar la oxigenación. Mediante este proceso se indujo a la rápida germinación de las semillas luego colocándolas en las bandejas de cultivo para evaluar posteriormente las variables en estudio.

4.5.2.4 Etapa IV. Siembra

La siembra consistió en incorporar las semillas de cebada y trigo en bandejas de 0.5 x 0.3 m, en la densidad de 3,4 kilos por metro cuadrado según recomendaciones de (FAO, 2001). Luego fueron llevados al área de germinación en los estantes de ángulos ranurados que tiene condiciones de oscuridad allí permanecieron por un tiempo de 7 días tiempo en que se regó ligeramente dos veces por día.



4.5.2.5 Etapa V: Preparación de los abonos foliares y riego

El Biol, fue comprado en la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina, el Algamar Plus fue comprado de la tienda de productos agroquímicos de Kallpa de la ciudad de Abancay, luego se acondicionaron los abonos foliares Algamar Plus y Biol de acuerdo a las recomendaciones técnicas de los fabricantes y los requerimientos nutricionales de la cebada y trigo en el nivel medio, quedando la dosis en 6.67 ml.L^{-1} (100 ml por mochila de 15 L.), los riegos se aplicaron 3 veces por día a partir del día 7 días después de la siembra (dds) hasta los 14 dds, en éste periodo, se regaron dos veces por día con los abonos foliares (9 a.m y 12 p.m) y el tercer riego se realizó sólo con agua a las 3 p.m.

El cronograma de riegos fue como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14 — Cronograma de riego

Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Riego con agua	x	x	x	x	x	x										x	x	x	x	
Riego con abono							x	x	x	x	x	x	x	x	x					
Cosecha																				x
NOTA Se describe los tipos y frecuencia de riego en la producción de FVH																				

4.5.3 Evaluaciones

4.5.3.1 Evaluación de la variable rendimiento

El registro de los datos se realizó mediante la observación y medición durante todo el periodo de la producción del FVH según la tabla de operacionalización de variables tabla 1. Los datos fueron obtenidos a los 20 días para ello se cortó el follaje y se registró el peso correspondiente según los tratamientos, luego se registró el peso de la biomasa radicular anotando su peso según los tratamientos, luego el rendimiento de la biomasa vegetal está representado por la suma de los pesos de la biomasa vegetal y radicular según los tratamientos.



a) Rendimiento de la materia verde del FVH de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*)

El rendimiento de la materia verde está representado por los siguientes indicadores:

- **Altura de planta:** La medición se realizó a los 20 días, la altura se consideró desde la base del tapete hasta la última hoja apical registrando los datos de 10 plantas tomadas al azar para cada tratamiento.
- **Diámetro de planta,** la medición se realizó a los 20 días, mediante el uso de un vernier digital, los datos se registraron de 10 plantas tomadas al azar para cada tratamiento.
- **Altura de tapete,** la medición se realizó en la cosecha (20 días), el registro se realizó de 10 plantas tomadas al azar de cada tratamiento, para medir la longitud de tapete previamente se realizó el corete de follaje y se midió desde la base de la bandeja hasta el ras donde inicia el follaje anotando los resultados según los tratamientos evaluados.
- **Peso de forraje verde de cebada y trigo,** se realizó la medición a los 20 dds, la masa se midió mediante el uso de una balanza de precisión expresando los resultados en kilogramos por metro cuadrado.

b) Rendimiento de la materia seca del FVH de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*)

Para determinar el rendimiento de la materia seca del FVH de cebada y trigo, previamente se procedió a secar el follaje y la raíz del FVH, mediante el uso de una estufa a 105 °C hasta que el peso ha sido constante el cual se consiguió en 48 horas luego se anotó el peso según los tratamientos evaluados.

- **Peso de forraje seco de biomasa foliar de cebada y trigo,** se realizó a los 20 días, previamente se cortó el forraje y se secó a estufa a 105



°C por 48 horas, luego se registró los pesos según los tratamientos evaluados.

- **Peso seco de biomasa radicular,** Se realizó a los 20 días, previamente se cortó la biomasa radicular y se secó a estufa a 105 °C por 48 horas, luego se registró los pesos según los tratamientos evaluados.
- **Peso de materia seca,** se realizó a los 20 días, previamente se cortó el forraje y la biomasa radicular se secó a estufa a 105 °C por 48 horas, luego se registró los pesos según los tratamientos evaluados.
- **Materia seca,** se determinó de manera indirecta utilizando los datos obtenidos de la masa del forraje seco y el rendimiento de la masa de forraje fresco multiplicado por 100

4.5.3.2 Gasto de agua en la producción de FVH de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*)

Fue determinado sumando la cantidad de agua aplicada al FVH desde el inicio hasta la cosecha.

- a) **Consumo de agua en la producción de forraje verde hidropónico,** se determinó sumando la cantidad de agua aplicada al FVH desde el inicio hasta la cosecha.
- b) **Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico,** Se determino sumando la cantidad de agua aplicada al FVH desde el inicio hasta la cosecha.

4.5.4 Material de investigación

4.5.4.1 Equipos

Son los implementos mayores que permiten la instalación, medición y evaluación del experimento.

- a) Balanza digital para registrar peso fresco y seco del FVH



- b) Estufa de secado (65 °C) para determinar materia seca.
- c) Termómetro e higrómetro digital para control de temperatura y humedad en el ambiente de cultivo.
- d) Medidor de pH y conductividad eléctrica (CE) del agua de riego, para controlar la calidad del medio hidropónico.
- e) Cámara fotográfica o smartphone para registro visual de las fases de crecimiento y evidencia de campo.

4.5.4.2 Herramientas agrícolas e instrumentos

Son implementos menores para manejo práctico del FVH:

- a) Bandejas plásticas hidropónicas (con orificios de drenaje) para la germinación y desarrollo del forraje.
- b) Regaderas o aspersores manuales para riego uniforme.
- c) Cinta métrica / regla milimétrica para medir altura de plántulas.
- d) Recipientes graduados (probetas, baldes) para medir consumo de agua por bandeja.
- e) Guantes, mandil y botas de campo como equipo de bioseguridad del investigador.

4.5.4.3 Materiales de escritorio

Necesarios para organización, registro y análisis de datos:

- a) Cuadernos de campo y planillas de registro.
- b) Formatos de recolección de datos (rendimiento, consumo de agua, condiciones ambientales).



- c) Laptop o computadora con software estadístico (SPSS, R, InfoStat, Excel) para análisis ANOVA factorial y comparación de medias.
- d) Impresora, papel bond, lapiceros, marcadores y etiquetas adhesivas para identificación de tratamientos y réplicas.

4.5.4.4 Material vegetativo (semillas) y abonos

Insumos biológicos necesarios para la instalación del experimento:

- a) Semillas certificadas de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*), de alta germinación y pureza.
- b) Biofertilizante Algamar Plus, extracto de algas marinas rico en fitohormonas y micronutrientes.
- c) Biol, fertilizante líquido orgánico obtenido por fermentación anaeróbica de estiércol y material vegetal, rico en N, P, K y microorganismos benéficos.
- d) Agua limpia (preferentemente potable o filtrada) como medio de riego, controlada en volumen y calidad.

4.6 Técnica e instrumentos

4.6.1 Procesamiento y análisis de datos

Se presenta de manera organizada el proceso mediante el cual se obtuvo, validó, describió y analizó la información, cumpliendo con los estándares de un diseño experimental. La estructura se dividió en cuatro apartados. Los datos se procesaron cuidadosamente para responder a los objetivos e hipótesis de la investigación, utilizando tablas y gráficos elaborados en Excel y Word, así como herramientas estadísticas de SPSS-25 y Minitab 19.

4.6.1.1 Recolección y toma de datos en el campo

La recolección de datos corresponde al registro sistemático de las variables dependientes (rendimiento de materia verde, materia seca y consumo de agua) en cada unidad experimental. Se utilizaron planillas de campo previamente diseñadas, asegurando uniformidad en la medición



(Montgomery, 2017). La información se tomó en el momento de la cosecha del FVH y durante el ciclo (ej. consumo de agua), siguiendo protocolos de medición de biomasa forrajera en sistemas hidropónicos (FAO, 2018). Tales como peso fresco por bandeja (g), peso seco tras estufa (g), volumen de agua consumido (ml).

4.6.1.2 Comprobación de los datos tomados

La validación de datos consiste en revisar que las mediciones estén completas, dentro de rangos esperados y sin errores de transcripción. Según Hernández-Sampieri et al. (2014), esta etapa es esencial para garantizar la confiabilidad y validez de los datos. Se recomienda:

- Doble verificación de registros (por el investigador y asistente).
- Revisión de outliers o datos atípicos mediante gráficos preliminares.
- Consistencia de medidas repetidas entre réplicas (Montgomery, 2017).

4.6.1.3 Descripción de las características

La estadística descriptiva permite resumir los datos antes del análisis inferencial. Según Gómez & Gómez (1984), en investigaciones agronómicas se describen las variables a través de:

- **Medidas de tendencia central:** Media.
- **Medidas de dispersión:** Desviación estándar, coeficiente de variación (CV).
- **Representación gráfica:** Histogramas, gráficos de barras y cajas para visualizar la distribución de los datos por tratamiento. Esto permite identificar patrones iniciales y variabilidad experimental.

4.6.1.4 Análisis y discusión

El análisis se realizará mediante un ANOVA factorial (3×2), considerando como factores:

- Fertilizante (Algamar Plus, Biol, testigo).



- Especie (cebada, trigo).

Asimismo, el modelo permitirá evaluar:

- Efecto principal de los biofertilizantes.
- Efecto principal de la especie.
- Interacción fertilizante $\times$ especie.

Posteriormente, se aplicaron las pruebas de comparación de medias (Tukey, $p < 0.05$) para discriminar diferencias significativas entre tratamientos (Montgomery, 2017). La discusión se desarrollará contrastando los resultados con investigaciones previas sobre biofertilizantes y FVH (Chaparro & Ríos, 2019; Pérez & Medina, 2021), explicando coincidencias, diferencias y aportes a la realidad local de Abancay. Según Hernández-Sampieri et al. (2014), la discusión debe integrar la evidencia empírica con el marco teórico, destacando las implicancias prácticas y científicas.

4.6.2 Técnicas estadísticas

Explicamos las pruebas que garantizan la validez del ANOVA factorial, en cada apartado con sustento:

4.6.2.1 Normalidad de datos

La prueba de normalidad se utiliza para comprobar si los datos de cada tratamiento siguen una distribución cercana a la normal, lo cual es un requisito fundamental para poder aplicar análisis estadísticos paramétricos, como el ANOVA.

- Se aplicó las pruebas de Shapiro–Wilk (más robusta para muestras pequeñas, $n < 50$) (Montgomery, 2017).
- También se revisó gráficamente mediante histogramas o diagramas de probabilidad normal (Mead, Curnow & Hasted, 2002).

Consideración importante: si los datos no cumplen normalidad, el ANOVA pierde validez; en tal caso, se pueden aplicar transformaciones (logarítmica, raíz cuadrada) o usar pruebas no paramétricas (Gómez & Gómez, 1984).



4.6.2.2 Homogeneidad de varianzas

La homogeneidad (o igualdad) de varianzas entre tratamientos es otro supuesto básico del ANOVA.

- Se utilizó la prueba de Levene (Montgomery, 2017).
- El supuesto asegura que la variabilidad entre réplicas es comparable y que el error experimental es homogéneo (Gómez & Gómez, 1984).

Consideración importante: si no se cumple homogeneidad, se deben aplicar transformaciones de datos o pruebas robustas al incumplimiento (MEAD et al., 2002).

4.6.2.3 Aleatorización

La aleatorización es una técnica estadística y de diseño que garantiza que cada unidad experimental tenga la misma probabilidad de recibir un tratamiento, reduciendo sesgos y controlando el efecto de factores no medidos (Montgomery, 2017).

- En nuestro caso, las 18 bandejas se asignaron aleatoriamente a los tratamientos (3 fertilizantes $\times$ 2 especies $\times$ 3 repeticiones), en un diseño DCA o RCBD.
- Gómez & Gómez (1984) destacan que la aleatorización es fundamental para asegurar la validez de los resultados y evitar la influencia sistemática de variables externas.

Consideración importante: la aleatorización es la base del principio de independencia de los errores en el ANOVA.

4.6.3 Hipótesis estadísticas

4.6.3.1 Análisis de varianza mediante la prueba de F

El ANOVA (Analysis of Variance) es una técnica estadística que compara medias de varios tratamientos, utilizando la razón F (relación entre la varianza entre tratamientos y la varianza dentro de tratamientos).



Si $F_c > F_t$ (valor calculado mayor al valor tabular), se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existen diferencias significativas entre tratamientos (Montgomery, 2017; Gómez & Gómez, 1984).

4.6.3.2 Análisis de varianza factorial

Tabla 15 — Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente de variación	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados (SC)	Media cuadrática (CM)	F calculada (Fc)
Bloques	$b - 1$	SCB	$SCB / (b-1)$	CM_b / CMe
Tratamientos (Factores)	$t - 1$	SCT	$SCT / (t-1)$	CM_t / CMe
Factor A (fertilizante)	$a - 1$	SCA	$SCA / (a-1)$	CM_a / CMe
Factor B (cultivo)	$c - 1$	SCB	$SCB / (c-1)$	CM_b / CMe
Interacción A × B	$(a-1)(c-1)$	SCI	$SCI / ((a-1)(c-1))$	CM_i / CMe
Error experimental	$(a \cdot c)(b-1)$	SCE	$SCE / (a \cdot c)(b-1)$	—
Total	$N - 1$	SC Total	—	—
Claves Comparación de medias de múltiples grupos, Análisis de la variabilidad entre y dentro de los grupos. NOTA El Análisis de Varianza, es una prueba estadística que compara las medias de tres o más grupos para determinar si existen diferencias significativas entre ellas.				

La tabla 15, permite descomponer la variabilidad total en fuentes de variación, comparando los efectos de fertilizantes, especies y su interacción.

a) Hipótesis para los tratamientos

- **H0 (nula):** No existen diferencias significativas en el rendimiento de FVH entre los tratamientos de fertilización foliar (Algamar Plus, Biol y testigo).

- **H1 (alternativa):** Existen diferencias significativas en el rendimiento de FVH entre los tratamientos de fertilización foliar.

b) Hipótesis para el bloque

- **H0 (nula):** No existen diferencias significativas entre los bloques (replicaciones).
- **H1 (alternativa):** Existen diferencias significativas entre los bloques.

c) Hipótesis para los factores

- Fertilizantes (Factor A):
 - **H0:** Los promedios de rendimiento de FVH son iguales entre fertilizantes.
 - **H1:** Al menos un fertilizante produce un rendimiento diferente.
- Especies (Factor B: cebada vs trigo):
 - **H0:** No existen diferencias en el rendimiento de FVH entre cebada y trigo.
 - **H1:** Existe diferencia en el rendimiento de FVH entre cebada y trigo.
- Interacción ($A \times B$):
 - **H0:** No existe interacción significativa entre fertilizantes y especies.
 - **H1:** Existe interacción significativa entre fertilizantes y especies.

4.6.3.3 Modelo estadístico

En un diseño factorial en bloques; el modelo matemático del diseño experimental será el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$



Elementos del modelo matemático:

Y_{ijk}	es el valor de la variable de respuesta para el tratamiento ijk (combinación de niveles de los factores A y B) dentro del bloque k ;
μ	la media global de la variable de respuesta en el experimento;
α_i	es el efecto del nivel "i" del factor A;
β_j	es el efecto del nivel "j" del factor B;
$(\alpha\beta)_{ij}$	es el efecto de la interacción entre los niveles "i" de A y "j" de b;
ρ_k	es el efecto del bloque "k" en el cual se realizó el experimento;
ε_{ijk}	es el error aleatorio asociado a la observación Y_{ijk} .

4.6.3.4 Nivel de significancia

En investigación agronómica se utiliza comúnmente $\alpha = 0.05$ (95% de confianza) y, en algunos casos, $\alpha = 0.01$ para mayor rigurosidad (Gómez & Gómez, 1984).

4.6.3.5 Región crítica o regla de decisión

Criterio: Se rechaza H_0 si: $F_c > F_t (\alpha; gl_1, gl_2)$

donde

F_c	es el valor calculado de la prueba F;
F_t	es el valor tabular de la distribución F para un nivel α y grados de libertad correspondientes.

4.7 Análisis estadístico

Los datos recolectados en el campo se estandarizaron a un metro cuadrado de producción. Posteriormente, se realizó un análisis exploratorio para comprobar que se cumplieran las condiciones requeridas por el diseño experimental.

4.7.1 Prueba de normalidad de datos

Se utilizó el estadístico de Shapiro-Wilk (para muestras con $n \leq 50$) para evaluar si los datos obtenidos provienen de poblaciones con distribución normal, es decir, simétricas y con forma de campana. La hipótesis de normalidad se rechaza cuando el valor de significancia (Sig.) es menor a 0.05.



Tabla 16 — Prueba de normalidad de las variables en el factor A

Prueba=Shapiro-Wilk	Algamar plus			Biol			Testigo		
Variables	Estadístico ^a	gl ^a	Sig. ^a	Estadístico ^a	gl ^a	Sig. ^a	Estadístico ^a	gl ^a	Sig. ^a
Altura de planta de forraje verde hidropónico (cm)	,812	6	,075	,950	6	,739	,908	6	,421
Altura de tapete de forraje verde hidropónico (cm)	,899	6	,370	,952	6	,755	,940	6	,659
Diámetro de hoja de forraje verde hidropónico (cm)	,889	6	,311	,950	6	,737	,952	6	,757
Peso seco de biomasa foliar de forraje verde hidropónico (kg FVH/Kg semilla)	,945	6	,700	,929	6	,571	,960	6	,817
Peso seco de biomasa radicular de forraje verde hidropónico (kg FVH/Kg semilla)	,777	6	,047	,714	6	,079	,957	6	,800
Masa de forraje verde hidropónico (kg/m ²)	,851	6	,161	,699	6	,056	,901	6	,380
Masa de forraje seco hidropónico (kg/m ²)	,883	6	,284	,728	6	,312	,845	6	,143
Porcentaje de materia seca (%)	,887	6	,304	,763	6	,127	,922	6	,521
Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico (L/kg FVH)	,880	6	,270	,728	6	,412	,845	6	,144
Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico (L/m ²)	,894	6	,339	,720	6	,070	,918	6	,489
Clave									
a. corrección de la significación de Lilliefors									
NOTA									
Se describe la prueba de normalidad para las variables									

La Tabla 16 indica que todos los valores de significancia para las variables del factor A (Algamar Plus, Biol y testigo) son mayores a 0.05 (Sig. > 0.05). Por lo tanto, se puede concluir que los datos se distribuyen normalmente, cumpliendo así el supuesto de normalidad para las variables del factor A.

Tabla 17 — Pruebas de normalidad de las variables en el factor B

Prueba=Shapiro-Wilk	Cebada			Trigo		
	Estadístico ^a	gl ^a	Sig. ^a	Estadístico ^a	gl ^a	Sig. ^a
Altura de planta de forraje verde hidropónico (cm)a	,931	9	,487	,937	9	,547
Altura de tapete de forraje verde hidropónico (cm)a	,902	9	,263	,936	9	,536
Diámetro de hoja de forraje verde hidropónico (cm)a	,846	9	,067	,799	9	,080
Peso seco de biomasa foliar de forraje verde hidropónico (kg FVH/Kg semilla) a	,928	9	,460	,798	9	,319
Peso seco de biomasa radicular de forraje verde hidropónico (kg FVH/Kg semilla) a	,808	9	,055	,850	9	,075
Masa de forraje verde hidropónico (kg/m2) a	,727	9	,303	,836	9	,052
Masa de forraje seco hidropónico (kg/m2) a	,822	9	,076	,872	9	,129
Porcentaje de materia seca (%) a	,876	9	,141	,885	9	,179
Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico (L/kg FVH) a	,822	9	,057	,872	9	,129
Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico (L/m2) a	,701	9	,201	,820	9	,054
Clave a. Corrección de la significación de Lilliefors NOTA Se describe la prueba de normalidad para las variables						

La Tabla 17 evidencia que todos los valores de significancia para las variables del factor B (semillas de cebada y trigo) son mayores a 0.05 (Sig. > 0.05). Esto permite concluir que los datos provienen de una población con distribución normal, cumpliendo así el supuesto de normalidad para las variables del factor B.

4.7.2 Homogeneidad de varianza

La comprobación se realizó aplicando la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas. Según este método, se considera que las varianzas son diferentes y, por tanto, se rechaza la hipótesis de igualdad cuando el valor de p es menor a 0.05. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 18 — Prueba de homogeneidad de varianza en el factor A

Variables	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Altura de planta de forraje verde hidropónico (cm)	1,6150	2	15	,232
Altura de tapete de forraje verde hidropónico (cm)	5,1820	2	15	,059
Diámetro de hoja de forraje verde hidropónico (cm)	1,6410	2	15	,227
Peso seco de biomasa foliar de forraje verde hidropónico (kg FVH/Kg semilla)	,6100	2	15	,556
Peso seco de biomasa radicular de forraje verde hidropónico (kg FVH/Kg semilla)	895,443	2	15	,060
Masa de forraje verde hidropónico (kg/m ²)	1846,109	2	15	,100
Masa de forraje seco hidropónico (kg/m ²)	350,483	2	15	,062
Porcentaje de materia seca (%)	79,0840	2	15	,056
Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico (L/kg FVH)	346,969	2	15	,200
Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico (L/m ²)	183,528	2	15	,061
NOTA Se describe la prueba de homogeneidad para las variables				



De acuerdo con el nivel de significancia obtenido para las variables analizadas, se evidencia que los datos presentan varianzas homogéneas en el factor A, ya que todos los valores son superiores a 0.05 ($Sig. > 0.05$). Esto indica que se cumple con el supuesto de homogeneidad de varianzas requerido para el análisis.

Tabla 19 — Prueba de homogeneidad de varianza en el factor B

Variables	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Altura de planta de forraje verde hidropónico (cm)	2,520	1	16	,132
Altura de tapete de forraje verde hidropónico (cm)	,01900	1	16	,893
Diámetro de hoja de forraje verde hidropónico (cm)	,38600	1	16	,543
Peso seco de biomasa foliar de forraje verde hidropónico (kg FVH/Kg semilla)	1,6150	1	16	,222
Peso seco de biomasa radicular de forraje verde hidropónico (kg FVH/Kg semilla)	11,205	1	16	,064
Masa de forraje verde hidropónico (kg/m ²)	16,725	1	16	,101
Masa de forraje seco hidropónico (kg/m ²)	8,2650	1	16	,071
Porcentaje de materia seca (%)	3,2500	1	16	,090
Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico (L/kg FVH)	8,3320	1	16	,081
Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico (L/m ²)	24,596	1	16	,310
NOTA Se describe la prueba de homogeneidad para las variables				

De acuerdo con el nivel de significancia obtenido para las variables analizadas, se observa que los datos presentan varianzas homogéneas en el factor B, ya que todos los valores superan el 0.05 ($Sig. > 0.05$). Por lo tanto, se confirma que se cumple con el supuesto de homogeneidad de varianzas en dicho factor.

a) Hipótesis de homogeneidad:

- **H₀:** Las varianzas de las variables analizadas son iguales.
- **H₁:** Las varianzas de las variables analizadas son diferentes.

Según los resultados presentados en las Tablas 18 y 19, el valor de significancia obtenido es mayor a 0.05 (*Sig.* > 0.05). Esto indica que no se rechaza la hipótesis nula, por lo que se acepta que las varianzas son homogéneas.

En consecuencia, las pruebas de normalidad y homogeneidad confirman que se cumplen los supuestos necesarios para aplicar métodos de estadística paramétrica en un diseño experimental. Por ello, se procedió con el análisis de los datos mediante estadística descriptiva, análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación múltiple de Tukey.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

Los resultados de las variables dependientes son resultado de la manipulación de las variables independientes y sus correspondientes interacciones:

- Dosis de aplicación de Algamar Plus y Biol (100 ml/15L)
- Cantidad de semilla de trigo y cebada 3.5 kg/m²

5.1.1 Rendimiento de la materia verde FVH

El rendimiento de la materia verde del forraje verde hidropónico (FVH) de cebada y trigo se evaluó utilizando como indicadores la altura de la planta, el diámetro de la hoja, la longitud de la raíz y la masa total del forraje obtenido. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de estos parámetros según los tratamientos aplicados.

a) Altura de planta (cm)

Se realizó las evaluaciones obteniendo los resultados:

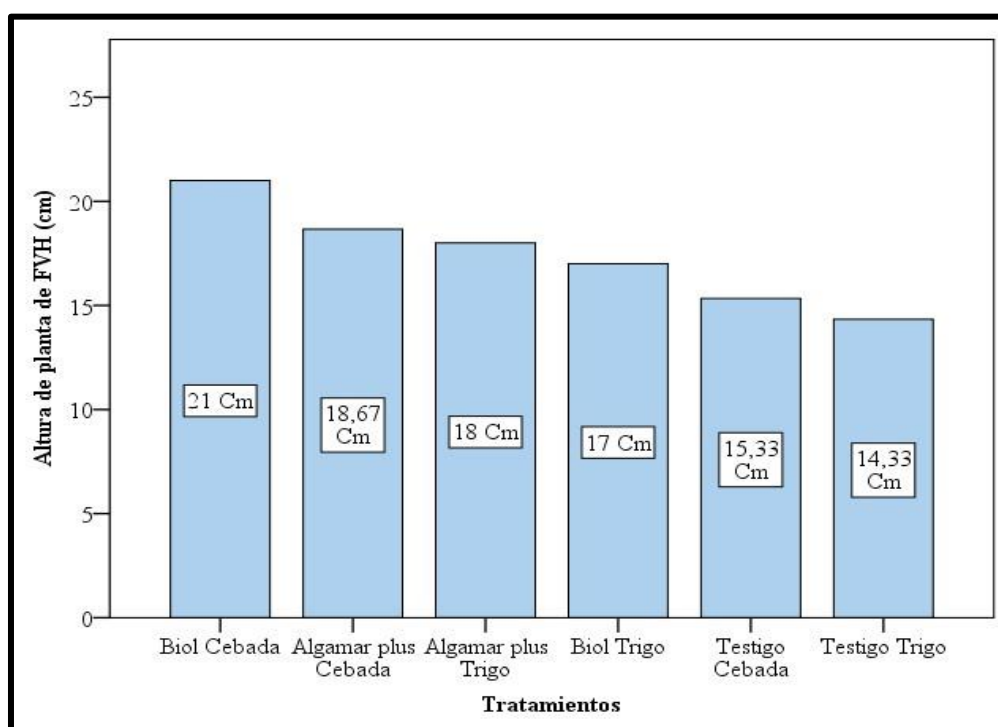
Tabla 20 — Altura de planta de FVH de cebada y trigo

Factor A	Factor B	Media	Desviación típica	N
Algamar Plus	Cebada	18,667	,577	3
	Trigo	18,000	1,000	3
Biol	Cebada	21,000	1,000	3
	Trigo	17,000	1,000	3
Testigo	Cebada	15,333	0,577	3
	Trigo	14,333	1,527	3
NOTA				
Se describen los resultados de los factores en el desarrollo de FVH de cebada y trigo				

En la Tabla 20, se observa la mayor altura de planta de FVH para la cebada, que aplicando Biol en la dosis de 6.67 ml.L⁻¹ se obtiene una altura promedio de 21,00



cm, mientras que en el trigo se obtiene una altura de 17,00 cm. Cuando se aplica Algamar Plus en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} , se obtiene una altura promedio de 18.667 cm en el FVH de cebada frente a 18,00 cm del trigo dichas alturas son superiores en comparación con el testigo que reporta alturas de 15.33 cm y 14.33 cm para la cebada y trigo respectivamente, por tanto se evidencia el efecto de los tratamientos aplicados en relación al testigo.



NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo

Figura 9 — Barras de la altura de planta de FVH de cebada y trigo

En la figura 9, se muestra el efecto de la aplicación de los tratamientos ya que al comparar las alturas de planta del forraje verde hidropónico frente al testigo, +para el tratamiento Biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} se observa que tiene un efecto de 5.67 cm para el FVH de cebada y de 2.67 cm para el FVH de trigo, mientras que la aplicación de Algamar Plus en la misma dosis presenta un efecto de 3.34 cm en la altura de planta de FHV de cebada y de 3.67 cm en el FVH de trigo. El diagrama de barras muestra claramente la existencia de efecto atribuible a la aplicación de los tratamientos frente al testigo.

b) Diámetro del tallo forraje verde hidropónico (cm)

La medida representa el diámetro (grosor) del tallo a los 20 días, el registro de los datos fue obtenidos mediante el uso de vernier digital, los resultados se muestran a continuación.

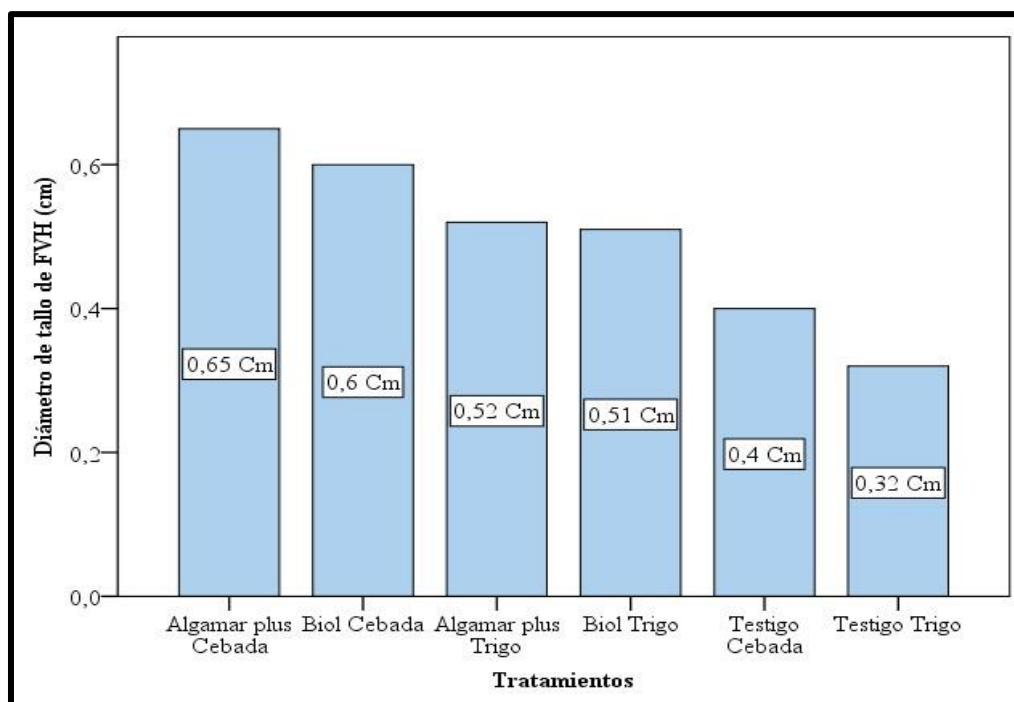
Tabla 21 — Diámetro del tallo del forraje verde hidropónico

Factor A	Factor B	Media	Desviación típica	N
Algamar Plus	Cebada	,650	,03605551	3
	Trigo	,520	,01732051	3
Biol	Cebada	,600	,02645751	3
	Trigo	,510	,03000000	3
Testigo	Cebada	,400	,02000000	3
	Trigo	,320	,03464102	3

NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo.

Los resultados de la Tabla 21 indican que cuando se aplica Algamar Plus en la dosis de 6.67 ml. L⁻¹ se obtienen plantas con mayor diámetro con promedios de 0.65 cm para el FVH de cebada y de 0.520 cm para el FVH de trigo. Cuando se aplica la misma dosis de Biol se obtienen diámetros de 0.6 cm para el FVH de cebada y 0.51 cm para el trigo dichos diámetros son superiores al tratamiento testigo que reportan valores de 0.4 cm y 0.32 cm para el FVH de cebada y trigo respectivamente, por tanto, existe evidencia estadística del efecto de los tratamientos utilizados, los mismos que serán demostrados en la prueba de hipótesis.



NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo

Figura 10 — Barras del diámetro de tallo del FVH de cebada y trigo

En la figura 10, se muestra el efecto de la aplicación de los tratamientos en el diámetro de tallo del forraje verde hidropónico frente al tratamiento testigo, en el que para el tratamiento Algamar Plus en la dosis de 6.67 ml.L-1 se observa un efecto de 0.25 cm en el diámetro del FVH de cebada y de 0.33 cm para el FVH de trigo, mientras que la aplicación de Biol en la misma dosis, presenta efectos de 0.2 cm en el diámetro de tallo para el FHV de cebada y de 0.28 cm para el FVH de trigo, el diagrama de barras muestra claramente la existencia de efecto atribuible a la aplicación de los tratamientos frente al testigo.

c) Longitud del tapete (raíz) de forraje verde hidropónico (cm)

Fue registrado cuando las plantas tenían 20 días, los resultados se muestran a continuación.

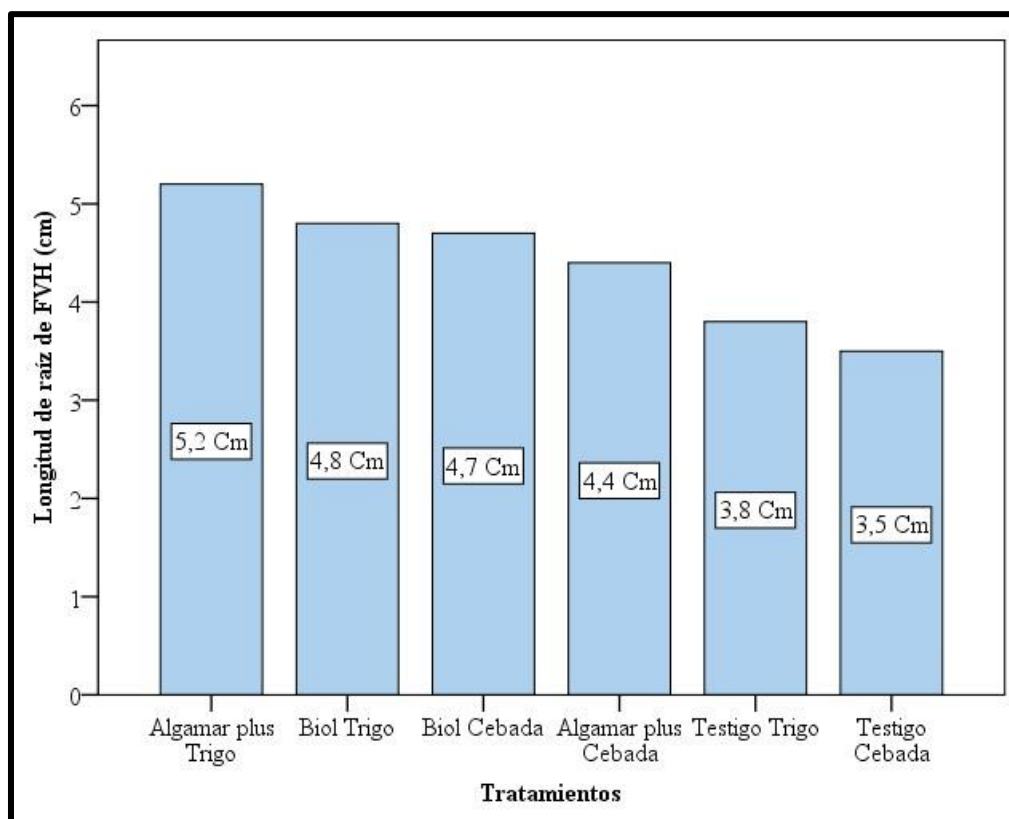
Tabla 22 — Altura de tapete de FVH de cebada y trigo

Factor A	Factor B	Media	Desviación típica	N
Algamar plus	Cebada	4,400	,72111026	3

	Trigo	5,200	,30000000	3
Biol	Cebada	4,700	,43588989	3
	Trigo	4,800	,20000000	3
Testigo	Cebada	3,500	,10000000	3
	Trigo	3,800	,20000000	3
NOTA				
Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo				

Según la Tabla 22 podemos decir que la mayor altura de tapete del FVH es para el trigo con el valor de 5.2 cm el cual se obtiene al aplicar algamar plus en la dosis de 6.67 mL.L^{-1} mientras que en la cebada se obtiene 4.40 cm, al aplicar biol en la misma dosis, se obtienen alturas de tapete de 4.80 cm y de 4.7 cm para el FVH de trigo y de cebada respectivamente, dichos valores son superiores a los obtenidos en el tratamiento testigo que reportan alturas de tapete de 3.8 cm y 3.5 cm en FVH de trigo y cebada respectivamente.

Los resultados en la figura 11, muestran diferencias entre la longitud de raíz del FVH de cebada y trigo, frente al testigo se observa que la aplicación de Algamar Plus en el trigo tiene efecto de 1.4 cm en la longitud de raíz mientras que aplicado en la cebada tiene un efecto de 0.9 cm, por otro lado la aplicación de Biol en el FVH de trigo tiene efecto de 1 cm en la longitud de raíz y en la cebada tienen un efecto de 1.2 cm, también es posible la comparación entre los tratamientos testigos en el que, el FVH de trigo tiene mayor longitud con 3.8 cm frente a 3.5 cm de altura de tapete del FVH de cebada. El diagrama de barras muestra claramente la existencia de efecto atribuible a la aplicación de los tratamientos frente al testigo.



NOTA

Se muestran los resultados de los factores en el desarrollo del FVH cebada y trigo

Figura 11 — Barras de la longitud de raíz de FVH de cebada y trigo

d) Masa de forraje verde de cebada y trigo (Kg/m²)

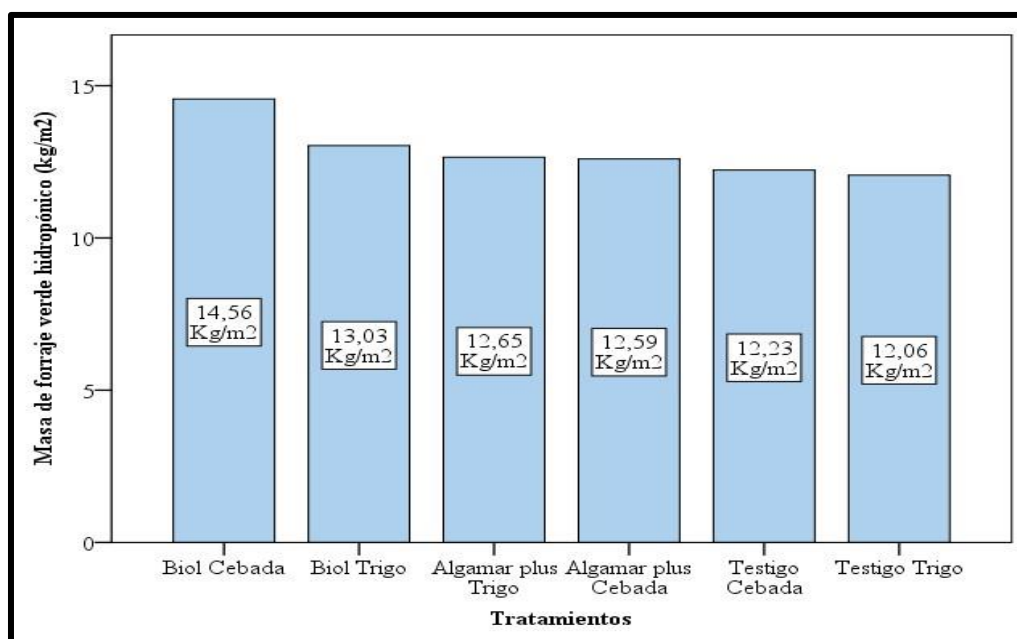
Tabla 23 — Masa fresca de FVH de cebada y trigo (Kg/m²)

Factor A	Factor B	Media	Desviación típica	N
Algamar Plus	Cebada	12,593	,04200000	3
	Trigo	12,649	,01212436	3
Biol	Cebada	14,560	,01852026	3
	Trigo	13,034	,01400000	3
Testigo	Cebada	12,229	,03897435	3
	Trigo	12,061	,03051229	3

NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo.

La Tabla 23 muestra la producción de forraje verde hidropónico por metro cuadrado, se puede observar que mediante la aplicación de biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} en el FVH de cebada se obtiene 14.56 Kg.m^{-2} en 20 días y con la misma dosis en el FVH de trigo se obtiene una producción de 13.034 Kg.m^{-2} , dichos valores son superiores a los obtenidos con la aplicación de algamar plus, que para una dosis de 6.67 ml.L^{-1} se obtiene un peso de 12.649 Kg.m^{-2} en el FVH de trigo y de 12.593 Kg.m^{-2} en el FVH de cebada, a su vez dichos valores son mayores frente al tratamiento testigo que para el FVH de cebada reporta una producción de 12.229 Kg.m^{-2} y para el FVH de trigo muestra una producción de 12.061 Kg.m^{-2} . El comportamiento de los pesos de FVH de cebada y trigo tanto con el uso de biol o algamar plus son homogéneos ya que la desviación típica para todos los tratamientos estudiados es pequeños y cercanos a cero.



NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo

Figura 12 — Barras de la masa de FVH de cebada y trigo (Kg/m^2)

En la figura 13, se observa los efectos de la aplicación de los tratamientos sobre la variable de respuesta masa de FVH de cebada y trigo por metro cuadrado, se observa diferencia apreciable en el tratamiento biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} que, cuando se aplica al FVH de cebada tiene un efecto sobre el rendimiento en peso de 2.23 kg.m^{-2} en comparación al testigo, en el resto de los tratamientos no

se aprecia diferencias detectables lo cual se validará mediante la prueba de hipótesis correspondiente

5.1.2 Rendimiento biomasa seca de FVH

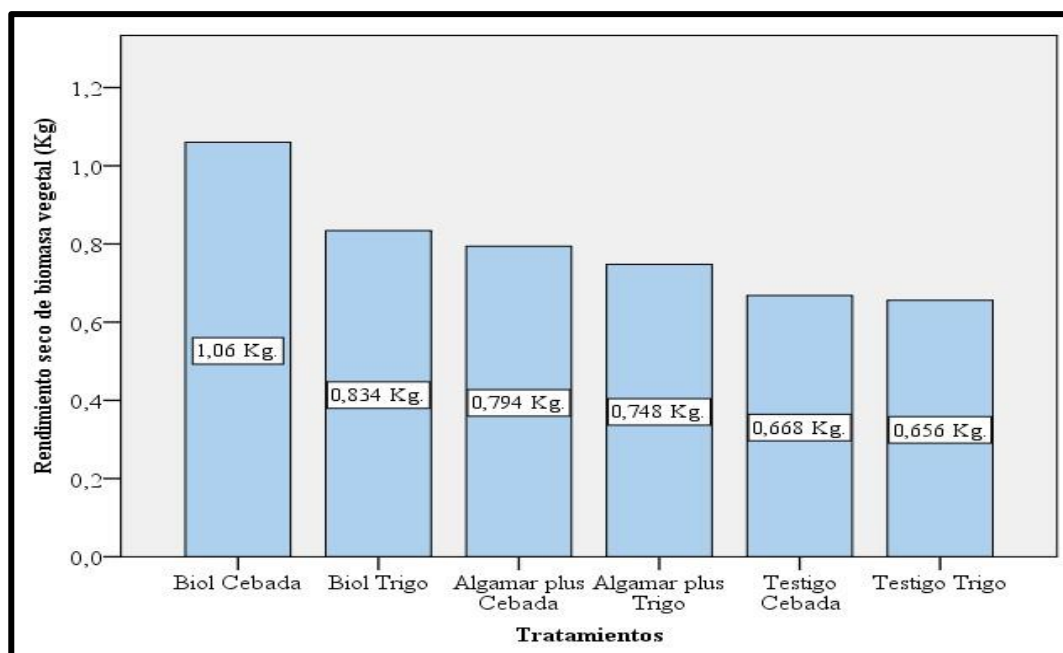
El rendimiento de la biomasa vegetal se determinó a partir de la suma del peso seco de la parte aérea (biomasa foliar) y del sistema radicular, expresado en kilogramos, cuyos resultados se detallan a continuación. Asimismo, el rendimiento de la materia seca se evaluó considerando la masa del forraje seco de cebada y trigo, así como el porcentaje de materia seca obtenido a los 20 días después de la siembra. Los resultados de estas mediciones se presentan a continuación.

a) Peso seco de biomasa foliar de FVH de cebada y trigo

Tabla 24 — Peso seco de la biomasa vegetal de FVH de cebada y trigo

Factor A	Factor B	Media	Desviación típica	N
Algamar Plus	Cebada	,7940	,00529	3
	Trigo	,7480	,01000	3
Biol	Cebada	1,0600	,00721	3
	Trigo	,8340	,00721	3
Testigo	Cebada	,6680	,01637	3
	Trigo	,6560	,00529	3
NOTA				
Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo				

En la Tabla 24, se observa el mayor rendimiento en peso seco de biomasa vegetal para el tratamiento Biol que aplicado a la cebada se obtiene 1.06 Kg. de FVH, mientras que aplicado al trigo se obtiene 0.834 Kg. de FVH. Los pesos secos de biomasa vegetal cuando se aplica Algamar Plus a la cebada es de 0.79 Kg y cuando se aplica al trigo es de 0.748 Kg, dichos pesos son superiores a los obtenidos en los tratamientos testigos ya que cuando se utiliza semilla de cebada se obtiene 0.668 Kg de FVH y cuando se utiliza la semilla de trigo se obtiene un peso seco de 0.656 Kg.



NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo.

Figura 13 — Barras del peso seco de la biomasa vegetal de FVH de cebada y trigo

En la figura 13, se muestra el efecto de la aplicación de los tratamientos ya que al comparar los pesos secos de biomasa vegetal, para el tratamiento Biol en la dosis de 6.67 mL.L^{-1} (100 ml por mochila de 15 L.) se observa que tiene efecto de 0.392 Kg por kg de semilla de cebada y de 0.178 Kg por kg de semilla de trigo, mientras que la aplicación en la misma dosis de Algamar Plus tiene un efecto de 0.126 Kg. de biomasa vegetal por kilo de semilla de cebada y de 0.092 Kg de biomasa vegetal por cada kg de semilla de trigo. El diagrama de barras muestra claramente la existencia de efecto atribuible a la aplicación de los tratamientos frente al testigo.

b) Masa de forraje seco de cebada y trigo (Kg/m^2)

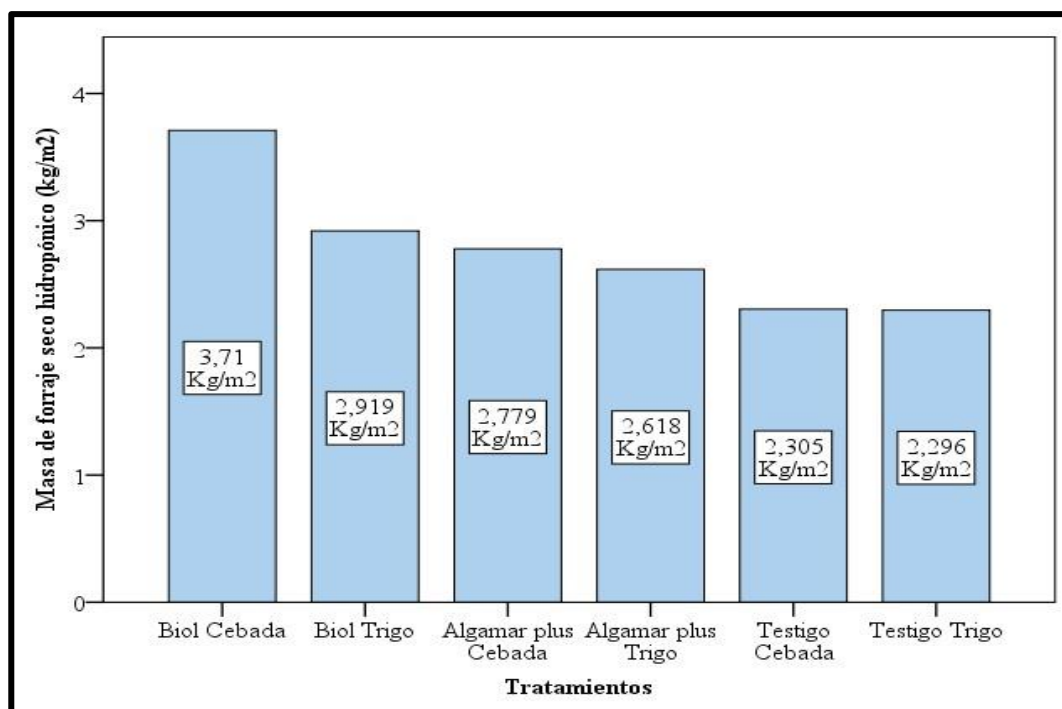
Está representado por el peso seco del FVH de cebada y trigo y fue homogenizado en Kg.m^{-2} , tanto el Biol como el Algamar Plus (tratamientos) fueron aplicados a las plantas mediante riegos frecuentes en la dosis de 6.67 mL.L^{-1} , los resultados de la masa seca se muestra a continuación.

Tabla 25 — Masa seco de forraje verde hidropónico de cebada y trigo

Factor A	Factor B	Media	Desviación típica	N
Algamar Plus	Cebada	2,779	,01852026	3
	Trigo	2,618	,03500000	3
Biol	Cebada	3,710	,02523886	3
	Trigo	2,919	,02523886	3
Testigo	Cebada	2,305	,01778576	3
	Trigo	2,296	,01852026	3
NOTA				
Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo				

En la tabla 25, se muestra que la aplicación de biol en el FVH de cebada en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} durante 20 días, muestran mayores pesos secos en el FVH con el valor de 3.710 Kg.m^{-2} frente a 2.919 kg.m^{-2} del FVH de trigo. Con la aplicación de algamar plus en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} se obtuvieron resultados de 2.779 Kg.m^{-2} en el FVH de cebada y de 2.618 Kg.m^{-2} en el FVH de trigo, dichos resultados son relativamente superiores frente a los valores obtenidos con los testigos cuyos pesos alcanzaron valores de 2.305 Kg.m^{-2} y 2.296 Kg.m^{-2} en el FVH de cebada y trigo respectivamente.

La figura 14, muestra el efecto de la aplicación de los tratamientos sobre la variable de respuesta masa seca de FVH de cebada y trigo, donde la aplicación de Biol en la dosis de 6.67 Kg.L^{-1} muestra mayor efecto con 1.405 Kg.m^{-2} en relación al tratamiento testigo de cebada, igualmente el Biol tienen mayor efecto en el peso seco de FVH de trigo con el valor de 0.623 Kg.m^{-2} frente al testigo de trigo. En el gráfico también se puede observar que la masa seca de FVH tanto de cebada como de trigo cuando no se aplican los tratamientos prácticamente son iguales con valores de 2.305 Kg.m^{-2} y 2.296 Kg.m^{-2} de cebada y trigo respectivamente. El diagrama de barras muestra claramente la existencia de efecto atribuible a la aplicación de los tratamientos frente al testigo.



NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo

Figura 14 — Barras de la masa seca de FVH de cebada y trigo

c) Porcentaje de materia seca (%)

Los datos fueron obtenidos de manera indirecta utilizando la relación existente entre el peso seco y el peso fresco del forraje verde hidropónico según los tratamientos aplicados, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 26 — Porcentaje de materia seca

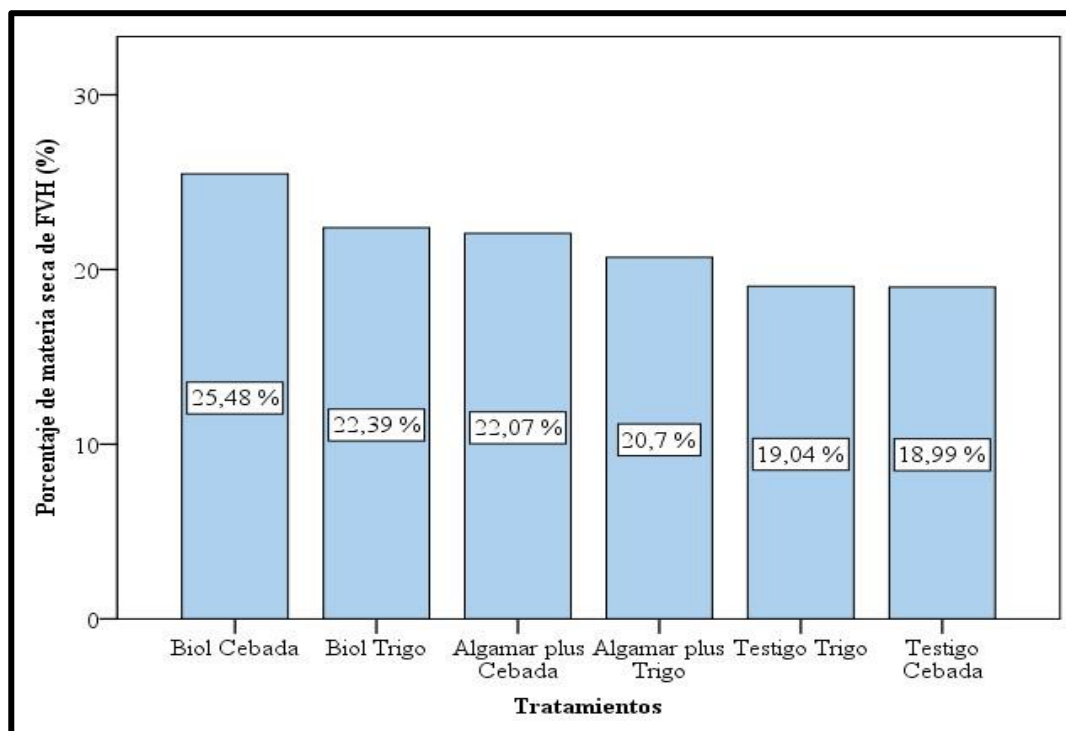
Factor A	Factor B	Media	Desviación típica	N
Algamar plus	Cebada	22,070	,20808652	3
	Trigo	20,6967	,26006409	3
Biol	Cebada	25,480	,16522712	3
	Trigo	22,393	,18147543	3
Testigo	Cebada	18,9867	,22898326	3
	Trigo	19,040	,12165525	3

NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH cebada y trigo.

Se observa en la tabla 26, que el mayor porcentaje de materia seca se obtiene en el FVH de cebada cuando se aplica biol en la dosis de 6.67 mL.L^{-1} , donde por cada 100 kg de FVH fresco de cebada se obtendrá 25.480 Kg de FVH seco frente

a 22.393 Kg de FVH de trigo, el porcentaje de materia seca cuando se aplica algamar plus es de 22.07% para el FVH de cebada y de 20.6967% para el FVH de trigo, dichos porcentajes de materia seca son superiores a los obtenidos en el testigo cuyos valores son 19.040% para el trigo y 18.9867% para la cebada.



NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo

Figura 15 — Barras del porcentaje de materia seca del FVH de cebada y trigo

En la figura 15, se puede apreciar el efecto de Algamar Plus y Biol y en el porcentaje de materia seca del forraje verde hidropónico de cebada y trigo, el 25.48% de materia seca corresponde al FVH de cebada obtenido al aplicar Biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} , dicho tratamiento tiene efecto de 6.49% en el FVH de cebada y de 3.35% en el FVH de trigo, mientras que al aplicar Algamar Plus en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} se tiene un 22.07% de materia seca en el FVH de cebada y 20.7% en el FVH de trigo, su efecto de dicho tratamiento es de 3.08% para el FVH de cebada y de 1.03% en el FVH de trigo. El diagrama de barras muestra claramente la existencia de efecto atribuible a la aplicación de los tratamientos frente al testigo.

5.1.3 Gasto de agua producción FVH

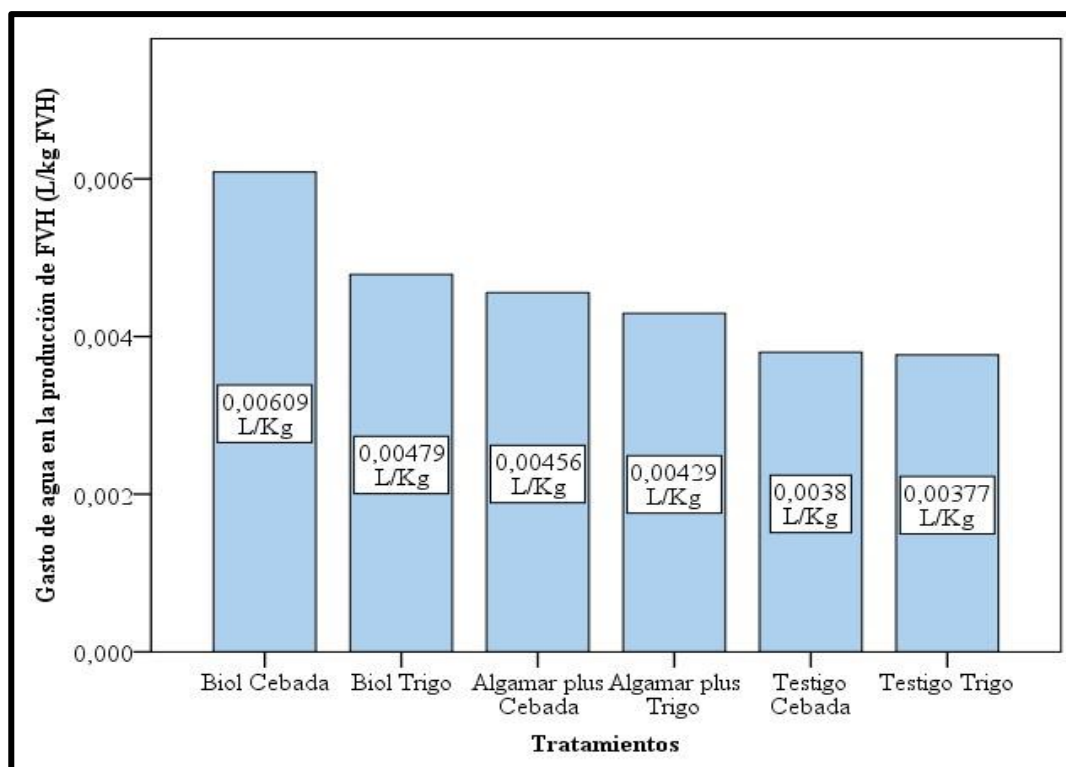
Corresponde al registro de la cantidad de agua utilizada durante la producción de FVH tanto de cebada como de trigo, los datos se muestran el gasto de litros de agua por kilo de FVH y gasto de litros de agua por metro cuadrado.

a) Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico (L/kg FVH)

Tabla 27 — Gasto de agua en la producción de FVH de cebada y trigo (L/kg)

Factor A	Factor B	Media	Desviación típica	N
Algamar Plus	Cebada	,005	,00003055	3
	Trigo	,004	,00005508	3
Biol	Cebada	,006	,00004163	3
	Trigo	,005	,00004163	3
Testigo	Cebada	,004	,00004583	3
	Trigo	,004	,00003215	3
NOTA				
Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo				

En la Tabla 27, se aprecia que el gasto de agua para la producción de FVH se encuentra entre el intervalo de 0.004 a 0.006 litros por kilogramos, no habiendo diferencia significativa entre el FVH de cebada y trigo.



NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo

Figura 16 — Barras del gasto de agua en la producción de FVH de cebada y trigo

Según la figura 16, se aprecia efecto atribuible a los tratamientos en el gasto de agua para la producción de FVH, sin embargo, dicho efecto no es apreciable cuando se realiza la comparación entre los tratamientos y el testigo por lo que a continuación se realiza el análisis del gasto de agua para un metro cuadrado de producción de FVH.

b) Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico (L/m²)

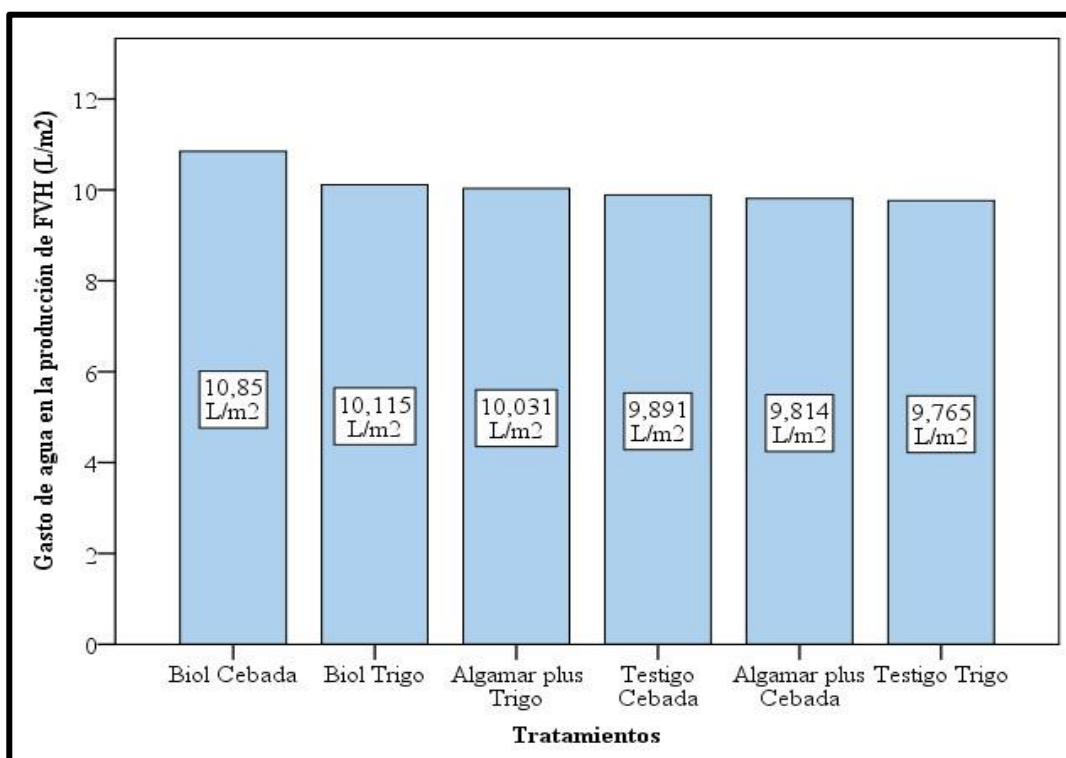
Según la tabla 28, el gasto de agua para la producción de FVH de cebada o trigo va desde 9.814 hasta 10.850 litros por metro cuadrado de producción, según los reportes de la desviación estándar se puede decir que dicho gasto en los tratamientos activos como en el testigo son homogéneos. Para producir FVH de cebada con aplicación de biol se requiere 10.850 litros de agua por cada metro cuadrado durante los 20 días y para producir FVH de trigo con la aplicación de biol se requiere de 10.115 L.m⁻², mientras que al aplicar algamar plus en la producción de FVH de cebada se requiere 9.814 L.m⁻² y de 10.031 L.m⁻² en el trigo.

Tabla 28 — Gasto de agua en la producción de FVH cebada y trigo (L/m²)

Factor A	Factor B	Media	Desviación típica	N
Algamar Plus	Cebada	9,814	,05729747	3
	Trigo	10,031	,02523886	3
Biol	Cebada	10,850	,02424871	3
	Trigo	10,115	,01852026	3
Testigo	Cebada	9,891	,03637307	3
	Trigo	9,765	,02100000	3

NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo



NOTA

Se describen los resultados de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo

Figura 17 — Barras del gasto de agua en la producción de FVH cebada y trigo (L/m²)

En la figura 17, se puede observar la homogeneidad del comportamiento de datos para el gasto de agua en la producción por metro cuadrado de FVH, dichos requerimientos van desde 9.765 litros para el testigo trigo hasta 10.85 litros para el tratamiento Biol en cebada.

5.2 Contrastación de hipótesis

La comprobación de las hipótesis de investigación se llevó a cabo mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando un diseño factorial de 2 x 2 con 2 testigos. Para ello, se formularon las hipótesis nulas y alternas correspondientes a cada factor y a su interacción, tomando como punto de partida la siguiente premisa: “La aplicación de Algamar Plus y Biol influye significativamente en el rendimiento de la biomasa vegetal del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) en el distrito de Abancay – Apurímac.”

Con base en ello, se plantearon las siguientes hipótesis específicas:

- Existe al menos un producto entre Algamar plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia verde del forraje verde hidropónico de la cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*),
- Existe al menos un producto entre Algamar plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia seca del forraje verde hidropónico de la cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) y
- Existen diferencias significativas en el gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum durum*) mediante la aplicación de Biol y Algamar plus.

A partir de estas afirmaciones, se formularon las hipótesis estadísticas correspondientes para su verificación mediante el análisis de varianza.

- **Hipótesis:** Efecto atribuible al factor A (Aplicación de Algamar Plus o aplicación de Biol)
 - **H₀:** $\mu_{1..} = \mu_{2..}$ (los promedios de la variable dependiente son iguales entre la aplicación del factor A)
 - **H₁:** $\mu_{1..} \neq \mu_{2..}$, para algún i, j (existe al menos un promedio de la variable dependiente ij que es diferente entre la aplicación de Algamar Plus y Biol)
- **Hipótesis:** Efecto atribuible al factor B (Uso de semilla de cebada o trigo)
 - **H₀:** $\mu_{.1} = \mu_{.2}$ (los promedios de la variable dependiente son iguales entre el uso de semilla de cebada o trigo en la producción de FVH)



- **H1:** $\mu.1. \neq \mu.2.$ (existe al menos un promedio de la variable dependiente que es diferente entre el uso de semilla de cebada o trigo en la producción de FVH)
- **Hipótesis:** Efecto atribuible a la interacción de factores A x B
 - **Ho:** $\mu_{ij.} + \mu = \mu_{.j.} + \mu_{i..}$ (los promedios de la variable de respuesta son iguales entre los tratamientos aplicados)
 - **H1:** $\mu_{ij.} + \mu \neq \mu_{.j.} + \mu_{i..}$, para todo i, j (existe al menos un promedio de la variable de respuesta ij que es diferente entre los tratamientos)

La prueba estadística se ejecutó con un nivel de confianza del 95%, considerando el rechazo de la hipótesis nula (Ho) cuando el valor de significancia fue menor a 0.05 ($p < 0.05$). En todos los casos en los que el análisis de varianza (ANOVA) mostró resultados significativos, se procedió a aplicar la prueba de comparación múltiple de Tukey con el mismo nivel de confianza (95%). Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

5.2.1 Prueba de hipótesis rendimiento materia verde del FVH

Se plantean las hipótesis estadísticas para la altura de planta, diámetro de tallo, altura de tapete y masa fresca de biomasa foliar, se muestran a continuación.

a) Altura de planta (cm)

Tabla 29 — Análisis de varianza altura de planta del FVH cebada y trigo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor A	2	69.444	34.722	16.45	0.000
Factor B	1	24.500	24.500	11.61	0.005
Factor A*Factor B	2	7.000	3.500	1.66	0.231
Error	12	25.333	2.111		
Total	17	126.278			
Claves					
S	R-cuad.	(ajustado) (pred)			
1.45297	79.94%	71.58%	54.86%		
NOTA					
Se describen los resultados del análisis de varianza de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo					

Según los resultados de la Tabla 29, para $\alpha = 0.05$ se tiene que el 79,94% de la variabilidad total (r^2), está explicado por las condiciones a las que fueron expuestas las unidades experimentales en el modelo factorial, con una desviación estándar de 1.45297 (s) el cual indica la homogeneidad de la altura de planta en los tratamientos estudiados concluyendo las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis del efecto atribuible al factor A.** El valor crítico que lleva al rechazo o aceptación de la hipótesis nula (H_0) tiene el valor $F = 16.45$ y su valor de la significancia $\text{Valor-p} = 0.000$ por tanto, lleva al rechazo de la hipótesis nula (H_0) y se concluye que existe efecto atribuible a la aplicación de biol y algamar plus en la altura de plantas de FVH de cebada y trigo.
- **Hipótesis del efecto atribuible al factor B.** El valor F calculado ($F = 11.61$) y su correspondiente valor de la significancia ($\text{Valor-p} = 0.005$) caen en la zona de rechazo de la hipótesis nula ($\text{Valor-p} < 0.05$), por tanto, se concluye que existe efecto atribuible al uso de la semilla de cebada o trigo en la altura de planta de FVH.
- **Hipótesis del efecto atribuible a la interacción de factores AxB.** El valor crítico de F calculado ($F = 1.66$) y su valor de la significancia ($\text{Valor-p} = 0.231$) lo cual cae en la zona de aceptación de la hipótesis nula (H_0) por tanto, se concluye que no existe efecto atribuible a la interacción de factores A x B (aplicación de biol, algamar plus y uso de semillas de cebada y trigo) en la altura de planta de FVH ($\text{Valor-p} > 0.05$).

Con el propósito de establecer el mejor tratamiento que tienen efecto sobre la altura de planta de FVH se realizó la comparación de promedios múltiples mediante el método de Tukey para una prueba de 5%, los resultados se muestran a continuación.

Según la Tabla 30, la aplicación de algamar plus y biol en las dosis de 6.67 mL.L^{-1} cada uno inducen a mayor efecto en la altura de planta de FVH con promedios de 19 cm frente a 14.8333 cm del tratamiento testigo.



Tabla 30 — Comparación múltiple de medias altura de planta de FVH

Factores	N	Media	Agrupación		
Factor A					
Algamar plus	6	19.0000	a		
Biol	6	19.0000	a		
Testigo	6	14.8333		b	
Factor B					
Cebada	9	18.7778	a		
Trigo	9	16.4444		b	
Factor A*Factor B					
Biol cebada	3	21.0000	a		
Algamar plus cebada	3	20.0000	a	b	
Algamar plus trigo	3	18.0000	a	b	c
Biol trigo	3	17.0000		b	c
Testigo cebada	3	15.3333			c
Testigo trigo	3	14.3333			c
NOTA					
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.					

Continuando con el análisis de la tabla 30, en cuanto al uso del tipo de semilla se observa que la mayor altura de planta de FVH se obtiene con el uso de la cebada con 18.7778 cm frente a 16.4444 cm de altura obtenido con el uso de semillas de trigo.

La aplicación de biol en la cebada, algamar plus en la cebada y algamar plus en el trigo tienen igual efecto en la altura de planta de FVH, la aplicación de algamar plus en la cebada, algamar plus en el trigo y biol en trigo llevan a igual promedio de altura de plantas del FVH, finalmente, la aplicación de algamar plus en el trigo, biol en el trigo comparado con el testigo de cebada y trigo tienen igual efecto en la altura de planta de FVH, por tanto dichos hallazgos ratifican la prueba de hipótesis de la tabla ANOVA (Valor-p > 0.05) para la interacción de factores A x B.

b) Diámetro de planta de forraje verde hidropónico (cm)

Tabla 31 — Análisis de varianza del diámetro de planta del FVH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor A	2	0.179100	0.089550	111.94	0.000
Factor B	1	0.045000	0.045000	56.25	0.000
Factor A*Factor B	2	0.002100	0.001050	1.31	0.305
Error	12	0.009600	0.000800		
Total	17	0.235800			
Claves					
S	R-cuad.	(ajustado) (pred)			
0.0282843	95.93%	94.23%	90.84%		
NOTA					
Se describen los resultados del análisis de varianza de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo					

Según los resultados de la Tabla 31, para $\alpha = 0.05$ se tiene que el 95.93% de la variabilidad total (r^2), está explicado en el modelo y las condiciones del experimento, la desviación estándar de 0.02828 (s) señala la homogeneidad del diámetro de planta en los tratamientos estudiados concluyendo las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis del efecto atribuible al factor A.** El valor crítico que lleva al rechazo o aceptación de la hipótesis nula (H_0) tiene el valor $F = 111.94$ y su valor de la significancia $\text{Valor-p} = 0.000$ por tanto, lleva al rechazo de la hipótesis nula (H_0) y se concluye que existe efecto atribuible a la aplicación de biol y algamar plus en el diámetro de plantas de FVH de cebada y trigo.
- **Hipótesis del efecto atribuible al factor B.** El valor F calculado ($F = 56.25$) y su correspondiente valor de la significancia ($\text{Valor-p} = 0.000$) caen en la zona de rechazo de la hipótesis nula ($\text{Valor-p} < 0.05$) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible al uso de la semilla de cebada o trigo en el diámetro de planta de FVH.

- **Hipótesis del efecto atribuible a la interacción de factores A x B.** El valor crítico de F calculado ($F = 1.31$) y su valor de la significancia (Valor-p = 0.305) lo cual cae en la zona de aceptación de la hipótesis nula (H_0) y se concluye que no existe efecto atribuible a la interacción de factores A x B (aplicación de biol, algamar plus y uso de semillas de cebada y trigo) en el diámetro de planta de FVH (Valor-p > 0.05).

Para establecer el mejor tratamiento que lleva a tener mayor diámetro de planta de FVH se realizó la comparación de promedios múltiples de Tukey a un 95% de probabilidades, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 32 — Comparación de promedios múltiples diámetro planta FVH

Factores	N	Media	Agrupación			
Factor A						
Algamar plus	6	0.585	a			
Biol	6	0.555	a			
Testigo	6	0.360		b		
Factor B						
Cebada	9	0.55	a			
Trigo	9	0.45		b		
Factor A*Factor B						
Algamar plus cebada	3	0.65	a			
Biol cebada	3	0.60	a			
Algamar plus trigo	3	0.52		b		
Biol trigo	3	0.51		b		
Testigo cebada	3	0.40			c	
Testigo trigo	3	0.32				d
NOTA						
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.						

De acuerdo con la Tabla 32, la aplicación de algamar plus y biol en las dosis de 6.67 ml.L¹ cada uno, generan igual efecto en el diámetro de planta de FVH con promedios de 0.585 cm, 0.555 cm respectivamente. A su vez que, es superior frente al testigo que alcanza un promedio de 0.360 cm de diámetro de planta.

En cuanto al uso del tipo de semilla se observa que el mayor diámetro de planta es para el FVH de cebada y es significativamente diferente del diámetro del FVH



de trigo con valores promedios de 0.55 cm y 0.45 cm respectivamente.

La aplicación de algamar plus y biol en la cebada llevan a igual diámetro de planta, pero superior frente a la aplicación de algamar plus y biol en el trigo y estos tratamientos a su vez son superiores frente al diámetro de planta de FVH obtenido con el testigo tanto de cebada como de trigo que están representados por 0.40 y 0.32 cm respectivamente.

c) Altura de tapete (raíz) del forraje verde hidropónico (cm)

Tabla 33 — Análisis de varianza de la altura de tapete del FVH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor A	2	5.0700	2.5350	17.09	0.000
Factor B	1	0.7200	0.7200	4.85	0.048
Factor A*Factor B	2	0.3900	0.1950	1.31	0.305
Error	12	1.7800	0.1483		
Total	17	7.9600			
Clave					
S	R-cuad.	(ajustado) (pred)			
0.385141	77.64%	68.32%	49.69%		
NOTA					
Se describen los resultados del análisis de varianza de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo					

Según la Tabla 33, para un 95% de probabilidades el 77.64% de la altura de tapete del FVH es debido a las condiciones experimentales y el modelo lineal factorial, los datos de la altura de tapete mantuvieron un comportamiento homogéneo ($s = 0.3851$), para un nivel de confianza de 95% de probabilidades se prueba las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis del efecto atribuible al factor A.** El valor crítico de F calculado ($F = 17.09$) lleva al rechazo de la hipótesis nula (H_0) ya que su correspondiente valor de la significancia es menor que 0.05 (Valor-p = 0.000) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible a la aplicación de biol y algamar plus en la altura de tapete de FVH de cebada y trigo.

- **Hipótesis del efecto atribuible al factor B.** El valor F calculado ($F = 4.85$) y su correspondiente valor de la significancia (Valor-p = 0.048) caen en la zona de rechazo de la hipótesis nula (Valor-p < 0.05) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible al uso de la semilla de cebada o trigo en la altura de tapete del FVH.
- **Hipótesis del efecto atribuible a la interacción de factores A x B.** El valor crítico de F calculado ($F = 1.31$) y su valor de la significancia (Valor-p = 0.305) lo cual cae en la zona de aceptación de la hipótesis nula (H_0) y se concluye que no existe efecto atribuible a la interacción de factores A x B (aplicación de biol, algamar plus y uso de semillas de cebada y trigo) en la altura de tapete de FVH (Valor-p > 0.05).

Para encontrar el mejor tratamiento que lleva a tener mayor altura de tapete en el FVH se realizó la comparación de promedios múltiples de Tukey a un 95% de probabilidades, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 34 — Comparación de promedios múltiples de altura de tapete FVH

Factores	N	Media	Agrupación		
Factor A					
Algamar plus	6	4.80	a		
Biol	6	4.75	a		
Testigo	6	3.65		B	
Factor B					
Trigo	9	4.6	a		
Cebada	9	4.2		B	
Factor A*Factor B					
Algamar plus trigo	3	5.2	a		
Biol trigo	3	4.8	a	B	
Biol cebada	3	4.7	a	B	
Algamar plus cebada	3	4.4	a	B	c
Testigo trigo	3	3.8		B	c
Testigo cebada	3	3.5			c
NOTA					
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.					

De acuerdo con la Tabla 34, la aplicación de algamar plus y biol en las dosis de

6.67 ml.L¹ cada uno, generan igual efecto en la altura de tapete del FVH con promedios de 4.80 cm y 4.75 cm respectivamente. A su vez que, dichos promedios son superiores frente al testigo que alcanza un promedio de 3.65 cm de altura de tapete del FVH.

Respecto al factor B (semilla de cebada y trigo) se observa diferencias significativas obteniéndose mayor altura de tapete del FVH con la semilla de trigo con el promedio de 4.6 cm frente a 4.2 cm con el uso de semillas de cebada.

Las interacciones entre la aplicación de algamar plus y biol tanto en los FVH de trigo y cebada tienen el mismo efecto sobre la altura de tapete siendo los promedios entre 5.2 cm a 4.4 cm dichos alturas son superiores a los obtenidos con los testigos tanto con el uso de trigo y cebada con los promedios de 3.8 y 3.5 cm respectivamente.

d) Masa de forraje verde de cebada y trigo (Kg/m²)

Tabla 35 — Análisis de varianza de la masa de FVH de cebada y trigo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor A	2	8.6773	4.33866	5312.64	0.000
Factor B	1	1.3415	1.34152	1642.68	0.000
Factor A*Factor B	2	2.1985	1.09927	1346.04	0.000
Error	12	0.0098	0.00082		
Total	17	12.2272			
Claves					
S	R-cuad.	(ajustado)	(pred)		
0.0285774	99.92%	99.89%	99.82%		
NOTA					
Se describen los resultados del análisis de varianza de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo					

El 99.92% de la variabilidad total del experimento según la Tabla 35, es debido a las condiciones experimentales y el modelo aditivo lineal factorial, siendo los datos correspondientes a la masa fresca de FVH homogéneos según la desviación estándar del experimento $s = 0.0286$ con lo cual, para un nivel de confianza de 95% de probabilidades se prueba las siguientes hipótesis:



- **Hipótesis del efecto atribuible al factor A.** El valor crítico de F calculado ($F = 5312.64$) lleva al rechazo de la hipótesis nula (H_0) ya que su correspondiente valor de la significancia es menor que 0.05 (Valor-p = 0.000) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible a la aplicación de biol y algamar plus en la masa fresca de FVH de cebada y trigo.
- **Hipótesis del efecto atribuible al factor B.** El valor F calculado ($F = 1642.68$) y su correspondiente valor de la significancia (Valor -p = 0.000) caen en la zona de rechazo de la hipótesis nula (Valor-p < 0.05) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible al uso de la semilla de cebada o trigo en la masa fresca del FVH.
- **Hipótesis del efecto atribuible a la interacción de factores A x B.** El valor crítico de F calculado ($F = 1346.04$) y su valor de la significancia (Valor-p = 0.000) cae en la zona de rechazo de la hipótesis nula (H_0) y se concluye que existe efecto atribuible a la interacción de factores A x B (aplicación de biol, algamar plus y uso de semillas de cebada y trigo) en la masa fresca de forraje verde hidropónico (Valor-p < 0.05). Para identificar la mejor combinación de factores que lleva a tener mayor masa fresca de FVH se realizó la comparación de promedios múltiples de Tukey a un 95% de probabilidades, los resultados se muestran a continuación.

Según el reporte de los resultados de la tabla 36, en relación al factor A se tiene que la aplicación de biol en las dosis de 6.67 ml.L^{-1} tiene mayor efecto y conduce a un promedio de 13.797 kg.m^{-2} de FVH dicho valor es significativamente superior al peso fresco de FVH obtenido con la aplicación de algamar plus cuyo promedio es de 12.621 Kg.m^{-2} , a su vez dicho promedio es significativamente superior al peso de masa fresca de FVH obtenido con el testigo cuyo valor promedio llega a 12.145 Kg.m^{-2} .

Respecto al factor B (semilla de cebada y trigo) se observa diferencias significativas obteniéndose mayor masa fresca de FVH con el uso de la semilla de cebada con el valor promedio de $13.1273 \text{ Kg.m}^{-2}$ frente a $12.5813 \text{ Kg.m}^{-2}$ con el uso de semillas de trigo.



Tabla 36 — Promedios múltiples de la masa fresca de FVH

Factores	N	Media	Agrupación				
Factor A							
Biol	6	13.797	a				
Algamar plus	6	12.621		b			
Testigo	6	12.145			c		
Factor B							
Cebada	9	13.1273	a				
Trigo	9	12.5813		b			
Factor A*Factor B							
Biol cebada	3	14.560	a				
Biol trigo	3	13.034		b			
Algamar plus trigo	3	12.649			c		
Algamar plus cebada	3	12.593			c		
Testigo cebada	3	12.229				d	
Testigo trigo	3	12.061					e
NOTA							
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.							

Continuando el análisis de la tabla 36, las interacciones entre la aplicación de biol y algamar plus, tanto en los FVH de trigo y cebada tienen efectos significativos siendo la combinación de factores de la aplicación de biol y uso de semilla de cebada que obtiene la mayor masa fresca de FVH con un promedio de 14.560 Kg.m^{-2} , seguido de la combinación de factores aplicación de biol y uso de semillas de trigo con el valor promedio de 13.034 Kg.m^{-2} . Por otro lado, la combinación de factores aplicación de algamar plus en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} y el uso de semillas de cebada y trigo conducen a igual masa fresca de FVH con promedio de 12.649 y 12.593 Kg.m^{-2} respectivamente, finalmente se observa que con el uso de semillas de cebada se obtiene mayor masa fresca de FVH frente al uso de semilla de trigo.

5.2.2 Prueba de hipótesis rendimiento de materia seca FVH

a) Prueba de hipótesis peso seco de la biomasa vegetal de FVH

Se realiza la prueba de hipótesis del peso seco de la biomasa vegetal de forraje verde hidropónico en kg foliar/kg de semilla.



Tabla 37 — Análisis de varianza del peso seco de la biomasa vegetal

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor A	2	0.005268	0.002634	91.88	0.000
Factor B	1	0.000098	0.000098	3.42	0.089
Factor A*Factor B	2	0.000652	0.000326	11.37	0.002
Error	12	0.000344	0.000029		
Total	17	0.006362			

Claves

S	R-cuad.	(ajustado)	(pred)
0.0053541	94.59%	99.89%	99.82%

NOTA

Se describen los resultados del análisis de varianza de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo

Según los resultados de la Tabla 37, para $\alpha = 0.05$ se tiene que el 94,59% de la variabilidad total (r^2), está explicado por el modelo factorial y las condiciones a las que fueron expuestas las unidades experimentales, con una desviación estándar de 0.0054 (s) el cual indica la homogeneidad del conjunto de datos respecto del promedio de la variable peso seco de biomasa vegetal, por tanto, se concluye las siguientes hipótesis.

- **Hipótesis del efecto atribuible al factor A.** El valor crítico que lleva al rechazo o aceptación de la hipótesis nula (H_0) tiene el valor $F = 91.88$ y su valor de la significancia $\text{Valor-p} = 0.000$ por tanto, conlleva al rechazo de la H_0 y se concluye que existe efecto atribuible a la aplicación de biol y algamar plus en el peso seco de biomasa vegetal de FVH de cebada y trigo.
- **Hipótesis del efecto atribuible al factor B.** El valor F calculado ($F = 3.42$) y su correspondiente valor de la significancia ($\text{Valor-p} = 0.089$) caen en la zona de aceptación de la hipótesis nula ($\text{Valor-p} > 0.05$), por lo cual se concluye que no existe suficiente evidencia estadística para afirmar que los promedios del peso seco de biomasa vegetal de FVH sean diferentes debido al uso de las semillas de cebada o trigo.

- **Hipótesis del efecto atribuible a la interacción de factores A x B.** El valor crítico de F calculado ($F = 11.37$) y su valor de la significancia (Valor-p = 0.002) lleva al rechazo de la hipótesis nula (H_0) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible a la interacción de factores A x B (aplicación de biol, algamar plus y uso de semillas de cebada y trigo) en el peso seco de biomasa vegetal de FVH (Valor-p < 0.05).

Con el propósito de determinar el factor que tiene mayor efecto sobre el peso seco de la biomasa foliar del FVH se realizó la comparación de promedios mediante el método de Tukey a un nivel de confianza de 5% para la prueba, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 38 — Promedios múltiples del peso seco de biomasa vegetal de FVH

Factores	N	Media	Agrupación			
Factor A						
Biol	6	0.947	a			
Algamar plus	6	0.771		b		
Testigo	6	0.662			C	
Factor B						
Cebada	9	0.841	a			
Trigo	9	0.746	a			
Factor A*Factor B						
Biol cebada	3	1.060	a			
Biol trigo	3	0.834	a	b		
Algamar plus trigo	3	0.748	a	b		
Algamar plus cebada	3	0.794		b	C	
Testigo cebada	3	0.668			C	
Testigo trigo	3	0.656				d
NOTA						
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.						

Según la tabla 38, la aplicación del biol en la dosis de 6.67 mL^{-1} tiene mayor efecto en el peso seco de la biomasa vegetal del FVH frente a la aplicación del algamar plus en la misma dosis, a su vez la aplicación de algamar plus tiene mayor efecto que el testigo en el peso seco de biomasa vegetal de FVH. En cuanto al uso del tipo de semilla no existe diferencia significativa, por tanto, el uso de semillas de cebada o de trigo dará los mismos resultados en peso seco de biomasa vegetal de FVH.

La aplicación de biol en la cebada, el trigo y la aplicación de algamar plus en el trigo tienen igual efecto sobre el peso seco de biomasa vegetal del FVH. La aplicación de biol en el trigo, algamar plus en el trigo y algamar plus en la cebada producen el mismo peso seco de biomasa vegetal de FVH y la aplicación de algamar plus y el testigo de cebada tienen igual efecto en el peso seco de biomasa vegetal de FVH. Finalmente, se concluye que el mayor peso seco de biomasa vegetal de FVH se obtendrá con la utilización de semillas de cebada y la aplicación de biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} hasta el valor promedio de 1.060 kg de FVH por cada kilo de semilla utilizada, el menor peso seco de biomasa vegetal será con el uso de semillas de trigo con el valor de 0.656 kg de FVH por cada kilo de semilla utilizado, dicha afirmación se valida a un 94.59% de probabilidades. El rendimiento de la materia seca de FVH estuvo conformado por la masa seca de forraje verde hidropónico y el porcentaje de materia seca, los resultados del análisis de varianza para un 95% de probabilidades se muestran a continuación.

b) Masa de forraje seco de cebada y trigo (Kg/m²)

Tabla 39 — Análisis de varianza de la masa seca de FVH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor A	2	3.04001	1.52000	1410.02	0.000
Factor B	1	0.49402	0.49402	458.27	0.000
Factor A*Factor B	2	0.48603	0.24302	225.43	0.000
Error	12	0.01294	0.00108		
Total	17	4.03299			

Claves

S R-cuad. (ajustado) (pred)

0.0328329 99.68% 99.55% 99.28%

NOTA

Se describen los resultados del análisis de varianza de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo

El 99.68% de la variabilidad total del experimento según la Tabla 39, es debido a las condiciones experimentales y el modelo aditivo lineal factorial, siendo los



datos correspondientes a la masa seca de FVH homogéneos según la desviación estándar del experimento $s = 0.03283$ con lo cual, para un nivel de confianza de 95% de probabilidades se prueba las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis del efecto atribuible al factor A.** El valor crítico de F calculado ($F = 1410.02$) lleva al rechazo de la hipótesis nula (H_0) ya que su correspondiente valor de la significancia es menor que 0.05 (Valor-p = 0.000) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible a la aplicación de biol y algamar plus en la masa seca de FVH de cebada y trigo.
- **Hipótesis del efecto atribuible al factor B.** El valor F calculado ($F = 458.27$) y su correspondiente valor de la significancia (Valor -p = 0.000) caen en la **zona** de rechazo de la hipótesis nula (Valor-p < 0.05) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible al uso de la semilla de cebada o trigo en la masa seca del FVH.
- **Hipótesis del efecto atribuible a la interacción de factores AxB.** El valor crítico de F calculado ($F = 225.43$) y su valor de la significancia (Valor-p = 0.000) cae en la zona de rechazo de la hipótesis nula (H_0) y se concluye que existe efecto atribuible a la interacción de factores A x B (aplicación de biol, algamar plus y uso de semillas de cebada y trigo) en la masa seca de forraje verde hidropónico (Valor-p < 0.05). Para identificar la mejor combinación de factores que lleva a tener mayor masa seca de FVH se realizó la comparación de promedios múltiples de Tukey a un 95% de probabilidades, los resultados se muestran a continuación.

Según el reporte de los resultados de la Tabla 40, en relación al factor A se tiene que la aplicación de biol en las dosis de 6.67 ml.L^{-1} tiene mayor efecto y conduce a un promedio de 3.3145 kg.m^{-2} de FVH seco, dicho valor es significativamente superior al peso seco de FVH obtenido con la aplicación de algamar plus cuyo promedio es de 2.6985 Kg.m^{-2} , a su vez dicho promedio es significativamente superior al peso seco de FVH obtenido con el testigo cuyo valor promedio llega a 2.3170 Kg.m^{-2} .

Respecto al factor B (semilla de cebada y trigo) se observa diferencias



significativas obteniéndose mayor masa seca de FVH con el uso de la semilla de cebada con el valor promedio de $2.94233 \text{ Kg.m}^{-2}$ frente a $2.61100 \text{ Kg.m}^{-2}$ con el uso de semillas de trigo.

Tabla 40 — Promedios múltiples de la masa seca de FVH

Factores	N	Media	Agrupación				
Factor A							
Biol	6	3.3145	a				
Algamar plus	6	2.6985		b			
Testigo	6	2.3170			c		
Factor B							
Cebada	9	2.94233	a				
Trigo	9	2.61100		b			
Factor A*Factor B							
Biol Cebada	3	3.710	a				
Biol Trigo	3	2.919		b			
Algamar plus Cebada	3	2.779			c		
Algamar plus Trigo	3	2.618				D	
Testigo Cebada	3	2.338					e
Testigo Trigo	3	2.296					e
NOTA							
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.							

Las interacciones entre la aplicación de Algamar Plus y Biol, tanto en los FVH de trigo y cebada tienen efectos significativos siendo la combinación de factores de la aplicación de Biol y uso de semilla de cebada que obtiene la mayor masa seca de FVH con un promedio de 3.710 Kg.m^{-2} , seguido de la combinación de factores aplicación de Biol y uso de semillas de trigo con el valor promedio de 2.919 Kg.m^{-2} , luego la combinación de factores aplicación de Algamar Plus en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} y el uso de semillas de cebada con 2.779 Kg.m^{-2} después la combinación de factores aplicación de Algamar Plus y el uso de semillas de trigo con el promedio de 2.618 Kg.m^{-2} .

c) Porcentaje de materia seca (%)

Tabla 41 — Análisis de varianza del porcentaje de materia seca de FVH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor A	2	0.007094	0.003547	587.44	0.000
Factor B	1	0.001030	0.001030	170.52	0.000
Factor A*Factor B	2	0.000681	0.000341	56.42	0.000
Error	12	0.000072	0.000006		
Total	17	0.008878			

Claves

S R-cuad. (ajustado) (pred)

0.0024573 99.18% 98.84% 98.16%

NOTA

Se describen los resultados del análisis de varianza de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo.

El 99.18% de la variabilidad total del experimento según la Tabla 41, es debido a las condiciones experimentales y el modelo lineal factorial, siendo los datos correspondientes al porcentaje de la materia seca de FVH homogéneos según la desviación estándar del experimento $s = 0.0024573$ con lo cual, para un nivel de confianza de 95% de probabilidades se prueba las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis del efecto atribuible al factor A.** El valor crítico de F calculado ($F = 587.44$) lleva al rechazo de la hipótesis nula (H_0) ya que su correspondiente valor de la significancia es menor que 0.05 (Valor-p = 0.000) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible a la aplicación de biol y algamar plus en el porcentaje de materia seca de FVH de cebada y trigo.
- **Hipótesis del efecto atribuible al factor B.** El valor F calculado ($F = 170.52$) y su correspondiente valor de la significancia (Valor -p = 0.000) caen en la zona de rechazo de la hipótesis nula (Valor-p < 0.05) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible al uso de la semilla de cebada o trigo en el porcentaje de materia seca del FVH.



- **Hipótesis del efecto atribuible a la interacción de factores A x B.** El valor crítico de F calculado ($F = 56.42$) y su valor de la significancia (Valor-p = 0.000) cae en la zona de **rechazo** de la hipótesis nula (H_0) y se concluye que existe efecto atribuible a la interacción de factores A x B (aplicación de biol, algamar plus y uso de semillas de cebada y trigo) en el porcentaje de materia seca del forraje verde hidropónico (Valor-p < 0.05).

Para identificar la mejor combinación de factores que lleva a tener mayor porcentaje de materia seca de FVH se realizó la comparación de promedios múltiples de Tukey a un 95% de probabilidades, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 42 — Promedios múltiples del porcentaje de materia seca de FVH

Factores	N	Media	Agrupación			
Factor A						
Biol	6	0.239380	a			
Algamar plus	6	0.213827		b		
Testigo	6	0.190771			c	
Factor B						
Cebada	9	0.222223	a			
Trigo	9	0.207096		b		
Factor A*Factor B						
Biol cebada	3	0.254807	a			
Biol trigo	3	0.223952		b		
Algamar plus cebada	3	0.220682		b		
Algamar plus trigo	3	0.206971			c	
Testigo cebada	3	0.191178				d
Testigo trigo	3	0.190365				d
NOTA						
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.						

Según el reporte de los resultados de la Tabla 42, en relación al factor A se tiene que la aplicación de biol en las dosis de 6.67 mL.L^{-1} tiene mayor efecto sobre el porcentaje de materia seca con un promedio de 0.239380%, dicho valor es significativamente superior al obtenido mediante la aplicación de algamar plus cuyo promedio es de 0.213827%, a su vez dicho promedio es significativamente

superior al porcentaje de materia seca obtenido con el testigo cuyo valor llega a 0.190771%.

Respecto al factor B (semilla de cebada y trigo) se observa diferencias significativas obteniéndose mayor porcentaje de materia seca de FVH con el uso de la semilla de cebada con el valor promedio de 0.222223% frente a 0.207096% de materia seca obtenido con el uso de semillas de trigo.

Las interacciones entre la aplicación de biol y algamar plus, tanto en los FVH de trigo y cebada tienen efectos significativos siendo la combinación de factores de la aplicación de biol y uso de semilla de cebada que obtiene el mayor porcentaje de materia seca de FVH con un promedio de 0.254807%, el menor porcentaje se obtiene con los testigos: Uso de semillas de cebada y trigo con los valores de 0.191178% y 0.190365% respectivamente.

5.2.3 Prueba de hipótesis gasto de agua producción de FVH

a) Gasto de agua en la producción de FVH (L/kg)

Tabla 43 — Análisis de varianza gasto de agua en L/kg de FVH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor A	2	0.000008	0.000004	1410.02	0.000
Factor B	1	0.000001	0.000001	458.27	0.000
Factor A*Factor B	2	0.000001	0.000001	225.43	0.000
Error	12	0.000000	0.000000		
Total	17	0.000011			
Claves					
S	R-cuad.	(ajustado)	(pred)		
0.0000538	99.68%	99.55%	99.28%		
NOTA					
Se describen los resultados del análisis de varianza de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo					

El 99.68% de la variabilidad total del experimento según la Tabla 43, es debido a las condiciones experimentales a las que fueron sometidos las parcelas en el



modelo factorial, siendo los datos correspondientes al gasto de agua en litros por kilo en la producción de FVH, los datos mantuvieron un comportamiento homogéneo debido a que su desviación estándar del experimento es $s = 0.0000538$ con lo cual se concluye para un nivel de confianza de 95% de probabilidades las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis del efecto atribuible al factor A.** El valor crítico de F calculado ($F = 1410.02$) lleva al rechazo de la hipótesis nula (H_0) ya que su correspondiente valor de la significancia es menor que 0.05 (Valor-p = 0.000) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible a la aplicación de biol y algamar plus en el gasto de agua en litros por kilogramo de FVH de cebada y trigo.
- **Hipótesis del efecto atribuible al factor B.** El valor F calculado ($F = 458.27$) y su correspondiente valor de la significancia (Valor -p = 0.000) caen en la zona de rechazo de la hipótesis nula (Valor-p < 0.05) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible al uso de la semilla de cebada o trigo en el gasto de agua en litros por kilogramo de FVH.
- **Hipótesis del efecto atribuible a la interacción de factores A x B.** El valor crítico de F calculado ($F = 225.43$) y su valor de la significancia (Valor-p = 0.000) cae en la zona de rechazo de la hipótesis nula (H_0) y se concluye que existe efecto atribuible a la interacción de factores A x B (aplicación de biol, algamar plus y uso de semillas de cebada y trigo) en el gasto de agua en litros por kilogramo de FVH (Valor-p < 0.05).

Para determinar la mejor combinación de factores que lleva a tener menor gasto de agua en la producción de FVH se realizó la comparación de promedios múltiples de Tukey a un 95% de probabilidades, los resultados se muestran a continuación.

Según los resultados de la tabla 44, en relación al factor A se tiene que la aplicación de algamar plus en las dosis de 6.67 ml.L-1 es la que tiene menor gasto de agua en relación a la aplicación de biol en la misma dosis, al comparar el gasto de agua de los tratamientos activos con el testigo se observa que el menor



gasto de agua es para el testigo. Respecto al factor B (semilla de cebada y trigo) se observa diferencias significativas obteniéndose menor gasto de agua con la utilización de semilla de trigo en la producción de FVH.

Tabla 44 — Promedios múltiples gasto de agua en L/kg de FVH

Factores	N	Media	Agrupación				
Factor A							
Biol	6	0.0054350	a				
Algamar plus	6	0.0044249		B			
Testigo	6	0.0037994			c		
Factor B							
Cebada	9	0.0048248	a				
Trigo	9	0.0042815		B			
Factor A*Factor B							
Biol cebada	3	0.0060836	a				
Biol trigo	3	0.0047865		B			
Algamar plus cebada	3	0.0045569			c		
Algamar plus trigo	3	0.0042929				d	
Testigo cebada	3	0.0038338					e
Testigo trigo	3	0.0037649					e
NOTA							
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.							

Las interacciones entre la aplicación de biol y algamar plus, tanto en los FVH de trigo y cebada tienen efectos significativos siendo la combinación de factores de la aplicación de biol y uso de semilla de cebada que obtiene la mayor gasto de agua en la producción de FVH comparado frente a la combinación de aplicación de biol y algamar plus y uso de semillas de trigo, el menor gasto de agua son para los testigos tanto para la semilla de cebada y trigo que conducen a igual nivel de gasto de agua de 0.0038338 y 0.0037649 litros por kilogramo de FVH producido respectivamente.

b) Gasto de agua en la producción de forraje verde hidropónico (L/m²)

Tabla 45 — Análisis de varianza gasto de agua L/m² producción de FVH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
--------	----	-----------	-----------	---------	---------



Factor A	2	1.50180	0.750901	681.09	0.000
Factor B	1	0.20737	0.207368	188.09	0.000
Factor A*Factor B	2	0.69742	0.348708	316.29	0.000
Error	12	0.01323	0.001103		
Total	17	2.41982			

Claves

S	R-cuad.	(ajustado)	(pred)
0.0332039	99.45%	99.23%	98.77%

NOTA

Se describen los resultados del análisis de varianza de los factores en el desarrollo del FVH de cebada y trigo

El 99.45% de la variabilidad total del experimento según la Tabla 45, es debido a las condiciones experimentales a las que fueron sometidos las parcelas en el modelo factorial, siendo los datos correspondientes al gasto de agua en litros por metro cuadrado ($L.m^{-2}$) en la producción de FVH, los datos mantuvieron un comportamiento homogéneo debido a que su desviación estándar del experimento es $s = 0.0332039$ con lo cual se concluye para un nivel de confianza de 95% de probabilidades las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis del efecto atribuible al factor A.** El valor crítico de F calculado ($F = 681.09$) lleva al rechazo de la hipótesis nula (H_0) ya que su correspondiente valor de la significancia es menor que 0.05 (Valor-p = 0.000) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible a la aplicación de biol y algamar plus en el gasto de agua en litros por metro cuadrado en la producción de FVH de cebada y trigo.
- **Hipótesis del efecto atribuible al factor B.** El valor F calculado ($F = 188.09$) y su correspondiente valor de la significancia (Valor -p = 0.000) caen en la zona de rechazo de la hipótesis nula (Valor-p < 0.05) por tanto, se concluye que existe efecto atribuible al uso de la semilla de cebada o trigo en el gasto de agua en litros por metro cuadrado en la producción de FVH.

- **Hipótesis del efecto atribuible a la interacción de factores A x B.** El valor crítico de F calculado ($F = 316.29$) y su valor de la significancia (Valor-p = 0.000) cae en la zona de rechazo de la hipótesis nula (H_0) y se concluye que existe efecto atribuible a la interacción de factores A x B (aplicación de biol, algamar plus y uso de semillas de cebada y trigo) en el gasto de agua en litros por metro cuadrado en la producción de FVH (Valor-p < 0.05). Para determinar la mejor combinación de factores que lleva a tener menor gasto de agua en la producción de FVH se realizó la comparación de promedios múltiples de Tukey a un 95% de probabilidades, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 46 — Promedios múltiples del gasto de agua L/m² producción FVH

Factores	N	Media	Agrupación			
Factor A						
Biol	6	10.4825	A			
Algamar plus	6	9.9225		b		
Testigo	6	9.8280			c	
Factor B						
Cebada	9	10.1850	a			
Trigo	9	9.9703		b		
Factor A*Factor B						
Biol cebada	3	10.850	a			
Biol trigo	3	10.115		b		
Algamar plus trigo	3	10.031		b		
Testigo cebada	3	9.891			c	
Algamar plus cebada	3	9.814			c	d
Testigo trigo	3	9.765				d
NOTA						
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.						

Según los resultados de la Tabla 46, en relación al factor A se tiene que la aplicación de algamar plus en las dosis de 6.67 ml.L-1 es la que tiene menor gasto de agua en relación a la aplicación de biol en la misma dosis, con 10.4825



L.m-2 y 9.9225 L.m-2 respectivamente. Al comparar el gasto de agua de los tratamientos activos con el testigo se observa que el menor gasto de agua por unidad de superficie es para el testigo con el valor de 9.8280 L.m-2.

Respecto al factor B (semilla de cebada y trigo) se observa diferencias significativas obteniéndose menor gasto de agua con la utilización de semilla de trigo en la producción de FVH.

En cuanto a las interacciones se tiene que el menor gasto de agua se obtiene con el uso de semillas de trigo y el mayor gasto de agua se tiene con la aplicación de biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} y el uso de semillas de cebada con el promedio de 10.850 L.m^{-2} .

5.3 Discusión

En base a los hallazgos encontrados en la investigación podemos realizar las siguientes discusiones:

5.3.1 Discusión sobre el rendimiento de la biomasa vegetal FVH

La cosecha de la biomasa vegetal del forraje verde hidropónico (FVH) se realizó a los 20 días después de la siembra, coincidiendo con lo señalado por Vargas (2007). El mayor rendimiento en peso seco se obtuvo con la aplicación de biol a una concentración de 6.67 ml.L^{-1} , alcanzando 1.06 kg de FVH por cada kilogramo de semilla de cebada utilizada, resultado que fue estadísticamente significativo ($\text{Sig.} < 0.05$). En cuanto al tipo de semilla (cebada o trigo), no se encontraron diferencias significativas. Además, el rendimiento obtenido es comparable con lo reportado por Vargas (2007), quien indica una relación semilla-material producido de 1:3.58 kg para arroz; mientras que, en este estudio, la relación para cebada fue de 1:0.6 kg de material seco.

- a) **Altura de planta (cm).** La altura de planta está relacionada en 79.94% con la aplicación de los tratamientos siendo la dosis de 6.67 ml.L^{-1} de biol que tiene mayor efecto en la altura de planta con 21 cm frente a 15.33 cm del tratamiento testigo, dicho resultado es cercano a los reportados por VARGAS (2007); Juárez-López, et al. (2013) y FAO (2001) que indican que la altura de las plantas de FVH, cebada va de 20 a 30 cm, la altura está relacionada con la iluminación



y el riego, lo cual se explica debido a que mediante la fotosíntesis la planta tiene la capacidad de captar energía lumínica y los elementos minerales de la solución nutritiva del biol y algamar plus que actúa de manera acelerada en el crecimiento de la planta, cuando la planta tiene una altura entre 20 a 25 cm, tiene bajo contenido de fibra, pero logra alto contenido de proteínas que son fácilmente aprovechables por los animales que consumen (Leonard, 2015). FAO (2001) considera que el FVH, es un pienso vivo de alta digestibilidad, tiene alta sanidad y calidad nutricional. La altura de planta de FVH es significativamente mayor cuando se usa semillas de cebada en comparación con las semillas de trigo con valores de 15.33 cm y 14.33 cm respectivamente.

- b) **Diámetro de planta de forraje verde hidropónico (cm).** El diámetro de planta es un indicador de la vigorosidad del FVH, los resultados muestran que la aplicación de algamar plus y biol en la dosis de 6.67 mL.L^{-1} tienen igual efecto en el diámetro de plantas con promedios de 0.65 cm para la cebada y de 0.520 cm para el trigo que a su vez, son superiores al tratamiento testigo que reportan valores de 0.4 cm y 0.32 cm para el FVH de cebada y trigo respectivamente, de los resultados podemos inferir que el FVH de cebada es más vigoroso el FVH de trigo, además que la vigorosidad del FVH depende en un 95.93% de la aplicación de elementos nutricionales como el biol y algamar plus, que según Huacuja (2009) el biol aporta nutrientes N, P, K, S, B. Cu. Fe. Mg y otros, que aplicados vía foliar permite mejor intercambio y aprovechamiento en las plantas, al respecto, Restrepo (2001) indica que los abonos líquidos contienen microorganismos benéficos que luego se convierten a microorganismos eficientes (EM) que son bacterias ácido lácticas, fotosintéticas, levaduras y actinomicetos que aplicados a las plantas producen vitaminas, ácidos orgánicos, quelatados y antioxidantes que nutren y dan vigor a las plantas, que concuerda con Saborio (2002) quien indica “la aplicación de aminoácidos en las plantas se asocia con la formación de sustancias biológicamente activas que actúan vigorizando y estimulando la vegetación”.
- c) **Altura de tapete de forraje verde hidropónico (cm).** La aplicación de algamar plus en el trigo en la dosis de 6.67 mL.L^{-1} logró mayor desarrollo radicular por tanto mayor altura de tapete de 5.2 cm, mientras que en la cebada fue de 4.40 cm, dichos valores son superiores a los obtenidos en el tratamiento testigo que



reportan alturas de tapete de 3.8 cm y 3.5 cm en FVH de trigo y cebada respectivamente, dichos valores son cercanos a lo manifestado por Romero & Gómez (2002) que indican “las raíces de la cebada se ramifican y permanecen activas proporcionando anclaje y absorción de agua y nutrientes, que en condiciones de suelo la profundidad no es mayor a 7 cm” El efecto de algamar plus en el desarrollo radicular es explicado por la presencia citoquinina y auxina que según Bidwel (1993); Azcón & Talón (2003) indican que la presencia de dichas hormonas induce a la división celular, donde las raíces son estimuladas al crecimiento.

- d) **Masa de forraje verde de cebada y trigo (Kg/m^2).** Herrera-Camasa et al., (2007) obtuvieron un rendimiento forrajero de FVH de cebada entre 8 a 10.5 $\text{Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ utilizando biol, lo cual es similar a los hallazgos de la presente tesis que, para una dosis de $6.67 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ de biol se obtuvo un rendimiento promedio de $13.797 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ que es significativamente diferente al obtenido con la aplicación de algamar plus ya que se registró un promedio de $12.621 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$, a su vez dicho promedio es significativamente superior al peso de masa fresca de FVH obtenido con el testigo cuyo valor promedio llega a $12.145 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Por su parte Tarrillo (2007) reporta resultados de masa forrajera de cebada de 6 a 8 Kg por cada kilo de semilla, mientras que Elizondo (2004) indica que de 1 Kg de semilla de cebada se puede obtener hasta 9 Kg de biomasa vegetal.

5.3.2 Rendimiento de la materia seca FVH

- a) **Masa de forraje seco de cebada y trigo (Kg/m^2).** La aplicación de biol en la dosis de $6.67 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ conlleva a un rendimiento de la materia seca de FVH de cebada de $3.710 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ frente a $2.919 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ del trigo. Con la aplicación de algamar plus en la misma dosis se obtiene $2.779 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ en cebada y de $2.618 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ en trigo que son superiores al testigo ya que alcanzaron pesos de $2.305 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y $2.296 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ en cebada y trigo respectivamente, según JAUME, et al., (2014) la relación entre el forraje verde y la materia seca obtenida es de 5 kg de FVH se obtiene 1 kg de materia seca mientras que la presente investigación es de 3.719 Kg.
- b) **Porcentaje de materia seca (%).** La aplicación de biol en la dosis de $6.67 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ induce a mayor porcentaje de materia seca en cebada con 25.48% frente a



22.39% del trigo, dichos valores son cercanos a los reportados por Juárez - López et al., (2013) quienes empleando semillas de cebada, trigo y sorgo y soluciones nutritivas alcanzaron 27% de materia seca de FVH, (73% del FVH está constituido por agua). Cuando se aplica algamar plus en las semillas de cebada se obtiene 22.07% de materia seca y 20.6967% en las semillas de trigo, y cuando no se aplica ninguna solución nutritiva los porcentajes de materia seca son de 19.040% para el trigo y 18.9867% para la cebada, los resultados mostrados son superiores a los reportados por Tito-Mamani (2016) quien obtuvo resultados de materia seca entre 12% a 18%, por su parte Chiriboga (2001) citado por Tito-Mamani (2016), encontró que por cada kilo de semilla se producen de 18 a 24 kilos de forraje hidropónico con 18% de materia seca y más de 16% de proteína, lo que indicaría que la presente investigación tiene validez externa ya que los resultados son muy cercanos a otros autores.

5.3.3 Gasto de agua en la producción FVH

Se reporta un gasto de agua entre el intervalo de 0.004 a 0.006 litros por kilogramos de FVH, no habiendo investigaciones que comparar en dichas unidades de análisis, sin embargo, el gasto de agua durante 20 días del proceso productivo fue entre 9.814 hasta 10.850 L.m⁻² con la aplicación de biol en la dosis de 6.67 ml.L⁻¹ y con semillas de cebada, dicho valor es cercano Juárez López et al., (2013) quienes reportan la utilización de 8 litros de agua por cada kilo de materia seca de FVH (considerando un 25% de MS de FVH), que comparado con la producción convencional se utilizaría entre 270 – 635 lts de agua / kg de materia seca, debido a las pérdidas por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración, al respecto Gallardo (2000) (citado por Tito-Mamani, 2016), indica que mediante la hidroponía se logra una importante reducción del consumo de agua (en el suelo se requiere de 300 a 800 litros de agua por kilogramo de materia seca producida y en hidroponía apenas 2,5 litros).



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El mayor rendimiento de biomasa vegetal se alcanzó con la aplicación de Biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} obteniendo 1.06 Kg de FVH por kg de semilla de cebada utilizada. Concluimos que:

- La mayor altura de planta se alcanzó con la interacción del Biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} y el uso de semillas de cebada con 21 cm frente a 15.33 cm del tratamiento testigo.
- No existe diferencias significativas entre la aplicación de Algamar plus y Biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} sobre el diámetro de plantas de FVH de cebada y trigo, siendo sus diámetros de 0.65 cm para la cebada y de 0.520 cm para el trigo, pero dichos valores son significativamente superiores al testigo que alcanzó 0.4 cm y 0.32 cm para el FVH de cebada y trigo respectivamente.
- La interacción de Algamar Plus en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} y el uso de semillas de trigo alcanzo mayor desarrollo radicular con 5.2 cm de altura de tapete frente a 4.40 cm del Biol y 3.8 cm del testigo.
- La interacción de Biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} y el uso de semillas de cebada alcanzó mayor peso de forraje verde de 13.797 kg.m^{-2} frente al testigo con 12.145 Kg.m^{-2} .
- La interacción del Biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} y el uso de semillas de cebada alcanzan un mayor rendimiento de la materia seca de FVH de 3.710 Kg.m^{-2} frente al testigo de 2.305 Kg.m^{-2} y mayor porcentaje de materia seca con 25.48% frente al testigo de 18.9867%.



- El gasto de agua en la producción de FVH con la utilización de Biol y semillas de cebada se encuentra entre 0.004 a 0.006 L.Kg de FVH (9.814 hasta 10.850 L.m^{-2}) en 20 días del proceso productivo.

6.2 Recomendaciones

- El rendimiento superior de biomasa vegetal, fue alcanzado con la aplicación de Biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} obteniendo 1.06 Kg de FVH por kg de semilla de cebada utilizada, por lo que es recomendable su uso.
- Se recomienda, que para lograr un mayor rendimiento de materia seca de FVH se recomienda la interacción del Biol en la dosis de 6.67 ml.L^{-1} y el uso de semillas de cebada alcanzaron un mayor rendimiento de la materia seca.
- Se recomienda que para economizar el gasto de agua en la producción de FVH se recomienda utilizar Biol y cebada, que lograron valores entre 0.004 a 0.006 L.Kg de FVH (9.814 hasta 10.850 L.m^{-2}) en 20 días del proceso productivo.
- Se recomienda que los criadores de animales menores del distrito de Abancay utilicen el forraje verde hidropónico (FVH) para la alimentación animal, el cual logra mayor rentabilidad en la dosis de Biol 100 ml/15L (6.67 ml/L) y 0.5 kg de semillas de cebada para bandejas de $0.5 \times 0.3 \text{ m}$ (0.15 m^2).
- Se recomienda que los investigadores repliquen la investigación con fines de realizar la producción industrial de FVH. Asimismo, evaluar la ganancia de peso de diferentes especies pecuarias con el suministro de FVH como alimentación.
- Se recomienda que los docentes y estudiantes de ciencias agrarias repliquen el ensayo en otras condiciones medioambientales o utilizando otros productos orgánicos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOEL, J. & EZEQUIEL, E. 2013. El potencial y la utilización de los animales marinos. s.l. : Scientia Agriculture, 2013.

AGRICISA. 2017. Catálogo de productos. [En línea] 10 de junio de 2017. [Citado el: 19 de noviembre de 2018.] <http://agricisa.com/index.php/producto/>.

ALEXANDER, M. 1980. Conservación y manejo ecológico de suelos. Segunda. México: AGT Editor SA, 1980. págs. 115 - 116. s.n.

ALONSO RUIZ, N. 2004. Efecto de la aplicación de composta y lombricomposta y biodigestados líquidos en el crecimiento, rendimiento y calidad de follaje en el cultivo de cilantro (*coriandrum sativum*). México: Buenavista, 2004. s.n.

ARANO, C. 1998. Forraje verde hidropónico y otras técnicas de cultivo sin tierra. Buenos Aires, Argentina: s.e., 1998.

AUDESIRK, T. & AUDESIRK, G. 1997. Biología. México: Prentice Hall, 1997.

AZCÓN, J. Y TALÓN, M. 2003. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana, 2003. págs. 305-375.

BAGLIETO, S. 2008. Comparativo de rendimiento de 6 hileras y de 2 hileras en dos densidades de siembra en La Molina. Universidad Agraria La Molina (UNALM). Lima: s.e, 2008.

BARRIGA, B. 1974. Índice de cosecha en trigo de primavera. AGROSUR. 1974. págs. 153 - 158.

BIDWEL, R. 1993. Fisiología vegetal. [trad.] Guadalupe Gerónimo Cano y Cano. México: (UNAML). México. AGT, 1993. pág. 2.



BIETTI, S. 2013. Nutrición vegetal: insumo para cultivo orgánico. Google académico. [En línea] 8 de noviembre de 2013. [Citado el: 16 de Setiembre de 2018.] <http://www.google.académico>.

BRAUDILIO, JUSCA Fresca. 1974. Forrajes, fertilizantes y valor nutritivo. Barcelona: AEDOS, 1974.

CALMET. 2003. Efectos de la aplicación de fertilizantes foliares. [En línea] 12 de Setiembre de 2003. [Citado el: 16 de Setiembre de 2018.] de <http://www.fertitec.com>.

CANTÚ B., J. E. 1985. Apuntes de cultivos forrajeros. s.l. : U. A. A. A. N. , 1985.

CASTILLO BAUTISTA, R. 2009. La hipótesis en investigación, en contribuciones a las ciencias sociales. España : Universidad de Málaga, 2009.

CASTRO, E., MORALES, J., & HERRERA, P. (2016). *Evaluación de forrajes en sistemas hidropónicos: parámetros de calidad y rendimiento.* Revista Agropecuaria Andina, 9(2), 55-64.

CHAPARRO, J., & RÍOS, L. (2019). *Uso de biofertilizantes en la agricultura sostenible.* Revista Colombiana de Ciencias Agrícolas, 36(2), 45-53.

CIMMYT. 2016. Parte de la planta de trigo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. [En línea] 12 de Enero de 2016. [Citado el: 23 de Setiembre de 2018.] <http://wheatdoctor.org/es/partes-de-la-planta-del-trigo>.

COCHRAN, W. G. (1977). *Sampling Techniques* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

CUESTA, A. 2007. Control genético de la floración en cebada: caracterización de los principales loci y relación de patrones de espigado con el rendimiento. Zaragoza : Universidad de Lleida., 2007.

CURTIS, H. 1991. Biología. New York : Panamericana, 1991.



ELIZONDO, J. 2004. Forraje verde hidropónico. Una alternativa para la alimentación animal. s.l. : Revista ECAG, 2004. págs. 36-39. s.n.

ENRICCI, PABLO, et al. 2012. Abonos foliares y su aplicación. Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, 2012.

EPUIN, A. 2004. Evaluación de tres bioestimulantes comerciales sobre el rendimiento de cuatro variedades de papa, bajo condiciones de secano en el valle de la IX región. Lima: s.e., 2004. págs. 55-62.

ERULAN, V., THIRUMARAN, G. & ANATHAN, G. 2009. Estudios sobre el efecto de *Sargassum polycytum*. s.l. : Revista SCIELO, 2009.

ESPINOZA, G. 1987. Composición y función del biol en base a estiércoles y algas. Arequipa: s.e, 1987. págs. 57-59.

FAO. 2018. *Producción sostenible de forraje verde hidropónico*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. 2001. Manual técnico de forraje hidropónico. Santiago de Chile: Oficina Regional Para América Latina y el Caribe - FAO, 2001.

FONCODES. 2014. Producción y uso de abonos orgánicos: Biol, Compost y Humus. LIMA: Asociación Gráfica Educativa, 2014.

FUMEX. 2012. Bioestimulantes. [En línea] 5 de Setiembre de 2012. [Citado el: 16 de Setiembre de 2018.] <http://www.fumex.cl/ecobioestimulantes.html>.

GALLARDO, R. N. 2012. Efecto de la aplicación de bioestimulantes en floración de palto (*Persea americana*) Mill. cv. Hass sobre la cuaja y retención de frutos. [En línea] 7 de Setiembre de 2012. [Citado el: 16 de Setiembre de 2018.] <http://www.fichier-pdf.fr/2012/05/23/biosavocatier/biost-avocatier:pdf>.

GARCÍA, JOSÉ. 1989. Edafología y fertilización agrícola. España: Aedos - Barcelona, 1989.



GÓMEZ, K. A., & GÓMEZ, A. A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

GONZALES, R., QUISPE, J., & HUAMÁN, C. (2020). *Alternativas de alimentación en ganadería altoandina: el forraje verde hidropónico.* Revista de Producción Animal Andina, 12(1), 55-64.

GONZÁLEZ, R., & MORALES, A. (2020). *Efecto de extractos de algas marinas en el crecimiento vegetal.* Revista Iberoamericana de Biociencias, 7(15), 112-123.

GUERRERO, B. JUAN. 1993. Abonos Orgánicos - Tecnología para el manejo ecológico del suelo 1era. edición. Lima - Perú: s.e, 1993.

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ, C., & BAPTISTA, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.

HERRERA CAMASA, Edy & NUÑEZ ROJAS, Wilfredo Edison. 2007. Producción y uso de forraje verde hidropónico de cebada y maíz amarillo y asociado en el engorde de cuyes. Huancayo-Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2007.

HERRERA, R. H. 2014. Efecto de extractos líquidos de mar en el crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*). s.l. : s.e, 2014.

HPTA. 2010. Humic Products Trade Association. [En línea] 15 de febrero de 2010. [Citado el: 19 de Setiembre de 2018.] <http://www.humictrade.org/>.

HUACUJA, L. 2009. Abonos orgánicos. México: AGT Editor SA., 2009.

HUNGUES, M. D. & HEATHY E., D. S. 1978. Forrajes. Quinta. México: CECSA, 1978.

IDMA. 2015. Abonos líquidos fermentados. Lima: IDMA, 2015. s.n..

INFOAGRO. 2014. [En línea] Setiembre de S de 2014. [Citado el: 23/09/2018 de Setiembre de 2018.] <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/cebada.htm>.



JAUME, Alejandro Nhuel; PEREIRA, Carlos Alberto & PEREIDA, Sergio Antonio. 2014. Producción de forraje Verde hidropónico. San Rafael - Mendoza: Universidad Tecnológica Nacional, 2014.

KIRK, O. 1982. Sustancias de crecimiento vegetal. Nueva York: Instituto Politécnico de Nueva York. Catalogación Lybrary del Congreso, 1982. Vol. VII.

L. MARTIN, A. 1991. Especies de oscillatorias planctónicas de los estanques de bagre de Mississippi que producen los compuestos de mal sabor 2-metilisoborneol. Mississippi: s.e., 1991.

LEONARD, A. 2015. Forraje Verde Hidropónico. México: McGRAW-HILL, 2015.

MARRASSI, M. A. 2008. Hipertextos del área de biología. Hormonas vegetales. [En línea] 24 de junio de 2008. [Citado el: 16 de Setiembre de 2018.] http://www.alaquairum.net/hormonas_vegetales.htm.

MEAD, R., CURNOW, R. N., & HASTED, A. M. (2002). *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology* (3rd ed.). Chapman & Hall/CRC.

MEDINA, A. 1992. El biol y el biosol en la agricultura. Cochabamba: s.e., 1992.

MINAG. 2010. Abonos orgánicos. Lima: Ministerio de Agricultura, Dirección de Investigación Agraria, 2010.

MINAGRI. 2016. Hidroponía. [En línea] 12 de junio de 2016. [Citado el: 15 de Setiembre de 2018.] http://www.infoagro.com/abonos/abonos_organicos.htm.

MONTGOMERY, D. C. 2017. *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.

MORALES ESTRADA, M. 1997. El pH y los materiales orgánicos. Saltillo : Coahuila, 1997.



MUÑOZ, M. 2007. Control genético y variación transcripcional de la embriogénesis de la microspora en cebada. . Departamento de Genética y Producción Vegetal., Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). . Zaragoza. : s.e, 2007. Tesis Doctoral.

OVERSTREET, L. F. & DE LONG HUGHES, J. 2009. Labranza: La importancia de la materia orgánica del suelo en los sistemas de cultivo de las grandes llanuras del norte de Minnesota. s.l. : Universidad de Minnesota, 2009.

PELCZAR, M., REID, R. Y CHAN. 1982. Microbiología. México: Mc Graw Hill, 1982.

PÉREZ, L., & MEDINA, A. (2021). *Valor nutritivo del forraje verde hidropónico de cebada y trigo en sistemas ganaderos familiares.* Revista Agropecuaria del Altiplano, 8(2), 77-85.

PIETRI, R. E. 2002. Materia orgánica, humus, humate, ácido húmico, ácido fúlvico y humín: su importancia en la fertilidad del suelo y la salud de las plantas. Texas : Universidad de Texas A&M, 2002.

RESTREPO RIVERA, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos, fermentados y biofertilizantes foliares. Costa Rica : IICA, 2001.

ROBLEDO, D. 1997. Las algas y la biodiversidad. [En línea] 17 de junio de 1997. [Citado el: 15 de Setiembre de 2018.] <https://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos>.

ROBLES, S.R. 1978. Producción de grano y Forraje. Quinta. Lima: LIMUSA, 1978.

RODRÍGUEZ, M., SÁNCHEZ, P., & VEGA, F. (2017). *Indicadores productivos en forrajes hidropónicos de cereales.* Revista Científica Agroalimentaria, 5(1), 33-41.

ROJAS, M. & RAMIREZ, H. 1987. Control hormonal del desarrollo de las plantas. México : Limusa, 1987.

ROMERO, M. & GÓMEZ, I. 2002. Cultivo de Cebada en el Perú. [ed.] Universiad Nacional Agraria la Molina. Lima: s.e, 2002. pág. 29. Serie Divulgativa.



SALAZAR, D., & RUIZ, H. 2015. *Eficiencia en el uso del agua en sistemas agrícolas hidropónicos*. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 11(2), 88-96.

SÁNCHEZ, C. F. 1988. Un sistema de producción de plantas “hidroponía” principios y metodos de cultivo. Chapingo: UACH, 1988.

SÁNCHEZ, M. & FRANCO, H. C. 2012. Manejo de la fertilización foliar y bioestimulante. [En línea] 21 de Agosto de 2012. [Citado el: 16 de Setiembre de 2018.] <http://www.infojardin.com/foro/showthread.php?t=179040..>

SAROBIO, F. 2002. Bioestimulantes en fertilización folia. Principios y aplicaciones. Costa Rica: s.e., 2002. págs. 111 - 127.

SEYEDBAGHERI, M. M. 2015. Documento de conferencia de papa: 30 años de investigación que documentan la influencia de las sustancias humucas en la salud del suelo, los fertilizantes y la eficiencia del uso del agua. s.l. : Universidad de Idaho, 2015.

SUQUILANDA, M. 2001. Seminario Taller de Agricultura Orgánica. Lima : s.e., 2001.

TAPIA, M. & FRIES, A. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. Lima - Perú. : FAO Y AMPE, 2007.

TARRILLO, H. 2007. Forraje verde hidropónico, forraje de alta calidad, para la alimentación animal. [En línea] 15 de Junio de 2007. [Citado el: 11 de Setiembre de 2018.] http://www.mag.go.cr/rev_meso/v19n02_233.pdf. s.n.

TITO-MAMANI, Adriana. 2016. Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), con cuatro tipos de abonos orgánicos bajo ambiente atemperado en la provincia Murillo del departamento De La Paz. La Paz - Bolivia: Universidad Mayor San Andrés (Tesis de pregrado), 2016.

VALDIVIA, B.E. 1997. Producción de forraje verde hidropónico. Lima: UNALM, 1997.



VALVERDE, Lucio Yhony, et al. 2018. Producción de tres variedades de forraje verde hidropónico con diferentes dosis de fertilizante nitrogenado. Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí. Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, 2018. ISSN 22918.

VARGAS RODRÍGUEZ, Claudio Fabián. 2007. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 19(2): 233-240.2008. [En línea] 29 de agosto de 2007. [Citado el: 11 de Setiembre de 2018.] http://www.mag.go.cr/rev_meso/v19n02_233.pdf. ISSN: 1021-7444.

VILLE, E. P., Y OTROS. 1992. Biología. México : Interamericana - McGraw Hill., 1992.

WETZEL, R. G. 1975. Limnología. s.l. : W. B. Saunders, 1975.

WIL. 2012. Reguladores de crecimiento. [En línea] 6 de Setiembre de 2012. [Citado el: 2018 de Setiembre de 2018.] <http://agropecuarios.net/reguladores-del-crecimiento.html>..



ANEXOS



Anexo A

Tabla 47 — Matriz de consistencia metodológica

Título: Efecto del Algamar Plus y Biol en el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en Abancay- Apurímac			
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables
Problema general ¿Cuál es el efecto de la aplicación de Algamar Plus y Biol en el rendimiento de la biomasa vegetal del forraje verde hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en el distrito de Abancay – Apurímac?	Objetivo general Determinar el efecto de la aplicación de Algamar Plus y Biol en el rendimiento de la biomasa vegetal del forraje verde hidropónico de la cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en el distrito de Abancay – Apurímac	Hipótesis general La aplicación de Algamar Plus y Biol tiene efecto significativo en el rendimiento de la biomasa vegetal del forraje verde hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en el distrito de Abancay – Apurímac (<i>Triticum durum</i>) en el distrito de Abancay – Apurímac	Variables independientes Abonos foliares: <ul style="list-style-type: none"> • Algamar plus • Biol Semilla: <ul style="list-style-type: none"> • Cebada • Trigo
Problemas específicos <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la dosis de aplicación de Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia verde del forraje verde hidropónico de la cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en el distrito de Abancay – Apurímac? 	Objetivos específicos <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la dosis de aplicación de Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia verde del forraje verde hidropónico de la cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en el distrito de Abancay – Apurímac 	Hipótesis específicas <ul style="list-style-type: none"> • Existe al menos un producto entre Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia verde del forraje verde hidropónico de la cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en el distrito de Abancay – Apurímac 	Variable dependiente 1: Rendimiento de materia verde
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la dosis de aplicación de Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia seca del forraje verde hidropónico de la cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en el distrito de Abancay – Apurímac? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la dosis de aplicación de Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia seca del forraje verde hidropónico de la cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en el distrito de Abancay – Apurímac 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe al menos un producto entre Algamar Plus y Biol que tiene mayor efecto en el rendimiento de la materia seca del forraje verde hidropónico de la cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en el distrito de Abancay – Apurímac 	Variable dependiente 2: Rendimiento de materia seca
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el consumo de agua en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) mediante la aplicación de Algamar Plus y Biol en el distrito de Abancay – Apurímac? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el consumo de agua en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) mediante la aplicación de Algamar Plus y Biol en el distrito de Abancay – Apurímac 	<ul style="list-style-type: none"> • Existen diferencias significativas en el consumo de agua en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) mediante la aplicación de Algamar Plus y Biol en el distrito de Abancay – Apurímac 	Variable dependiente 3: Consumo de agua
NOTA Realizamos la descripción de la matriz de consistencia metodología que oriento la investigación.			

Tabla 48 — Matriz de operacionalización de variables

Título: Efecto del Algamar Plus y Biol en el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en Abancay- Apurímac				
Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Índices
V. independientes Abonos foliares: <ul style="list-style-type: none"> • Algamar plus • Biol 	Bioestimulante orgánico a base de extractos de algas marinas, rico en fitohormonas naturales, macro y micronutrientes que favorecen el crecimiento vegetal (González & Morales, 2020). Fertilizante orgánico líquido obtenido por fermentación anaeróbica de estiércol, restos vegetales y agua, rico en N, P, K, aminoácidos y microorganismos benéficos (Chaparro & Ríos, 2019).	Se aplicará en forma líquida sobre las plántulas de FVH, en dosis establecida por tratamiento, para evaluar su efecto sobre el crecimiento y rendimiento. Se aplicará en forma foliar en diferentes concentraciones según tratamiento, para medir su influencia en el desarrollo del FVH.	Factor A: <ul style="list-style-type: none"> • Dosis de biol • Dosis de Algamar plus • Testigo Factor B: <ul style="list-style-type: none"> • Dosis de cebada • Dosis de trigo 	Factor A: <ul style="list-style-type: none"> • 100 ml biol x 15 lt de agua • 100 ml Algamar plus x15 lt de agua • Agua Factor B <ul style="list-style-type: none"> • 3.5 kg/m2 • 3.5 kg/m2
Semilla: <ul style="list-style-type: none"> • Cebada • Trigo 	Cereal forrajero de rápido crecimiento, ampliamente utilizado en FVH por su alto valor nutritivo y digestibilidad (Pérez & Medina, 2021). Cereal de importancia mundial, cultivado para grano y forraje; en FVH presenta buen rendimiento y contenido proteico (FAO, 2018).	Se empleará como material vegetal en bandejas hidropónicas, registrando variables de germinación, biomasa verde y seca. Se usará como material vegetal en sistemas hidropónicos, evaluando rendimiento de materia verde, seca y consumo de agua.		
Variable dependiente 1: Rendimiento de materia verde	Cantidad de biomasa fresca producida por unidad de superficie o volumen, expresada en gramos o kilogramos (Rodríguez et al., 2017).	Se medirá mediante el peso fresco (g/bandeja) al finalizar el ciclo de crecimiento del FVH.	Indicadores: <ul style="list-style-type: none"> • Altura de planta • Altura de tapete • Diámetro de hoja • Peso de materia verde 	Índices <ul style="list-style-type: none"> • cm • cm • cm • kg/m2
Variable dependiente 2: Rendimiento de materia seca	Fracción de la biomasa total sin contenido de agua, indicador del valor nutritivo y energético del forraje (Castro et al.2016).	Se determinará mediante secado de muestras en estufa a 65 °C hasta peso constante, expresado en g/bandeja o %.	Indicadores <ul style="list-style-type: none"> • Peso seco de biomasa foliar • Peso seco de biomasa radicular • Peso de materia seca • Materia seca 	Índices <ul style="list-style-type: none"> • kg FVH/Kg semilla • kg FVH/Kg semilla • kg • %
Variable dependiente 3: Consumo de agua	Cantidad de agua utilizada en el proceso de producción, indicador de eficiencia hídrica del sistema (Salazar & Ruiz, 2015).	Se calculará registrando el volumen de agua suministrado menos el agua residual en cada bandeja durante el ciclo de cultivo.	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de agua en la producción de FVH • Gasto de agua en la producción de FVH 	<ul style="list-style-type: none"> • lt/kg FVH • lt/m2
NOTA Realizamos la descripción de la matriz de consistencia operacional que oriento la investigación.				

Anexo B

Tabla 49 — Ficha de evaluación

Título: Efecto del Algamar Plus y Biol en el rendimiento de forraje verde hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) y trigo (<i>Triticum durum</i>) en Abancay- Apurímac													
Fecha:..... Bloque N°..... Toma de datos N° :.....													
Nombre del evaluador:.....												N° de U.E.:.....	
Clave de tratamiento	Tratamientos	Fecha de evaluación: / /											
		Variable:										Sumatoria	Promedio
		Indicador:											
		Unidad de medida:											
T1													
T2													
T3													
T 4													
T5													
T6													
Observaciones:.....													

Anexo C

		FACTOR A: TIPO DE ABONO FOLIAR		
		A1: Algamar plus	A2: Biol	A3: Testigo
SEMILLA	B1 Cebada	A1B1	A2B1	A3B1
		A1B1	A2B1	A3B1
		A1B3	A2B1	A3B1
	B2 Trigo	A1B2	A2B2	A3B3
		A1B2	A2B2	A3B3
		A1B2	A2B2	A3B3

NOTA

Se describe la distribución de los tratamientos en el diseño del experimento

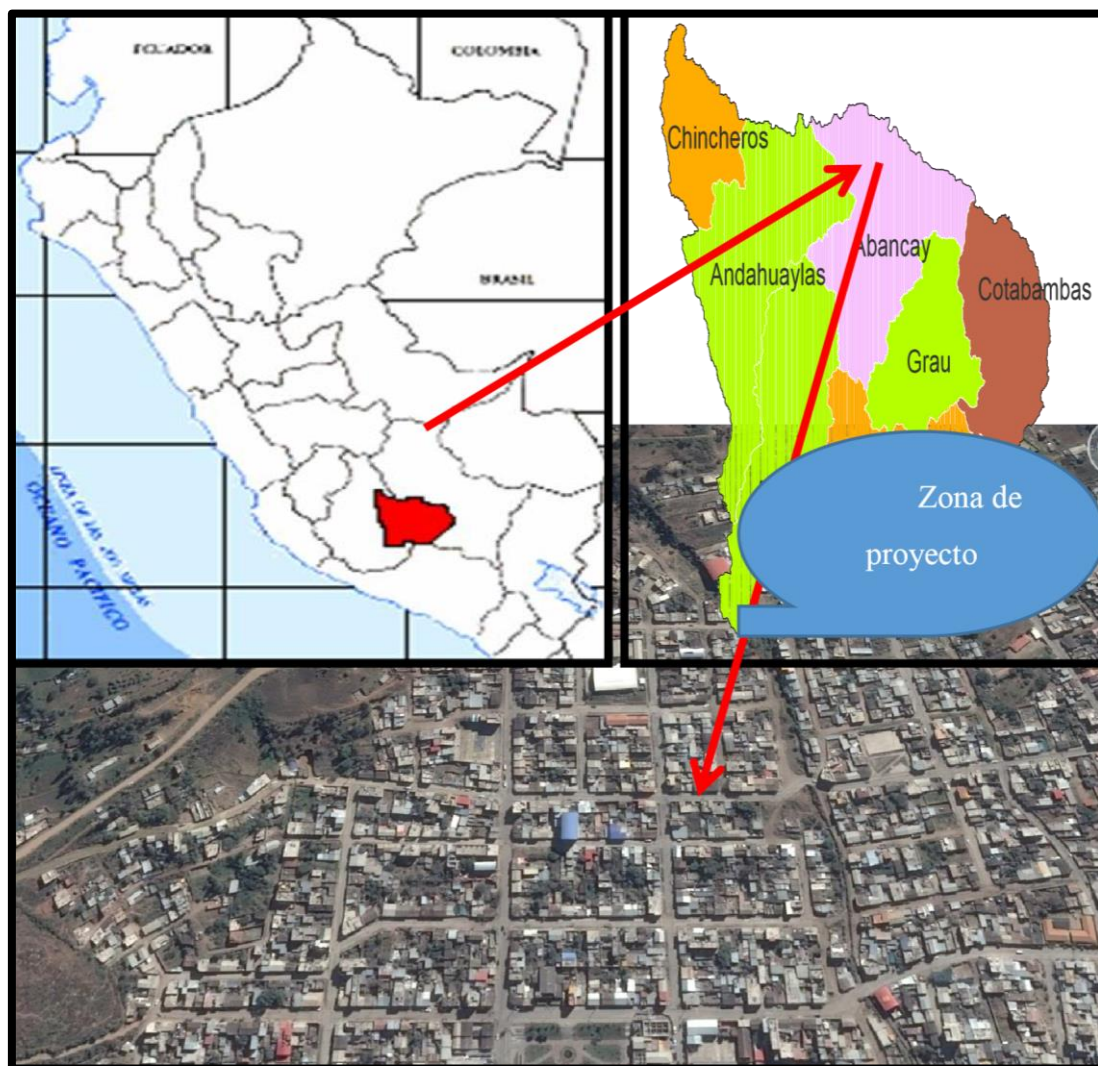
Figura 18 — Croquis del experimento

Anexo D

Tabla 50 — Ubicación del campo experimental

Ubicación	Localidad
Región	Apurímac
Provincia	Abancay
Distrito	Abancay
Sector	Condebamba
Altitud	2378 m.s.n.m. a 3952 m.s.n.m.
<p>NOTA</p> <p>Realizamos la descripción de la ubicación del campo experimental de la investigación.</p>	

Anexo E



NOTA

Se describe la distribución de los tratamientos en el diseño del experimento

Figura 19 — Mapa de ubicación del campo experimental

Anexo F

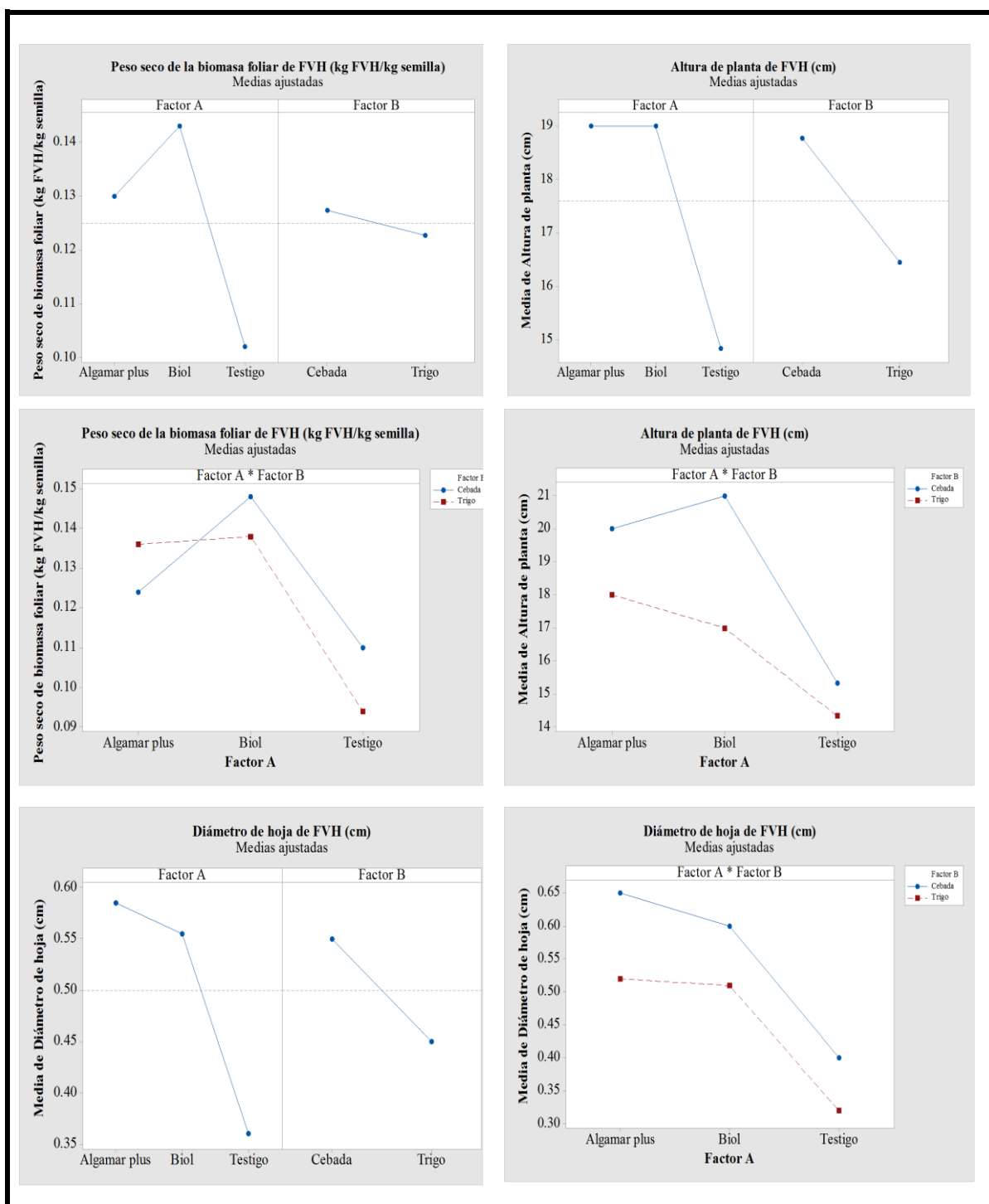
Tabla 51 — Base de datos de la investigación

Altura	Longitud de raíz (cm)	Diámetro de hoja (cm)	Peso seco de biomasa foliar kg/	Peso seco de biomasa radicular	masa de forraje verde kg/m2	Masa de forraje seco kg/m2	% de materia seca	Litros de agua por kilo de materia seca	agua litros/m2	Factor A	Factor B
19	4.2	0.64	0.126	0.664	12.593	2.765	21.96%	0.00453	9.828	Algamar plus	Cebada
18	3.8	0.62	0.120	0.672	12.635	2.772	21.94%	0.00455	9.863	Algamar plus	Cebada
23	5.2	0.69	0.126	0.674	12.551	2.800	22.31%	0.00459	9.751	Algamar plus	Cebada
20	4.5	0.57	0.144	0.908	14.546	3.682	25.31%	0.00604	10.864	Biol	Cebada
22	4.4	0.62	0.152	0.914	14.553	3.731	25.64%	0.00612	10.822	Biol	Cebada
21	5.2	0.61	0.148	0.914	14.581	3.717	25.49%	0.00610	10.864	Biol	Cebada
15	3.4	0.38	0.108	0.556	12.194	2.324	19.06%	0.00381	9.870	Testigo	Cebada
16	3.6	0.42	0.104	0.550	12.222	2.289	18.73%	0.00375	9.933	Testigo	Cebada
15	3.5	0.40	0.118	0.568	12.271	2.401	19.57%	0.00394	9.870	Testigo	Cebada
19	4.9	0.51	0.130	0.608	12.635	2.583	20.44%	0.00424	10.052	Algamar plus	Trigo
17	5.5	0.54	0.134	0.614	12.656	2.618	20.69%	0.00429	10.038	Algamar plus	Trigo
18	5.2	0.51	0.144	0.614	12.656	2.653	20.96%	0.00435	10.003	Algamar Plus	Trigo
18	5.0	0.48	0.136	0.690	13.020	2.891	22.20%	0.00474	10.129	Biol	Trigo
17	4.6	0.54	0.142	0.694	13.048	2.926	22.42%	0.00480	10.122	Biol	Trigo
16	4.8	0.51	0.136	0.704	13.034	2.940	22.56%	0.00482	10.094	Biol	Trigo
13	4.0	0.28	0.090	0.560	12.040	2.275	18.90%	0.00373	9.765	Testigo	Trigo
16	3.6	0.34	0.092	0.566	12.047	2.303	19.12%	0.00378	9.744	Testigo	Trigo
14	3.8	0.34	0.100	0.560	12.096	2.310	19.10%	0.00379	9.786	Testigo	Trigo

NOTA

Realizamos la descripción de la base de datos de la investigación

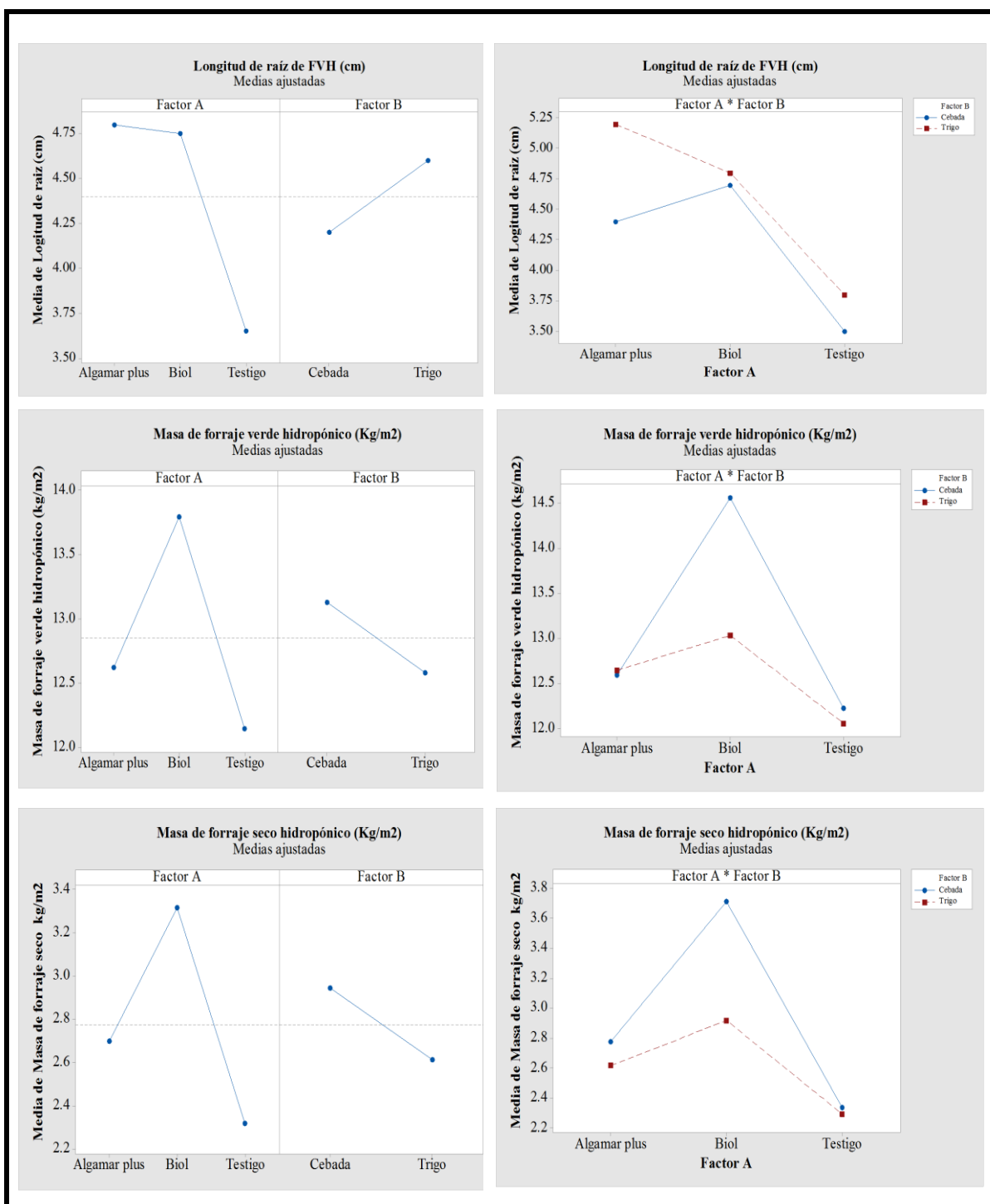
Anexo G



NOTA

Se describe los estadísticos complementarios de altura de planta, peso de biomasa y diámetro de hoja.

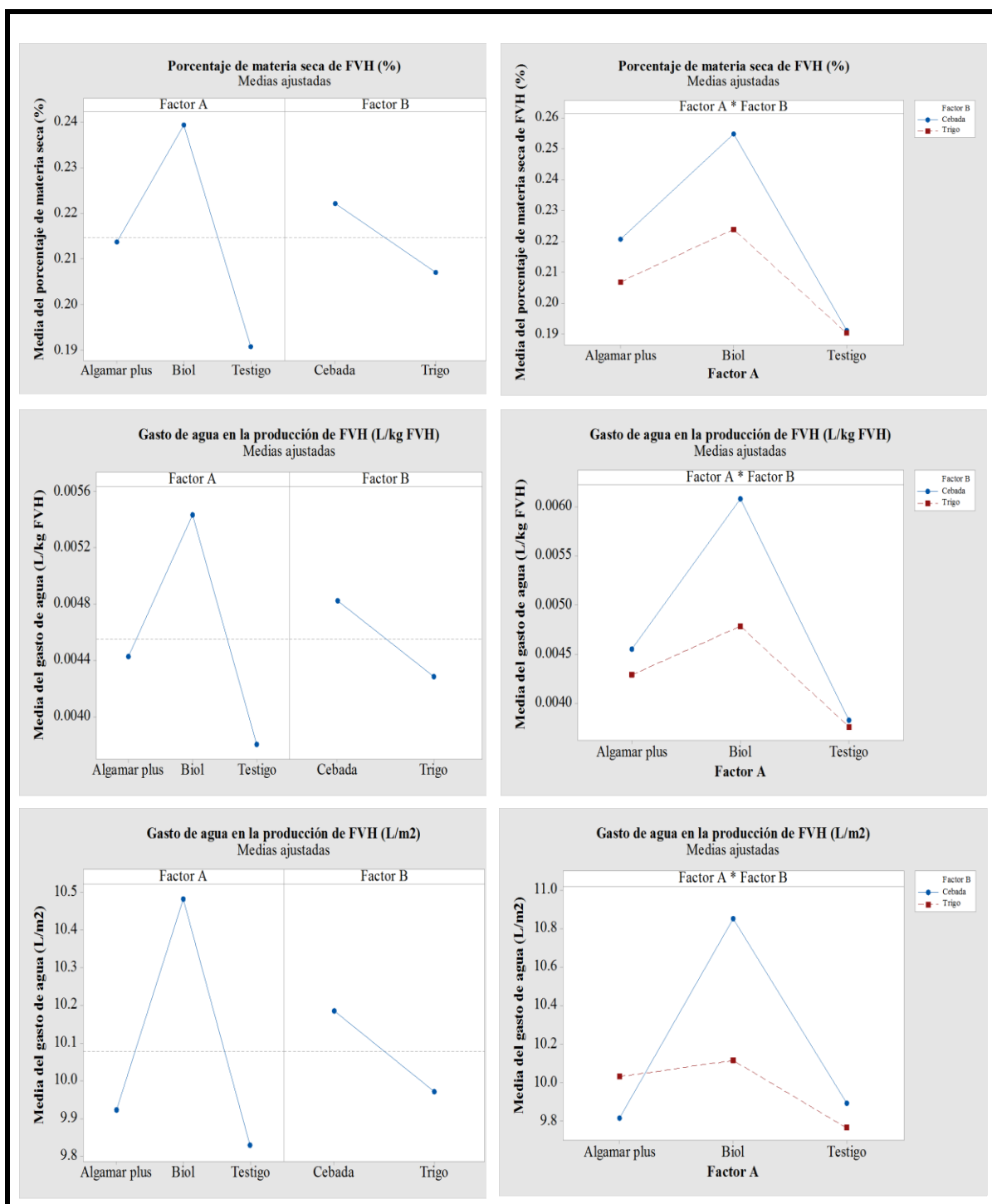
Figura 20 — Estadísticos complementarios biomasa altura y diámetro de planta



NOTA

Se describe los estadísticos complementarios de longitud de raíz y masa de forraje verde hidropónico.

Figura 21 — Estadísticos complementarios longitud de raíz y masa de FVH



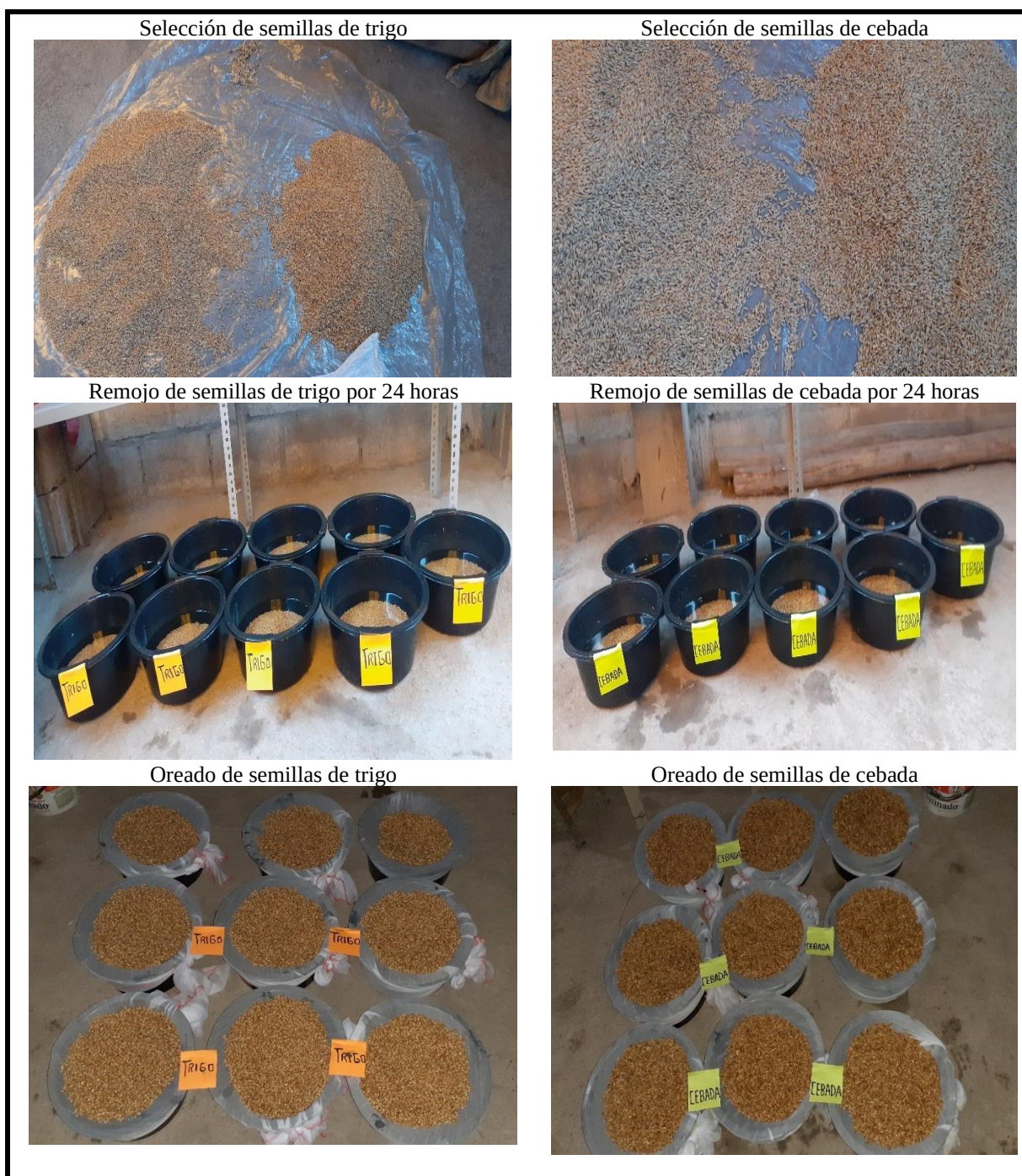
NOTA

Se describe los estadísticos complementarios de materia seca y gasto de agua.

Figura 22 — Estadísticos complementarios de materia seca y gasto de agua

Anexo H

Panel fotográfico



NOTA

Se describe las fotografías de la selección y remojo de semillas de trigo y cebada

Figura 23 — Selección de semillas y oreado de cebada y trigo

Instalación de las unidades experimentales de FVH según aleatorización de tratamientos



Instalación de las unidades experimentales de FVH según la aleatorización de tratamientos



Germinación de las semillas de trigo



Germinación de las semillas de cebada



Insumos de la investigación



Ordenamiento aleatorio según tratamientos



NOTA

Se describe las fotografías de la instalación y distribución de las parcelas experimentales

Figura 24 — Instalación y distribución de las parcelas experimentales

Aplicación del abono foliar algamar plus



Aplicación del abono foliar biol



Medida de la altura de trigo



Medida de la altura de cebada



Supervisión del desarrollo de investigación por parte del asesor



Supervisión del desarrollo de investigación por parte del asesor



NOTA

Se describe las fotografías de las evaluación y supervisión del asesor

Figura 25 — Aplicaciones de biol al forraje verde hidropónico

Altura del follaje de la cebada y trigo



Insumos del trabajo de investigación



Medición del diámetro de la hoja



Medición de la altura de la hoja



Altura de la biomasa radicular de trigo



Altura de la biomasa radicular de la cebada



NOTA

Se describe las fotografías de la evaluación de las variables del estudio.

Figura 26 — Evaluación de las variables de estudio

Ordenamiento en el laboratorio para el secado correspondiente según tratamiento



Corte del follaje de trigo y cebada según tratamiento



Pesado del follaje de trigo y cebada mojado según tratamiento



Pesado del tapete de trigo y cebada mojado según tratamiento



Secado de las hojas según tratamiento



Secado de la biomasa radicular según tratamiento



NOTA

Se describe las fotografías de la evaluación de las variables del estudio y secado de biomasa

Figura 27 — Evaluación de las variables y secado de biomasa



NOTA

Se describe las fotografías de la evaluación de las variables del estudio y secado de biomasa

Figura 28 — Evaluación de las variables pesado de biomasa