



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”

FACULTAD DE INGENIERÍA ZOOTECNIA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN PECUARIA



**Luz LED azul y roja en germinación para la  
producción de Germinado Hidropónico de  
cebada (*Hordeum  
Vulgare*) en Lambayeque**

**TESIS**

Presentada como requisito  
Para optar el título profesional de:

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

**POR**

**Bach. Taboada Ramón Jesús**

**Lambayeque — Perú**

**2019**

**LUZ LED AZUL Y ROJA EN GERMINACION PARA LA PRODUCCION DE  
GERMINADO HIDROPONICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) EN  
LAMBAYEQUE**

**TESIS**

**Presentada como requisito Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

**POR**

**BACH. JESUS TABOADA RAMÓN**

**Aprobada por el siguiente jurado**



---

**Ing. Segundo F. Bernal Rubio  
Presidente**



---

**Ing. Alejandro Flores Paiva  
Secretario**



---

**Ing. Benito Bautista Espinoza  
Vocal**



---

**Ing. Napoleón Corrales Rodríguez, Dr.  
Patrocinador**



ACTA DE SUSANTACION DE TESIS DEL BACHILLER EN INGENIERIA ZOOTECNIA JESUS TABOADA RAMON PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ZOOTECNISTA

En la ciudad de Lambayeque siendo las 12.00 pm del día lunes dieciseis de diciembre del 2019, en la sala de sustentaciones de la Facultad de Ingeniería Zootecnia de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, se reunieron los señores miembros del jurado descriptos por Resolución N° 060-2019-CF/FIZ del 27 de Mayo de 2019: Ing° Segundo Filiberto Rubio (Presidente), Ing° Alcibir Flores Ruiz (Secretario), Ing° Benito Bautista Espinoza (Vocal) e Ing° Napoleón González Rodríguez (Moderador), en carpeles de recibir y dictaminar sobre el trabajo "Luz LED AZUL Y ROJA EN PRODUCCION PARA LA PRODUCCION DEL GARNIADO HIDROPONICO DE CEBADA (Hordeum vulgare) en Lambayeque" presentado por el bachiller Jesús Taboada Ramón como requisito para optar el título profesional de Ingeniero Zootecnista cuyo proyecto fue aprobado por Resolución N° 157-2019-FIZ/D de fecha 21 de Junio de 2019, presentado y expuesto el trabajo de tesis cuyo sustentación fue autorizado con Resolución N° 347-2019-FIZ/D de fecha 13 de Diciembre de 2019, formando la siguiente por lo miembros del jurado, dada las muestras por el ponente y los dictámenes del Jefe de Trabajos, el Jefe de Laboratorio de delimitación de trabajo por tener con el Galipolito de muy buena debiendo consistir en el informe final por sustentación del jurado durante la sustentación.

Ing° Segundo Filiberto Rubio  
Presidente

Ing° Alejandro Flores Ruiz  
Secretario

Ing° Benito Bautista Espinoza  
Vocal

Ing° Napoleón González Rodríguez  
Moderador

Observación: Los miembros del Jurado consideran considerar que el título del trabajo debe ser "Luz LED AZUL Y ROJA EN GERMINACION PARA LA PRODUCCION DE GARNIADO HIDROPONICO DE CEBADA (Hordeum vulgare) en Lambayeque".

Ing. Sr. V. Romeo Rentería  
FEDATARIO

### DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Bach. Jesús Taboada Ramón, investigador principal, e Ing. Napoleón Corrales Rodríguez, Dr. asesor, del trabajo de investigación: “Luz LED azul y roja en germinación para la producción de Germinado Hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Lambayeque”, declaramos bajo juramento que este trabajo, no ha sido plagiado, ni contiene datos falsos. En caso se demostrara lo contrario, asumo responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiera lugar. Que puede conducir a la anulación del grado o título emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, 26 de diciembre de 2019.

Bach. Jesús Taboada Ramón  
Autor

Ing. Napoleón Corrales Rodríguez, Dr.  
Asesor

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en un profesional.

A mis hermanas (os) por estar siempre presentes, por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mis abuelos que desde el cielo siempre me cuidan y a todas las personas que me han apoyado y han hecho que este trabajo se realice con éxito

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios por bendecirme y por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: JORGE y ELSA; por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco a mis docentes de INGENIERIA ZOOTECNIA de la Universidad Nacional PEDRO RUIZ GALLO, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi carrera.

<b>CONTENIDO</b>	<b>Página</b>
Resumen/Abstract	ix
INTRODUCCION	1
<b>I. ANALISIS DEL OBJETO DE ESTUDIO</b>	<b>3</b>
1.1 Tipo y Diseño de Estudio	3
1.2 Lugar y duración	3
1.3 Tratamientos evaluados	3
1.4 Materiales	3
1.5 Instalaciones y equipo	4
1.6 Técnicas experimentales	5
1.7 Variables evaluadas	6
1.8 Evaluación de la información	7
<b>II. MARCO TEORICO</b>	<b>9</b>
2.1 Antecedentes Bibliográficos	9
2.2 Proceso de Producción de Forraje verde hidropónico	10
2.3 Ventajas de los cultivos hidropónicos	14
2.4 Propiedades nutricionales del Forraje verde hidropónico	17
2.5 Desventajas de los cultivos hidropónicos	19
2.6 Densidades de siembra de semilla y producción de FVH	19
2.7 Lu LED	23
2.8 Diseño experimental	28
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>29</b>
3.1 Producción de Germinado Hidropónico de cebada por tratamiento	29
3.1.1 Producción de Germinado Hidropónico por bandeja (TCO)	29
3.1.2 Contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC) y cenizas (CEN) de Germinado Hidropónico de cebada de cada tratamiento en base fresca y base seca (TCO).	29
3.1.3 Producción de Germinado Hidropónico por metro cuadrado (TCO)	30
3.1.4 Producción de materia seca (MS) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg)	31
3.1.5 Producción de Proteína Cruda (PC) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado en base seca (Kg)	32
3.1.6 Producción de Extracto Etéreo (EE) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado en base seca (Kg)	34
3.1.7 Producción de fibra cruda (FC) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado en base seca (Kg)	35

3.1.8 Producción de Cenizas (CEN) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado en base fresca (Kg)	36
3.2 Productividad de Germinado Hidropónico de cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> ) por tratamiento.	37
3.2.1 Rendimiento de Germinado Hidropónico por kg de semilla procesada en base fresca y materia seca (Kg)	38
3.2.2 Rendimiento de materia seca (MS) de Germinado Hidropónico por kg de semilla procesada	39
3.3 Temperatura y humedad relativa	40
3.4 Costos de producción de un kilogramo de Germinado Hidropónico de cebada	40
IV. CONCLUSIONES	41
V. RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFIA CITADA	43
ANEXOS	46

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de varianza del diseño completamente al azar (DCR)	8
Tabla 2. Peso (kg) de Germinado Hidropónico por bandeja por tratamiento (TCO)	29
Tabla 3. Composición química de Germinado Hidropónico de cebada por tratamiento (%)	30
Tabla 4. Producción de Germinado Hidropónico en base fresca (TCO) por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg)	31
Tabla 5. Producción de materia seca (MS) de Germinado Hidropónico de cebada por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg).	32
Tabla 6. Producción de Proteína Cruda (PC) en base seca (BS) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg).	33
Tabla 7. Producción de extracto etéreo (EE) en base seca (BS) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg)	35
Tabla 8. Producción de Fibra Cruda (FC) en base seca (BS) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg).	36
Tabla 9. Producción de cenizas (CEN) en base seca (BS) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg).	38
Tabla 10. Rendimiento de Germinado Hidropónico por kilogramo de semilla procesada en base fresca (Kg).	38
Tabla 11. Rendimiento de materia seca (MS) por kilogramo de semilla procesada de todos los tratamientos (Kg).	39
Tabla 12. Costos de producción de un kilogramo de GH de cebada en base fresca (TCO) y kg de materia seca de cada tratamiento (S/.)	40

## **Luz LED azul y roja en germinación para la producción de Germinado Hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Lambayeque**

### **Resumen**

Del 9 al 22 de agosto de 2019 en Lambayeque se investigó la influencia de la luz LED azul y roja en etapa de germinación de Germinado Hidropónico (GH) de cebada (*Hordeum vulgare*) teniendo como objetivos: a) Determinar el mejor color de luz LED azul o roja en la etapa de germinación para optimizar la producción de GH de cebada en Lambayeque; b) Determinar el rendimiento (Kg/m<sup>2</sup>) de MS, PC, EE, FC y CEN de los tratamientos evaluados; c) Determinar el mejor rendimiento en kg de GH en base fresca y materia seca por kg de semilla y d) Determinar costos de producción. Se evaluaron tres tratamientos para producir GH de cebada con diferente tipo de iluminación en la etapa de germinación siendo T0: sin iluminación; T1: luz LED roja y T2: luz LED azul, todos se cosecharon a 15 días. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con igual número de repeticiones (16 bandejas) y prueba de comparación múltiple de Tuckey, hallando diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos presentando mejores resultados en rendimiento (kg/m<sup>2</sup>) de PC, EE, FC y CEN; productividad de MS y GH (Kg/kg de semilla) y más económico (S/./Kg) el GH producido con luz LED roja en etapa de germinación. La luz LED azul no influyó significativamente en los factores evaluados.

**Palabras clave:** Hidropónico, cebada, LED, rojo, azul

## **Blue and red LED light in pre germination for the production of Hydroponic Barley Germinate (*Hordeum vulgare*) in Lambayeque**

### **Abstract**

From August 9 to 22, 2019 in Lambayeque, the influence of blue and red LED light in the germination stage of Hydroponic Germination (GH) of barley (*Hordeum vulgare*) was investigated, with the following objectives: a) Determine the best LED light color blue or red in the germination stage to optimize the production of barley GH in Lambayeque; b) Determine the yield (Kg / m<sup>2</sup>) of MS, PC, EE, FC and CEN of the evaluated treatments; c) Determine the best yield in kg of GH in fresh base and dry matter per kg of seed and d) Determine production costs. Three treatments were evaluated to produce barley GH with different types of lighting in the germination stage, T0 being: no lighting; T1: red LED light and T2: blue LED light, all were harvested within 15 days. A Completely Random Design with the same number of repetitions (16 trays) and Tuckey multiple comparison test was used, finding statistical differences ( $p < 0.05$ ) between treatments presenting better results in performance (kg / m<sup>2</sup>) of PC, EE, FC and CEN; productivity of MS and GH (Kg / kg of seed) and cheaper (S /./ Kg) the GH produced with red LED light in germination stage. The blue LED light did not significantly influence the factors evaluated.

**Keywords:** hydroponic, barley, LED, red, blue

## INTRODUCCION

Los estudios de producción del Germinado Hidropónico (GH) de cebada (*Hordeum vulgare*) para incrementar la productividad por kg de semilla procesada aun no logran llegar a los niveles establecidos por la FAO de 10 a 15 kg de Germinado Hidropónico por kg de semilla procesada. El manejo de colores de Luz con focos LED de color azul y rojo viene siendo aplicado en invernaderos y hortalizas pero no se ha investigado en la etapa de germinación de la semilla para producir Germinado Hidropónico.

### Formulación del problema

Se ha formulado la siguiente interrogante ¿ La luz LED azul y roja influyen en la etapa de germinación para producir Germinado Hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Lambayeque?.

### Hipótesis

Hipótesis: La luz LED azul o roja en etapa de germinación si influyen en la producción de Germinado Hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Lambayeque.

### Justificación del estudio

El estudio permitirá generar indicadores asociados al manejo de la luz LED de color azul y roja en etapa de germinación o cámara oscura para optimizar el rendimiento nutritivo y productividad de Germinado Hidropónico (GH) de cebada en Lambayeque

### Objetivos

Determinar el mejor color de luz LED azul o roja en la etapa de germinación o periodo de oscuridad para optimizar la producción de GH de cebada en Lambayeque.

Determinar el rendimiento por metro cuadrado de MS, PC, EE, FC y CEN de los tratamientos evaluados.

Determinar el mejor rendimiento en kg de Germinado Hidropónico de cebada en base fresca (TCO) y materia seca por kg de semilla procesada de cada tratamiento.

Determinar los costos de producción de los tratamientos evaluados.

## **I. ANALISIS DEL OBJETO DE ESTUDIO**

### **1.1 Tipo y Diseño de Estudio**

El presente estudio es cuantitativo – propositivo y el diseño correspondió al experimental, el cual según Hernández *et al.* (2010) es el que se realiza para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y porque lo hacen.

### **1.2 Lugar y duración**

La fase de campo del presente trabajo de investigación se realizó en el centro poblado Nuevo Mocse de Lambayeque del 09 al 22 de agosto de 2019 y los análisis de composición química se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ingeniería Zootecnia de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

### **1.3 Tratamientos evaluados**

Se implementaron 3 tratamientos con diferente iluminación en la etapa de germinación:

T0: Producción de GH de cebada sin iluminación en el periodo de germinación.

T1: Producción de GH de cebada iluminada con luz LED azul.

T2: Producción de GH de cebada iluminada con luz LED roja.

A cada tratamiento se le asignaron dieciséis repeticiones o bandejas hidropónicas.

### **1.4 Materiales**

#### **Semilla de cebada (*Hordeum vulgare*)**

La cebada se adquirió en el mercado mayorista Moshoqueque del Distrito José Leonardo Ortiz de la Provincia de Chiclayo, previo muestreo en tres locales

comerciales para evaluar el valor cultural obteniendo los siguientes resultados: 83.34 %; 85.34 y 93.34 % procediendo a comprar 25.70 kg de semilla de cebada del mayor valor cultural. Adicionalmente se utilizó lejía (hipoclorito de sodio) a dosis de 1 ml por litro de agua (1 ml/L) para el proceso de desinfección de la semilla y agua pura utilizada en el proceso de remojo y riego durante el proceso de germinación y producción.

### **1.5 Instalaciones y equipo**

- 3 torres de hidroponía.
- 48 bandejas plásticas para hidroponía de 0.42m x 0.33m
- 3 baldes plásticos de 18 L de capacidad para remojo
- 3 baldes plásticos de 18 L de capacidad perforados en la base para oreo
- 1 balanza de precisión con capacidad de 20 kg.
- 1 termo hidrómetro
- 2 regadoras por aspersión de 1.5 L de capacidad c/u
- 4 focos LED azules de 04 watts de intensidad
- 4 focos LED rojos de 04 watts de intensidad
- 2 Cables mellizos de 10 m corriente eléctrica
- 8 soquets para fijación de focos
- 2 interruptores de luz

## **1.6 Técnicas experimentales**

### **Sistema de cultivo hidropónico**

Se emplearon 48 bandejas para el estudio, asignando dieciséis bandejas a cada tratamiento. A continuación, se detalla el proceso utilizado para la obtención del Germinado Hidropónico.

- Etapa de Pre germinación:

Se calculó la cantidad de semilla de cebada necesaria utilizando el área de bandeja de 0.143 m<sup>2</sup> y densidad de siembra de 3 kg /m<sup>2</sup> obteniendo 0.428 kg/bandeja luego se multiplicó por las 48 bandejas en estudio (16 por tratamiento) dando un total de 20.56 kg de semilla de cebada “limpia” y para garantizar esta cantidad se compró 25.70 kg de semilla de cebada en peso bruto. Luego se escogieron los granos partidos, paja y otras impurezas para obtener la cantidad de semilla limpia para la investigación.

- Lavado con agua pura para eliminar polvo y otras impurezas no limpiadas en el procedimiento anterior.
- Desinfección con hipoclorito de sodio al 0.001% (1 ml por litro de agua) durante 2 horas.
- Segundo lavado para eliminar el hipoclorito de sodio de la semilla.
- Inmediatamente después se llevó a cabo el proceso de imbibición (remojo) de las semillas, por 24 horas.
- Luego del periodo de remojo las semillas fueron oreadas por 48 horas en dos baldes provistos de agujeros en la base. Después del oreo, se pesó la semilla húmeda y se dividió entre 48 para realizar una siembra homogénea por bandeja.

Luego se trasladaron a las cámaras de germinación provistas de manta oscura donde permanecieron por 5 días. En la torre 1 la cámara de oscuridad no utilizó ninguna iluminación, en la torre 2 se instalaron cuatro focos LED de color azul dispuestos en el centro de la torre de manera vertical distanciados cada 40cm y en la torre 3 se instalaron cuatro focos LED de color rojo dispuestos en el centro de la torre de manera vertical distanciados cada 40cm. Todas las torres fueron forradas con plástico negro constituyendo la cámara de oscuridad en cada una.

Diariamente se regaron 3 veces al día: 6:00 am; 2:00 pm y 10 pm con ayuda de un aspersor manual.

El día 6 post siembra en bandejas se procedió a retirar la manta negra dejando al descubierto las bandejas de todos los tratamientos donde permanecieron hasta la cosecha según tratamiento y también se retiraron los focos LED de las torres 2 y 3. En esta etapa, se continuó con el programa de riego de 4 veces al día con aspersor hasta cumplir 15 días de edad.

Al momento de la cosecha de cada tratamiento se extrajo un kg de muestra compuesta para ser trasladado al laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ingeniería Zootecnia para su análisis respectivo.

### **1.7 Variables evaluadas**

La información obtenida permitió generar y evaluar las siguientes variables:

- Producción de Germinado Hidropónico (GH) por metro cuadrado.
- Producción de Materia Seca de Germinado Hidropónico por metro cuadrado.
- Producción de Proteína Cruda (PC) por metro cuadrado.

- Producción de Fibra Cruda (FC) por metro cuadrado.
- Producción de Extracto Etéreo (EE) por metro cuadrado.
- Producción de Cenizas (CEN) por metro cuadrado.
- Rendimiento de Germinado Hidropónico por kilogramo de semilla procesada.
- Rendimiento de Materia Seca (MS) de GH por kilogramo de semilla procesada.
- Evaluación económica de los tratamientos estudiados.

### **1.8 Evaluación de la información**

Por tratarse de un estudio experimental en el que se consideró la evaluación de ocho tratamientos se procedió a realizar el siguiente planteamiento estadístico de hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$H_a$ : Al menos una media difiere del resto

Para contrastar las hipótesis se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con igual número de repeticiones (16 por tratamiento), cuyo modelo aditivo lineal según PADRON (2009) es:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Rendimiento de la j-ésima bandeja de GH de cebada del i-ésimo tratamiento

$\mu$  = Media general.

$A_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento.

$E_{ij}$  = Error experimental en la j-ésima bandeja del i-ésimo tratamiento.

Se realizó el Análisis de varianza (Tabla 1) para determinar si había diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos y se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tuckey.

Tabla 1. Análisis de varianza del diseño completamente al azar (DCR)

Fuente de variación	GL
Tratamientos	2
Error	45
Total	47

## II. MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes Bibliográficos

#### 2.1.1 Cultivos hidropónicos: Generalidades, Técnicas de cultivo

REGALADO (2009) señala que el forraje hidropónico (FH) viene a ser el resultado del proceso de germinación de los granos de cereales o leguminosas (cebada, maíz, soya, sorgo) que se realiza durante 9 a 15 días, alcanzando una altura de 20 a 25 cm., y que los animales consumen por completo: tallos, hojas, raizuelas, y restos de semilla.

PICHILINGUE (1994) refiere que para lograr una mayor germinación y crecimiento, la luz solar y la ventilación deben ser abundantes. Debe conservarse una constante circulación de aire en la solución, para obtener buenos resultados. En el cultivo de la mayoría de las plantas, la temperatura de la solución debe fluctuar entre 18°C a 26°C y la del invernadero no debe ser mayor de 32°C manteniéndose una humedad relativa de 75 %, aproximadamente.

TARRILLO (2005), recomienda utilizar semillas de cereales limpios de impurezas y que procedan de plantas libres de plagas y enfermedades, no debiéndose utilizarse semillas tratadas con fungicidas o preservantes. La semilla debe ser entera, seca y tener por lo menos un 85% de poder germinativo. Para la semilla de cebada, se esperan rendimientos de 6 a 8 kilos de forraje hidropónico por kilo de semilla.

CHAUCA *et al.* (1994) refieren que la cebada es la que presenta mayor precocidad para germinar, al tercer día se inicia la germinación y en solo 48 horas germina el 98%.

## **2.2 Proceso de Producción de Forraje verde hidropónico**

EDICIONES CULTURALES VER (1992) describe el siguiente proceso de producción de forraje verde hidropónico (FVH) de la siguiente manera:

- **Lavado:** Para realizar el lavado de la semilla se inunda el grano en un depósito con agua, con el fin de retirar todo el material de flote, como lanas y pedazos de basura, granos partidos y cualquier otro tipo de impureza.
- **La pre-germinación:** Consiste en activar la semilla, es decir, romper el estado de latencia en el que se encuentran los factores determinantes de la pre-germinación y son: la temperatura, humedad y oxigenación. Para realizar la pre-germinación la semilla se humedece durante 24 horas con agua para que la semilla pueda respirar y se deja reposando durante 48 horas en los recipientes debidamente tapados para mantener la humedad relativa alta.
- **La siembra:** Se realiza sobre las bandejas que se han escogido que pueden ser de láminas galvanizadas en forma cuidadosa para evitar daños a la semilla. La densidad de siembra varía de acuerdo con el tamaño de grano a sembrar.
- **La germinación:** Comprende el conjunto de cambios y transformaciones que experimenta la semilla colocada en determinadas condiciones de humedad, aeración y temperatura las cuales le permiten iniciar su vida activa hasta convertirse en la futura planta. Se recomienda utilizar: Semillas, solución de lejía (hipoclorito de sodio al 5.25%) al 1%, solución nutritiva, balanza, aspersor y señalan como procedimiento el siguiente: a) Pesar las semillas; b) Escoger las semillas para eliminar la presencia de semillas partidas, semillas de otra planta, piedras, pajas, etc.; c) Lavar las semillas con agua para eliminar residuos más pequeños y obtener semillas limpias; d) Las semillas deben ser lavadas y desinfectadas previamente con una solución de lejía al 1% (10 ml

de lejía en un litro de agua), dejando remojar en esta solución por 30 minutos a 1 hora, luego se enjuaga con agua; e) Las semillas se remojan por 24 horas, añadiendo agua hasta sumergirlas completamente; f) Transcurrido el tiempo, se procede a escurrir el agua y a lavar la semilla. La capa de semillas se nivela en la bandeja y se riega con un nebulizador cada tres horas por 30 segundos, pero solo para mantener húmedas las semillas. La capa de semillas no debe exceder de 1.5cm; g) Cuando aparezcan las primeras hojitas, aproximadamente al cuarto día si se desea se riega con una solución de (5ml de la solución A y 2ml de la solución B por cada cuatro litros de agua), hasta el séptimo día, los demás días solo se regara con agua; h) La cosecha debe realizarse a los 10 días, con una altura promedio de forraje de 20 a 25cm y se obtiene alrededor de 180 gr de forraje por 30 gr de semilla de cebada, es decir, una relación de 1:6 aproximadamente.

Cuando el forraje tiene un crecimiento normal se observa un crecimiento homogéneo en la capa de raíces y las hojas pero durante el proceso pueden presentarse problemas y los más frecuentes son: La falta de luz o su mala distribución que ocasionan: a) Etiolación de las plantas con crecimiento alargado y amarillento causado por falta de luz; b) Deformación de la capa radicular por la mala distribución de luz, el efecto puede ser revertido hasta el quinto día girando la bandeja 180°. En el caso del agua tiene un efecto irreversible si hay estancamiento en las bandejas puede causar en los primeros días la pudrición de las semillas. Cuando la planta tienen varios días se produce la pudrición de las raíces (se tornan oscuras) y marchitamiento de la punta de las hojas. La falta de agua produce adelgazamiento de hojas y raíces. La presencia de hongos se debe a temperaturas elevadas, falta de circulación de aire en el ambiente y limpieza deficiente de semillas y ambiente.

TARRILLO (2005), indica los siguientes pasos para el sistema de producción de forraje hidropónico:

**Tratamiento de semilla:** En esta etapa se inicia el proceso de producción e implica labores de lavado, desinfección, remojo y oreo de la semilla.

**Selección de semilla:** Se recomienda utilizar semillas de cereales provenientes de lotes libres de impurezas y que procedan de plantas que estén libres de plagas y enfermedades, no debiéndose utilizar semillas tratadas con fungicidas o perseverantes. Además las semillas tienen que ser idóneas, debe ser entera y seca y tener por lo menos un 85% de poder germinativo.

**Lavado:** Las semillas son lavadas con el objetivo de eliminar el polvo que contienen, ya que en ella se encuentran una gran cantidad de microorganismos, este lavado se realiza sumergiéndolas en agua las semillas agitándolas por unos segundos y eliminando el agua sucia. Este procedimiento se hace repitiendo unas tres veces, dependiendo del grado de suciedad de estas.

**Desinfección:** Las semillas son desinfectadas con el objeto de eliminar microorganismos de la putrefacción y esporas de hongos. Este proceso se realiza sumergiendo las semillas en una solución de agua con lejía (hipoclorito de sodio) al 1%, (10 ml de lejía por cada litro de agua) por espacio de 30 minutos a 2 horas, dependiendo del grado de contaminación de la semilla.

**Remojo:** Las semillas son puestas en remojo con agua por un espacio de 24 horas, con el objetivo de activar la vida latente del grano e iniciar su actividad enzimática; además de ablandar la cutícula que recubre al grano y facilitar la salida de la raíz.

**Oreo:** Terminado el proceso de remojo, las semillas son enjuagadas con agua y puestas en un deposito que presenta orificios en la parte inferior, que permite el drenaje del

agua, además el depósito será tapado para evitar la pérdida de humedad. En esta etapa las semillas no son regadas y permanecerán por espacio de uno a dos días hasta la aparición del punto de brote de la semilla.

**Etapas de germinación:** Culminado el oreo de la semilla y cuando está en su “Punto de Germinación” se realiza la siembra en bandejas plásticas o de fibra de vidrio, no se recomienda utilizar bandejas de madera o metálicas. Las bandejas deberán tener orificios a los lados para permitir el drenaje del agua, las cuales son colocadas en estantes de germinación y cubiertas en su totalidad por plástico negro, para que haya oscuridad interior y también evitar pérdida de la humedad. En estos estantes de germinación se recomienda regar mediante nebulización o micro aspersión de 3 a 4 veces al día, en esta área estarán de 4 a 6 días para luego ser trasladados al área de producción. La siembra de las semillas en la bandejas se realiza a una densidad de 5 a 8 kilos de semilla por metro cuadrado de bandeja, es decir una altura de cama de semillas de 1 cm. a 2.5 cm. las cuales son regadas de tres a cuatro días y bajo penumbra. En este periodo se produce una serie de transformaciones químicas y enzimáticas que experimenta la semilla en determinadas condiciones de humedad (70% a 85%) y temperatura de (18° a 25°C). Esta etapa dura de cuatro a seis días.

**Etapas de producción:** Las bandejas provenientes del área de germinación se colocan en estantes de producción, donde culminarán su desarrollo de 6 a 8 días más. Esta área presenta mayor iluminación y un riego con “Solución Nutritiva” bajo un sistema recirculante. Este riego demora sólo unos minutos y se realiza uno a dos veces al día, dependiendo de las condiciones climáticas. Finalmente se realiza la cosecha, desmenuzando el FVH en forma manual o mecánica, para un mejor suministro a los animales.

SIAN (2011) indica que el verdadero valor de una semilla depende de una serie de factores sin los cuales no es posible obtener los verdaderos rendimientos que se requiere para el progreso agrícola e Indica que son tres los factores que influyen sobre el valor de las semillas:

- 1°. Poder germinativo.- Llamado también coeficiente de germinación. La fórmula para es:  $((N^{\circ} \text{ de semillas germinadas} / \text{cantidad semillas sembradas}) \times 100)$ . Una semilla cuyo poder germinativo sea menor de 70% no es aconsejable para sembrarla.
- 2°. Coeficiente de pureza.- Es un factor importante y fácil de determinar con la siguiente fórmula:  $(100 - (\text{Peso de las impurezas} / \text{Peso inicial total de semilla evaluada}))$ .
- 3°. Valor cultural.- se calcula con la siguiente fórmula:  $(\text{Coeficiente de pureza} \times \text{coeficiente de germinación}) / 100$ . La mayor cifra que se puede obtener es 100 y tanto mejor será la semilla cuanto más se acerque a dicho número.

### **2.3 Ventajas de los cultivos hidropónicos**

El Manual técnico de forraje verde hidropónico de la FAO, (2001), refiere las siguientes ventajas:

**Ahorro de agua.** En el sistema de producción de FVH las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al comparar con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca (Cuadro 2) Alternativamente, la producción de 1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera, entre un

12 % a 18 %. Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días.

- **Eficiencia en el uso del espacio.** El sistema de producción de FVH puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical lo que optimiza el uso del espacio útil.
- **Eficiencia en el tiempo de producción.** La producción de FVH apto para alimentación animal tiene un ciclo de 10 a 12 días. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos, no puede extenderse más allá del día 12. Aproximadamente a partir de ese día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH.
- **Calidad del forraje para los animales.** El FVH es un succulento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y de plena aptitud comestible para nuestros animales. Su alto valor nutritivo lo obtiene debido a la germinación de los granos. En general el grano contiene una energía digestible algo superior (3.3 Mcal/kg) que el FVH (3.2 Mcal/kg). Sin embargo los valores reportados de energía digestible en FVH son ampliamente variables
- **Costos de producción.** Las inversiones necesarias para producir FVH dependerán del nivel y de la escala de producción. El análisis de costos de producción de FVH, revela que considerando los riesgos de sequías, otros fenómenos climáticos adversos, las pérdidas de animales y los costos unitarios del insumo básico (semilla) el FVH es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores. La ventaja que tiene este sistema de producción por su significativo bajo nivel de costos fijos en relación a las formas convencionales de

producción de forrajes. Al no requerir de maquinaria agrícola para su siembra y cosecha, el descenso de la inversión resulta evidente.

TARRILLO (2005), refiere que el forraje hidropónico presenta ventajas en varios aspectos:

1. Es un sistema nuevo para producir forrajes: En el mundo agropecuario conocemos tradicionalmente dos sistemas para la producción de forraje: extensiva e intensiva. La producción de forraje hidropónico es una técnica totalmente distinta.
2. Producción de Forraje Hidropónico bajo Invernadero: Esta producción se realiza dentro de invernaderos, lo cual nos permite una producción de forraje bajo cualquier condición climática y constante durante todo el año. Los requerimientos de área, agua y energía son mínimos.
3. Requiere poca Agua: En el sistema de producción de forraje hidropónico se utiliza agua recirculada, un invernadero de 480 bandejas requiere de 1000 litros de agua al día (para riego, lavado, desinfección de semilla, etc.) pero en un módulo que produce 500 kg de forraje/día requeriría un aproximado de dos litros de agua por cada kilo de forraje producido.
4. La Producción es constante todo el Año: El Sistema de producción es continuo, es decir todos los días se siembran y cosechan igual número de bandejas. Por ejemplo si trabajamos con un invernadero de 480 bandejas en un periodo de crecimiento de 10 días, el primer día sembraremos 48 bandejas, el segundo día otras 48 y así se proseguirá hasta el día decimo.

5. Desde un punto de vista nutricional: El forraje Hidropónico al alcanzar una altura de 20 a 30 cm es cosechado y suministrado con la totalidad de la planta, es decir, raíz, restos de semilla, tallos y hojas constituyendo una completa fórmula de proteína, energía, minerales y vitaminas altamente asimilables.

Las mejoras que obtenemos con el uso de forraje hidropónico en la alimentación animal se dan en: ganancia de peso, mejor conversión alimenticia, mejor producción de leche con mayor contenido de grasa y sólidos totales.

6. Reducción de Costos de Alimentación y de Inversiones: Muchos de los ganaderos en el Perú, que presentan reducido piso forrajero o aun peor no disponen de terreno agrícola, como se da en el caso de criadores de cuyes, se ven obligados a comprar forraje la cual es cada vez una oferta más reducida. El costo del FVH es inferior a un forraje comprado.

## **2.4 Propiedades nutricionales del Forraje verde hidropónico**

FAO (2001) manifiesta que los forrajes tiernos en condiciones normales de siembra en suelos, poseen entre 23% y 25% de contenido proteico referido a sustancia seca. Dicho valor es notablemente más elevado que el nivel de proteínas de las mismas plantas en épocas de mayor desarrollo (floración y maduración), donde baja su contenido proteico. La proteína contenida en forrajes tiernos, es de mayor digestibilidad que en plantas maduras. Los forrajes tiernos contienen poca fibra bruta, respecto a una planta adulta; el Forraje Verde Hidropónico está constituido por celulosa pura, sustancia altamente digerible. En los forrajes maduros, junto con el progresivo aumento del contenido de la celulosa se verifica el proceso de lignificación de su estructura orgánica, por esta razón su coeficiente de digestibilidad disminuye notablemente. La

planta tierna tiene un elevado contenido de calcio ' fósforo y fierro, minerales que sufren importantes variaciones a medida que crece la planta y por influencia del medio ambiente y suelo; tal fenómeno es muy acentuado en zonas áridas y desérticas. Los forrajes tiernos son muy ricos en vitaminas, principalmente carotenos (250-350 mg/kg de materia seca) y vitaminas liposolubles (A y E), por lo que los alimentos basados en forrajes tiernos o recién germinados proporcionan a los animales todos los minerales y vitaminas necesarias para su subsistencia. En el forraje verde hidropónico todas las vitaminas se presentan libres y solubles y por lo tanto, asimilables directamente. La vitamina E se encuentra en estado completamente asimilable y en libre circulación por toda la planta joven. Este producto tiene una cantidad de enzimas que lo hacen doblemente aprovechable, ya que evita un trabajo en el tracto digestivo del animal, teniendo en cuenta que está pre digerido, además estimula el sistema endocrino del animal y aumenta la actividad metabólica. Se observa un aumento de la fertilidad ya que la vitamina C, factor de gran importancia para esta actividad, es de 15.45 mg por cada 100 g en el FVH y de autodefensa contra las enfermedades. Las plantas, absorben los minerales de abono que están en solución en el agua de riego y realizan una elaboración que conduce a un equilibrio casi perfecto de calcio, magnesio y fósforo. El pH, del FVH está entre 6 y 6.5. Es ligeramente ácido, lo que hace que este sea muy conveniente como alimento.

## **2.5 Desventajas de los cultivos hidropónicos**

La FAO (2001) indica que hay una desinformación y sobrevaloración de la tecnología. La falta de conocimientos e información simple y directa, se transforma en desventaja, al igual que en el caso de la tecnología de hidroponía familiar. Asimismo el costo de

instalación elevado es una desventaja que presenta este sistema. Sin embargo, se ha demostrado que utilizando estructuras de invernáculos hortícolas comunes, se logran excelentes resultados. Alternativamente, productores agropecuarios brasileiros han optado por la producción de FH directamente colocado a piso sobre plástico negro y bajo micro-túneles, con singular éxito. La práctica de esta metodología a piso y en túnel es quizás la más económica y accesible.

## **2.6 Densidades de siembra de semilla y producción de FVH**

La FAO (2001), recomienda una densidad de siembra de 2,4 a 3,4 kilos de semillas por metro cuadrado, recordando no superar 1,5 centímetros de altura en la bandeja; realizando una cosecha entre los 10 a 15 días de haber sembrado con un rendimiento de 12 a 18 kilos de forraje por cada kilo de semilla.

LÓPEZ (2010), manifiesta que la densidad de siembra para la cebada en cultivo hidropónico es de 20 gr/dm<sup>2</sup> a una profundidad de 2 cm con rendimientos de 9 a 12 kg de FVH por un kg de semilla en condiciones normales. También expresa que la cebada es la especie con la que se produce mejor forraje hidropónico en menor tiempo, tiene menor rendimiento de materia seca que la avena con 0,62 kg frente a 0,91 kg / Kg de semilla sembrada.

CURAY (2013) evaluó el rendimiento de cultivo hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con y sin soluciones hidropónicas A y B en el agua de riego en Lambayeque utilizando una densidad de siembra de 3 Kg/m<sup>2</sup>, 120 minutos de desinfección con lejía al 0,001 por ciento (1ml de lejía en 1 L de agua) y cosechada a

los 15 días concluyendo que el germinado con agua pura rindió menos que el tratamiento que recibió agua con solución hidropónica a excepción de fibra cruda. Presentando la siguiente composición química: Proteína cruda 15,54 y 16,89 por ciento; Extracto Etéreo 4,29 y 4,35 por ciento; Fibra Cruda 11,95 y 12,58 por ciento y Cenizas 2,85 y 3,12 por ciento respectivamente. Al evaluar el rendimiento en kilogramos por metro cuadrado encontró: PC 0,44 y 0,52 Kg; FC 0,34 y 0,39 Kg; EE 0,12 Kg y 0,134 Kg y Cen 0,08 Kg y 0,08 Kg respectivamente. El rendimiento de germinado hidropónico en base fresca por kilogramo de semilla procesada en promedio fue de 5,73 kg con agua pura y de 6,06 kg con solución hidropónica.

ANDRADE y CASANOVA (2010), evaluaron cuatro densidades de siembra de cebada: 1 kg/m<sup>2</sup>, 1.5 kg/m<sup>2</sup>, 2.0 kg/m<sup>2</sup> y 2.5 kg/m<sup>2</sup> y concluyeron que el mejor rendimiento lo obtuvieron con la densidad 2.5 Kg. de semilla de cebada/m<sup>2</sup> con una tasa de conversión de 5.76 a 1.

MIRANDA (2006), manifiesta que se debe cosechar a los 10 días obteniéndose alrededor de 180 gr de forraje por 30 gr de semilla de cebada es decir una relación de 1: 6 aproximadamente.

GUEVARA (2013) en Lambayeque evaluó el rendimiento de germinado hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en seis niveles de siembra: 3, 4, 5, 6, 7 y 8 Kg/m<sup>2</sup> determinando que el mejor rendimiento se logra con la densidad de siembra de 3 Kg/m<sup>2</sup>, obteniendo 0,779 Kg de MS/Kg de semilla procesada y en tal como ofrecido (TCO) logró un rendimiento máximo de 7,22 Kg de GH/Kg de semilla procesada.

RUESTA (2013) al evaluar el tiempo de remojo y concentración de yodo y/o lejía en desinfección de semilla en germinado hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en Lambayeque concluyó que los mejores resultados se hallaron con hipoclorito de sodio al 0.001 por ciento (1 ml de hipoclorito de sodio en 1 L de agua) con 120 minutos de tiempo, obteniendo un rendimiento de 6.857 Kg de GH/Kg de semilla procesada en base fresca con 17,48 por ciento de Proteína Cruda en base seca

AGUILAR (2014) en Lambayeque implementó cinco tratamientos para determinar el mejor tiempo de oscuridad para la producción de germinado hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) con dos días (T1), tres días (T2), cuatro días (T3), cinco días (T4) y seis días (T5) determinando que el mejor periodo es cinco días, logrando por metro cuadrado un rendimiento de 1.6 kg de materia seca en base fresca; y en base seca 0,28 kg de proteína cruda; 0,08 kg de extracto etéreo; 0,06 kg de cenizas y un nivel de 0,23 kg de fibra cruda. El rendimiento de germinado hidropónico en base fresca por kg de semilla procesada fue de 5,36 kg.

QUÍÑONEZ (2014) al evaluar la influencia del ciclo lunar en la producción de germinado hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Lambayeque determinó que la mejor etapa es luna llena donde la producción obtenida por metro cuadrado fue 0,30 kg de proteína cruda; 0,08 kg de extracto etéreo; 0,104 kg de cenizas y presentó un nivel de 0,30 kg de fibra cruda por metro cuadrado. El rendimiento de germinado hidropónico en base fresca por kg de semilla procesada fue de 7.13 kg y en términos de materia seca fue de 0.78 kg de materia seca por kg de semilla procesada.

SINCHIGUANO (2008) en Ecuador, evaluó la productividad medida en rendimiento de kg de MS de FVH por kg de semilla determinando 1.7 kg para cebada con 15 días de periodo de producción.

TARRILLO (2005), menciona que para semillas de cebada, trigo y avena se esperan rendimientos de 6 a 8 kilos de FVH por cada kilo de semilla.

CORRALES (2009) indica que los términos utilizados para referirse a la semilla sembrada en el proceso de producción de germinado hidropónico inducen a confusión porque se manejan dos pesos de la semilla durante el proceso: El primer peso se calcula con la semilla seca en función de la densidad de siembra a utilizar y el segundo peso se realiza con la semilla hidratada (oreada) para distribuirla homogéneamente en las bandejas, llamando a este procedimiento “siembra en bandejas” y muchos confunden este término cuando nos queremos referir al peso inicial por lo que propone llamar peso de semilla “procesada” a la cantidad de semilla que inicia todo el proceso de producción.

## **2.7 Luz LED**

ALUBIAS.com (2012). La luz es uno de los tres factores más importantes que actúan sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, junto con el oxígeno, CO<sub>2</sub> y los minerales. Es un factor imprescindible para llevar adelante una serie de procesos fisiológicos en las plantas, siendo el más importante la fotosíntesis. La mayor parte de la luz del sol que captan las plantas es transformada en calor y solo una pequeña parte

del espectro son esenciales para su crecimiento. En los rayos del sol, encontramos un muy amplio espectro con varios tipos de radiaciones: Ultravioletas (0,6%), visibles fotosintéticas o luz fotosintéticamente activa PAR (37%), infrarroja corta (NIR) e infrarroja larga FR (ambas 62%). Las que realmente interesan son las PAR ya que el resto afectan principalmente a la temperatura. Y dentro de la radiación PAR, el rojo y el azul son los colores que mayor impacto transmiten a las plantas en el verde es menor, por ello se ven verdes sus hojas ya que rechazan la mayoría de los rayos de luz verde. La luz roja es la que estimula la floración pero debe ser combinada con el azul para seguir su desarrollo molecular y proteínico.

Las plantas usan la luz comprendida entre los 400-700 nm (conocida como radiación PAR, radiación fotosintéticamente activa, o luz de crecimiento), variando el efecto de la longitud de onda según las horas del día y los estadios de crecimiento de la planta. El espectro de la radiación recibida puede afectar propiedades como el aspecto y el momento de la floración, y, por ejemplo para plantas con aplicaciones medicinales, puede afectar al sabor, olor y valor farmacéutico y/o nutricional.

En el estudio de la irradiación fotosintética con radiación PAR, es fundamental conocer la cantidad de fotones (PPF, Photosynthetic Photon Flux) responsables de excitar la clorofila, ya que depende de la longitud de onda. Así, la cantidad de fotones es mayor en la franja roja del espectro que en la azul, por lo que los vegetales emplean de forma más eficiente la radiación de la región del rojo.

La luz actúa sobre la asimilación del carbono, la temperatura de las hojas y en el balance hídrico, y crecimiento de los órganos y tejidos, principalmente en el desarrollo y curvatura de los tallos así como en la expansión de las hojas. Interviene también en la germinación y floración. La luz y la temperatura están directamente correlacionadas.

En mayores niveles de luz hay mayor temperatura y esto incrementa la transpiración y consumo de agua. A mayor iluminación en el interior de un invernadero se debe aumentar la temperatura, la humedad relativa y el gas carbónico (CO<sub>2</sub>), para que la fotosíntesis sea máxima. Por el contrario, con falta de luz pueden descender las necesidades de los demás factores.

## **LOS ESPECTROS Y SUS EFECTOS SOBRE LAS PLANTAS**

La región de los azules

UV-C 200-280 nm. El ozono de la atmósfera se filtra en su totalidad permitiéndonos vivir a todos nosotros. Se suele usar como germicida en conductos de ventilación, limpieza de equipos médicos, purificadores de agua o hasta inodorización. En cultivos de interior se usa efectivamente para eliminar olores.

UV-B 280-315 nm. Desde hace más de 30 años, Robert Connell Clarke anticipaba los posibles efectos de las radiaciones UV-B sobre el THC.

UV-A 315-400 nm. La fotosíntesis comienza a actuar a partir de los 380 nm en adelante pero su efecto en este campo es casi nulo.

EL azul 400-500nm Actúa sobre la fotosíntesis (+), Foto morfogénesis y Fototropismo. La luz azul (300-500nm) tiene un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de las plantas, por lo que puede ser usada como alternativa a los productos químicos que retardan el crecimiento vegetal en altura. El uso de la luz azul para inhibir la elongación de las plantas ha sido previamente documentado con estudios de crisantemos (OYAERT et al. 1999, KIM et al. 2004, SHIMIZU et al., 2006, OKAMOTO et al. 1997) Así, la luz azul es una estrategia potencial para producir plantas con un crecimiento más compacto.

Además, se facilita la aclimatación de los cultivos in vitro contribuyendo al crecimiento de las plantillas (NHUT et al. 2000). Esta luz afecta la cantidad de agua que las plantas retienen. Es el principal responsable del crecimiento de la hoja vegetativa. Estimula la producción de clorofila y las reacciones fotosintéticas. Y se manifiesta dando plantas cortas y con entrenudos también cortos, fuertes y vigorosos. Su ausencia proporciona plantas enfermizas, delgadas y delicadas.

### **La región del verde y amarillo**

El verde 520-530 nm. La mayoría de las plantas reflejan la luz verde, esta es la razón por la que las veamos de este color. Las plantas absorben muy poca luz verde, por ello tiene un efecto mínimo sobre estas. Esto no quiere decir que su efecto sea del todo nulo. De todas formas es la luz que se suele usar para hacer trabajos de jardinería en el fotoperiodo nocturno de cultivos que florecen mediante los estadios de luz.

Amarillo 530-600 nm. Es un color cuya función esta poco difundida. Se dice que es a partir de este espectro donde se empieza a controlar el fotoperiodo ya que es donde comienza el segundo campo de actuación de las clorofilas. El lado negativo es que es un color atractivo para ciertas alimañas y mosquitos.

### **La región de los rojos**

El ambar 600-620 nm o color anaranjado entra dentro de los espectros que se encargan de controlar el fotoperiodo. Con él las plantas controlan el ciclo diario de la luz (día/noche), abriendo o cerrando las hojas o pétalos de ciertas flores. Y también ayudan a reconocer incluso el estado anual de la luz y por tanto el momento idóneo para florecer. El ámbar posee más propiedades para la fotosíntesis que el amarillo.

Rojo 630-700 nm. Las bandas de color rojo de la luz fomentan el crecimiento del tallo, inducen la germinación de las semillas, el proceso del brote y la floración al desencadenar la liberación de hormonas. También actúan sobre el enraizamiento. Además es el causante de repeler gran mayoría de insectos y plagas.

Rojo lejano 700-800 nm. Desempeña un papel importante en el crecimiento de las plantas. Es un factor de importancia a la hora de potenciar la respuesta de la planta para evitar sombra (estirándose por ejemplo). Es un color poco visible, y representa el 1,2% de la luz solar, bajo una cubierta de hojas el 0,88% y bajo 5 mm del suelo 0,13%

Infra rojo IR 800-2500 nm. La Temperatura es el factor más importante a tener en cuenta en la creación de un ambiente en el cultivo principalmente de interior, ya que es el que más influye sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada.

Negro. Desempeña un papel importante en el crecimiento de las plantas. Es un factor de importancia a la hora de potenciar la respuesta de la planta para evitar sombra (estirándose por ejemplo). Es un color poco visible, y representa el 1,2% de la luz solar, bajo una cubierta de hojas el 0,88% y bajo 5mm del suelo 0,13%

MANZANERO (2010) manifiesta que el color percibido depende de la fuente de luz y de la longitud de onda de la luz reflejada y absorbida por los objetos e indica que la longitud de onda es la distancia entre un pico de onda y el siguiente en la energía

luminosa y el matiz: es el "tono", es el color en sí mismo, es el atributo que nos permite diferenciar a un color de otro, por lo cual podemos designar cuando un matiz es verde, violeta, o anaranjado. Presenta las longitudes de onda de los diferentes matices como violeta: 400-500 nm; azul: 450 a 500 nm; verde: 500 -570 nm; amarillo 570-590 nm; anaranjado 590 – 620 nm y rojo: 620 – 700 nm. El color percibido es el resultado de la longitud de onda reflejada, así en ondas cortas el color percibido es el azul, en ondas medias verde, en ondas largas rojo, en ondas largas y medias amarillo, en ondas largas y algunas medias anaranjado, en largas y cortas morado y en ondas largas, medias y cortas, el color es blanco.

CHEN (2018) manifiesta que la calidad de la luz se refiere al color o la longitud de onda. El sol emite longitudes de onda entre los 280 y los 2800 nm (97 % de la distribución total del espectro). Se dividen en tres regiones: Ultravioleta (100 a 380 nm), luz visible (380 a 780 nm) e infrarroja (700 a 3000 nm). La energía más alta corresponde a las longitudes de onda más bajas; la ultravioleta tiene energía más alta que la roja. Nosotros como humanos vemos las longitudes de onda entre 380 a 770 nm; este intervalo se denomina luz visible. La luz visible se divide en: Violeta (380 a 430 nm), azul (430 a 500 nm), verde (500 a 570 nm), amarillo (570 a 590 nm), naranja (590 a 630 nm) y rojo (630 a 770). Por otra parte, las plantas fotosintetizan entre los 400 a 700 nm; este intervalo se conoce como radiación fotosintéticamente activa (RFA). La clorofila, el pigmento verde de las hojas que es responsable de absorber la energía de RFA, tiene dos puntos críticos de absorción: la luz azul y roja. Las hojas absorben poco verde y lo reflejan de vuelta; este es el motivo por el que vemos el color verde de las hojas.

Luz azul: Corresponde a uno de los puntos críticos de absorción; por lo tanto, el proceso fotosintético es más eficiente cuando hay luz azul. La luz azul es responsable del crecimiento vegetativo y de las hojas, y es importante para las semillas y las plantas jóvenes porque ayuda a reducir el estiramiento de la planta.

Luz roja: Este es el otro punto crítico de absorción de la luz para las hojas. El fitocromo (un fotorreceptor) dentro de las hojas es más sensible a la luz roja y responde a esta. La luz roja es importante en la regulación del florecimiento y la producción de frutos. Además, ayuda a aumentar el diámetro del tallo y estimula la ramificación.

## **2.8 Diseño experimental**

PADRON (2009), indica que los experimentos factoriales son aquellos que estudian simultáneamente dos o más factores, y se diferencian de los experimentos simples en que éstos solamente estudian un factor. Los experimentos factoriales no constituyen en sí un diseño experimental, más bien se deben realizar en cualquiera de los diseños experimentales. Los experimentos factoriales son útiles en investigaciones en las cuales se sabe poco de varios factores.

### III. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1 Producción de Germinado Hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) por tratamiento

##### 3.1.1 Producción de Germinado Hidropónico por bandeja (TCO)

En la tabla 2 se presenta la producción en biomasa verde de Germinado Hidropónico (GH) por bandeja de cada tratamiento cosechadas a 15 días de edad.

Tabla 2. Peso (kg) de Germinado Hidropónico por bandeja por tratamiento (TCO)

Bandeja	T0	T1	T2
B 1	2.20	2.20	2.08
B 2	2.25	2.38	2.10
B 3	2.25	2.30	2.05
B 4	2.35	2.60	1.90
B 5	2.50	2.40	2.20
B 6	2.62	2.50	2.50
B 7	2.70	2.50	2.20
B 8	2.70	2.90	2.10
B 9	2.30	2.40	2.38
B 10	2.10	2.30	2.29
B 11	2.50	2.50	2.10
B 12	2.55	2.30	2.30
B 13	2.70	2.65	2.40
B 14	2.31	2.50	2.30
B 15	2.25	2.70	2.20
B 16	2.25	2.50	2.05
Total/tratamiento	38.53	39.63	35.15
Promedio	2.41	2.48	2.20

##### 3.1.2 Contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC) y cenizas (CEN) de germinado hidropónico de cebada de cada tratamiento en base fresca y base seca (TCO).

Los análisis de composición química del GH de cada tratamiento se llevaron a cabo en el laboratorio de Nutrición de la Facultad de Ing. Zootecnia después de concluida la fase experimental. Los resultados se aprecian en la tabla 3.

Tabla 3. Composición química en base fresca (TCO) y base seca (BS) por tratamiento (%)

	T0	T1	T2
Materia seca (% TCO)	18.68	20.34	20.45
PC (% BS)	13.59	13.78	13.34
EE (% BS)	2.73	3.01	2.54
FC (% BS)	12.34	13.35	13.15
CEN (% BS)	3.75	4.38	4.23

Fuente: Laboratorio Nutrición Facultad Ing. Zootecnia UNPRG.

### 3.1.3 Producción de Germinado Hidropónico por metro cuadrado (TCO)

El área de bandeja que se utilizó en el presente estudio fue de 0.143 m<sup>2</sup> y con la información de la tabla 2 se calculó el rendimiento de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento en base fresca que se aprecia en la tabla 4. Al aplicar el análisis de varianza (anexo 1) se encontró diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos obteniendo mejores rendimientos T1 con 17.35 kg de GH/m<sup>2</sup> y T0 con 16.86 kg no habiendo diferencias estadísticas entre ellos ( $p > 0.05$ ) pero numéricamente T1 con luz LED roja en la etapa de germinación superó en 0.45% al rendimiento de T0 sin iluminación y en 11.35% al rendimiento de T2 que rindió 15.38 kg utilizando luz LED azul en la etapa de germinación coincidiendo estas respuestas con la influencia de la luz roja de 600 a 700 nm que fomentan el crecimiento del tallo induciendo la germinación de las semillas y el proceso del brote al desencadenar la liberación de hormonas. También actúan sobre el enraizamiento y la luz azul de 300-500 nm tiene un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de las plantas, por lo que puede ser usada como alternativa a los productos químicos que retardan el crecimiento vegetal en altura (alubia.com, 2012).

Tabla 4. Producción de Germinado Hidropónico en base fresca (TCO) por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg)

Bandeja	T0	T1	T2
B1	15.41	15.41	14.57
B2	15.76	16.67	14.71
B3	15.76	16.11	14.36
B4	16.46	18.21	13.31
B5	17.51	16.81	15.41
B6	18.35	17.51	17.51
B7	18.91	17.51	15.41
B8	18.91	20.31	14.71
B9	16.11	16.81	16.67
B10	14.71	16.11	16.04
B11	17.51	17.51	14.71
B12	17.86	16.11	16.11
B13	18.91	18.56	16.81
B14	16.18	17.51	16.11
B15	15.76	18.91	15.41
B16	15.76	17.51	14.36
Total/tratamiento	269.82	277.52	246.15
Promedio	16.86a	17.35a	15.38b

Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ )

### 3.1.4 Producción de materia seca (MS) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg)

Para calcular el aporte de materia seca (MS) por metro cuadrado de cada tratamiento que se aprecia en la tabla 5, se utilizó la información de composición química de la tabla 3 e información de la tabla 4. Al aplicar el análisis de varianza (anexo 2) se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) obteniendo los mejores rendimientos el tratamiento que utilizó luz LED roja (T1) con 1.80 kg MS/m<sup>2</sup> superando en 12.22% al rendimiento de T0 y T2 entre los cuales no hubo diferencias estadísticas ( $p > 0.05$ ) dado que la luz roja es un punto crítico de absorción de la luz para las hojas. El fitocromo (un fotorreceptor) dentro de las hojas es más sensible a la luz roja y responde a esta y es importante en la regulación del

florecimiento y la producción de frutos. Además, ayuda a aumentar el diámetro del tallo y estimula la ramificación (Shen, 2018). El rendimiento de materia seca obtenida con influencia de luz LED roja del presente estudio superó al rendimiento de 1.6 kg MS/m<sup>2</sup> logrado por Aguilar (2014) quien no utilizó iluminación en la cámara oscura durante la etapa de germinación o cámara oscura y quien determinó que el mejor periodo de germinación o cámara oscura es de cinco días para la cebada en Lambayeque.

Tabla 5. Producción de materia seca de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg).

Bandeja	T0	T1	T2
B1	2.88	3.13	2.98
B2	2.94	3.39	3.01
B3	2.94	3.28	2.94
B4	3.07	3.70	2.72
B5	3.27	3.42	3.15
B6	3.43	3.56	3.58
B7	3.53	3.56	3.15
B8	3.53	4.13	3.01
B9	3.01	3.42	3.41
B10	2.75	3.28	3.28
B11	3.27	3.56	3.01
B12	3.34	3.28	3.29
B13	3.53	3.77	3.44
B14	3.02	3.56	3.29
B15	2.94	3.85	3.15
B16	2.94	3.56	2.94
Total/tratamiento	50.40	56.45	50.34
Promedio	3.15b	3.53a	3.15b

Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes (p<0.05)

### 3.1.5 Producción de proteína cruda (PC) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado en base seca (Kg)

Para calcular los aportes de proteína cruda (PC) por metro cuadrado (tabla 6) se utilizó la información de composición química de la tabla 3 y producción de MS/m<sup>2</sup>

de cada tratamiento (tabla 5) y al aplicar el análisis de varianza (anexo 3) se encontraron diferencias entre tratamientos ( $p<0.05$ ) presentando mejores rendimientos con luz LED roja en germinación (T1) con 0.49 kg de PC/m<sup>2</sup> superando en 12.24% al rendimiento del GH sin luz (T0) y en 14.28% al rendimiento de PC cosechado GH a los 15 días utilizando luz LED azul en germinación (T2) y entre las cuales no hubo diferencia ( $p>0.05$ ) con 0.43 y 0.42 kg/m<sup>2</sup> respectivamente. El rendimiento de T1 también superó los 0.44 kg PC/m<sup>2</sup> reportados por CURAY (2013) quien utilizó soluciones hidropónicas en el agua de riego y también a los 0.47 kg PC/m<sup>2</sup> logrados por RUESTA (2013) quien recomendó utilizar 1 ml de hipoclorito de sodio por litro de agua durante dos horas en la etapa de desinfección así como a los 0.3 kg/m<sup>2</sup> reportados por QUIÑONEZ (2014) sembrando en luna nueva.

Tabla 6. Producción de proteína cruda (PC) en base seca (BS) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg).

Bandeja	T0	T1	T2
B1	0.39	0.43	0.40
B2	0.40	0.47	0.40
B3	0.40	0.45	0.39
B4	0.42	0.51	0.36
B5	0.44	0.47	0.42
B6	0.47	0.49	0.48
B7	0.48	0.49	0.42
B8	0.48	0.57	0.40
B9	0.41	0.47	0.45
B10	0.37	0.45	0.44
B11	0.44	0.49	0.40
B12	0.45	0.45	0.44
B13	0.48	0.52	0.46
B14	0.41	0.49	0.44
B15	0.40	0.53	0.42
B16	0.40	0.49	0.39
Total/tratamiento	6.85	7.78	6.71
Promedio	0.43b	0.49a	0.42b

Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ( $p<0.05$ )

### **3.1.6 Producción de extracto etéreo (EE) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado en base seca (Kg)**

Para calcular los aportes de extracto etéreo (EE) por metro cuadrado (tabla 7) se utilizó la información de composición química de la tabla 3 y producción de MS/m<sup>2</sup> de cada tratamiento (tabla 5) y al realizar el análisis de varianza (anexo 4) se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos, el mejor rendimiento de EE/m<sup>2</sup> se logró utilizando luz LED roja en la etapa de germinación (T1) con 0.11 kg/m<sup>2</sup> igual al rendimiento reportado logrado por AGUILAR (2014) quien no utilizó luz LED en la etapa de Germinación y superó en 18.18% al rendimiento de T0 de presente estudio que no utilizó ningún tipo de iluminación en la etapa de germinación con 0.09 kg/m<sup>2</sup> y superó en 27.27% al rendimiento que utilizó luz LED azul en la etapa de germinación (T2) y a los 0.08 kg de EE/m<sup>2</sup> reportados por QUIÑONEZ (2014) quienes utilizaron una densidad de siembra de 3 kg/m<sup>2</sup> cosechados a los 15 días. Este bajo rendimiento de GH en etapa de germinación con luz LED azul puede deberse al efecto inhibitorio del crecimiento de platas expuestos a luz azul de 300-500nm según estudios de OYAERT et al. (1999) y otros en alubias.com (2012). Todos los tratamientos del presente estudio rindieron por debajo de los 0.13 kg EE/m<sup>2</sup> reportados por CURAY (2013) quien utilizó soluciones hidropónicas en el agua de riego y cosechó a 15 días de edad.

Tabla 7. Producción de extracto etéreo (EE) en base seca (BS) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg).

Bandeja	T0	T1	T2
B1	0.08	0.09	0.08
B2	0.08	0.10	0.08
B3	0.08	0.10	0.07
B4	0.08	0.11	0.07
B5	0.09	0.10	0.08
B6	0.09	0.11	0.09
B7	0.10	0.11	0.08
B8	0.10	0.12	0.08
B9	0.08	0.10	0.09
B10	0.08	0.10	0.08
B11	0.09	0.11	0.08
B12	0.09	0.10	0.08
B13	0.10	0.11	0.09
B14	0.08	0.11	0.08
B15	0.08	0.12	0.08
B16	0.08	0.11	0.07
Total/tratamiento	1.38	1.70	1.28
Promedio	0.09b	0.11a	0.08c

Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ )

### 3.1.7 Producción de fibra cruda (FC) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado en base seca (Kg)

Para calcular los aportes de fibra cruda (FC) por metro cuadrado que se aprecia en la tabla 8, se utilizó la información de composición química de la tabla 3 y producción de MS/m<sup>2</sup> de cada tratamiento (tabla 5). Al realizar el análisis de varianza (anexo 5) se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos. El mayor rendimiento lo presentó el GH cosechado a los 15 días de edad utilizando luz LED roja en la etapa de germinación (T1) con 0.15 kg FC/m<sup>2</sup>, superando en 13.33% al rendimiento de FC utilizando luz LED azul en la etapa de germinación (T1) y en 20% al rendimiento de Germinado hidropónico que no utilizó luz en la etapa de germinación con 0.12 kg FC/m<sup>2</sup> pero todas superaron a los 0.06 kg de FC/m<sup>2</sup>

reportados por AGUILAR (2014) y los 0.104 kg FC/m<sup>2</sup> reportado por QUIÑONEZ (2014) utilizando ambos una densidad de siembra de 3 kg/m<sup>2</sup> y cosechados a los 15 días de edad sin iluminación en la etapa de germinación.

Tabla 8. Producción de fibra cruda (FC) en base seca (BS) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg).

Bandeja	T0	T1	T2
B1	0.11	0.14	0.13
B2	0.11	0.15	0.13
B3	0.11	0.14	0.12
B4	0.12	0.16	0.12
B5	0.12	0.15	0.13
B6	0.13	0.16	0.15
B7	0.13	0.16	0.13
B8	0.13	0.18	0.13
B9	0.11	0.15	0.14
B10	0.10	0.14	0.14
B11	0.12	0.16	0.13
B12	0.13	0.14	0.14
B13	0.13	0.17	0.15
B14	0.11	0.16	0.14
B15	0.11	0.17	0.13
B16	0.11	0.16	0.12
Total/tratamiento	1.89	2.47	2.13
Promedio	0.12c	0.15a	0.13b

Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes (p<0.05)

### 3.1.8 Producción de cenizas (CEN) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado en base seca (Kg)

Para calcular los aportes de cenizas (CEN) por metro cuadrado que se aprecia en la tabla 9, se utilizó la información de composición química de la tabla 3 y producción de MS/m<sup>2</sup> de cada tratamiento (tabla 5). Al aplicar el análisis de varianza (anexo 6) se hallaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (p<0.05) presentando mayor contenido el GH cosechado a los 15 días utilizando luz LED azul en la etapa de germinación (T1) con 0.47 kg de CEN/m<sup>2</sup>

superando en 12.76% al rendimiento logrado utilizando luz LED azul en la etapa de germinación (T2) con 0.41kg/m<sup>2</sup>. Todos superaron el rendimiento reportado por AGUILAR (2014) de 0.06 kg CEN/m<sup>2</sup> y al reportado por CURAY (2013) de 0.08 kg CEN/m<sup>2</sup> quien utilizó soluciones hidropónicas en el agua de riego quienes no utilizaron iluminación en la etapa de germinación.

Tabla 9. Producción de cenizas (CEN) en base seca (BS) de Germinado Hidropónico por metro cuadrado de cada tratamiento (Kg).

Bandeja	T0	T1	T2
B1	0.36	0.42	0.39
B2	0.36	0.45	0.40
B3	0.36	0.44	0.39
B4	0.38	0.49	0.36
B5	0.40	0.46	0.41
B6	0.42	0.48	0.47
B7	0.44	0.48	0.41
B8	0.44	0.55	0.40
B9	0.37	0.46	0.45
B10	0.34	0.44	0.43
B11	0.40	0.48	0.40
B12	0.41	0.44	0.43
B13	0.44	0.50	0.45
B14	0.37	0.48	0.43
B15	0.36	0.51	0.41
B16	0.36	0.48	0.39
Total/tratamiento	6.22	7.53	6.62
Promedio	0.39b	0.47a	0.41b

Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes (p<0.05)

### 3.2 Análisis de productividad de Germinado Hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) por tratamiento

La productividad expresada en el rendimiento por kilogramo de semilla procesada se midió en rendimiento de Germinado Hidropónico y en kg de materia seca por kg de semilla procesada.

### 3.2.1 Rendimiento de Germinado Hidropónico por kg de semilla procesada en base fresca (Kg)

Con información de la tabla 1, se calculó el rendimiento de Germinado Hidropónico (TCO) a partir de un kg de semilla de cebada (tabla 10). El análisis de varianza (anexo 7) encontró diferencias ( $p < 0.05$ ) obteniendo mejor rendimiento el GH cosechado a 15 días utilizando luz LED roja en germinación (T1) con 5.75 kg rindiendo debajo de los 7.13 kg hallados por QUIÑONEZ (2014) y de GUEVARA (2013) quien reportó 7.22 kg de GH/ Kg de semilla quienes no utilizaron iluminación en la etapa de germinación pero superaron el rendimiento hallado por AGUILAR (2014) de 5.36 Kg GH/kg de semilla. Todos los tratamientos rindieron debajo del rango establecido por TARRILLO (2005) de 6 a 8 kg de GH por kg de semilla y debajo de 10 a 12 kg referidos por la FAO (2001).

Tabla 10. Rendimiento de Germinado Hidropónico por kilogramo de semilla procesada en base fresca (Kg).

Bandeja	T0	T1	T2
B 1	5.14	5.14	4.86
B 2	5.25	5.56	4.90
B 3	5.25	5.37	4.79
B 4	5.49	6.07	4.44
B 5	5.84	5.60	5.14
B 6	6.12	5.84	5.84
B 7	6.30	5.84	5.14
B 8	6.30	6.77	4.90
B 9	5.37	5.60	5.56
B 10	4.90	5.37	5.35
B 11	5.84	5.84	4.90
B 12	5.95	5.37	5.37
B 13	6.30	6.19	5.60
B 14	5.39	5.84	5.37
B 15	5.39	5.84	5.37
B 16	5.25	5.84	4.79
Total/tratamiento	90.08	92.04	82.28
Promedio	5.63a	5.75a	5.14b

Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ )

### 3.2.2 Rendimiento de materia seca (MS) de Germinado Hidropónico por kg de semilla procesada

Con información de la tabla 10 y el contenido de MS por tratamiento (tabla 3) se calculó el rendimiento de MS/Kg por tratamiento presentado en la tabla 11. El análisis de varianza (anexo 8) demostró diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos obteniendo mejores resultados con el GH cosechado a 15 días con luz LED roja en germinación (T1) con 1.17 kg de MS/m<sup>2</sup> superando en 10.25% al rendimiento logrado sin iluminación en germinación (T0) y al GH que utilizó luz LED azul en germinación (T2) entre los cuales no hubo diferencia estadística ( $p > 0.05$ ) rindiendo ambos 1.05kg MS/m<sup>2</sup> debajo de 1.7 kg MS/m<sup>2</sup> logrados por SINCHIGUANO (2008) en Ecuador cosechando en 17 días pero superaron el rendimiento de 0.62 kg (LÓPEZ, 2010).

Tabla 11. Rendimiento de materia seca (MS) por kilogramo de semilla procesada de todos los tratamientos (Kg).

Bandeja	T0	T1	T2
B1	0.96	1.04	0.99
B2	0.98	1.13	1.00
B3	0.98	1.09	0.98
B4	1.02	1.23	0.91
B5	1.09	1.14	1.05
B6	1.14	1.19	1.19
B7	1.18	1.19	1.05
B8	1.18	1.38	1.00
B9	1.00	1.14	1.14
B10	0.92	1.09	1.09
B11	1.09	1.19	1.00
B12	1.11	1.09	1.10
B13	1.18	1.26	1.15
B14	1.01	1.19	1.10
B15	1.01	1.19	1.10
B16	0.98	1.19	0.98
Total/tratamiento	16.83	18.72	16.83
Promedio	1.05b	1.17a	1.05b

Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ )

### 3.3 Temperatura y humedad relativa

La temperatura se midió en grados centígrados (°C) y la humedad relativa en porcentaje (%) desde el día de siembra en bandejas e inicio de la etapa de germinación hasta la cosecha y los resultados se aprecian en el anexo 9. La temperatura promedio de mínimas fue  $17.99 \pm 0.55$  °C y de máximas  $20.91 \pm 1.34$  °C y la humedad relativa promedio de mínimas fue  $73.32 \pm 5.32\%$  y de máximas  $84.68 \pm 5.5\%$ .

### 3.4 Evaluación económica

Para calcular los costos de producción de un kg de Germinado Hidropónico de cebada tanto en base fresca (TCO) y kg de materia seca de cada tratamiento se utilizó la estructura de costos (anexo 10) y los costos más económicos por kg de Germinado Hidropónico tanto en base fresca y en base seca se lograron utilizando luz LED roja en la etapa de germinación (T1) y los costos más elevados lo presentó el tratamiento que utilizó luz LED azul en la etapa de germinación (T2) como se aprecia en la tabla 11.

Tabla 12. Costos de producción por kg de Germinado Hidropónico de cebada en base fresca y kg de materia seca (S/.)

Tratamiento	TCO	MS
T0	0.63	3.16
T1	0.61	2.83
T2	0.69	3.16

#### IV. CONCLUSIONES

- La luz LED en etapa de germinación si influye en la producción de GH de cebada validando la hipótesis científica del presente estudio
- Los mejores rendimientos de producción por metro cuadrado se lograron utilizando luz LED roja en la etapa de germinación: 17.35 Kg GH; 3.53 kg MS; 0.48 kg PC; 0.11 kg EE; 0.15 kg FC y 0.41 kg CEN así como mejor productividad por kg de GH de cebada (*Hordeum vulgare*): 5.75 GH/kg de semilla de cebada y 1.17 kg de MS de kg de GH/kg de semilla de cebada cosechados a los 15 días de edad.
- El mejor costo de producción de kg de GH de cebada en base fresca (TCO) y kg de MS de GH de cebada lo presentó el tratamiento con luz LED roja en la etapa de germinación.
- La luz LED azul no influyó significativamente en los factores evaluados.

## **V. RECOMENDACIONES**

1. Evaluar la influencia de la luz LED roja por intervalos de tiempo en la etapa de germinación en la producción de Germinado Hidropónico de cebada.
2. Evaluar intensidades diferentes de luz LED roja en la etapa de germinación en la producción de Germinado Hidropónico de cebada.
3. Evaluar la influencia combinada de luz LED roja y azul en la producción de Germinado Hidropónico de Cebada.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- AGUILAR, M. 2014. Influencia del periodo de oscuridad en el rendimiento de germinado hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Lambayeque. Tesis. Ingeniero Zootecnista. Facultad de Ingeniería zootecnia, Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”. Lambayeque, Perú. 76 p.
- ALUBIAS.COM.2012. La teoría de los colores y los espectros en las plantas. En línea. Recuperado el 18 de octubre de 2015 de <http://alubias-growled.com/el%20mundo%20leds/la%20teoria%20de%20los%20colores%20y%20espectro%20sobre%20las%20plantas.html>
- ANDRADE, D., CASANOVA, D. 2010. Evaluación de tres densidades de siembra, días al corte e intensidades lumínicas en forraje verde hidropónico (FVH) de cebada (*Hordeum vulgare*) en la granja experimental ECCA. Tesis. Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Sede Ibarra. 137 p.
- CORRALES, R. 2009. La hidroponía como alternativa en la producción de forrajes. Apuntes de clase de la Asignatura Manejo de Pasturas. Facultad Ingeniería Zootecnia Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque. Perú.
- CHAUCA; ZALDIVAR; MUSCARI; HIGAONNA; GAMARRA; FLORIAN. 1994. Proyecto Sistemas de Producción de Cuyes. Tomo II. Instituto de Investigación Agraria INIA, Lima – Perú. Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo CIID, Canadá.
- CHEN, I. 2018. La influencia de la luz en el crecimiento del cultivo. Artículo en línea. Publicado el 5 octubre de 2018. Recuperado el 24 de abril de 2019 de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-influencia-de-la-luz-en-el-crecimiento-del-cultivo/>
- CURAY, I. 2013. Cultivo Hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) con y sin solución hidropónica en el agua de riego. Tesis. Ingeniero Zootecnista. Facultad de Ingeniería zootecnia, Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”. Lambayeque, Perú. 67 p.
- EDICIONES CULTURALES VER. 1992. Cultivos Hidropónicos. Industria Agroquímica, S.A., fascículo 9, Bogotá, Colombia. 152 p.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 2001. Forraje Verde Hidropónico. Santiago, Chile. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 68 p.
- GUEVARA, S. 2013. Rendimiento de germinado hidropónico (G.H.) de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en seis niveles de densidad de siembra. Tesis. Ingeniero Zootecnista. Facultad de Ingeniería zootecnia, Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”. Lambayeque, Perú. 67 p.

- LOPEZ, E. (2010), Hidroponía. En línea s/f. Recuperado el 23 de abril de 2019 de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/174/2/03%20AGP%2029%20CAPITULO%20II.pdf>
- MANZANERO, A. 2010. Psicología de la percepción UCM. En línea. Recuperado el 12 de octubre de 2019 de <http://psicologiapercepcion.blogspot.pe/p/vision.html>
- MIRANDA, I. 2006. Fertilizantes foliares en cultivo hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*). Tesis Ingeniero Zootecnista. Facultad de Ingeniería Zootecnia, Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”. Lambayeque, Perú, 49 p.
- PADRON, E. 2009. Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y ganadería. Editorial Trillas. México. 224 p.
- PICHILINGUE, C. 1994. Utilización de cebada (*Hordeum vulgare*), germinada en la alimentación de cuyes hembras durante el empadre, gestación y lactación. Tesis Ingeniero Zootecnista. Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú. 107 p.
- QUIÑONEZ, P. 2014. Influencia del ciclo lunar en la producción de germinado hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Lambayeque. Tesis Ingeniero Zootecnista. Facultad de Ingeniería Zootecnia, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. 56 p.
- REGALADO, F. 2009. Cultivos hidropónicos. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”. Lambayeque, Perú, 48 p.
- RUESTA, I. 2013. Tiempo de remojo y concentración de yodo y/o lejía en desinfección de semilla de germinado hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en Lambayeque. Tesis ingeniero Zootecnista. Facultad de Ingeniería Zootecnia. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Perú. 105 p.
- SIAN.2011. Determinación de pureza, poder germinativo y valor cultural de las semillas. Recuperado el 20 de marzo de <http://sian.inia.gob.ve/repositorio/folletosvenezolanos/91-100/93%20pureza%20poder%20germinativo%20y%20valor%20cultural%20de%20las%20semillas.pdf>
- SINCHIGUANO, M. 2008. Producción de forraje verde hidropónico de diferentes cereales (avena, cebada, maíz, trigo y vicia) y su efecto en la alimentación de cuyes. (en línea). Tesis (Ing. Zootecnista). Riobamba, EC, Escuela Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela de Ingeniería Zootécnica. 108 p. Recuperada el 2 de julio de 2017 de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1707/1/17T0822.pdf>

TARRILLO, H. 2005. Forraje Verde Hidropónico Manual de Producción. 1ª Edición propia y revisada por Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 41p.

## ANEXOS

### 1. ANAVA producción de GH/m<sup>2</sup> (TCO)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	33.42	16.71	10.66	0.000
Error	45	70.53	1.57		
Total	47	103.95			

S = 1.252    R-cuad. = 32.15%    R-cuad.(ajustado) = 29.13%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T1	16	17.345	A
T0	16	16.864	A
T2	16	15.384	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### 2. ANAVA Rendimiento MS/m<sup>2</sup> (TCO)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	1.5394	0.7697	12.66	0.000
Error	45	2.7359	0.0608		
Total	47	4.2754			

S = 0.2466    R-cuad. = 36.01%    R-cuad.(ajustado) = 33.16%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T1	16	3.5280	A
T0	16	3.1501	B
T2	16	3.1461	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### 3. ANAVA Rendimiento PC/m<sup>2</sup> (TCO)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	0.04221	0.02110	18.80	0.000
Error	45	0.05051	0.00112		
Total	47	0.09272			

S = 0.03350    R-cuad. = 45.52%    R-cuad.(ajustado) = 43.10%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T1	16	0.48631	A
T0	16	0.42805	B
T2	16	0.41960	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### 4. ANAVA Rendimiento EE/m<sup>2</sup> (BS)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	0.0059881	0.0029940	64.18	0.000
Error	45	0.0020992	0.0000466		
Total	47	0.0080873			

S = 0.006830    R-cuad. = 74.04%    R-cuad.(ajustado) = 72.89%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T1	16	0.106192	A
T0	16	0.086119	B
T2	16	0.080057	C

#### 5. ANAVA rendimiento FC/m<sup>2</sup> (TCO)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	0.010715	0.005357	52.15	0.000
Error	45	0.004623	0.000103		
Total	47	0.015338			

S = 0.01014    R-cuad. = 69.86%    R-cuad.(ajustado) = 68.52%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T1	16	0.15453	A
T2	16	0.13301	B
T0	16	0.11813	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### 6. ANAVA rendimiento cenizas/m<sup>2</sup> (TCO)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	0.05689	0.02845	28.02	0.000
Error	45	0.04568	0.00102		
Total	47	0.10257			

S = 0.03186    R-cuad. = 55.46%    R-cuad.(ajustado) = 53.49%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T1	16	0.47093	A
T2	16	0.41363	B
T0	16	0.38870	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

## 7. ANAVA Rendimiento GH/Kg de semilla procesada (TCO)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	3.330	1.665	9.96	0.000
Error	45	7.526	0.167		
Total	47	10.856			

S = 0.4089    R-cuad. = 30.67%    R-cuad.(ajustado) = 27.59%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T1	16	5.7525	A
T0	16	5.6300	A
T2	16	5.1427	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

## 8. ANAVA rendimiento de kg de MS/kg de semilla procesada

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	2	0.14949	0.07474	11.53	0.000
Error	45	0.29164	0.00648		
Total	47	0.44113			

S = 0.08050    R-cuad. = 33.89%    R-cuad.(ajustado) = 30.95%

Agrupar información utilizando el método de Tukey

	N	Media	Agrupación
T1	16	1.17006	A
T2	16	1.05168	B
T0	16	1.05168	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

## 9. Temperatura (°C) y humedad relativa (%) registrados durante el estudio

Fecha		7am		12m		5pm		10pm	
		min	max	min	max	min	max	min	max
12/08/2019	Tº (°C)	15.1	21.4	24	25.8	19.8	19.8	16.6	20.7
	Hº (%)	54	72	63	65	68	69	65	82
13/08/2019	Tº (°C)	15.3	17.8	17.3	26.7	22.6	22.6	16.6	16.6
	Hº (%)	79	89	54	86	62	63	86	86
14/08/2019	Tº (°C)	17.4	17.8	17.8	22	21.3	21.3	17.3	17.3
	Hº (%)	87	88	74	87	72	72	71	87
15/08/2019	Tº (°C)	16.2	19.6	19	24.4	23.6	23.6	17.2	17.4
	Hº (%)	83	92	69	83	64	64	64	85
16/08/2019	Tº (°C)	17	23.6	17.7	19.7	19.8	22.5	16.9	17
	Hº (%)	64	89	80	88	70	79	70	89
17/08/2019	Tº (°C)	16.4	19.2	16.7	24.2	20	25.6	17	17.1
	Hº (%)	84	94	65	94	70	84	71	88
18/08/2019	Tº (°C)	16.9	18.1	16.9	18.1	18.9	18.9	16.5	16.7
	Hº (%)	86	93	88	93	79	80	79	89
19/08/2019	Tº (°C)	16.1	22.7	19.6	22.7	19.1	24	17	17.1
	Hº (%)	85	85	74	85	64	76	64	86
20/08/2019	Tº (°C)	16	25	17.5	25	20.4	20.4	17	20.4
	Hº (%)	86	91	66	91	73	73	73	90
21/08/2019	Tº (°C)	16.7	23.9	17.3	23.9	20	20	17.2	20
	Hº (%)	88	93	71	93	76	76	76	90
22/08/2019	Tº (°C)	16.7	19.8	16.8	19.8	19.4	22.2	17.1	17.6
	Hº (%)	88	97	85	97	67	85	69	88

**10. Estructura de costos de producción de MS de Germinado Hidropónico de cebada**  
**(*Hordeum vulgare*) de T1**

PROCESO	Insumos	Unidad	Cantidad	Precio unitario (soles)	Costo
	Cebada	Kg.	8.568	2.00	17.14
	Agua	L	17.136	0.05	0.86
		ml	0	0.00	0.00
	Lejía	L	0.009	1.50	0.013
	Mano de obra	Horas	1.125	0.625	0.70
	Sub Total				18.71
	Agua	L	25.704	0.05	1.29
	0	ml	0.000	0.00	0.00
	Mano de obra	Horas	0.625	0.625	0.39
	Sub Total				1.68
PRODUCCION (7 días)	Agua	L	25.704	0.05	1.29
	0	ml	0	0.00	0.00
	Mano de Obra	Horas	1.13	0.625	0.70
	Sub Total				1.99
TOTAL					22.37
Costo de producción por tratamiento (S/)					22.37
Rendimiento/tratamiento (Kg)					8.06
Costo de 1 Kg de Germinado Hidropónico					2.78
Costo de depreciación/kg					0.05
Costo Total de 1 Kg. de germinado hidropónico de cebada					2.83